

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAR SITIOS PRIORITARIOS  
PARA RESTAURAR ECOSISTEMAS CON FINES DE PROTECCIÓN DEL  
RECURSO HÍDRICO: ESTUDIO DE CASO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO  
CACAO, ATENAS, ALAJUELA

Trabajo final de graduación aplicada sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Geografía para optar por el grado de título de Maestría Profesional en Sistemas Información Geográfica y Teledetección

MAUREEN ARGUEDAS MARÍN

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2022

## **Dedicatoria**

Dedico este proyecto a las personas que amamos y honramos al agua, que estamos comprometidos con su protección y conservación; y que trabajamos a distintos niveles para propiciar su reconocimiento y valorización como fuente de vida de todos (seres humanos, animales, ecosistemas, entre otros).

El agua es indispensable para la vida, así como para el equilibrio y el funcionamiento de los ecosistemas que a su vez sostienen y sustentan otras formas de vida.

El agua tiene memoria por lo tanto guarda la información, la frecuencia y la energía de todo lo que entra en contacto con ella. El aporte de todos(as) a su conservación y la de los ecosistemas contribuye a limpiar las memorias que fluyen sobre los cuerpos de agua hacia otros espacios y territorios; y nosotros al consumir agua que proviene de ecosistemas sanos también limpiamos nuestra memoria y conciencia colectiva, e individual.

## Agradecimientos

Agradezco a **Dios** y a la vida por darme la oportunidad de seguir creciendo personal y profesionalmente; y por poner personas y situaciones maravillosas en mi camino.

Agradezco **mi** voluntad, compromiso y entusiasmo para seguir expandiendo mi conocimiento.

Agradezco a **mis padres** por ser mi ejemplo de perseverancia, convicción y dedicación. También, por motivarme a ser mejor; y por compartir la felicidad en cada uno de mis logros.

Agradezco a **mi familia** por ser una fuente de motivación y apoyo incondicional.

Agradezco a **mis compañeros(as)** de maestría por el compañerismo y el apoyo brindado.

Agradezco a los **profesores** Javier Saborio y Melvin Lizano por brindarme su acompañamiento técnico. También, les agradezco por el compromiso y la confianza brindada.

Agradezco a las **personas de la microcuenca** del río Cacao con los que tuve el privilegio de compartir, en especial a: Ana Lucía Ureña, Rodney Lobo González, Milena Cambronerero y Amanda Campos. Gracias por su apertura, por su esmero, compromiso y amor por lo que hacen.

“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Geografía de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección”

---

Máster. Francisco Rodríguez Soto

**Coordinador Programa de Posgrado en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección**

---

Máster. Javier Saborío Bejarano

**Profesor Guía**

---

Máster. Melvin Lizano Araya

**Lector**

---

Maureen Arguedas Marín

**Sustentante**



# Contenido

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos .....	iii
Hoja de aprobación .....	iv
RESUMEN.....	ix
Lista de abreviaturas .....	xii
Capítulo 1. Introducción .....	1
i.    Introducción al tema.....	1
ii.   Justificación .....	2
iii.  Objetivos .....	5
3.1 Objetivo general .....	5
3.2 Objetivos específicos.....	6
iv.  El problema de investigación .....	6
v.   Alcance del proyecto.....	8
vi.  Limitaciones.....	9
Capítulo 2. Marco teórico .....	10
i.    Ciclo hidrológico .....	10
ii.   Cuenca hidrográfica como unidad de planificación.....	11
iii.  Antecedentes del Manejo de Cuencas Hidrográficas .....	12
iv.  Gestión de cuencas hidrográficas .....	13
v.   El agua como recurso integrador de la cuenca .....	15
vi.  Uso, manejo y conservación de suelos .....	15
vii.  Restauración de ecosistemas .....	17
viii.  Factores y/o criterios a considerar en los procesos de restauración de ecosistemas .....	20
ix.  Priorización utilizando información espacial.....	22
x.   Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Gestión de Cuencas Hidrográficas.....	23
xi.  Metodologías para la priorización de sitios para la conservación y protección de cuencas hidrográficas.....	24
xii.  Zonificación.....	33
Capítulo 3. Metodología .....	35
i.    Consulta preliminar a actores claves .....	36
ii.   Revisión y análisis del cuerpo jurídico relacionado al recurso hídrico.....	36
iii.  Percepción local sobre la gestión del recurso hídrico en la microcuenca del río Cacao.....	36

iv.	Caracterización de la microcuenca del río Cacao .....	39
v.	Recorrido por la microcuenca .....	39
vi.	Propuesta de indicadores.....	39
vii.	Asignación de pesos .....	40
viii.	Álgebra de mapas con pesos respectivos.....	40
ix.	Devolución de resultados a actores locales .....	40
Capítulo 4. Resultados y discusión .....		41
i.	Consulta preliminar a actores clave sobre la percepción de la gestión del agua en Costa Rica ....	41
1.	¿Cuál considera que es la principal problemática ambiental en el tema del recurso hídrico en Costa Rica? .....	41
2.	¿Cuál consideran que es la principal limitante para tener una gestión adecuada del recurso hídrico en Costa Rica?.....	42
3.	¿Qué elementos/criterios considera debe tener una “cuenca sana, funcional o en condiciones menos alteradas” o “bien manejada”?.....	44
4.	¿Qué cuenca podría indicar que cumpla con los elementos que usted mencionó en la pregunta anterior para definir a una “cuenca sana, funcional o en condiciones menos alteradas”?.....	46
5.	¿Qué cuenca podría indicar que no cumplen con los elementos para definir a una “cuenca hidrográfica en condiciones alteradas y/o deterioradas”?.....	47
6.	Revisión y análisis del cuerpo jurídico relacionado al recurso hídrico en Costa Rica .....	48
1.	Calidad del agua.....	52
2.	Cantidad de agua .....	53
3.	Conservación y uso sostenible del agua y ecosistemas asociados .....	54
4.	Instrumentos económicos .....	56
5.	Gobernanza del agua .....	56
6.	Gestión integral del recurso hídrico.....	57
iii.	Percepción local sobre la gestión del recurso hídrico en la microcuenca.....	57
1.	Percepción local sobre los cuerpos de agua de la microcuenca.....	58
2.	Actividades económicas dependientes del recurso hídrico .....	60
3.	Acciones para el manejo y la gestión del recurso hídrico .....	60
4.	Temas emergentes.....	61
iv.	Caracterización del área de estudio (biofísica y socioeconómica) .....	63
1.	Delimitación de la microcuenca del río Cacao.....	64
2.	Ubicación y descripción del área de estudio .....	64
3.	Información socioeconómica.....	67

4.	Desarrollo urbano .....	68
5.	Gestión del recurso hídrico.....	70
6.	Gestión de residuos sólidos .....	73
7.	Pago por servicios ambientales (PSA) .....	74
8.	Eventos hidrometeorológicos.....	75
v.	Recorrido por la microcuenca .....	76
vi.	Selección de indicadores para la priorización de sitios para el desarrollo de estrategias de protección y restauración del recurso hídrico .....	78
1.	Presión sobre el recurso hídrico .....	86
2.	Características del sitio.....	88
vii.	Indicadores y su nivel de prioridad .....	95
viii.	Asignación de pesos a los indicadores según expertos.....	96
ix.	Mapa de priorización .....	99
1.	Identificación de sitios para rehabilitar áreas de protección de cuerpos de agua (nacientes, ríos y quebradas).....	100
2.	Identificación de sitios para implementar prácticas sostenibles que contribuyan a la protección del recurso hídrico .....	101
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones.....		104
Bibliografía.....		108
Anexos .....		118
Anexo 1. Funciones de la Red Nacional de Cuencas Hidrográficas .....		118
Anexo 2. Protocolo de entrevista semiestructurada para identificar la percepción de los actores clave sobre la gestión del recurso hídrico de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela.....		119
Anexo 3. Política Nacional de Áreas de protección de ríos, nacientes y arroyos.....		121
Anexo 4. Principios del Mecanismo Nacional de Gobernanza del Agua.....		123
Anexo 5. Principios de la Gestión de los Recursos Hídricos.....		125
Anexo 6. Principios, Ejes Transversales y Lineamientos Estratégicos de la Política Hídrica Nacional..		126
Anexo 7. Perfil de las personas entrevistadas.....		127
Anexo 8. Procedimiento para delimitar la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela, Costa Rica ..		128
Anexo 9. Datos de precipitación total mensual (mm) de dos estaciones cercanas a la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela.....		131
Anexo 10. Metadatos de la capa WFS/WMS del IGN Cartografía 1:5 mil .....		132
Anexo 11. Variables consideradas para agrupar a las Asadas en clúster .....		133
Anexo 12. Resumen de criterios.....		134

i. Principios, criterios e indicadores propuestos y posibles fuentes de información.....	134
ii. Listado criterios utilizados para priorizar sitios que contribuyan a la conservación y restauración del recurso hídrico.....	137
Anexo 13. Ejemplos de Estrategias y acciones para contrarrestar algunas problemáticas en las cuencas hidrográficas.....	139
Anexo 14. Procedimiento para generar un mapa de pendiente a partir de un DEM.....	142
Anexo 15. Procedimiento para delimitar áreas de protección de ríos y quebradas .....	144
Anexo 16. Información de las imágenes Sentinel .....	148
Anexo 17. Procedimiento del NDVI y SAVI.....	149
Anexo 18. Asignación de pesos a los criterios e indicadores (consulta a expertos).....	152

## RESUMEN

El agua es un recurso vital para todos los seres vivos, y para el desarrollo económico y social de las personas. La calidad y cantidad de agua que brindan las fuentes está relacionada a las características y la condición de los ecosistemas, así como su nivel de protección, pues un ecosistema funcional provee las condiciones idóneas para garantizar en el presente y a futuro la provisión de servicios ecosistémicos.

La importancia de la protección del recurso hídrico se encuentra respaldada en diversos documentos de carácter técnico, científico, legal, entre otros. A pesar de ello, diversas acciones y actividades realizadas por los seres humanos atentan contra la protección del recurso hídrico, poniendo en riesgo la sobrevivencia de las especies y la calidad de vida de las personas.

Identificar espacialmente las acciones que ejercen presión sobre el recurso hídrico facilita la articulación de acciones para intervenir en esas zonas, con el fin de buscar un equilibrio entre el desarrollo humano y la conservación de los ecosistemas. La existencia de instrumentos que permitan tomar en cuenta diversos criterios, sectores y estudiar el contexto de la cuenca o microcuenca, toman relevancia en un contexto en el que hay una amplia variedad de actores involucrados, tanto institucionales como de la sociedad civil. Las aplicaciones SIG han sido utilizadas para estos fines, siendo el análisis multicriterio una de las herramientas más comúnmente usadas.

Se propone una metodología de carácter exploratorio, que incluye indicadores espaciales, con bajo grado de dificultad de obtenerlos, con el fin de identificar sitios prioritarios a restaurar con fines de protección del recurso hídrico. La metodología fue aplicada en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela.

A nivel de paisaje la microcuenca presenta condiciones favorables para la protección del recurso hídrico, considerando los cuatro indicadores analizados, según esto los sitios clasificados con alta o muy alta suman 6 km<sup>2</sup> (10% de la microcuenca). Si se considera únicamente la pendiente y el estado de la cobertura forestal, las áreas de restauración suman 28 km<sup>2</sup>, lo cual representa un 47% de la microcuenca. Considerando únicamente las áreas de protección de cuerpos de agua, el 80% requieren restauración pues presentan un uso de suelo distinto al forestal, en su mayoría el uso de suelo corresponde a cultivos y pastos, y en menor medida uso urbano. Esto representa una acción prioritaria a realizar dado que atenta contra la protección del recurso hídrico.

**Palabras clave:** recurso hídrico, microcuenca, río Cacao, Atenas, SIG, áreas de protección de cuerpos de agua

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Criterios e indicadores para la identificación de áreas prioritarias de restauración del paisaje forestal según línea estratégica .....	32
Cuadro 2. Variable de interés, elemento y preguntas orientadoras consideradas para la realización de entrevistas semiestructuradas realizadas a actores clave de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	38
Cuadro 3. Nombre y perfil de las personas entrevistadas.....	41
Cuadro 4. Resumen de algunos instrumentos legales, convenios internacionales y su relación con la gestión del recurso hídrico en Costa Rica .....	50
Cuadro 5. Datos socioeconómicos de los distritos de Atenas que componen la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	67
Cuadro 6. Listado de Asadas que brindan servicio dentro de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	70
Cuadro 7. Caracterización de las concesiones de agua vigentes en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	71
Cuadro 8. Uso del agua concesionada (m3) en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	71
Cuadro 9. Gestión de las aguas residuales y almacenamiento del agua en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela.....	73
Cuadro 10. Gestión de los residuos sólidos en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela.....	74
Cuadro 11. Resumen de indicadores para priorizar sitios para el desarrollo de acciones de protección y restauración del recurso hídrico .....	85
Cuadro 12. Población dentro de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	87
Cuadro 13. Resumen de los criterios a utilizar para identificar sitios con baja, media y alta prioridad para protección del recurso hídrico .....	95
Cuadro 14. Personas consultadas para la asignación de pesos a los indicadores a utilizar en el análisis .	96
Cuadro 15. Resumen de los pesos asignados por los expertos.....	97
Cuadro 16. Modelos y sus respectivos resultados según peso asignado a los indicadores .....	98
Cuadro 17. Área de terreno por uso de la tierra dentro y fuera de áreas de protección de cuerpos de agua en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	101

## Índice de figuras

Figura 1. Fases del proceso metodológico.....	35
Figura 2. Resumen de algunos instrumentos jurídicos y de política pública relacionados al recurso hídrico en Costa Rica Fuente: Elaboración propia .....	49
Figura 3. Mapa de ubicación de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	65
Figura 4. Mapa de ubicación y uso de la tierra de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	66
Figura 5. Ubicación de la mancha urbana dentro de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	69
Figura 6. Mapa de Asadas ubicación de concesiones y vertidos de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	72
Figura 7. Ubicación de proyectos PSA en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	75
Figura 8. Sitios en los que ha ocurrido eventos hidrometeorológicos, microcuenca del río Cacao, Atenas, Costa Rica.....	76

Figura 9. Puntos de algunos sitios visitados en el recorrido de campo en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela.....	78
Figura 10. Resumen de indicadores para priorizar sitios para el desarrollo de acciones de protección y restauración del recurso hídrico .....	86
Figura 11. Distritos que componen la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	87
Figura 12. Densidad poblacional en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	88
Figura 13. Mapa de pendiente de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	89
Figura 14. Uso de la tierra en áreas de protección de ríos, quebradas y nacientes en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	92
Figura 15. Índice de vegetación normalizado para la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	94
Figura 16. Índice de vegetación ajustado al suelo para la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela...	94
Figura 17. Comportamiento de los indicadores para priorizar la protección del recurso hídrico en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	95
Figura 18. Resumen del proceso metodológico.....	96
Figura 19. Sitios prioritarios para restauración con fines de protección del recurso hídrico, microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela.....	100
Figura 20. Sitios prioritarios para restauración con fines de protección del recurso hídrico considerando pendientes y estado de la cobertura, microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela .....	102

## Lista de abreviaturas

AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Aresep	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
ADECA	Asociación de Desarrollo Específica para la Conservación del Ambiente
AECOGUPA	Asociación Ecológica de Guatuso y Patarrá
DA	Dirección de Agua
CGR	Contraloría General de la República
CIAMA	Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CAA	Canon por Aprovechamiento del Agua
CONIMBOCO	Comisión para el manejo integrado del Acuífero Nimboyores y Acuíferos Costeros de Santa Cruz de Guanacaste
COMCURE	Comisión para el Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Reventazón
CNE	Comisión Nacional de Emergencias
CNFL	Compañía Nacional de Fuerza y Luz
CAANSIA	Comisión Ambiental Altos de Naranjo San Isidro de Atenas
CAI	Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica
Fonafifo	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
FUNDECOR	Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
INVU	Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo
IPCC	Panel Intergubernamental del Cambio Climático
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
INCAE	Instituto Centroamericano de Administración de Empresas
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censo
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
UCR	Universidad de Costa Rica
UNA	Universidad Nacional
UNED	Universidad Nacional Estatal a Distancia
UTN	Universidad Técnica Nacional
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
SIG	Sistema de Información Geográfica
SAGA	Sistema de Apoyo y Gestión de Asadas
SITADA	Sistema Integrado de Trámite de Denuncias Ambientales
SETENA	Secretaría Técnica Ambiental
SINIGIRH	Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico
SNIT	Sistema Nacional de Información Territorial
SINIA	Sistema Nacional de Información Ambiental
SE	Servicios Ecosistémicos
SENARA	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento sistémico
PNUD	Programa de Naciones Unidas
PSA	Pago por Servicios Ambientales
GWP	Global Waterpartnership





UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

SEP Sistema de  
Estudios de Posgrado

**Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.**

Yo, Maureen Arguedas Marín, con cédula de identidad 11304025, en mi condición de autor del TFG titulado Propuesta metodológica para identificar sitios prioritarios para restaurar ecosistemas con fines de protección del recurso hídrico: estudio de caso de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI  NO  \*

\*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: \_\_\_\_\_ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

**FIRMA ESTUDIANTE**

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

# Capítulo 1. Introducción

## i. Introducción al tema

El recurso hídrico no sólo es necesario para sostener la vida en el planeta, también es un insumo para diferentes actividades humanas; su óptima utilización es de gran importancia para el desarrollo económico de la población. Por ejemplo, la producción agrícola está asociada a regímenes hídricos específicos, cuyas variaciones afectan la calidad y cantidad de la producción.

En Costa Rica existe una normativa jurídica que define la institucionalidad del recurso hídrico asignando las competencias en la materia, con roles de rectoría, de regulación o fiscalización y de gestión. Además de las leyes, decretos, estrategias y otros instrumentos de regulación, la Sala Constitucional ha generado varias resoluciones en las que se reconoce la relevancia constitucional de la protección del recurso hídrico y acceso al agua, como derivados del derecho a la vida y al ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

A pesar de la institucionalidad y de la reconocida importancia del recurso hídrico, este se encuentra amenazado por distintos factores, entre ellos la contaminación de las fuentes superficiales y subterráneas con agroquímicos, aguas negras sin tratamiento, expansión urbana sin planificación, entre otros. Adicionalmente, los efectos del calentamiento global antropogénico vendrían a aumentar y/o disminuir la precipitación, así como a generar cambios en los patrones estacionales, afectando, entre otros, a la producción agrícola, la generación de energía hidroeléctrica y la provisión de agua potable. El agua, en condiciones de deterioro, reduce el número de fuentes utilizables, eleva los costos para el abastecimiento del recurso, favorece la proliferación de enfermedades de transmisión hídrica y pone en peligro el equilibrio de los ecosistemas.

En Costa Rica, las responsabilidades sobre el recurso hídrico se encuentran divididas en varias instituciones y ministerios, en donde cada una interviene con distintos roles y funciones que en ocasiones se traslapan y complementan causando desarticulación y descoordinación del sector. En 2004, se contabilizaron más de 20 instituciones relacionadas con la gestión del agua (Segura 2004).

Ante la situación expresada anteriormente se hace necesario la articulación y el trabajo conjunto entre instituciones, pues la realización de acciones conjuntas contribuiría a optimizar esfuerzos y recursos, y así lograr mayor impacto en las intervenciones. Es por lo que se propone una metodología que utilice aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permitan identificar sitios dentro de las

cuenas hidrográficas en los que sería prioritaria la realización de acciones que contribuyan a la protección del recurso hídrico.

## **ii. Justificación**

Dentro de una visión sistémica del territorio, el agua es un elemento transversal, porque: i) está presente en todas las actividades de producción y reproducción social, ii) tiene una función básica en los sistemas naturales, y iii) tiene un valor simbólico y cultural en los territorios. Cualquier actividad, aunque no tenga un objetivo hidráulico directo, influye sobre su generación y circulación (Del Moral 2008). Por lo que un correcto abordaje del tema de recurso hídrico debe incluir a los distintos actores, así como los elementos económicos, sociales y naturales que interactúan en el territorio.

La calidad y cantidad de agua que brindan las fuentes está relacionada a las características y la condición de los ecosistemas, así como su nivel de protección, pues un ecosistema funcional provee las condiciones idóneas para garantizar en el presente y a futuro el mantenimiento de dichos servicios ecosistémicos (SE) (Alpizar *et al* 2008). Las condiciones adecuadas del medio permiten el funcionamiento apropiado de los subsistemas de una cuenca hidrográfica, donde la interrelación de variables climáticas, morfológicas, biológicas, sociales, económicas, culturales y políticas, entre otras favorecen la disponibilidad del recurso hídrico para los distintos usos (Cotler 2009). El paisaje contiene múltiples SE relacionados de forma compleja y dinámica, por lo que aislar un tipo de SE podría propiciar alguna omisión sobre el carácter integrador del agua. El ser humano depende significativamente de las funciones del ecosistema. Sin embargo, no todas las funciones ecosistémicas revisten un interés especial para la sociedad, algunas incluso son desconocidas tanto en su existencia como su papel de mantenimiento del funcionamiento del medio.

En este caso, no se hace distinción sobre los diferentes tipos de SE asociados al recurso hídrico. El enfoque es hacia la protección del recurso hídrico, por medio de la identificación de áreas, en donde es prioritario realizar acciones de protección o disminución de las amenazas hacia los ecosistemas.

En Costa Rica, a partir del 2002, mediante el Decreto Ejecutivo N° 30480-MINAE (2002), se establece que *la gestión del recurso hídrico debe ser integrada, descentralizada y participativa partiendo de la cuenca hidrográfica como unidad de planificación y gestión*. Las cuencas hidrográficas son consideradas como una excelente forma de hacer planificación y gestión territorial porque son áreas que se conforman de manera natural y lo que pasa en la parte alta de la cuenca impacta la parte media y baja. Por lo tanto, una buena gestión de los recursos naturales en la parte alta de la cuenca tendrá un impacto positivo en todo el

territorio que la conforma, haciendo que los esfuerzos sean más visibles y satisfactorios (Estado del Ambiente Costarricense, 2018). Sin embargo, en la realidad la aplicación de este enfoque se dificulta, ya que los límites de las cuencas hidrográficas son naturales, por lo que difícilmente respetan los límites administrativos como las Provincias o los Cantones; una cuenca puede formar parte de una, dos, tres, cuatro y hasta cinco provincias.

En el país han existido esfuerzos por lograr una gestión integrada del recurso hídrico con un enfoque de cuencas hidrográficas, en las que participen las distintas instituciones y municipalidades presentes en el territorio. Sin embargo, a la fecha la única autoridad de cuenca establecida por ley es la Comisión para el Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Reventazón (COMCURE).

En Costa Rica existen más de 20 instituciones gubernamentales, con competencia en el tema hídrico. Sin embargo, no se encuentran regionalizadas ni su estructura administrativa se ha establecido en función de la cuenca hidrográfica como unidad de planificación (Aguilar *et al* 2009). Además, el marco normativo que regula el tema hídrico está compuesto 275 leyes, según análisis del periodo 1942-2015 (Betrano 2016), este amplio marco legal ha propiciado dificultades para la planificación y toma de decisiones con respecto al recurso (Cedarena 2000). Adicionalmente, la sala constitucional ha emitido votos en los que señala que el ordenamiento territorial, y las decisiones en materia de planificación urbana, deben necesariamente considerar la variable hídrica (votos 2004-1923 y 2012-8892).

La Contraloría General de la República (CGR) ha consignado en informes de auditoría que la existencia de múltiples instancias con injerencia y competencias imposibilitan una gestión integrada y eficiente del agua, siendo la duplicidad de competencias y el ejercicio sectorial un problema de gobernabilidad del recurso que dificultan esa gestión integrada. En el Informe de la CGR DFOE-PGA-42-2007 sobre la evaluación de la aplicación de políticas y normativa en materia de recursos hídricos por el Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE), se consignó: *“en materia de recursos hídricos el esquema actual se caracteriza por tener una rectoría poco clara y fragmentada, que desde el punto de vista funcional otorga a una gran cantidad de instituciones, competencias en la administración, protección, manejo y aprovechamiento de los recursos hídricos, causando así la desarticulación y descoordinación del sector”*. *“El marco legal relativo al recurso hídrico en Costa Rica es disperso. La dispersión del marco legal ha creado vacíos e incongruencias en los mandatos relacionados con el agua”*.

La Sala Constitucional de la Corte Suprema de Justicia, en su voto No 04-001923, señala lo siguiente: *“En nuestro sistema jurídico no existe un único cuerpo normativo sistemático y coherente que regule de forma*

*global la protección, extracción, uso, gestión y administración eficiente de los recursos hídricos. Adicionalmente, la legislación existente se centra, preponderantemente, en las aguas superficiales, obviando a las subterráneas. Como es propio y consustancial al Derecho Administrativo, se puede constatar en esta materia una dispersión normativa y un conjunto fragmentado, caótico y ambiguo de normas sectoriales que regulan aspectos puntuales, quedando serias lagunas y antinomias, todo lo cual también dificulta, seriamente, la gestión ambiental por parte de los entes públicos encargados de la materia”.*

El Informe de la CGR DFOE-AE-IF-01-2013 indica que es fundamental que las acciones del Estado se orienten a garantizar la sostenibilidad en la asignación, uso y retorno del agua a sus sistemas naturales, y de esta manera asegurar la calidad del agua en sus diferentes usos a las actuales y futuras generaciones. Lo anterior, por cuanto el agua, en condiciones de deterioro, reduce el número de fuentes utilizables, eleva los costos para el abastecimiento del recurso, favorece la proliferación de enfermedades de transmisión hídrica y pone en peligro el equilibrio de los ecosistemas.

A nivel nacional existen organizaciones gubernamentales y no gubernamentales destinando recursos y esfuerzos en la ejecución de proyectos y realización de instrumentos que contribuyan a la gestión del recurso hídrico, como por ejemplo: Metodología tarifaria para la protección del recurso hídrico (Aresep 2018), “Metodología para la delimitación digital las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyos” (INVU), Fondo Agua-Tica : una alianza público-privada para la conservación del recurso hídrico(FUNDECOR 2018), entre otros.

Determinar la distribución espacial de los servicios ecosistémicos en el territorio es un insumo importante para la toma de decisiones en el manejo de recursos naturales (Crossman *et al* 2013). En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), sus aplicaciones y las técnicas de análisis espacial, como por ejemplo el análisis multicriterio, son herramientas que contribuyen a simplificar el análisis de la información territorial respecto a los atributos que componen el espacio geográfico (De Groot *et al* 2002). Dada su utilidad, estas herramientas han consolidado su posición en la gestión pública de recursos naturales (Brown *et al* 2012), siendo las mismas aplicadas en distintos países y contextos (Benegas *et al* 2009; Gonzaga *et al* 2018; Sánchez *et al* 2004; Conti *et al* 2010, entre otros).

El desarrollo teórico y práctico de mapas de zonas prioritarias puede ser de gran utilidad para la implementación de estrategias, la elaboración de un plan de manejo sostenible del recurso hídrico y luego, la toma de decisiones, sobre todo cuando no existen los datos necesarios para elaborar estudios detallados

sobre el aprovechamiento total del agua subterránea y agua superficial, así como la vulnerabilidad cuantificada de este recurso (Birkel 2007).

La situación expuesta está relacionada a la vulnerabilidad y presión sobre el recurso hídrico, así como la cantidad de normativa legal e instituciones tanto gubernamentales como no gubernamentales realizando acciones y ejecutando proyectos relacionados al recurso hídrico, esto visibiliza la necesidad de desarrollar herramientas que visibilicen la situación y que faciliten la articulación entre instituciones y la implementación de acciones conjuntas con el fin de optimizar esfuerzos y recursos, y lograr mayor impacto en las intervenciones. Es por lo que se propone una metodología que permita identificar sitios en los que es prioritario la realización de acciones para la protección del recurso hídrico. Se espera que esta metodología apoye el proceso de toma de decisiones de las instituciones gubernamentales y no gubernamentales, y facilite la coordinación de acciones conjuntas, para que desde sus competencias se realicen intervenciones, y estas generen los resultados esperados de restauración y conservación de los ecosistemas que contribuyen a la generación del servicio ecosistémico hídrico.

Planificar intervenciones para proteger, restaurar o conservar los ecosistemas requiere identificar inicialmente ¿dónde actuar primero? una posible respuesta sería centrarse en las áreas con mayor riesgo de degradación y que produzca los mayores beneficios ambientales (Echeverría *et al* 2010). Otra posible respuesta es considerar un grupo de criterios que incluya las necesidades de las comunidades, el criterio técnico de expertos y criterios “políticos”, es decir aspectos incluidos en estrategias de conservación o políticas nacionales (Geneletti *et al* 2011).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) combinados con técnicas de evaluación multicriterio representan una importante herramienta para procesos de planificación y priorización. De hecho, es uno de los métodos utilizados para la determinación de áreas prioritarias, siendo una herramienta de apoyo para la descripción, evaluación, ordenación, jerarquización y selección de alternativas (Gómez y Barredo 2005).

### **iii. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Diseñar una metodología para identificar espacialmente sitios prioritarios dentro de la microcuenca del río Cacao a través de una aplicación SIG para restaurar ecosistemas con fines de protección del recurso hídrico en función de un conjunto de indicadores.

### 3.2 Objetivos específicos

1. Definir un conjunto de indicadores y su nivel de importancia (peso) para priorizar los sitios dentro de la microcuenca del río Cacao en los que se requiere restaurar para proteger el recurso hídrico.
2. Identificar los sitios dentro de la microcuenca del río Cacao para restaurar ecosistemas con fines de protección del recurso hídrico por medio de un modelo que combine los indicadores previamente definidos, con su respectiva ponderación, y haciendo uso de aplicaciones SIG.
3. Elaborar una propuesta metodológica basada en indicadores que permita identificar dentro de una microcuenca los sitios prioritarios para la protección del recurso hídrico a través de una aplicación SIG.

#### iv. El problema de investigación

Costa Rica cuenta con una gran oferta de recursos hídricos, la cual se ve representada por la cantidad de lluvia (entre 1.300 y 7.500 mm/año) y la amplia red hídrica distribuida en la vertiente del Caribe y del Pacífico (Vargas *et al* 2016), y en sus 34 cuencas hidrográficas (SINIGIRH<sup>1</sup>). La disponibilidad de agua por habitante es de 31.300 m<sup>3</sup>/persona/año, dato muy superior comparado con países como Estados Unidos y México en donde la disponibilidad de agua por habitante corresponde a 9.000 y 3.500 m<sup>3</sup>/persona/año, respectivamente (Valverde 2013). Esta riqueza hídrica ha permitido que el país alcance buenos índices en términos de provisión de agua potable. Para el año 2009, el 98% de la población nacional contaba con servicio de agua para consumo humano y el 91,8% de los hogares contaba con agua potable por medio de cañería intradomiciliaria, y solo un 0.5% de estos aún no tienen suministro por tubería (Astorga 2010). Cabe destacar que no toda el agua disponible es aprovechable, una parte se infiltra, alguna se contamina al tocar el suelo y otra llega al mar (Echeverría y Cantillo 2013).

La legislación nacional define al agua como un recurso de dominio público cuyo aprovechamiento y conservación son de interés social (Ley Orgánica del Ambiente, art. 50) y un bien esencial para la vida (Constitución Política de Costa Rica, art 50). Para garantizar la conservación y el uso sostenible del recurso hídrico, la legislación ha establecido la obligación de aplicar criterios de protección, conservación y recuperación en actividades de uso y explotación del agua (Ley Orgánica del Ambiente, art 50-52).

---

<sup>1</sup> <https://mapas.da.go.cr/>

Para el año 2000 Costa Rica contaba con 115 leyes y decretos ejecutivos relacionados con la gestión del recurso hídrico (Aguilar *et al* 2001), para el 2015 se reportaron 275 leyes (Betrano 2016) y al 2004, se contabilizaron más de 20 instituciones relacionadas con la gestión del agua (Segura 2004). Algunos instrumentos políticos o legales elaborados en el periodo 2008-2020 son: el Decreto Ejecutivo 35668-MINAET, donde se crea la Dirección de Aguas y se establecen sus funciones como ente rector de los recursos hídricos, el Plan Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos (2008) y la Política Hídrica Nacional (2009). Decreto Ejecutivo N° 41058 Constitución del Mecanismo Nacional de Gobernanza del Agua (2018), Política Nacional de Gestión del Riesgo (2015), Ríos Limpios, Estrategia Nacional para la Recuperación de Cuencas Urbanas 2020-2030, y la Política Nacional de Áreas de Protección de Ríos, Quebradas, Arroyos y Nacientes (2020). También, en la Asamblea Legislativa se han analizado varias propuestas para actualizar la Ley de Aguas.

Las responsabilidades sobre el recurso hídrico se encuentran divididas en varias instituciones y ministerios, en donde cada una interviene con distintos roles y funciones que en ocasiones se traslapan y complementan causando desarticulación y descoordinación del sector (Cedarena 2000).

El Estado del Ambiente Costarricense (2018) reportó que existe una gran deficiencia en información relevante a los recursos hídricos, resultado de su dispersión en diversas instituciones y por la falta de mecanismos de integración. Con el fin de subsanar esta situación se creó el Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SINIGIRH)<sup>2</sup> con el fin de facilitar el acceso e intercambio de información entre las instituciones, y facilitar la toma de decisiones.

A pesar del amplio marco jurídico en torno al recurso hídrico, el mismo se encuentra amenazado por varios factores, entre ellos, la lixiviación de sustancias contaminantes (como agroquímicos y nitratos) desde tanques sépticos, zonas de cultivo y zonas industriales, en varias zonas del país (Estado del Ambiente costarricense 2018). También se reportan otros factores como, el crecimiento urbano desregulado en áreas de recarga hídrica (Estado de la Nación 2009), el mal uso de suelos y la falta de una gestión integrada interinstitucional y multidisciplinaria de manejo de cuencas hidrográficas (Valverde 2013).

Una de las fuentes de contaminación de los cuerpos de aguas de Costa Rica es la descarga de aguas residuales y negras sin tratamiento. Para el 2013, sólo un 4% del total de las aguas residuales del país eran tratadas antes de ir a los ríos (Estado de la Nación, 2013). Para el 2016, un 76,4 % de la población utilizaba

---

<sup>2</sup> Enlace al visor del SINIGIRH. <https://mapas.da.go.cr/>



tanques sépticos y únicamente un 21,4 % tuvo cobertura de alcantarillado sanitario (AyA, MINAE y Ministerio de Salud 2016), lo que significa una amenaza a la calidad del agua subterránea en todo el país (Madrigal-Solís *et al* 2020).

Otra de las fuentes de contaminación, es el uso intensivo de agrotóxicos; Costa Rica importa anualmente alrededor de 12 millones de kilogramos de agrotóxicos incluyendo insecticidas, nematocidas, herbicidas, fungicidas y fumigantes. (Foro Conflictos Hídricos en Costa Rica 2011), la utilización inadecuada, aplicaciones innecesarias, así como el sobreuso de estas sustancias repercute en la contaminación de fuentes de agua. Existen reportados casos de contaminación de mantos acuíferos con residuos de bromacil en las comunidades de La Francia, Luisiana y El Cairo en Siquirres de Limón (Rojas 2016).

En Costa Rica, de las 34 cuencas hidrográficas (SINIGIRH), 10 presentan déficit de agua al menos tres veces al año, siendo los casos más críticos las cuencas de Lago Arenal, Tempisque-Bebedero, Península de Nicoya y Grande de Tárcoles (Estado del Ambiente costarricense, 2018). Esta situación se podría intensificar ante los efectos del cambio y la variabilidad climática, que provocan modificaciones del régimen de lluvias, incluyendo su cantidad y distribución en el tiempo, variando la frecuencia de inundaciones y sequías, lo que afecta la calidad de agua al exacerbar muchas formas de contaminación (por ejemplo, sedimentos, nutrientes, carbono orgánico disuelto) (IPCC 2008).

La relación entre los recursos hídricos y el desarrollo humano es fuerte. Los efectos del cambio y la variabilidad climática no serán igual para todos los individuos, pues hay sectores de la población que serán más vulnerables que otros ante una amenaza, dependiendo de varios factores, entre ellos sus características socioeconómicas. Es por lo que las acciones estatales deberían estar orientadas a reducir la vulnerabilidad y a aumentar la capacidad de adaptación de los distintos sectores. Es por lo que es de utilidad identificar los sitios del país con mayor vulnerabilidad para invertir allí recursos (Echeverría 2011).

## **v. Alcance del proyecto**

Se propone una metodología de priorización de sitios para restauración con fines de protección del recurso hídrico. La metodología es de carácter exploratorio; incluye indicadores espaciales, relativamente sencillos de generar u obtener.

Los indicadores utilizados pueden ser considerados “*sombrilla*” pues buscan resguardar condiciones determinantes en los procesos hidrológicos que ocurren en una cuenca hidrográfica, y que a su vez

favorecen la provisión de servicios ecosistémicos de los cuales se benefician todos los componentes de la naturaleza (flora, fauna, seres humanos).

Los resultados de la priorización pueden ser considerados un insumo para la planificación de intervenciones y/o realizar coordinaciones interinstitucionales para proteger los ecosistemas que influyen en la protección del recurso hídrico, en términos de cantidad, calidad y permanencia. Las recomendaciones son a nivel de paisaje, y la escala de trabajo es una microcuenca.

## vi. Limitaciones

### • Datos e información

**Densidad poblacional.** Se generó una capa de densidad por distrito, lo ideal es utilizar las unidades mínimas censales, para tener una mayor variabilidad en la distribución de la población dentro de la microcuenca, y que por lo tanto permitiera identificar espacialmente sitios de alta presión sobre el recurso hídrico. En este caso se decidió no utilizar este indicador debido al alto costo de los datos por unidades censales.

**Nacientes.** Se utilizó una capa de nacientes proporcionada por la Municipalidad de Atenas. No fue posible verificarlas en campo. La capa fue contrastada con otras capas (Arias 2012 y AyA 2022) y se observó concordancia en la ubicación de estas.

**Actores clave.** No fue posible entrevistar a algunos representantes de instituciones con presencia en el área de estudio, pese a que se realizaron intentos de contactarlos.

**Sectores clave.** No fue posible obtener datos agropecuarios para caracterizar y estudiar el sector agropecuario. Cierta información clave permite brindar recomendaciones acordes a la realidad del sitio, por ejemplo: conocer sobre el uso de agroquímicos cultivos, técnicas de conservación de suelos, datos sobre prácticas silviculturales aplicadas a la producción del café.

**Indicadores relacionados a calidad del agua.** El estudio no consideró algunos factores que atentan con la sostenibilidad del recurso hídrico. Debido a limitaciones de tiempo y presupuesto, por ejemplo, análisis de calidad de agua de cuerpos superficiales, en ciertos puntos de muestreo. No se analizó el tema de aguas servidas y puntos de alta incidencia de residuos sólidos.

**Denuncias ambientales:** se intentó incluir el dato de denuncias ambientales por lo que se realizó la solicitud correspondiente. Sin embargo, no se recibieron los datos.

## Capítulo 2. Marco teórico

### i. Ciclo hidrológico

La Ley Orgánica del Ambiente de Costa Rica indica que “*para la conservación y uso sostenible del agua se debe considerar los ecosistemas acuáticos y los elementos que intervienen en el ciclo hidrológico*” (art. 51).

El **ciclo hidrológico** es el proceso dinámico que experimenta el agua en sus distintos estados (sólido, líquido y gaseoso) y formas (agua superficial o agua subterránea); la descripción de este proceso puede iniciar en cualquier punto, no tiene principio ni fin (Villón 2004). El agua contenida en los cuerpos de agua se evapora por acción de la temperatura, este vapor asciende a la atmósfera y por medio de diferentes mecanismos de enfriamiento se condensa y forma nubes que posteriormente precipitan (Villón, 2004). El agua llega a la tierra y cuerpos de agua por medio de la precipitación (Carvajal-Vanegas y Calvo-Alvarado, 2012). Una parte de la precipitación se evapora antes de llegar al suelo y regresa a la atmósfera, lo mismo sucede con el agua que es interceptada por la vegetación. Por otra parte, la precipitación que llega a la superficie puede tomar varias vías, regresa a la atmósfera por medio de evaporación, puede quedar retenida en el suelo por infiltración, convertirse en agua subterránea o puede escurrir superficialmente y recargar los mantos acuíferos (Maderey y Jiménez, 2005; Chang, 2012; Schulz y García, 2015).

El ciclo hidrológico se compone de los siguientes cinco elementos:

- I. **Precipitación:** corresponde a la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, sus mediciones y análisis forman el punto de partida de los estudios concerniente al uso y control del agua (Villón 2004). No toda el agua precipitada llega a la superficie de forma directa, hay una parte que es interceptada por las plantas, copas de los árboles (Tobón 2009).
- II. **Evapotranspiración:** es el resultado del proceso en donde el agua cambia de estado líquido a gaseoso (evaporación) y a través de la actividad metabólica de las plantas y animales (transpiración). Esta humedad es transferida de regreso a la atmósfera en forma de vapor. La suma de la evaporación y de la transpiración, es mayor cuanto más densa sea la cobertura de vegetación por unidad de área (Mora y Valverde 2005).
- III. **Infiltración y percolación:** la infiltración es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra; mientras que percolación es el movimiento del agua

dentro del suelo, ambos fenómenos, están ligados puesto que, la primera no puede continuar sino cuando tiene lugar la segunda (Chereque 1996).

- IV. **Escorrentía:** el escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (Villón 2004).
- V. **Flujo lateral:** es el agua que se mueve por debajo de la superficie del suelo y sobre el nivel de los acuíferos, la cual fluye superficialmente y alimenta los canales de drenaje, ríos, lagos. El flujo superficial lateral es calculado simultáneamente con la percolación para el perfil del suelo entre (0-2 m) mediante un modelo de almacenamiento cinético, que usa la ecuación de conservación de la masa con el perfil entero del suelo como el volumen de control (Proaño *et al* 2006).

## ii. Cuenca hidrográfica como unidad de planificación

El MINAE (2012) mediante acuerdo 60-2012 oficializa las Metodologías Hidrogeológicas para la Evaluación del Recurso Hídrico y define cuenca hidrográfica como *un área de superficie delimitada por una divisoria topográfica de aguas, donde todas las aguas drenan a un mismo punto (río, lago, mar). La cuenca como sistema integra diferentes subsistemas (político, económico, biológico, cultural, entre otros) y el agua es el agente integrador de todos los procesos en la misma.*

Según Reglamento a la Ley de Conservación de Suelos N° 7779, una cuenca hidrográfica es: *“es el área geográfica cuyas aguas superficiales vierten a un sistema de desagüe o red hidrológica común, confluyendo a su vez en un cauce mayor, que puede desembocar en un río principal, lago, pantano, marisma, embalse o directamente en el mar. Está delimitada por la línea divisoria de aguas y puede constituir una unidad para la planificación integral del desarrollo socioeconómico y la utilización y conservación de los recursos agua, suelo, flora y fauna”.*

La Política Hídrica Nacional (2009) reconoce a las cuencas hidrográficas como la unidad básica territorial de planificación y gestión. Por lo que todo plan, programa, proyecto y actividad, público o privado se utilizará la cuenca, subcuenca o microcuenca hidrográfica como unidad de planificación sectorial, esto con el fin de propiciar el uso y manejo adecuado del suelo (Reglamento a la Ley de Conservación de Suelos N° 7779; art 71).

Las cuencas hidrográficas se pueden subdividir, por lo general, en tres partes: cuenca alta, media y baja. Cada una de ellas tiene sus propias características; por ejemplo, en la cuenca alta se localizan las pendientes más altas, porque generalmente el terreno es más quebrado. De acuerdo con Jiménez (2007) para definir a la cuenca como unidad de planificación, manejo y gestión de los recursos naturales, lo más importante es identificarla como un sistema, el cual tiene interrelaciones dinámicas en el tiempo y en el espacio de diferentes subsistemas, tales como el social, económico, político, institucional, cultural, productivo, físico, biológico, entre otros.

Bajo un enfoque integral, el concepto de cuenca hidrográfica se refiere a la unidad de gestión territorial definida fundamentalmente por la red de drenaje superficial, en la cual interacciona biofísica y socioeconómicamente el ser humano, los recursos naturales, los ecosistemas y el ambiente, con el agua como recurso que une e integra sistémicamente la cuenca (Jiménez 2007).

Una microcuenca corresponde al área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una subcuenca. Varias microcuencas pueden conformar una subcuenca (MINAE 2012).

### **iii. Antecedentes del Manejo de Cuencas Hidrográficas**

Según la GWP (2013), la gestión del agua en Centroamérica sigue siendo de tipo sectorial, es decir, agua para consumo humano, para riego, para generar hidroelectricidad, entre otras, sin que se coordine con los usuarios y los entes responsables de cada subsector, por lo cual cada sector aprovecha el recurso sin considerar su sostenibilidad integral, lo que incrementa la descoordinación y fragmentación en el uso del agua, además de la sobreexplotación del recurso, generando disminución de los volúmenes de agua para todos los aprovechamientos, y aumento en la contaminación de las fuentes de agua.

Desde la década de los 60, en Costa Rica se han realizado esfuerzos para una gestión del recurso hídrico con una perspectiva de manejo de cuencas. Sin embargo, estos esfuerzos han sido sectorizados, por ejemplo: ICE y SENARA llevaron a cabo estudios hidrológicos de cuencas para resolver problemas puntuales, demandas sectoriales de agua y para el establecimiento de proyectos con énfasis en planificación del recurso hídrico, con fines energéticos y de riego (Alfaro 2016).

Posteriormente, en la década de los 70, el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) incorporó dentro de su gestión el manejo de agua vinculado con el manejo del uso de la tierra, y pretendía implementar proyectos de conservación. En la década de los 80, el MINAE promovió el estudio de varias cuencas, dando

énfasis a los impactos ecológicos resultantes de los proyectos agrícolas, ganaderos, hidroeléctricos y de aprovechamiento del bosque para suministro de agua (Alfaro 2016), esta acción es una de las primeras en realizarse con una visión más integral en cuanto a actividades y sus repercusiones dentro de un mismo sistema.

En el año 1986, Costa Rica dio su adhesión a la Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en manejo de cuencas hidrográficas, y con esto adquirió el compromiso de cumplir con los objetivos de la red, entre ellos el establecimiento de una Red Nacional de Cooperación Técnica en Manejo de Cuencas Hidrográficas. Debido a lo anterior, en el año 2001, bajo el Decreto Ejecutivo N° 29238-MINAE, se estableció la Red Nacional de Cuencas Hidrográficas. Esta red está conformada por actores representantes del sector privado, público, académico y sociedad civil; y tiene como finalidad, aumentar en el país, la capacidad de gestión en manejo de cuencas, con base en la adopción del intercambio de experiencias y conocimientos entre organizaciones mediante la coordinación y el asesoramiento, la presentación de propuestas de lineamientos de políticas en la materia y procurando la utilización de sus propios recursos técnicos. El artículo 3 del Decreto establece 13 funciones de la Red (Anexo 1), entre ellas: brindar lineamientos de políticas en el marco del manejo de las cuencas hidrográficas e identificar las necesidades de cooperación conforme con su grado de prioridad.

#### **iv. Gestión de cuencas hidrográficas**

Los términos más comunes utilizados en América Latina, asociados a la Gestión de Cuencas, son los de Manejo de Cuencas y de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). También se ha utilizado el término “cogestión” para enfatizar la corresponsabilidad de diferentes actores (además de los gubernamentales) en el manejo y gestión de cuencas. Tanto “gestión” como “manejo” son términos provienen de traducciones literales de los términos originales en inglés. *Watershed Management*, se tradujo en forma libre como “Manejo” de cuencas, y *Water Resources Management* se tradujo como “Manejo de agua o de recursos hídricos”. Luego a esas traducciones se le fueron incorporando otros calificativos tales como “integral”, “sustentable”, “hidrográficas”, “participativo” lo que no varía el concepto esencial del término. Luego se comenzó a llamar “Gestión Integrada de Recursos Hídricos”, versión actualmente en uso y asociada al concepto de “desarrollo sustentable” o sostenido, es decir un desarrollo equilibrado entre metas sociales, ambientales y económicas (Dourojeanni 2015).

En la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA) celebrada en Dublín en 1992, en donde se definieron los siguientes cuatro principios rectores de la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH):

1. El agua es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medioambiente.
2. El aprovechamiento y la gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.
3. La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua.
4. El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocerle como un bien económico.

De conformidad con los Principios de Río de Janeiro y Dublín, la GIRH es el medio mediante el cual se puede garantizar la sostenibilidad del agua, principio al cual Costa Rica se ha acogido, entendiendo este como el proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.

En Costa Rica, según la Política Hídrica Nacional, la GIRH visualiza al sector como un todo, integrando la gestión del agua como recurso y como servicio, dentro de un marco institucional que permita y facilite dicho propósito. Adicionalmente, dicha política hace mención de que debe existir una integración entre el ciclo hidrológico y el ciclo hidrosocial, con el fin de garantizar una gestión eficiente de la oferta potencial de agua, bajo principios de aprovechamiento sostenible.

Ciclo hidrológico es el sistema en que está inmerso el agua con su circulación en la hidrósfera a través de un proceso que no tiene principio ni fin y los diversos procesos (precipitación –evaporación - transpiración - escurrimiento superficial y subterráneo) que ocurren en forma continua. Mientras que el ciclo hidrosocial es el sistema al que es sometido el agua por el ser humano en todos los procesos productivos y reproductivos, donde deriva el agua en una calidad determinada y la retorna al sistema con otra calidad (Política Hídrica Nacional 2009).

Las distintas definiciones de la GIRH tienen en común que involucran a los sistemas sociales y las acciones no se limitan únicamente a la gestión de los recursos físicos, es por lo que la GIRH implica una mayor

coordinación en el desarrollo y gestión de tierras, aguas superficiales y subterráneas, cuencas fluviales y entornos costeros y marinos adyacentes, e intereses aguas arriba y aguas abajo (Pochat 2008).

La GIRH también requiere de una gobernanza efectiva en una comunidad o sociedad que permita que los procesos, acciones y objetivos relacionados a dicha gestión, se desarrollen con una alta aceptación social y de la forma más eficiente, menos conflictiva y más equitativa posible (Bustamante y Palacios 2005). En donde se definan los intereses sobre el agua desde una visión que incluya a todos los usuarios (públicos, sociales y privados con intereses similares u opuestos) de forma equitativa (Lebel *et al.* 2005).

#### **v. El agua como recurso integrador de la cuenca**

La relación agua-territorio ha sido tema de debate y conflicto, esto debido a la presencia del agua en todas las actividades de producción y reproducción social, con su función básica en los sistemas naturales, independientemente de su abundancia o escasez relativa; con su valor simbólico, cargado de significados culturales e identitarios. Además, cualquier actividad, aunque no tenga un objetivo hidráulico directo, influye sobre la generación y circulación del agua, y está precipita, fluye y se vierte por toda la superficie de la tierra (Moral 2009).

Toda la cuenca hidrográfica se debe manejar de manera integral, como una sola unidad, pues los procesos en las partes altas y zonas de recarga de la cuenca aseguran la precipitación y distribución de agua en las partes medias y bajas debido al flujo unidireccional del agua. Al interior de la cuenca, el agua distribuye insumos primarios (nutrientes, materia orgánica, sedimentos) debidos al desprendimiento y arrastre de partículas y por la actividad sistémica de sus componentes. Este proceso forma el relieve e influye en la formación y distribución de los suelos en las laderas y, por ende, en la distribución de la vegetación y del uso de la tierra. En zonas costeras, el flujo hídrico regula el funcionamiento de ecosistemas complejos como los manglares, arrecifes y pastos marinos, entre otros. El sistema hídrico también refleja un comportamiento acorde al manejo de los recursos agua, suelo y vegetación, así como el efecto de las diferentes actividades antrópicas que afectan su funcionamiento (Campos *et al.* 2005).

#### **vi. Uso, manejo y conservación de suelos**

El uso, manejo y conservación de suelos está regulado mediante la Ley N° 7779 (1998) y su Reglamento N° 29375 (2000). Estos instrumentos tienen como fin proteger, conservar y mejorar los suelos en gestión integrada y sostenible con los demás recursos naturales, mediante el fomento y la planificación ambiental



adecuada; además reconocen la relación agua-suelo, lo cual queda plasmado en varios artículos entre ellos el 44 de la Ley donde se indica *que los propietarios de tierras tienen la obligación de prevenir la degradación de los suelos que pueda ser causada por las aguas, para lo cual deberá aplicar todas las prácticas que aumenten la capacidad de infiltración en sus terrenos o la evacuación de las aguas sobrantes hacia cauces naturales*. Esta obligación se extiende a la de prevenir o impedir la contaminación de acuíferos o capas de aguas subterráneas; y el artículo 2, inciso f *“fomentar la agroecología, como forma de lograr convergencia entre los objetivos de la producción agrícola y la conservación de los recursos suelo y agua”*.

En el artículo 73 del reglamento de dicha Ley se indica que *“Quienes ejerzan actividad en los suelos deberán aplicar todas las prácticas que aumenten la capacidad de infiltración en sus terrenos o la evacuación de las aguas residuales o pluviales hacia los cauces naturales, previniendo la contaminación de acuíferos, aguas superficiales o marítimas, de conformidad con lo dispuesto en el Artículo 44 de la Ley N° 7779, Ley General de Salud y Reglamento de Reuso y Vertido de Aguas residuales Decreto Ejecutivo No. 26042-S-MINAE”*. En el mismo reglamento en los artículos 99 y 100 se indica sobre la obligatoriedad de la persona física o jurídica pública o privada de contribuir, fomentar y ejecutar todas las prácticas, manejo y actividades necesarias para el manejo, conservación y recuperación de suelos, aguas, biodiversidad y cuencas hidrográficas.

### **Capacidad de uso de la tierra:**

Costa Rica cuenta con una metodología oficial de clasificación de tierras, para promover un ordenamiento territorial adecuado a las expectativas del desarrollo nacional, esta metodología fue oficializada mediante el Decreto N° 41960-MAG-MINAE *“Establecimiento de la metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras agroecológicas de Costa Rica”*. La estructura del sistema de clasificación de capacidad de uso de las tierras comprende tres niveles: clases, subclases y unidades de manejo. Se establece esta metodología como complemento en la elaboración de todas las estrategias, políticas, proyectos, programas, planes y ejecución de actividades específicas que se lleven a cabo en el territorio nacional, por instituciones nacionales e internacionales de carácter público o privado.

### **Clases de capacidad de uso**

La clase corresponde al grupo de tierras que presentan condiciones similares en el grado relativo de limitaciones y riesgo de deterioro para su uso en forma sostenible.

Constituyen una subdivisión de las clases de capacidad de uso, que indican el o los factores específicos que limitan su utilización en actividades agropecuarias y forestales. Las clases de capacidad de uso se dividen

en 8 clases, en las cuales se presenta un aumento progresivo de limitaciones para el desarrollo de las actividades agrícolas, pecuarias y forestales. En resumen, las clases I, II y III permiten el desarrollo de cualquier actividad incluyendo la producción de cultivos anuales. Las clases IV, V y VI tienen un uso más restringido al desarrollo de cultivos semipermanentes y permanentes. La clase VII tiene limitaciones tan severas que sólo permiten el manejo del bosque natural primario o secundario. En las tierras desnudas debe procurarse el restablecimiento de vegetación natural. La clase VIII está compuesta de terrenos que no permiten ninguna actividad productiva agrícola, pecuaria o forestal, siendo, por tanto, adecuada únicamente para la protección de recursos.

### **Subclase de capacidad de uso**

Las subclases son grupos de tierras dentro de una clase que tienen limitaciones del mismo tipo. Los factores que influyen en la definición de las subclases son: erosión, suelo, drenaje, clima

- **Erosión (e):** Es la pérdida actual o potencial de suelo provocada por la escorrentía superficial y la acción del viento. La erosión actual o sufrida ocurre por malas prácticas de manejo de la tierra y potencial según el grado de inclinación de la pendiente.
- **Suelo (s):** Se refiere a las limitaciones que se presentan, provocadas por uno o varios de los siguientes factores: profundidad efectiva, textura, pedregosidad, fertilidad, toxicidad y salinidad.
- **Drenaje (d):** Agrupa las limitaciones causadas por exceso o deficiencia de humedad en el suelo o por riesgo de inundación.
- **Clima (e):** Son limitaciones debidas a las distintas características climáticas que afectan negativamente el crecimiento de las plantas. Para caracterizar las limitaciones por clima, el sistema emplea las zonas de vida (Holdridge 1982), el período seco, el viento y la neblina.

### **Unidades de manejo**

Las unidades de manejo constituyen una subdivisión de las subclases de capacidad de uso, que indican el o los factores específicos que limitan su utilización en actividades agropecuarias y forestales. Estas tierras son lo suficientemente homogéneas como para requerir sistemas de manejo y conservación similares, que permitan obtener respuestas parecidas de los cultivos desarrollados en estas áreas. La unidad de manejo es un nivel de clasificación muy específico, el cual debe estar correlacionado con el grado de generalización cartográfica del estudio.

## **vii. Restauración de ecosistemas**

Cuando los ecosistemas son degradados se altera su estructura y composición y por ende se reduce la biodiversidad, la productividad y la habitabilidad de estos (Martínez *et al* 2003; Stohlgren *et al* 2008). Lo anterior provoca que los servicios que los ecosistemas proveen a la sociedad se pierdan (Baron *et al* 2002). Una de las características principales de los ecosistemas terrestres degradados es la pérdida del suelo, biodiversidad y la eliminación de la variabilidad genética (Clark 2002; Alanís *et al* 2008; Rands *et al* 2010). Mientras que los ecosistemas acuáticos degradados se caracterizan por sus aguas contaminadas que pocas especies son capaces de tolerar (UICN *et al* 1991; Gálvez 2002).

Los ecosistemas pueden ser perturbados por factores naturales (incendios, huracanes, sequías, inundaciones, invasión de especies) o antropogénicas (contaminación, tala, entre otros). Ante estos factores, poseen la capacidad de recuperarse por sí solos cuando se eliminan o dejan de existir los factores que causan su degradación o las barreras que impiden su regeneración, esta capacidad ocurre en un proceso conocido como restauración pasiva o sucesión natural. Los ecosistemas más degradados, pierden esta capacidad de regenerarse por sí solos, en estos casos requieren de asistencia o intervención humana por medio de un proceso de restauración activa o asistida, lo cual puede incluir, inicialmente, eliminar los factores que impiden la regeneración natural (Vargas 2011).

Iniciar un proceso de restauración requiere conocer previamente algunos factores, por ejemplo: el estado del ecosistema antes y después del disturbio, grado de alteración de la hidrología, geomorfología y suelos, causas por las cuales se generó el daño, estructura, composición y funcionamiento del ecosistema preexistente, información acerca de condiciones ambientales regionales, interrelación de factores de carácter ecológico, cultural e histórico: es decir la relación histórica y actual entre el sistema natural y el sistema socioeconómica, disponibilidad de la biota nativa necesaria para la restauración, los patrones de regeneración, o estados sucesionales de las especies (por ejemplo estrategias reproductivas, mecanismos de dispersión, tasas de crecimiento y otras rasgos de la historia de vida o atributos vitales de la especie), entre otros (Vargas 2011).

La Estrategia Nacional de Restauración de paisajes de Costa Rica (2021) define los siguientes términos:

- **Restauración:** se refiere a las actividades dirigidas a recuperar las características estructurales y funcionales de la diversidad original de un área determinada, con fines de conservación. La restauración se divide en dos grandes rubros, la restauración activa y la restauración pasiva. La primera es un proceso que involucra acciones específicas que estimulan el desarrollo de la sucesión para lograr la restauración de un ecosistema. Mientras que la pasiva, es un conjunto de acciones

que eliminan o modifican los factores que limitan la recuperación natural de un ecosistema y en esta no se involucra el ser humano.

- **Restauración del paisaje:** es el proceso de recuperación de las funciones de los ecosistemas degradados y la inevitable participación social en los paisajes a restaurar. Como objetivo se plantea mejorar los medios de vida de las comunidades inmersas en el paisaje a través de bienes y servicios ecosistémicos que este ofrece. El enfoque de restauración busca desarrollar un paisaje atractivo y saludable para reemplazar al que no lo es, intentando fortalecer la resiliencia y las funciones ambientales, lo cual consiste en la puesta en práctica de un mosaico de técnicas (agroforestales y ecológicas) para fortalecer la capacidad de recuperación de los paisajes.
- **Restauración ecológica:** es el proceso de asistir activamente al restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido, con el fin de devolverlo a las condiciones y funciones lo más cercanas a su estado natural original. Es una actividad deliberada que inicia o acelera un camino ecológico o trayectoria a través del tiempo hacia un estado de referencia (SERI y UICN 2004). El objetivo final de la restauración ecológica es crear un ecosistema autosuficiente, proveedor de bienes y servicios, que sea resistente a la perturbación y no necesite mayor intervención en el futuro (Van Andel 2006 y Urbanske *et al* 1997). La restauración ecológica plantea acciones de manejo de los ecosistemas alterados con el fin de recuperar la biodiversidad (composición), integridad (estructura y función) y la salud ecológica (capacidad de recuperación/resiliencia) lo cual garantiza la continuidad (Bajaña *et al* 2013).

Pequeño-Ledezma *et al* 2016 indica que para realizar restauración ecológica activa se deben cumplir con los siguientes requisitos: i) tener una idea clara porque se necesita la restauración en la zona, ii) disponibilidad de un inventario suficiente de la biodiversidad original del sitio de interés antes de la alteración, iii) disponibilidad de conocimiento suficiente acerca de los ciclos y procesos más importantes del ecosistema, iv) disponibilidad de un conocimiento suficiente sobre las presiones que originaron la alteración; su naturaleza y sus causas, severidad, escala espacial de los impactos, y sus posibilidades de recurrencia y frecuencia, v) disponibilidad de información descriptiva e histórica suficiente de las características sociales, económicas y políticas vinculadas al sitio que se desea restaurar. vi) tener claras las metas y los objetivos del proyecto de restauración. vii) protocolos y herramientas de monitoreo mediante los cuales se puede evaluar el proyecto durante su proceso y una vez finalizado.

- **Rehabilitación:** se refiere a las actividades que tratan de recuperar elementos de estructura o función de un ecosistema, sin necesariamente intentar completar la restauración ecológica a una condición específica previa.

- **Recuperación:** Se refiere al proceso mediante el cual un ecosistema al ser liberado del estrés que lo alteró comienza su proceso de sucesión natural, es decir se fomenta la regeneración natural.
- **Regeneración:** se refiere al proceso mediante el cual un ecosistema que ha sido degradado o disturbado se recupera por sí solo a través de los procesos naturales de silvigenesis. Por su lado, silvigenesis se refiere al proceso mediante el cual se construye naturalmente el bosque, comprende una gama de fenómenos que permiten el establecimiento del bosque o la regeneración del mismo en sus diferentes estados de desarrollo. Es el paso de bosque inestable a bosque maduro, de dinamismo a homeóstasis, en todas sus fases de desarrollo. Es el paso de bosque inestable a bosque maduro, de dinamismo a homeóstasis, en todas sus fases (Oldeman, 1983).

#### **viii. Factores y/o criterios a considerar en los procesos de restauración de ecosistemas**

Según la literatura consultada, los criterios utilizados por diferentes autores en la priorización de áreas para restauración ecológica son similares; usualmente se centran en recuperar el capital natural y evitar una mayor degradación de los ecosistemas. Sin embargo, existen otros factores y/o criterios, que al incluirlos podrían influir positivamente en los procesos de restauración, entre ellos: la inversión económica, los tiempos de actuación, así como de voluntad por parte de instituciones (Vargas 2011), la participación, la colaboración, y el sentido de pertenencia que tengan las comunidades locales sobre el mismo (Vargas 2007).

La selección e identificación de los sitios en donde la restauración es más necesaria y donde se podría mejorar o proveer mayores beneficios a la sociedad está vinculada a las limitaciones presentes principalmente en aspecto económico (Lammerant 2013; Murcia y Guariguata 2014). Las acciones de restauración deben priorizarse y dirigirse hacia metas claras interactuando con aspectos sociales, económicos y ecológicos locales (González 2014) De no ser así, las acciones de restauración podrían no cubrir las metas trazadas en un principio.

Algunos autores recomiendan tener en cuenta en los procesos de priorización contar con conocimiento e información de varias dimensiones y los tipos de áreas adyacentes al área a restaurar, las amenazas o daños potenciales que los sistemas vecinos pueden generar sobre el área, así como los servicios ecosistémicos que provee el ecosistema en cuestión (Clewell 1999; Barrera 2010; Brooks *et al* 2006; Briones *et al* 2009). Además de la significancia, la urgencia o velocidad de avance del problema y la reversibilidad de los efectos que causa el problema de degradación (Sánchez 2000 y González 2014).

### **a) Priorización**

Es importante realizar una zonificación en el área a restaurar, es decir caracterizar con criterios climáticos, geomorfológicos, edáficos y de cobertura (Barrera 2007). La priorización permite identificar por dónde iniciar la restauración del área alterada de tal forma que se neutralice la degradación, se optimicen los recursos y se acelere al máximo el restablecimiento (Barrera *et al* 2010). Una de las preguntas claves es ¿dónde es necesario actuar primero? Dado que los recursos financieros son limitados, la restauración ecológica debería centrarse en áreas donde se podría mejorar y proveer mayores beneficios a la sociedad y/o donde se hace más necesaria (Lammerant 2013). Esta identificación puede ser vista como un problema de planificación en el cual interactúan aspectos sociales, económicos y ecológicos (Echeverría *et al* 2010).

Algunos autores hacen mención que el establecimiento de prioridades ha recibido poca atención en el contexto específico de la restauración ecológica, a pesar de la gran cantidad de publicaciones sobre la planificación sistemática de la conservación, solo un bajo porcentaje está enfocado sobre la priorización de la restauración ecológica (Wilson *et al* 2011; Genaletti 2011).

### **b) Aspectos socioeconómicos**

El factor económico es determinante para la restauración ecológica (Hobbs 2008). Las limitaciones de este factor en muchos de los proyectos de restauración ecológica son el detonante principal para tomar la decisión de priorizar áreas en un ejercicio de restauración.

En los procesos de priorización de áreas para restaurar, en muchos de los casos no toman en cuenta criterios socioeconómicos, esto podría repercutir en que la priorización de estas áreas no esté enfocada en las necesidades que las comunidades locales consideran prioritarias. Los criterios socioeconómicos son claves para la toma de decisiones pues facilitan que se cumpla la trayectoria ecológica deseada (Vargas 2007). En la mayoría de la literatura consultada se reportó el uso de criterios bióticos (Lammerant *et al* 2013). Complementar estos criterios con criterios socioeconómicos propicia el éxito de los proyectos de restauración. González *et al* 2016 indica que los resultados podrían mejorar si se considera la opinión de las personas que habitan en la zona de estudio, ya que ellas conocen mejor las condiciones biofísicas del área y su comportamiento a lo largo del tiempo.

Complementar criterios técnicos con criterios económicos y sociales permiten que se restauren las áreas en que se puede intervenir a partir del nivel de alteración, las limitaciones de tiempo y presupuesto además de

su importancia en el sostenimiento de las comunidades locales, regionales y de la biota en general (Garibello 2003).

### **c) Cambio climático**

Pequeño-Ledezma (2016) indicó que el cambio climático es un factor poco utilizado por los autores dentro de la literatura consultada sobre restauración ecológica. La ocurrencia de eventos extremos como sequía o lluvias intensas, así como el incremento en la frecuencia de días más cálidos son factores importantes por considerar al momento de iniciar procesos de restauración (Reyes y Ríos 2011). Es por lo que es importante generar y/o utilizar proyecciones que permitan modelar el comportamiento de los ecosistemas ante los efectos esperados del cambio climático para el área de estudio.

## **ix. Priorización utilizando información espacial**

Veluk *et al* 2012 sugiere que el buen uso de los mapas de áreas prioritarias y el éxito en la elaboración e implementación de los planes de restauración dependen directamente de la participación de los grupos comunitarios locales y la formación de alianzas estratégicas junto a organizaciones externas y sectores del gobierno. El plan debe reconocer a los habitantes del territorio en estudio y su diversidad sociocultural como elemento clave en el manejo y conservación del paisaje. El plan de restauración deberá comprender la situación de vulnerabilidad socioambiental de las comunidades y sus medios de vida (identificada en el mapeo de áreas prioritarias) y trabajar directamente para apalancar no solo la parte forestal, sino también el desarrollo agrícola y las condiciones productivas familiares.

El análisis de decisión con múltiples criterios espaciales han mostrado ser efectivas herramientas de apoyo en la identificación de áreas prioritarias para la implementación del plan de restauración del paisaje forestal. Esta herramienta posibilita la integración y el análisis geográfico de una gran diversidad y complejidad de información, así como la evaluación de distintos contextos y dinámicas del paisaje. La inclusión de indicadores relacionados con los medios de vida de los pobladores, como presión y vulnerabilidad poblacional, densidad de viviendas permite una mejor percepción de la relación, causa y efecto, entre los habitantes y su territorio, lo que facilitará la toma de futuras decisiones y construcción del plan (Veluk *et al* 2012).

Los territorios se componen de factores biofísicos, socioculturales, económicos, políticos e institucionales, los cuales interactúan entre sí en el espacio y en el tiempo. Esta diversidad de factores sumado a una frecuente limitación de recursos técnicos y financieros ocasiona que muchos programas de conservación,

protección y/o restauración tengan que priorizar sus esfuerzos para traspasar estas barreras y obtener mejores resultados de las intervenciones y el mantenimiento de la funcionalidad de los ecosistemas y los medios de vida. A partir de este contexto, algunos autores señalan la importancia y el potencial del uso de diferentes herramientas SIG de análisis y modelaje espacial (Sayer *et al.* 2003, Lamb 2005 y Pullar y Lamb 2007). Estas herramientas son capaces de estudiar zonas o escenarios de paisajes multifuncionales con una gran cantidad, diversidad y complejidad de información, facilitando así muchas veces la toma de decisión y la inversión óptima de recursos y actividades en diferentes proyectos de restauración.

A través del análisis espacial, los mapas de áreas prioritarias muestran algunos patrones espaciales de uso del suelo directamente relacionados con la dinámica entre los medios de vida y la configuración biofísica del paisaje (Veluk *et al* 2012). Evaluar la configuración espacial y la dependencia entre los medios de vida y recursos biofísicos de un territorio corroboran la idea de que el proceso de restauración del paisaje forestal debe tener un Enfoque Ecosistémico (Shepherd, 2004; Maginnis, Jackson, 2005; de Camino *et al.*, 2010) basado en los distintos usos de suelo de las microcuencas, o sea, trabajando no sólo con el manejo y conservación de la cobertura forestal remanente, sino que también con la cobertura forestal y agroforestal que se pueda recuperar o integrar (Veluk *et al* 2012).

#### **x. Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Gestión de Cuencas Hidrográficas**

Los SIG y sus aplicaciones han sido ampliamente utilizados para la gestión de los recursos naturales, convirtiéndose en una herramienta de utilidad para la toma de decisiones. A través de esta herramienta se puede integrar, unificar y manejar grandes volúmenes de datos geográficos para realizar los análisis espaciales; por medio de procedimientos de análisis se obtienen resultados en forma de tablas o mapas (Moraga 2012). Las herramientas SIG son capaces de estudiar zonas o escenarios de paisajes multifuncionales con una gran cantidad, diversidad y complejidad de información, facilitando así la toma de decisiones y la inversión óptima de recursos (Veluk, 2012).

Algunos ejemplos en los que los SIG y sus aplicaciones se han utilizado para el manejo y gestión de los recursos naturales, son: para el ordenamiento de cuencas (Moraga 2012); el análisis morfométrico de cuencas (Villota 2019); el análisis de inundaciones en cuencas de llanura utilizando datos satelitales, topográficos e hidrológicos y análisis estadístico en un entorno SIG (Bohn *et al* 2018); la identificación de zonas potenciales de recarga y descarga de agua subterránea mediante el uso de SIG y análisis multicriterio (Hernández *et al* 2020), la delimitación de cuencas a partir de modelos digitales de elevación digital (Rojas



2019), el análisis multicriterio en la planificación de una red de monitoreo de calidad de agua en el río Puyango-Ecuador (Gonzaga *et al* 2018), la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí mediante un análisis multicriterio (Sánchez *et al* 2004), el mapeo de servicios ecosistémicos en cuencas forestales del sur de Chile mediante un modelo de análisis espacial multicriterio (Esse *et al* 2014); la identificación de áreas prioritarias de restauración del paisaje forestal en la Mixteca Alta mediante un análisis multicriterio (Uribe 2011), Elaboración de planes de restauración pasiva para la región amazónica Programa Socio Bosque (USAID *et al* 2013), entre otros.

En Costa Rica, el uso de SIG y sus aplicaciones para el ordenamiento territorial de cuencas hidrográficas presenta grandes limitaciones, muchas están relacionadas con la disponibilidad de información georreferenciada. En algunos casos se dispone de geo datos. Sin embargo, estos presentan dificultades al integrar la información biofísica y socioeconómica, debido a que no tienen un estándar geoespacial y carecen de la arquitectura SIG, situación que dificulta la realización del análisis espacial (Moraga 2012).

#### **xi. Metodologías para la priorización de sitios para la conservación y protección de cuencas hidrográficas**

La priorización de áreas utilizando aplicaciones SIG, se ha realizado utilizando distintos enfoques metodológicos. Rodríguez *et al* 2017, realizó la priorización de ecosistemas estratégicos y áreas ambientales de Colombia a través de submodelos SIG. Para ello, primeramente, seleccionó los criterios de priorización de ecosistemas estratégicos, según las siguientes cinco temáticas:

- i. **Restricciones:** se excluyeron áreas urbanas y suburbanas.
- ii. **Áreas de importancia ecosistémica:** se seleccionaron los criterios para el desarrollo de estrategias complementarias de conservación, áreas de importancia ecológica, espacios transformados que contribuyan a la conservación de la biodiversidad y la protección de los recursos, así como áreas de importancia para la provisión de agua.
- iii. **Sector productivo:** se utilizó el criterio de áreas de importancia para la identidad cultural, el desarrollo de actividades recreativas y la provisión de materiales de utilidad en la economía local.
- iv. **Ecosistemas estratégicos:** se seleccionaron los criterios de ecosistemas de especial importancia ecológica y ecosistemas estratégicos y áreas de importancia ambiental declarados por normas de orden nacional.

- v. **Amenazas:** se incluyeron conflictos sectoriales como lo son los títulos mineros y conflictos naturales como lo es la amenaza volcánica de la región.

Posteriormente, se estandarizaron las escalas, se modelaron los procesos, se generaron las clases y los submodelos por criterios y se realizó una matriz de ponderación aplicada a submodelos por criterios. La priorización de ecosistemas y áreas estratégicas se desarrolló teniendo en cuenta la información que agrupa cada una de las 5 temáticas con sus respectivos criterios, realizando, mediante el modelador de procesos “*model builder*” del *software ArcGIS* con la herramienta “*Weighted Overlay*”, sub-modelos para la priorización de información mediante matrices de ponderación. La distribución de cada uno de los valores en la matriz se realizó mediante la asignación de valores en una escala de prioridad de 1-4, dicha asignación fue validada por expertos en el tema.

En la literatura, también se reportaron estudios en donde la priorización se realizó utilizando álgebra de mapas, este procedimiento permite determinar espacialmente los polígonos según su importancia, con ayuda de un SIG. Para la determinación del orden jerárquico se definieron variables o criterios de priorización obtenidos mediante la técnica Delphi aplicada a expertos. Los criterios jerarquizados fueron: i) orden de la cuenca (los órdenes menores fueron los priorizados); ii) coeficiente de rugosidad; iii) grupo hidrológico de suelos (relacionado con la capacidad de infiltración del suelo); iv) formaciones superficiales; v) tiempo de concentración y vi) pendiente (Benegas *et al* 2009).

Chile cuenta con una Guía-Análisis y Zonificación de Cuencas Hidrográficas para el Ordenamiento Territorial (SUBDERE 2013) y está compuesta de 29 indicadores, éstos fueron definidos como resultado de la consulta a 45 expertos en materia de ordenamiento de cuencas hidrográficas; la técnica utilizada se basó en la valoración ponderada del juicio de expertos sobre las diversas temáticas (definidas inicialmente mediante lluvia de ideas) expuestas a debate mediante un sistema de valoración cualitativo expresado en alta, media y baja importancia. Los indicadores se agruparon en cinco componentes: i) hidrológico-físico natural; ii) físico-natural/biótico; iii) sociocultural; iv) técnico-económico; v) político-institucional. La metodología tiene una fase de diagnóstico que busca caracterizar las cuencas para exponer las particularidades a partir de las cuales se pueden diferenciar unas de otras. También tiene una fase de zonificación, que tiene como propósito determinar zonas relativamente homogéneas con el fin de establecer objetivos de ordenamiento territorial y en otra escala gestión a ser manejada con base a su fragilidad, limitantes y potencialidades. SUBDERE 2013 indica que los criterios pueden enriquecerse con base a información adicional disponible, verificando que dicha información y su expresión cartográfica aporte en el sentido y definición del criterio. Las modificaciones por incluir podrían provocar modificaciones en el proceso metodológico.

Pool (2017) desarrolló un análisis para determinar las zonas de importancia hídrica, este se basó en componentes ambientales, los cuales contribuyen a caracterizar algunos aspectos de la reproducción del ciclo hidrológico, usos consuntivos, no consuntivos y la vulnerabilidad, todos ellos se sintetizan en: i) oferta de agua, ii) demanda de agua y iii) vulnerabilidad. Cada uno de los tres componentes mencionados anteriormente están compuestos de variables y son categorizadas en (alto, medio o bajo) según su relevancia diferenciada, dada su relación con el ciclo hidrológico.

Las variables que determinan la oferta son: el índice ombrotérmico, la cobertura vegetal, profundidad del suelo y pendiente. A partir de estas variables se establecen diversas zonas homogéneas, cuyas características permiten agrupar a unidades espaciales de acuerdo con el nivel de oferta de agua. Las variables que determinan la demanda son: i) autorizaciones de uso y aprovechamiento de agua, ii) usos del agua, iii) sumatorio de caudal autorizado por uso y iv) microcuencas. Las variables que describen la vulnerabilidad son: i) uso del suelo, ii) yacimientos petroleros y iii) concesiones mineras. Con los insumos anteriores se establecieron las zonas de importancia hídrica priorizadas, lo cual se realizó haciendo un cruce de matrices de variables, las variables son: i) zonas de importancia hídrica por oferta de agua, ii) zonas de importancia hídrica por demanda de agua y iii) zona de importancia hídrica por vulnerabilidad. Estos cruces dan como resultado 45 combinaciones posibles.

Posteriormente, la priorización se realizó por medio de los siguientes tres pasos: i) selección de las zonas según su oferta hídrica, dándole mayor prioridad a zonas en las que la intercepción y almacenamiento de agua sea mayor, así como aquellas que presentan una mejor regulación de escorrentía. Las zonas con mayor oferta deberán tener una prioridad mayor en cuanto a protección, dado que son garantes de la disponibilidad de agua. ii) Selección de zonas según su demanda hídrica: se les dio mayor prioridad a aquellas zonas en las que la extracción de agua sea mayor. Esto es debido a que existe mayor riesgo de estrés hídrico, en aquellas zonas en las que la demanda sea muy elevada, por tanto, deberán tener una prioridad mayor en cuanto a protección. Por este motivo, se eligieron zonas en las que se haya asignado valores de demanda alta, posteriormente a las que se les haya asignado valores de demanda media y por último a las que se les haya asignado valores de demanda baja. iii) Selección de zonas según su vulnerabilidad del recurso hídrico: se les dio mayor prioridad a aquellas zonas en las que la amenaza por uso del suelo, yacimientos petroleros o concesiones mineras sea mayor. Esto debido a que existe un riesgo de afectación al recurso hídrico, en aquellas zonas en las que la vulnerabilidad sea muy elevada, por lo tanto, deberán tener mayor prioridad en cuanto a protección. Se elegirán las zonas en las que se les haya asignado valores de vulnerabilidad. Finalmente, se identificaron las 45 zonas de importancia hídrica.

En Costa Rica, también se han realizado estudios de priorización de inversiones para la protección del recurso hídrico (por ejemplo: Sánchez *et al* 2004 y Guerrero *et al* 2019). Sánchez *et al* 2004, utilizó un análisis multicriterio para identificar las áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí. Esta cuenca es de gran importancia para el país en cuanto al aprovechamiento de sus recursos hídricos, mismos que son utilizados ampliamente para la generación de energía eléctrica, pesca, vías de navegación y actividades ecoturísticas al mismo tiempo es una cuenca con problemas de deterioro ambiental debido a actividades como: deforestación, fragmentación de bosques, cambio de uso del suelo y aprovechamiento inadecuado del agua. El estudio pretendía dirigir los limitados recursos financieros para fomentar un proceso de planificación del desarrollo de la cuenca. Para llevar a cabo el estudio, se utilizaron criterios propuestos, discutidos y validados con expertos, luego los criterios fueron priorizados y estandarizados para someterlos al análisis multicriterio por medio de un análisis espacial. Las capas de información iniciales correspondían a bases de datos de cada criterio, transformado a formato ráster. Se crearon dos proyectos independientes, uno para la prioridad de áreas de manejo de calidad de agua y otro para la cantidad aprovechable.

Guerrero *et al* 2019 realizaron una priorización de inversiones para la conservación del recurso hídrico en las subcuencas de los ríos Grande y Virilla. El objetivo del estudio fue establecer un portafolio de inversión para implementar acciones de conservación y restauración en dos subcuencas de importancia para el país. Para realizar este estudio, se utilizó el programa Sistema de Optimización de Inversiones (RIOS)<sup>3</sup>. RIOS utiliza datos espaciales y consta de un premódulo para *ArcGIS* y dos módulos principales. RIOS combina variables que se consideran importantes con aquellas que determinan la conservación del recurso hídrico. Algunas de las variables son: i) carácter biofísico (suelos, geología, topografía), información socioeconómica que describe los cambios viables del uso de la tierra, las preferencias de las partes interesadas para llevar a cabo esas actividades y datos económicos asociados con los costos de la implementación, así como proyecciones ecológicas de sus impactos en diferentes partes de la cuenca.

El programa RIOS se alimenta de los siguientes datos espaciales en formato ráster, con una resolución de 30x30 metros: modelo de elevación digital, erosividad, erodabilidad, profundidad del suelo, uso del suelo, tabla de clasificación del suelo y coeficientes del uso del suelo, capa de beneficiarios potenciales del proyecto, precipitación anual, textura del suelo, evapotranspiración, profundidad de raíces en el suelo y capa de ubicación de las cuencas o la de beneficiarios.

---

<sup>3</sup> Rios es un sistema que fue desarrollado por *The Natural Capital Project* y la Universidad de Stanford en conjunto con TNC para trabajar con la estrategia de fondos a nivel global y apoyar la conservación y protección de los sistemas hídricos del planeta (Vogl *et al* 2016).

Posteriormente, se generó el portafolio de inversión basado en un algoritmo matemático que toma en cuenta variables biofísicas del sitio a intervenir, así como el número de años en los que se va a realizar la intervención y el presupuesto destinado por año, así como un costo por cada actividad a realizar, lo cual resulta en un mapa de priorización de actividades en los sitios donde se vaya a obtener el mayor rédito posible por cada dólar invertido. Los servicios ecosistémicos priorizados fueron: i) control de erosión para agua potable, ii) control de erosión para reservorios de agua, iii) recarga acuífera y iv) control y regulación del caudal hidrológico.

A través de consultas se identificó 8 líneas de inversión estratégica: protección de bosque, reforestación, regeneración asistida, educación ambiental, buenas prácticas pecuarias, regeneración natural, sistemas agroforestales y buenas prácticas agrícolas. Debido a que se contaba con una valoración económica (Guerrero *et al* 2019) de estas líneas de inversión se hizo la corrida de RIOS utilizando un monto presupuestado de \$2 millones / año de inversión. Lo anterior permitió identificar las áreas que eran de alta prioridad de acuerdo con cada actividad propuesta, ya que el programa genera un mapa por actividad con valores que van de 0 (áreas menos importantes) a 11,5 (áreas más importantes). Conforme el número sea mayor, así será la importancia de priorizar en esa actividad y en ese lugar específico.

### **Evaluación multicriterio**

Una evaluación multicriterio espacial es un proceso donde los datos geográficos se combinan y se transforman en una decisión; esto implica la entrada de datos, las preferencias del tomador de decisiones y la manipulación de la información usando reglas (Geneletti *et al* 2011). Para ello se requiere una articulación de los objetivos del tomador de decisiones y una identificación de los atributos útiles para indicar el grado con que estos objetivos se logran, además, éstos forman una estructura jerárquica de criterios de evaluación para un problema particular de toma de decisiones (Malczewski 1999).

De manera general el proceso involucra los siguientes componentes: a) meta(s) de la toma de decisiones (interés de grupo) y esfuerzos para lograrla; b) el tomador de decisiones o grupo involucrado en el proceso de la toma de decisiones; c) conjunto de criterios de evaluación en base a los cuales los tomadores de decisión evalúan alternativas; d) el conjunto de alternativas de decisión, que son las decisiones o las variables de acción; e) conjunto de variables no controlables o estados naturales; f) conjunto de resultados o consecuencias asociadas con cada alternativa o par de atributos (González 2014).

La modelación multicriterio se ha utilizado en numerosos estudios de resolución de conflictos ambientales (Lammerant 2013; Malczewski 1999) debido a que estas técnicas permiten integrar de manera sistemática y rigurosa información de cualquier tipo tangible e intangible, dado que los algoritmos en los que se basa

hacen posible considerar en forma participativa y fundamentada cada uno de los factores, procesos y alternativas que son relevantes para alcanzar una meta previamente definida (Lammerant 2013).

Dentro de la modelación multicriterio, se recomienda realizar un Proceso Analítico Jerarquizado (PAJ) (González 2014) el cual consiste en descomponer una situación compleja y no estructurada en sus componentes, ordenarlos en una jerarquía, realizar comparaciones binarias y atribuir valores numéricos a juicios subjetivos, agregando las soluciones parciales en una solución (Barredo 2005). El método PAJ conduce a los tomadores de decisiones a analizar una decisión en partes, iniciando por definir el objetivo principal, los criterios, los subcriterios y finalizando por las alternativas (Barredo 2005). Las fases que comprenden este proceso se describen de manera general en los siguientes dos puntos:

1. Identificación de los criterios de decisión.
2. Estructuración de los factores de una forma jerárquica, descendiendo desde los más generales a los más concretos y conectados nivel a nivel (Barredo 2005).

La estructuración de una jerarquía depende de la cantidad de información con que se cuente, de la visión que se tenga del sistema, y de las respuestas que se deseen obtener. Esto permite tener una visión global de las relaciones complejas existentes en el sistema y ayuda al tomador de decisiones a determinar si los aspectos obtenidos en cada nivel son comparables.

Los datos de biodiversidad y ambientales más utilizados en la priorización de la restauración ecológica dependen de la existencia de la información sobre la zona que se pretende restaurar e incluyen por lo general: especies (presencia, distribución, abundancia), hábitats (presencia, distribución, estado de conservación), geología y suelos, geomorfología, topografía, clima e hidrología (Barredo 2005).

Además de los datos e información sobre los sistemas bióticos y abióticos, un proyecto de priorización de áreas de restauración requerirá de incluir datos socioeconómicos. Estos incluyen una amplia visión de uso social y económico de la tierra, información fiscal y cultural de la zona a restaurar (Poiani *et al* 1998). Cada elemento de la jerarquía se convierte en valores cuantitativos usando la escala diseñada por Saaty (Saaty 1980). Una vez teniendo los mapas de criterios estandarizados, éstos son multiplicados por los pesos de criterios en cada nivel de la jerarquía para obtener los diferentes niveles de prioridad

González *et al* 2016 identificó áreas prioritarias con necesidad de restauración mediante la técnica de **evaluación multicriterio** denominada Proceso Analítico Jerarquizado (PAJ) desarrollado por Saaty (Gómez y Barredo 2005).

### **Proceso analítico jerarquizado (PAJ)**

Este método permite analizar una decisión en partes, iniciando por definir el objetivo principal (jerarquía 1), los criterios (jerarquía 2), los subcriterios (jerarquía 3) y finalizando por las alternativas (jerarquía n), lo que corresponde al primer paso del proceso. Mediante el proceso PAJ se consideraron criterios basados en factores que causan algún tipo de degradación en los ecosistemas los cuáles fueron consensuados por 21 expertos en el tema de restauración mediante una encuesta.

Los criterios seleccionados fueron: clima (precipitación), suelo (textura, profundidad, nivel de erosión, permeabilidad y humedad del suelo), topografía (pendiente), cobertura vegetal (uso del suelo, presencia de vegetación secundaria y vegetación densa) y perturbación (cercanía a caminos y localidades). Una vez jerarquizado el problema se utilizan técnicas de comparación pareada dentro de cada jerarquía, con la finalidad de hacer juicios simples a través de la jerarquía utilizando la escala fundamental y de esta manera llegar a las prioridades globales de dichas alternativas. En un problema de decisión de tipo espacial, las alternativas son representadas en una base de datos SIG, donde cada capa, o mapa, contiene los valores de los atributos asignados a las alternativas y cada alternativa se relaciona con los atributos del nivel superior.

### **Estandarización de criterios**

Dado que los mapas de criterios poseen diferentes escalas de medida, el PAJ requiere que los valores sean transformados a unidades comparables para poder correr el modelo cartográfico (Malczewski 1999).

### **Obtención de los pesos**

La importancia relativa de los subcriterios se obtiene mediante la opinión de expertos en el tema de interés. Los pesos de las matrices construidas por cada experto, así como su consistencia, se calculan con el módulo *Weight* del programa IDRISI Selva. Para determinar la importancia relativa de cada criterio se promediaron los resultados de las matrices que resultaron consistentes. La consistencia es el grado de coherencia lógica entre las comparaciones pareadas y se calculó para asegurar que las respuestas de las matrices fueran lo más objetiva posible, valores de consistencia menores o igual a 0.10 son considerados aceptables (Gómez y Barredo, 2005).

### **Generación del mapa de áreas prioritarias para restauración ecológica**

Se diseñó un modelo cartográfico para crear el mapa de áreas prioritarias para restauración ecológica, esto se implementó con IDRISI Selva mediante el módulo *Macro Modeler*. En el modelo se incluyen

restricciones al objetivo como las zonas urbanas, carreteras pavimentadas, caminos, cuerpos y corrientes de agua. Se crearon mapas booleanos con cada una de las restricciones, en donde a las áreas consideradas restricciones se les asignó el valor de 0 y a las áreas consideradas dentro del análisis se les asignó el valor de 1. Luego, del mapa de áreas prioritarias para restauración ecológica, se eligieron 98 puntos al azar, se consideraron 20 puntos por prioridad de atención para realizar la verificación en campo.

### **Identificación de los sitios de referencia potenciales**

Se realizó clasificación supervisada de dos imágenes de satélite multiespectrales Landsat 5 TM, previo se realizó las correcciones radiométricas, atmosféricas y topográficas, por medio del programa IDRISI Selva. Los sitios de entrenamiento se determinaron en campo, se georeferenciaron 145 puntos de las cuatro clases determinadas (bosque, zonas de uso agropecuario, áreas desprovistas de vegetación y cuerpos de agua). Con los sitios de entrenamiento se generaron las firmas espectrales. La clasificación se ejecutó con el método *Fisher* (discriminación lineal). Se eliminaron los píxeles aislados y se generalizó la imagen clasificada. La validez de la clasificación se realizó mediante una matriz de confusión de la cual se obtuvo la fiabilidad global de la imagen clasificada y el índice Kappa. Luego, se realizó una verificación en campo de 110 puntos de muestreo.

La modelación multicriterio se ha utilizado en numerosos estudios de resolución de conflictos ambientales (Lammerant et 2013; Malczewski 1999) debido a que estas técnicas permiten integrar de manera sistemática y rigurosa información de cualquier tipo tangible e intangible, dado que los algoritmos en los que se basa hacen posible considerar en forma participativa y fundamentada cada uno de los factores, procesos y alternativas que son relevantes para alcanzar una meta previamente definida (FMCN 2009).

Veluk *et al* (2012) aplicó la metodología análisis de decisión con múltiples criterios espaciales, la primera fase consistió en definir las líneas estratégicas espaciales del modelo SIG, según el objetivo central del análisis, las necesidades socioambientales y financieras identificadas en el diagnóstico territorial sobre los medios de vida y la base de datos geográficos disponibles. Las 3 líneas estratégicas definidas fueron:

1. Manejo y conservación de remanentes forestales (consideró solamente los usos de suelo clasificados como “Bosque natural”);
2. Reforestación o regeneración natural en tierras degradadas (análisis aplicado estrictamente a las categorías de uso del suelo “Arbustos – matorrales” y “Pastos naturales y/o yerbazales”);
3. Implementación de sistemas agroforestales (exclusivamente para usos del suelo identificados como “Agricultura”).



Los mapas de indicadores y criterios fueron transformados o unidades o escalas conmensurables. Este ajuste fue realizado a través de la metodología de estandarización “*score range procedure*” donde los criterios e indicadores de beneficio (el valor es directamente proporcional a su importancia: cuanto más alto el valor, más significativo es). La atribución de pesos o valores de importancia a los criterios de evaluación e indicadores espaciales fue realizada de forma independiente para cada línea estratégica, a través de consultas a expertos en el área forestal, en SIG y en la región del estudio.

El método “*pairwise comparison*” desarrollado por Saaty fue utilizado para definir los pesos de los criterios de cada línea estratégica, mientras que el método “*ratio estimation procedure*” fue utilizado en la definición de los pesos de los indicadores espaciales. El cálculo para la identificación de áreas prioritarias de restauración del paisaje forestal según línea estratégica fue realizado a partir de la suma ponderada de los criterios de evaluación, según la ecuación:

$$\text{Línea estratégica } n = \sum [(\text{criterio1} \times \text{Peso}^1), (\text{criterio2} \times \text{Peso}^2), \text{criterio} \times \text{Peso}^n]$$

Cuadro 1. Criterios e indicadores para la identificación de áreas prioritarias de restauración del paisaje forestal según línea estratégica

Líneas estratégicas	Criterios	Indicadores
Mantenimiento y conservación de remanentes forestales (considerando solamente los usos de suelo clasificados como bosque natural)	Calidad del parche	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Tamaño del parche (mayor a 2ha)</b></li> </ul> <p>Parches más grandes poseen mayor importancia no sólo para la conservación de la biodiversidad, sino también para el suministro de los demás bienes y servicios ecosistémicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Forma del parche</b></li> </ul> <p>Cada parche fue evaluado por el índice de dimensión fractal (IDF) propuesto por McGarigal y Marks (1994). Parches menos irregulares y deformes tienden a tener un menor efecto de borde y por lo tanto suelen ser considerados más propicios a la conservación de la biodiversidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Aislamiento del parche</b></li> </ul> <p>Grado de aislamiento de los parches fue calculado a partir de la distancia o trayecto lineal (m) desde el borde del parche de interés hasta el borde del parche vecino más cercano. Se supone que parches más cercanos poseen un mayor valor para la conservación de la biodiversidad.</p>
	Presión poblacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Densidad de viviendas</b></li> </ul> <p>Sirve para estimar la presión que los habitantes ejercen sobre los recursos naturales de la región. Se calculó la densidad de viviendas por km<sup>2</sup>, con un radio de búsqueda de 500m alrededor de cada píxel o celda ráster de salida. Las áreas con mayor densidad representan los sitios que se asumen que ejercen una mayor presión poblacional tiene objetivos y estructura muy semejantes al criterio Presión poblacional.</p>
	Regulación hídrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Protección de zonas ribereñas</b></li> </ul> <p>Estas áreas desempeñan un papel fundamental en la regulación del ciclo hidrológico y conservación de suelos, sino también en la conservación de la vida silvestre, principalmente en la protección de la fauna local ya que funcionan también como</p>

		<p>corredores de hábitats naturales. Para este caso se definió una zona de amortiguamiento de 100 m a cada lado del río y se consideraron solamente las áreas internas al buffer.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Acumulación de escorrentía</b></li> </ul> <p>La porción de precipitación que no se infiltra y discurre libremente sobre la superficie del terreno hasta alcanzar los cursos de agua superficiales es conocida como escorrentía superficial. Las áreas con o sin acumulación de escorrentía fueron calculadas a partir de mapas de pendiente y a través de la herramienta “<i>Hidrology-flow accumulation</i>” del programa ArcGIS 9.2.</p>
	Riesgo a deslizamientos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Pendiente</b></li> </ul> <p>El mapa de relieve fue clasificado en tres categorías, en orden de riesgo, en rangos de pendiente de 0-40% (nulo), 40-65% (mediano) y mayor que 65% (alto).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Proximidad a carreteras</b></li> <li>● Fueron definidas por las zonas de amortiguamiento creadas a 100 m de cada lado de las principales carreteras y caminos de la región.</li> </ul>
Reforestación o regeneración natural en tierras degradadas  Implantación de sistemas agroforestales	Conectividad	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Densidad forestal</b></li> </ul> <p>La conectividad entre los parches de bosque fue calculada a partir de la metodología “densidad de cobertura forestal” (INAB 2005 y Geo tecnológica 2009). Este indicador fue calculado a través del análisis de vecindad forestal por la herramienta “<i>Neighborhood Statistics</i>” del programa ArcGIS. Los rangos de valor de densidad de cobertura forestal y su relación con la conectividad del paisaje fueron definidos como <b>0</b> (conectividad nula), <b>1 a 10</b> (conectividad baja), <b>11 a 20</b> (conectividad media), <b>21 a 30</b> (conectividad alta), <b>31 a 40</b> (zona de bosque de borde) y <b>41 a 49</b> (zona de bosque denso).</p>
	Vulnerabilidad poblacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Densidad de viviendas</b></li> <li>● <b>Riesgo a heladas por elevación</b></li> </ul> <p>Áreas con mayor riesgo a heladas serán consideradas prioritarias a la restauración y la construcción de barreras contra el viento.</p>
	Regulación hídrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Protección de zonas ribereñas</b></li> <li>● <b>Acumulación de escorrentía</b></li> </ul>
	Riesgo a deslizamientos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Pendiente</b></li> <li>● <b>Proximidad a carreteras</b></li> </ul> <p>Fueron definidas por las zonas de amortiguamiento creadas a 100 m de cada lado de las principales carreteras y caminos de la región.</p>

## xii. Zonificación

Según Saborío (2011), las acciones de Manejo de Cuencas Hidrográficas en la región Centroamericana se caracterizan por carecer de herramientas de control que permitan dar seguimiento a las acciones de la gestión que se realizan en estos territorios.

Las instituciones gubernamentales, en la mayoría de los casos, trabajan con recursos económicos y humanos limitados y en ocasiones desde una visión más operativa que estratégica. Es por ello que se hace importante generar metodologías, protocolos, procedimientos, herramientas y/o instrumentos, replicables, que permitan responder ¿cuáles áreas demandan intervención inmediata? ¿Qué actividades implementar para disminuir la problemática identificada? ¿En dónde se pueden articular esfuerzos entre instituciones, según su competencia, para lograr mayor impacto en los resultados propuestos?

Al tener identificados y priorizados los sitios, dentro de una cuenca hidrográfica o subcuenca, que requieren mayor atención en función de la evaluación de ciertos indicadores (ambientales, económicos, productivos, sociales, culturales, entre otros) se facilita la planificación estratégica de acciones que contribuyan a la conservación y restauración del recurso hídrico. Además, se facilitaría la articulación interinstitucional, logrando así que las acciones que normalmente se ejecutan de forma aislada, pueda realizarse de forma conjunta con aliados estratégicos.

En cualquier tipo de cuenca hidrográfica existen los recursos naturales suelo, agua, vegetación, animales; y habitan personas, las cuales hacen intervenciones y desarrollan todas sus actividades productivas o reproductivas (Madrigal Sf).

La conservación y restauración de las cuencas hidrográficas requiere de varios pasos, entre ellos: i) identificar y ubicar en el territorio las alteraciones antropogénicas que han alterado la estructura natural y las funciones del ecosistema o que evitan su restitución a una condición sostenible; ii) conocer y describir el contexto socio económico y productivo de la cuenca (tipo de actores, nivel de organización local, actividades productivas, presencia de instituciones, ordenamiento y planificación existente, demanda por bienes y servicios ambientales, principales problemáticas, conflictos ambientales, entre otras); iii) proponer soluciones según problemáticas identificadas y priorizadas; iv) buscar aliados y/o socios estratégicos para llevar a cabo las soluciones; y finalmente v) implementación de las acciones.

Pozzobon y Gutiérrez (2003), aseguran que es indispensable identificar los sitios dentro de una cuenca donde el dinero que se invierta, las horas de trabajo y el esfuerzo puedan generar el mayor impacto sobre los recursos que se quieran manejar, los autores definen que las áreas prioritarias en una cuenca son aquellas que juegan un papel importante por su impacto para los ecosistemas, la gente o para ambos.

Para zonificar las cuencas hidrográficas y priorizar los sitios en donde establecer las acciones de manejo, conservación y/o restauración se reporta el uso de ciertas herramientas metodológicas como álgebra de mapas y análisis multicriterio (Chávez *et al* 2014). Los criterios a utilizar para desarrollar estas metodologías dependen de varios factores entre ellos, el objetivo del estudio, la disponibilidad de información, las características biofísicas de la cuenca hidrográfica, entre otros. Entre los criterios más comúnmente utilizando se encuentran las siguientes categorías: i) biofísica (erosión, pendiente, presencia de ecosistemas frágiles, por ejemplo humedales), ii) hidrológica (balance hídrico), iii) socioeconómica (conflictos por el agua, potencial agrícola, potencial forestal, ausencia de áreas protegidas), iv) Estado del

ecosistema (contaminación de ríos), y, v) político-institucional (presencia de organizaciones gubernamentales, prioridad del gobierno, instrumentos económicos), entre otras.

Para la priorización de sitios, siempre debe existir un propósito claro (Galindo *et al* 2009). Seguidamente, se definen los criterios e indicadores. Un criterio es la base para tomar una decisión, este debe ser medible y susceptible a evaluar (Martínez y Reyes 2007) y son de carácter biológico, físico, socioeconómico y/o ambiental. También, se debe contemplar cómo se obtendrá la información para cada indicador, y los datos deben ser georreferenciados (Semarnat 2006).

### Capítulo 3. Metodología

Para la realización del presente trabajo se proponen las siguientes nueve fases: i) consulta preliminar a actores claves (expertos en gestión del recurso hídrico); ii) revisión y análisis del cuerpo jurídico; iii) percepción local sobre la gestión del recurso hídrico en la microcuenca, iv) caracterización biofísica y socioeconómica del área de estudio, v) recorrido por la microcuenca, vi) indicadores para la priorización, vii) selección de indicadores y asignación de pesos, viii) álgebra de mapas con pesos respectivos, ix) devolución de resultados a actores locales (Figura 1).



Figura 1. Fases del proceso metodológico

Fuente:elaboración propia

## **i. Consulta preliminar a actores claves**

Se aplicó una entrevista semiestructurada a personas con amplio conocimiento sobre el recurso hídrico a nivel nacional. Estas personas poseen trayectoria y amplio conocimiento en el tema, y se desempeñan profesionalmente, ya sea en instituciones públicas, académicas o no gubernamentales.

El objetivo de las entrevistas semiestructuradas fue conocer la situación general del sector hídrico en Costa Rica, y las principales limitaciones para su gestión; esta información es insumo para la elaboración de propuesta de indicadores (fase cuatro de la Figura 1). Adicionalmente, se recibió retroalimentación sobre la propuesta metodológica, pues previo a cada entrevista se expuso la idea general del proyecto.

La entrevista constó de las siguientes cinco preguntas; las respuestas brindadas por cada persona entrevistada fueron tabuladas en una hoja de Excel para su análisis.

1. ¿Cuál considera que es la principal problemática ambiental en el tema del recurso hídrico en Costa Rica?
2. ¿Cuál considera que es la principal limitante para tener una gestión adecuada del recurso hídrico en Costa Rica?
3. ¿Cómo define una “*cuenca sana*”? ¿Qué elementos/criterios considera debe tener una “*cuenca sana*” o “*funcional ecológicamente*”?
4. ¿Cuál o cuáles considera que son ejemplos de “*cuencas sanas*”?
5. ¿Cuál o cuáles considera que son ejemplos de “*cuencas no sanas*” o cuencas con mayor urgencia de intervención para su conservación y/o restauración?

## **ii. Revisión y análisis del cuerpo jurídico relacionado al recurso hídrico**

Se realizó una revisión exhaustiva del cuerpo jurídico relacionado a seis temas de importancia para el sector hídrico, estos son: i) calidad del agua, ii) cantidad del agua, iii) conservación y uso sostenible del agua y ecosistemas asociados, iv) instrumentos económicos, v) gobernanza del agua y vi) gestión integral del recurso hídrico.

## **iii. Percepción local sobre la gestión del recurso hídrico en la microcuenca del río Cacao**

Según Castro *et al* 2020, existen 43 métodos de análisis de actores, los cuales en su investigación clasificó en las siguientes categorías: i) identificación de actores (15 métodos), ii) diferenciación y categorización de actores (38 métodos) y iii) investigación de relaciones entre actores (15 métodos). Un método puede estar asignado a más de una categoría.

La categoría “identificación de actores” se divide en dos subcategorías: *ex ante* y *ad hoc*. La primera es un enfoque *a priori*, pues las partes interesadas se identifican por adelantado, mientras que, en la segunda, las partes interesadas se van identificando mediante un proceso iterativo (Castro *et al* 2020; Chavalier y Buckles 2006). Ante la presencia de múltiples actores o problemas complejos difícilmente se puede entrevistar a todos los actores, por lo que se recurre a un muestreo, con el fin de hacer viables los procesos de caracterización y análisis.

Se denomina “*actor clave*” a las personas que tienen alguna influencia en el manejo de los recursos naturales, en este caso asociados al agua, dentro de la cuenca o subcuenca en estudio. Algunas características que debe tener estos actores son: algún tipo de liderazgo local, poder de convocatoria de la población, algún rol en la toma de decisiones, algún tipo interés personal o comunal con respecto al agua, representa un medio de comunicación entre los diferentes actores, tiene una actitud hacia el manejo de los recursos naturales, en especial el agua, representa algún sector clave de la población, es propietario(a) de algún recurso natural estratégico (ejemplo: finca con alguna fuente de agua), la persona representa algún grupo organizado de la sociedad civil o de alguna empresa privada; representa a las comunidades ante el gobierno local, estatal o nacional, representa alguna institución u organismo cooperante y/o donante con presencia en el sitio de interés, entre otras (Castro *et al* 2020).

Conocer la percepción de las personas que habitan o interactúan en la cuenca hidrográfica es de gran importancia pues esto influye en el manejo y las decisiones de gestión que se tomen. Al conocer la percepción local es posible visualizar las expectativas, las satisfacciones o los aspectos por mejorar por parte de actores involucrados (Benez *et al* 2010).

En este caso, para conocer la percepción de los actores se tomó en consideración el enfoque de Chavalier y Buckles (2006). Es decir, se identificaron *a priori* algunos actores clave para entrevistar y conforme se fue avanzando con las entrevistas, se fueron incluyendo a otros actores clave, según las sugerencias de las personas entrevistadas. La fase de entrevistas terminará en el momento en que se alcance el punto de saturación, es decir cuando la información comience a repetirse, es decir se utilizará la metodología de “*bola de nieve*” (Goodman 1961).

Los actores clave consultados *a priori* son miembros de grupos base (Asadas, asociación de productores), o funcionarios(as) de instituciones gubernamentales y no gubernamentales con presencia en la zona. A estas personas se les invitó a sugerir a otros actores clave, los cuales fueron contactados hasta alcanzar el punto de saturación. Todas las entrevistas se realizaron de forma virtual o telefónica. Se intentó contar con actores que representen las distintas partes de la cuenca (alta, media o baja), y que estén involucrados en el manejo del recurso hídrico.

Para capturar la percepción local de las personas que habitan la microcuenca se diseñó un protocolo de entrevista semiestructurada organizada en tres variables de interés, de la cual se desprenden 14 temas claves y preguntas orientadoras para cada tema (Cuadro 2 y Anexo 2). Cabe mencionar que según el perfil del actor y el sector y/o grupo que represente dentro de la microcuenca algunas preguntas podrían omitirse. El protocolo de entrevista responde a las siguientes tres variables:

1. Percepción local sobre los cuerpos de agua de la cuenca hidrográfica de interés
2. Actividades económicas dependientes del recurso hídrico
3. Acciones para el manejo y la gestión del recurso hídrico

Dentro de cada una de las tres variables de interés, se presentan elementos clave que ayudan a comprender de mejor manera la dinámica social, ambiental y económica de la cuenca de interés (Cuadro 2). Toda la información obtenida en esta fase se digitó en una hoja de Excel. Posteriormente, se analizó buscando describir ampliamente estas variables.

Cuadro 2. Variable de interés, elemento y preguntas orientadoras consideradas para la realización de entrevistas semiestructuradas realizadas a actores clave de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

<b>Variable de interés/ Pregunta clave</b>	<b>Tema</b>
<b>1. Percepción local sobre los cuerpos de agua de la cuenca</b>  ¿Cómo perciben las personas los cuerpos de agua de la subcuenca/cuenca en que habitan?	1. Concepto/opinión sobre el agua y recurso hídrico
	2. Estado de los cuerpos de agua
	3. Existencia de ecosistemas estratégicos (bosques, humedales, páramo, entre otros)
	4. Presencia de ecosistemas protegidos
	5. Cambios percibidos en los cuerpos de agua
	6. Impulsores de cambio
	7. Soluciones /alternativas para la protección y/o conservación

<b>2. Actividades económicas dependientes del recurso hídrico</b>  ¿Cuál es el principal beneficio que obtienen las personas de los cuerpos de agua de la cuenca?	8. Principales usos del agua
	9. Presencia y desarrollo de actividades humanas
	10. Principal fuente de ingresos de la cuenca hidrográfica
<b>3. Acciones para el manejo y la gestión del recurso hídrico</b>  ¿Las se organizan para gestionar el recurso hídrico?  ¿Existe coordinación interinstitucional para abordar temas relacionados con la gestión del recurso hídrico?	11. Iniciativas locales
	12. Organización local
	13. Apoyo externo/Político
	14. Sistematización de buenas prácticas

#### iv. Caracterización de la microcuenca del río Cacao

En esta fase se caracterizó la microcuenca del río Cacao, para ello se recurrió a información espacial disponible, por ejemplo: modelo de elevación digital, carreteras, infraestructura, cuerpos de agua, cantidad y ubicación de concesiones otorgadas por la Dirección de Agua del MINAE (DA-MINAE), presencia de humedales, presencia de sitios con alguna categoría de manejo, entre otras. También se solicitó al Instituto Meteorológico Nacional (IMN) información climática como precipitación y temperatura (según estaciones meteorológicas cercanas a la microcuenca) y al Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC) datos socioeconómicos. Paralelamente, se realizaron consultas a instituciones con presencia local, por ejemplo, la Municipalidad de Atenas.

#### v. Recorrido por la microcuenca

Se organizó una visita a la microcuenca con el fin de observar el contexto del sitio, así como el uso y estado de los recursos naturales. Durante el recorrido se tomaron fotografías y puntos de GPS de sitios de interés para el estudio.

#### vi. Propuesta de indicadores

Se elaboró una propuesta preliminar de indicadores con potencial a ser utilizados para la priorización de sitios dentro de la microcuenca para la protección del recurso hídrico. La elaboración de esta propuesta de indicadores se realizó considerando tres insumos principales: revisión de literatura, entrevistas a expertos y el análisis del cuerpo jurídico. Cabe destacar que todos los indicadores incluidos en la consulta son espacializables y se cuenta con sus respectivos archivos en formato *shape*.



## **vii. Asignación de pesos**

Se solicitó vía correo electrónico a expertos en la gestión del recurso hídrico y cuencas hidrográficas, asignar pesos para cada indicador propuesto, para ello se envió un archivo de Excel con las temáticas y sus respectivos indicadores, en cada celda los expertos debían poner una calificación entre 0 y 1 según el grado de importancia de los indicadores para priorizar los sitios con fines de protección del recurso hídrico dentro de la microcuenca. 0 refleja poca importancia y 1 mucha importancia.

Una vez realizado el ejercicio los expertos remitieron sus archivos de Excel, estos archivos fueron unificados, colocando para indicador los pesos asignados por los expertos que respondieron la encuesta. Posteriormente, se calculó un promedio para cada indicador, el cual corresponde al peso que se le asignará en el álgebra de mapas.

## **viii. Álgebra de mapas con pesos respectivos**

Cada indicador fue homologado en una escala de 1 a 5 y convertido en ráster, en el caso de los archivos en formato vector. Posteriormente, utilizando la calculadora ráster se realizó la multiplicación de las capas con sus pesos asignados en el paso anterior y finalmente la suma. Dando como resultado al mapa de priorización.

## **ix. Devolución de resultados a actores locales**

La fase de devolución de resultados es de suma importancia en todo proceso participativo. Esto involucra compartir los resultados obtenidos con las personas consultadas y no consultadas, en fases previas, lo cual incluye diversos actores y sectores. En esta fase se sugiere aprovechar espacios existentes, por ejemplo, reunión ordinaria de la Asada, reunión del consejo municipal, entre otros.

La devolución de resultados es un aspecto importante para la construcción social de las posibles medidas a implementar, esto debe hacerse coordinado con los actores locales e idealmente aprovechando espacios de coordinación y comunicación existentes. Además, se debe propiciar el establecimiento de alianzas a distintos niveles.

## Capítulo 4. Resultados y discusión

### i. Consulta preliminar a actores clave sobre la percepción de la gestión del agua en Costa Rica

Se realizó una entrevista semiestructurada, compuesta de cinco preguntas, a 10 personas con amplio conocimiento en la gestión del recurso hídrico (Cuadro 3). Estas entrevistas se realizaron de forma virtual entre diciembre de 2021 y septiembre de 2022. Cada entrevista tomó aproximadamente una hora.

Las respuestas de las personas consultadas se anotaron en una hoja Excel, posteriormente se analizaron en conjunto y se resumieron. Es decir, lo que se presenta es un consolidado de los puntos abordados por los distintos actores.

Cuadro 3. Nombre y perfil de las personas entrevistadas

#	Nombre de la persona	Institución	Perfil profesional
1	Viviana Ramos	AyA	Gestión ambiental
2	Jorge Faustino	CATIE	Especialista en manejo de cuencas y ordenamiento territorial y un doctorado con especialidad en recursos naturales y agricultura
3	Laura Benegas	CATIE	Especialista en Manejo y Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas Programa Cambio Climático y Cuencas
4	Sergio Feoli	CNFL	Proceso de Recursos Naturales y Mejoras de Cuenca
5	Rocio Hartley	UNA	Escuela de Economía
6	Andrés Araya	UTN	Coordinador Subprograma de Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SubGIRH)
7	Mary Ocampo Araya	UNED	Encargada Cátedra Gestión y Conservación de Recursos Naturales
8	Juan Bravo	Ramsar	Investigador jubilado. Universidad Nacional de Costa Rica. Punto focal Nacional del Grupo de Examen Científico y Técnico (GECT)
9	Roberto de la Ossa Thompson	Alianza Nacional Ríos y cuencas de Costa Rica	Miembro y fundador de la Alianza Ríos y Cuencas de Costa Rica
10	Mario Salas	Hidrogeólogo (UCR)	Profesor-investigador de la Universidad de Costa Rica.

#### 1. ¿Cuál considera que es la principal problemática ambiental en el tema del recurso hídrico en Costa Rica?

Sobre las principales problemáticas relacionadas al recurso hídrico las respuestas de las personas consultadas se resumen en seis grandes temas:

- I. Falta de **ordenamiento territorial**: sobre este tema se mencionó que el crecimiento poblacional desordenado ha provocado que exista mucha demanda por agua en zonas donde no hay potencial de abastecimiento, por lo que se generan conflictos entre distintos usos del agua. Para evitar estos conflictos debe haber regulación sobre la cantidad de agua que se debe destinar a cada uso.
- II. **Insuficiente gestión de aguas negras**: algunas personas consultadas mencionaron la falta de tratamiento adecuado de las aguas negras. Más del 80% de las aguas residuales no recibe tratamiento adecuado; además, algunas casas utilizan tanques sépticos, pero se desconoce del mantenimiento que se les da, por lo que no se puede decir que estén cumpliendo su función. Se mencionó sobre la necesidad de recurrir a infraestructura para gestionar las aguas negras, antes de que lleguen a los cuerpos de agua.
- III. **Insuficiente gestión de los desechos sólidos**. Algunas personas entrevistadas mencionaron que en ciertos lugares *“los ríos son utilizados como botaderos”, “las cuencas urbanizadas están completamente contaminadas”*. Mientras que, en las cuencas hidrográficas rurales, se presentan problemas de contaminación por agroquímicos.
- IV. **Conciencia social y gestión**. Se mencionó sobre la importancia de visibilizar y concientizar sobre la importancia y la necesidad de implementar buenas prácticas de uso del suelo.
- V. **Coordinación y gestión interinstitucional**. Se mencionó que se debe procurar que todas las instituciones involucradas en la gestión del agua tengan claro hasta dónde deben llegar, pues esa falta de claridad en ocasiones entorpece el accionar hacia una gestión integral del recurso hídrico. El país tiene varios instrumentos relacionados con agua, pero *“hace falta un ente que nos guíe en un mismo norte”*, y que se defina a nivel país *“una línea de trabajo”*.
- VI. **Involucramiento de los gobiernos locales**. Se recalcó el rol de los gobiernos locales, y la importancia de su involucramiento, pues son un actor importante en la gestión del agua. Las municipalidades fungen como proveedores del servicio, también otorgan permiso de construcción en zonas que tal vez no deberían, y a la vez se ven involucrados en conflictos con otros gobiernos locales *“aguas arriba”* y *“aguas abajo”*.
- VII. **Información (datos y gestión)**. Se indicó la importancia de contar con información para apoyar la toma de decisiones, en ocasiones no hay acceso a datos, por ejemplo: no se cuenta con datos de caudales ni datos climáticos que podrían ser de utilidad para tomar decisiones. También, se recalcó que ciertas instituciones que generan datos, no siempre los comparten.

## 2. ¿Cuál consideran que es la principal limitante para tener una gestión adecuada del recurso hídrico en Costa Rica?

Las personas entrevistadas mencionaron, según su experiencia profesional las limitantes para que se dé una gestión adecuada del recurso hídrico en Costa Rica. Estas limitantes fueron agrupadas, según su similitud en los siguientes seis grupos:

### **I. Instrumentos/cuerpos normativos**

Varias de las personas entrevistadas mencionaron sobre el aspecto normativo e institucional. Por un lado, mencionaron la necesidad de actualizar la Ley de Aguas, y que la nueva versión involucra a *“todo el mundo”* que no sea solo SENARA o AyA, que se hable de agua subterránea, producción agrícola estabilizada (con poco uso de agroquímicos) que involucre temas de planificación territorial y gestión integral del recurso hídrico, así como tendencias modernas de desarrollo político, económicos, entre otros.

Por otro lado, se mencionó la falta de una política integral, que agrupe las competencias de todas las instituciones. Costa Rica cuenta con varias instituciones con competencia sobre el agua y cada institución tiene sus metas y objetivos, pero hace falta otra que las integre. El hecho de que la gestión del recurso hídrico sea tan amplia, ha complicado la operatividad. Algunas frases mencionadas fueron: *“no hay una entidad que cobije a todas”*, *“hay una enorme cantidad de gestores hídricos”* que ha hecho que la política de manejo sea *“majarnos unos a otros”*. También, es importante que la legislación sea clara, para que permita a los actores involucrados conocer el recurso y cómo trabajarlo desde su competencia, por ejemplo, no existe reglamento que defina cómo usar los recursos que no se utilizan de los cánones.

### **II. Coordinación institucional y local:**

Se mencionó que es necesario alinear roles y mandatos, evitando el traslape de competencias, de lo contrario *“todos somos rectores del recurso hídrico”*. Se indicó que *“todos debemos tener el mismo norte”*. y actuar desde nuestras competencias. Adicionalmente, se indicó que falta de articulación de todos los sectores involucrados y establecer prioridades, así como involucrar a las organizaciones base y a la población en general (ASADAS, ONG, empresas, entre otros).

### **III. Gestión y manejo del agua**

Se mencionó que pese a que Costa Rica muestra avances en el tema hídrico, por ejemplo, se cuenta con una Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico, hace falta información para poder gestionar correctamente el agua, por ejemplo, se desconoce sobre la oferta del agua. Antes de regular hay que saber el capital natural con que se cuenta, *“la ley no lo indica, lo da por conocido”*. Es importante conocer ¿cuál es la oferta? y ¿dónde se encuentra esa oferta? *“sin conocer la oferta y la demanda, y por tanto el costo de trasladar el agua de x a y ¿Cómo se puede hacer gestión del agua?”*

#### **IV. Gestión social-organizacional:**

Sobre la gestión social se mencionó la importancia de sensibilizar a los usuarios del agua, para que esta sea utilizada con responsabilidad y conciencia, y evitar llegar a conflictos. En cuanto a la gestión organizacional, se resaltó la importancia de saber las respuestas de las siguientes interrogantes: *¿cuál es la capacidad de gestión del municipio?, ¿cuál es la capacidad de gestión de la ASADA?* Y con base a esas respuestas definir *¿cómo haremos la gestión?* Tomar en cuenta que puede que sea necesario fortalecer las capacidades en cuanto a gestionar/resolver conflictos del agua, así como el conocimiento de reglamentos, políticas, leyes, entre otros. También, se mencionó que a veces existen buenas iniciativas o instrumentos económicos, pero no todas las organizaciones pueden acceder a ellos por lo complicado del proceso, por lo que es necesario considerar las limitaciones de las organizaciones para simplificar procesos o facilitar la asesoría para que esto sea más accesible. Paralelamente, es importante empoderar a las personas gestoras del agua para eliminar la *“visión de que el Estado va a solucionar todo”*.

#### **V. Visión de cuenca:**

Se recalcó que hace falta identificarnos dentro de una cuenca, a la hora de gestionar el recurso hídrico. Existen unidades hidrológicas definidas por la Dirección de Aguas, pero territorialmente son muy grandes.

#### **VI. Educación y comunicación:**

Algunos entrevistados mencionaron sobre la visión cortoplacista para tomar decisiones y creer que el pensamiento erróneo que el *“agua nunca va a faltar”*. Además, hace falta comunicación de los entes encargados hacia la sociedad para concientizar sobre el uso adecuado del agua. No existe mucha conciencia sobre la importancia del agua y el impacto que provocamos con nuestras acciones, *“no nos hemos dado cuenta de la importancia del agua”*. El crecimiento poblacional y el crecimiento de las zonas urbanas ha provocado que se cierren espacios con vegetación por lo que el agua no se puede filtrar, provocando alteraciones en el ciclo del agua.

#### **VII. Conciencia social:**

Hace falta sensibilizar a la población para despertar la conciencia en las personas, el deterioro del agua es *“culpa de todos”*; *“en cada jornada de limpieza de ríos se colecta más basura, es como si no hubiese lecciones aprendidas”*. En este proceso de sensibilización se debe involucrar a las comunidades.

### **3. ¿Qué elementos/criterios considera debe tener una “cuenca sana, funcional o en condiciones menos alteradas” o “bien manejada”?**

Las personas entrevistadas indicaron los elementos y/o criterios que consideran deben considerarse para poder definir a una cuenca “sana”. El resumen de sus opiniones se agrupa en las siguientes 4 categorías.

#### **I) Ordenamiento territorial/zonificación:**

Las personas consultadas coincidieron en que es necesario que la cuenca esté debidamente ordenada y/o zonificada. El ordenamiento territorial siempre aboga por el desarrollo sostenible, económico y social en armonía con la naturaleza de forma que se conozcan los recursos actuales de la cuenca y los necesarios para su desarrollo, por ejemplo, hay cuencas que tienen potencial recreativo/turístico. En la misma línea, se mencionó que debe existir claridad en los límites de cada zona, por ejemplo, “*tener identificado donde se puede construir y donde no*”.

Varios participantes coincidieron en que en una cuenca interactúan muchos elementos, y que el ser humano es solo uno de estos elementos. El aprovechamiento de la cuenca no debería comprometer el agua, en cantidad ni en calidad. Es importante tener claro que las partes altas de las cuencas benefician a las partes bajas, motivo por el cual se debe asegurar que la parte alta cuenta con bosques, cobertura forestal, y conectividad entre los bosques.

Para un adecuado ordenamiento territorial y/o zonificación de una cuenca hidrográfica es necesario entenderla, identificar sus problemas, y conocer la vocación del suelo. También identificar el estado de conservación de los ecosistemas, la ubicación de las zonas de recarga hídrica y el estado de protección de las mismas. Luego, una vez que se conoce la cuenca y que la misma fue zonificada, se hace un plan de manejo y gestión, el cual va a indicar la hoja de ruta y define el rol de las partes involucradas.

Según algunos entrevistados es importante la existencia de entre 20 y un 40% de la cobertura vegetal permanente (bosques, pastos, plantaciones), esto para que el ciclo hidrológico se comporte de forma regular.

En general, durante las entrevistas se manifestó que una “*cuenca sana*” es aquella que, cuenta con cuerpos de agua limpios, con áreas de captación protegidas, con conectividad entre los parches de bosque, con áreas protegidas, y en donde los asentamientos humanos estén alejados, pues esto disminuye la contaminación. También, se cuenta con tecnología que permita el saneamiento, el manejo y la gestión de residuos sólidos. Así como un adecuado uso del suelo según capacidad de uso.

Una cuenca sana tiene “*agua viva*”, es decir agua que tiene las cualidades necesarias para que subsistan microorganismos, peces, entre otros.

## **II) Datos para la toma de decisiones/ parámetros ambientales de calidad y cantidad de agua.**

Durante las entrevistas se mencionó que para una adecuada gestión de las cuencas hidrográficas es importante contar con datos que permitan evaluar y monitorear el impacto de las intervenciones. Por ejemplo, medición de caudal, análisis de la calidad, datos biofísicos, delimitación de las cuencas, subcuencas, levantamiento de fuentes de contaminación, aforos, levantamiento de usos del suelo, así como cualquier otra cartografía básica.

## **III) Autogestión/presencia de grupos organizados: organismo de cuenca o comité gestor oficializado.**

Algunas personas entrevistadas mencionaron que en una “*cuenca sana*” existe involucramiento social, una gestión conjunta, y un comité de cuenca, debidamente oficializado, que se apropia de los proyectos. El escenario ideal es que la cuenca sea autogestionada, y los sectores productivos apliquen prácticas amigables con el ambiente.

## **IV) Articulación institucional:**

Durante las entrevistas, también se mencionó la importancia de la articulación institucional, para unir esfuerzos entre los distintos actores y sectores (Asadas, cooperativas, gobierno local, entre otros) e instituciones con poder de decisión. Es decir, desde lo micro hasta lo macro, que sería la administración central.

### **4. ¿Qué cuenca podría indicar que cumpla con los elementos que usted mencionó en la pregunta anterior para definir a una “*cuenca sana, funcional o en condiciones menos alteradas*”?**

Las personas entrevistadas coincidieron en que a nivel urbano no hay cuencas en “*buenas condiciones*”. Sin embargo, sí se indicó que algunas zonas altas como, por ejemplo, Coronado o Tarbaca, se encuentran bien conservadas.

A nivel rural, algunas personas entrevistadas mencionaron que no conocen cuencas hidrográficas en “*buenas condiciones*” y otros entrevistados mencionaron que conocen de algunas cuencas en las que hay intentos y esfuerzos aislados de grupos organizados por mejorar la gestión de la cuenca y atacar alguna problemática en particular. Por ejemplo: la Asociación Ecológica de Guatuso y Patarrá (AECOGUPA) y CONIMBOCO, es una organización que busca proteger el acuífero de Nimboyores y el Coco.

Una persona entrevistada mencionó las cuencas de la parte montañosa del caribe (Talamanca, Bribri). También tres personas mencionaron al río Savegre pues mantiene cobertura forestal, y se respeta el área de

protección hídrica. Algunos otros ejemplos de cuencas “bien conservadas” son: río reventazón y la cuenca del río Sombrero.

### **5. ¿Qué cuenca podría indicar que no cumplen con los elementos para definir a una “cuenca hidrográfica en condiciones alteradas y/o deterioradas”?**

La mayoría de las personas entrevistadas coincidieron en que las cuencas hidrográficas más alteradas son la Cuenca del Grande de Tárcoles, la subcuenca del río Virilla, la cuenca del río Tiribí. Estas cuencas presentan un problema serio de contaminación y crecimiento urbanístico desmedido.

También se mencionó que las cuencas hidrográficas del río Cañas (Santa Cruz) y del río Grande de Térraba están muy afectadas por los impactos asociados a los cultivos extensivos.

Las situaciones que limitan la gestión del agua según los entrevistados coinciden con lo mencionado por Echeverría *et al* 2013, lo cual se resume en los siguientes cinco puntos: **i) gobernabilidad:** gran cantidad de leyes sectoriales y falta de definición de competencias y potestades han creado un marco jurídico e institucional complejo para la gestión hídrica. Hay más de 15 instituciones que poseen alguna relación con el agua. La rectoría está a cargo del MINAE y se ejerce juntamente con la Presidencia de la República. **ii) legislación sectorial:** Desde el 2002 se encuentra en la Asamblea Legislativa el proyecto de ley del recurso hídrico misma que data de 1942, restringiendo su aplicabilidad al contexto actual; **iii) uso del territorio:** procesos de urbanización desordenada y falta de ordenamiento territorial han provocado un deterioro en las funciones hidrológicas de las cuencas hidrográficas. Eliminación de cobertura forestal en áreas de recarga acuífera, nacientes y otras zonas de importancia hídrica. Lo cual repercute en la capacidad de infiltración del terreno y en consecuencia de la recarga de acuíferos que provoca en muchas ocasiones inundaciones constantes en las zonas afectadas. **iv) La inversión en el manejo** del recurso hídrico es fundamental para asegurar una protección a nivel hidrológico nacional. En los últimos años, esta ha estado enfocada en la generación de energía hidroeléctrica. Sin embargo, a nivel social, las iniciativas de inversión urgentes tienen que ver con la disposición y el tratamiento de las aguas residuales, de consumo humano y riego agrícola. En el sector de saneamiento y agua potable es donde el rezago resulta mayor. **v) La contaminación:** los recursos hídricos superficiales y subterráneos son objeto de contaminación lo que reduce la oferta de agua, sufren contaminación puntual, reducir la contaminación es equivalente a aumentar la oferta de agua y en consecuencia una acción de adaptación ante el cambio climático.



Adicionalmente, se incluye el resguardo de las áreas de protección de cuerpos de agua, en donde especialmente en el Gran Área Metropolitana (GAM), la Contraloría General de la República (CGR)<sup>4</sup> indicó que “*ni la Estrategia para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de Costa Rica, Plan Nacional para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico, la Política Hídrica Nacional y la Agenda del Agua contienen disposiciones relacionadas directamente con el tema de la recuperación de la cobertura arbórea y el resguardo de las áreas de protección de los ríos*”. En este sentido, en 2020 se emitió la Política Nacional de áreas de protección de ríos, quebradas, arroyos y nacientes.

También la CGR ha emitido otros informes que mencionan los temas identificados anteriormente, por ejemplo: el informe de la auditoría de carácter especial acerca de la suficiencia de los mecanismos implementados por el Estado para asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico (2014<sup>5</sup>), Informe sobre la gestión integral de las aguas subterráneas en las zonas costeras (2009<sup>6</sup>), entre otros.

## **6. Revisión y análisis del cuerpo jurídico relacionado al recurso hídrico en Costa Rica**

El agua es un bien de dominio público, su conservación y uso sostenible son de interés social (art 50, *Ley Orgánica del ambiente*, 1995). *Toda persona tiene el derecho humano, básico e irrenunciable de acceso al agua potable, como bien esencial para la vida. El agua es un bien de la nación, indispensable para proteger tal derecho humano (art 50, Constitución Política)*. La legislación costarricense le asigna al MINAE la responsabilidad de disponer y resolver sobre el dominio, aprovechamiento, gobierno, utilización y vigilancia del agua (*Ley de Aguas* N° 276, 1942). La Dirección de Agua del MINAE otorga concesiones de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas y los permisos de vertidos, para otorgar estos derechos no se toma en cuenta la calidad del recurso hídrico que se asigna, solamente la disponibilidad.

A continuación, se resumen los instrumentos legales (leyes, decretos, políticas nacionales, entre otros) relacionados a la gestión, conservación, protección y uso del agua) (Figura 2 y Cuadro 3).

---

<sup>4</sup> DFOE-AE-IF-14-2014

<sup>5</sup> Informe Nro. DFOE-AE-IF-03-2014

<sup>6</sup> Informe Nro. DFOE-PGAA-11-2009

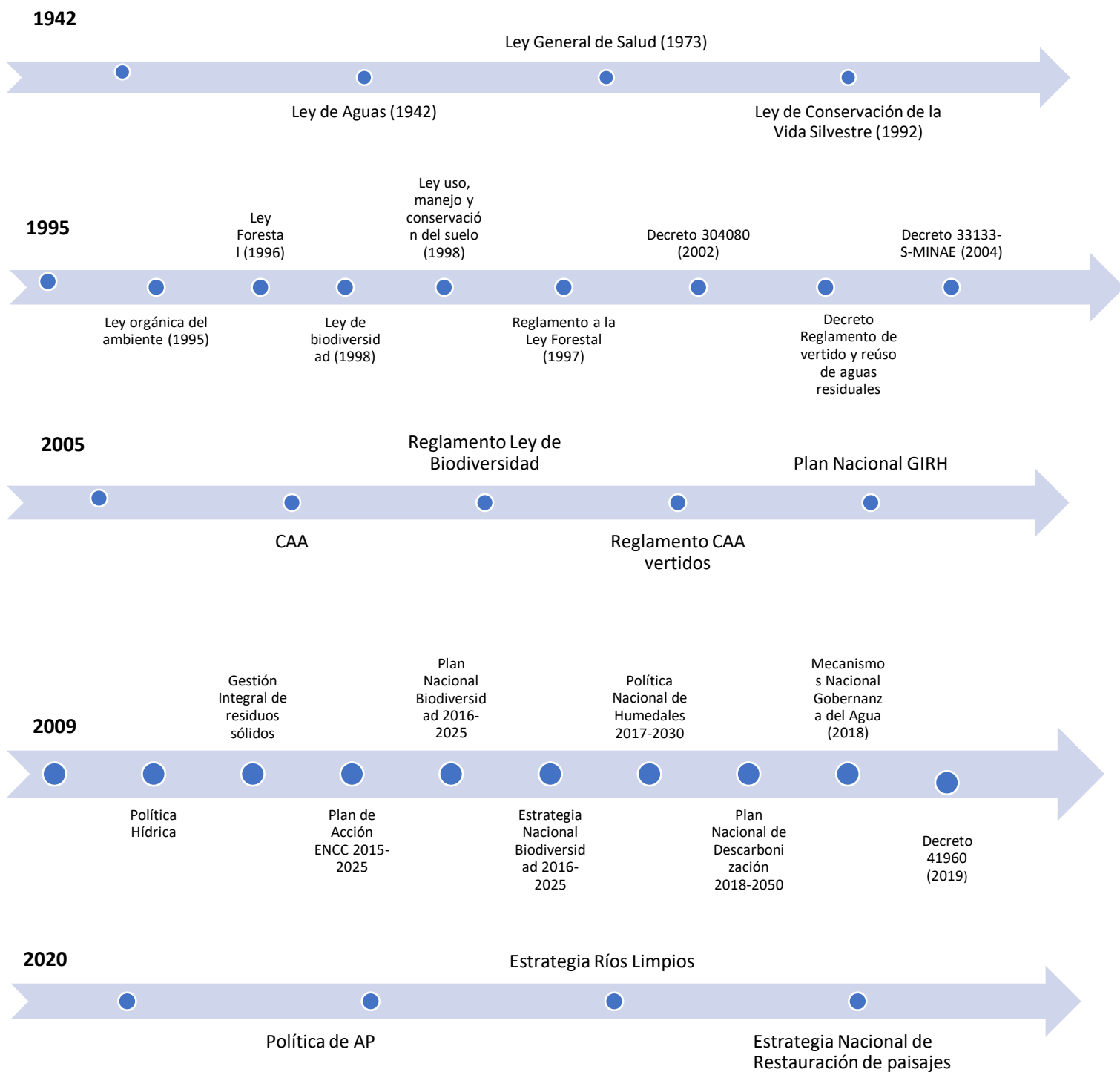


Figura 2. Resumen de algunos instrumentos jurídicos y de política pública relacionados al recurso hídrico en Costa Rica Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4. Resumen de algunos instrumentos legales, convenios internacionales y su relación con la gestión del recurso hídrico en Costa Rica

Instrumento legal	Relación con el recurso hídrico
<b>Convenios internacionales</b>	
<p><b>Ramsar</b></p>	<p>La Convención aplica una definición amplia de los humedales, que abarca todos los lagos y ríos, acuíferos subterráneos, pantanos y marismas, pastizales húmedos, turberas, oasis, estuarios, deltas y bajos de marea, manglares y otras zonas costeras, arrecifes coralinos, y sitios artificiales como estanques piscícolas, arrozales, reservorios y salinas.</p> <p>En el marco de los “tres pilares” de la Convención, las Partes Contratantes se comprometen a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) trabajar <b>en pro del uso racional de todos los humedales de su territorio,</b></li> <li>b) designar humedales idóneos para la lista de humedales de importancia internacional (“lista de Ramsar”) y garantizar su manejo eficaz</li> <li>c) Cooperar en el plano internacional en materia de humedales transfronterizos, sistemas de humedales y especies.</li> </ul>
<b>Leyes</b>	
<p><b>Ley de Aguas N° 276 (1942)</b></p>	<p>En varios artículos hace referencia a la importancia de conservar árboles en los márgenes de los ríos, arroyos o manantiales (artículos 145, 148). Además se prohíbe destruir: i) tanto en los bosques nacionales como en los de particulares, los árboles situados a menos de 60 metros de los manantiales que nazcan en los cerros, o a menos de cincuenta metros de los que nazcan en terrenos planos (art 149); y ii) destruir, tanto en los bosques nacionales como en los terrenos particulares, los árboles situados a menos de 5 metros de los ríos o arroyos que discurren por sus predios (artículo 150). Además, indica que es <u>prohibido destruir en los bosques nacionales los árboles que estén situados en las pendientes</u>, orillas de las carreteras y demás vías de comunicación (art 146).</p>
<p><b>Ley Forestal N° 7676 (1996)</b></p>	<p><b>Artículo 33.- Áreas de protección.</b> Se declaran áreas de protección las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Las áreas que bordean nacientes permanentes, definidas en un radio de cien metros medidos de modo horizontal.</li> <li>● Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno está quebrado.</li> <li>● Una zona de cincuenta metros medida horizontalmente en las riberas de los lagos y embalses naturales y en los lagos o embalses artificiales construidos por el Estado y sus instituciones. Se exceptúan los lagos y embalses artificiales privados.</li> <li>● Las áreas de recarga y los acuíferos de los manantiales, cuyos límites serán determinados por los órganos competentes establecidos en el reglamento de esta ley.</li> </ul> <p><b>Artículo 34.- Prohibición para talar en áreas protegidas</b> Se prohíbe la corta o eliminación de árboles en las áreas de protección descritas en el artículo anterior, excepto en proyectos declarados por el Poder Ejecutivo como de conveniencia nacional. Los alineamientos que deban tramitarse en relación con estas áreas serán realizados por el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo.</p>
<p><b>Ley N° 7554 Orgánica del Ambiente (1995)</b></p>	<p>Criterios para aplicarse para la conservación y uso sostenible del <u>agua</u> (artículo 51)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(i) Proteger, conservar y, en lo posible, recuperar los ecosistemas acuáticos y los elementos que intervienen en el ciclo hidrológico.</li> <li>(ii) Proteger los ecosistemas que permiten regular el régimen hídrico.</li> <li>(iii) Mantener el equilibrio del sistema agua, protegiendo cada uno de los componentes de las cuencas hidrográficas).</li> </ul> <p>Criterios para proteger y aprovechar el <u>suelo</u> (artículo 53)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(i) La relación adecuada entre el uso potencial y la capacidad económica del suelo y el subsuelo.</li> <li>(ii) El control de prácticas que favorezcan la erosión y otras formas de degradación.</li> </ul>

	(iii) Las prácticas u obras de conservación de suelos y aguas que prevengan el deterioro del suelo
<b>Ley de biodiversidad (1998)</b>	<u>Áreas de recarga acuífera:</u> Superficies en las cuales ocurre la infiltración que alimenta los acuíferos y cauces de los ríos, según delimitación establecida por el Ministerio del Ambiente y Energía por su propia iniciativa o a instancia de organizaciones interesadas, previa consulta con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento u otra entidad técnicamente competente en materia de aguas. m) Actividades de conveniencia nacional: Actividades realizadas por las dependencias centralizadas del Estado, las instituciones autónomas o la empresa privada, cuyos beneficios sociales sean mayores que los costos socioambientales.
<b>Ley de conservación de la vida silvestre N° 7317 (1992)</b>	<p><b>Definiciones</b></p> <p><b>Cuerpo de agua:</b> todo aquel manantial, río, quebrada, arroyo permanente, acuífero, lago, laguna, marisma, humedal, embalse natural o artificial, estuario, manglar, turbera, pantano, agua dulce, salobre o salada.</p> <p><b>Lagos:</b> gran masa permanente de agua depositada en hondonadas del terreno.</p> <p>Los artículos 69, 100, 128 y el transitorio III mencionan la prohibición de arrojar aguas servidas, negras, lodos, desechos o cualquier contaminante en manantiales, ríos, quebradas, arroyos permanentes o no permanentes, lagos, lagunas, marismas y embalses naturales o artificiales, esteros, turberas, pantanos, humedales, aguas dulces, salobres o saladas, en sus cauces o en sus respectivas áreas de protección. Las industrias o agroindustrias deberán instalar el respectivo tratamiento de aguas servidas, aguas negras o desechos o cualesquiera sustancias contaminantes.</p>
<b>Reglamentos</b>	
<b>Reglamento Ley Forestal (1997)</b>	La Dirección General Forestal podrá denegar el permiso de deforestación cuando se trate de áreas de protección para cuencas hidrográficas, <u>riberas de ríos</u> , terrenos de pendiente fuerte y susceptibles de erosión, valores escénicos u otros valores de conservación de flora o fauna en extinción. En este caso, debe estar debidamente justificada la denegatoria por un informe técnico.
<b>Decretos</b>	
<b>Decreto N° 30480-MINAE Determina los principios que regirán la política nacional en materia de gestión de los recursos hídricos, y deberán ser incorporados, en los planes de trabajo de las instituciones públicas relevantes (2002)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El <b>acceso al agua potable</b> constituye un derecho humano inalienable y debe garantizarse constitucionalmente.</li> <li>2. La gestión del agua y sobre todo las reglas de acceso a este recurso deben regirse por un <b>principio de equidad y solidaridad social e intergeneracional</b>.</li> <li>3. El agua debe ser considerada dentro de la legislación como un bien de dominio público y consecuentemente se convierte en un bien inembargable, inalienable e imprescriptible.</li> <li>4. Debe reconocerse el <b>valor económico del agua</b> que procede del costo de administrar, protegerla y recuperarla para el bienestar de todos. Con esto se defiende una correcta valoración del recurso que se manifieste en conductas de ahorro y protección por parte de los usuarios.</li> <li>5. Debe reconocerse la <b>función ecológica del agua como fuente de vida</b> y de sobrevivencia de todas las especies y ecosistemas que dependen de ella.</li> <li>6. El aprovechamiento del agua debe realizarse utilizando la mejor infraestructura y tecnología posibles de modo que se <b>evite su desperdicio y contaminación</b>.</li> <li>7. La gestión del <b>recurso hídrico debe ser integrada, descentralizada</b> y participativa partiendo de la cuenca hidrográfica como unidad de planificación y gestión.</li> <li>8. El MINAE ejerce la rectoría en materia de recursos hídricos. La gestión institucional en este campo debe adoptar el <b>principio precautorio o indubio pro-natura</b>.</li> <li>9. El recurso hídrico y las fuerzas que se derivan de este son <b>bienes estratégicos</b> del país.</li> <li>10. Que es de suma importancia la promoción de fuentes energéticas renovables alternativas que reduzcan o eliminen el impacto de esta actividad sobre el recurso hídrico.</li> </ol>

<p><b>Decreto N° 41058 – MINAE establece el Mecanismo Nacional de Gobernanza del Agua (2018).</b></p>	<p>a) <b>Agua como Derecho Humano:</b> garantizar el dominio público del agua y su asignación bajo principios de equidad y en armonía con el ambiente.</p> <p>b) <b>Participación ciudadana:</b> garantizar una contribución legítima, plena, libre, significativa, articulada, ordenada, regulada, representativa e informada de aquellos actores involucrados en el diseño, construcción y ejecución de Políticas del recurso hídrico.</p> <p>c) <b>Rendición de cuentas:</b> Se debe de informar de los resultados de la actividad estatal.</p> <p>d) <b>Acceso a la información y transparencia:</b> La administración Pública debe crear y propiciar canales permanentes y fluidos de comunicación o intercambio de información.</p> <p>e) <b>Sostenibilidad:</b> Las decisiones tomadas en torno al recurso hídrico se deben dar de forma que se respeten las dinámicas ambientales y se garantice el equilibrio entre las dimensiones económica, social y ambiental.</p> <p>f) <b>Búsqueda de acuerdos:</b> se debe fomentar la búsqueda de puntos de encuentro y construcción de acuerdos mediante la relación entre actores, con el fin de encontrar soluciones en conjunto, privado siempre el interés público sobre los intereses particulares</p> <p>g) <b>Responsabilidad compartida y diferenciada:</b> todos los habitantes del territorio nacional tienen responsabilidad en el uso y protección del recurso hídrico.</p> <p>h) <b>Legitimidad:</b> Implica procurar la participación amplia y activa de los actores sociales, mediante un diálogo transparente basado en respeto mutuo y la búsqueda de consensos para lograr soluciones, en atención a las necesidades locales y nacionales</p> <p>i) <b>Alianzas estratégicas:</b> Se permite el establecimiento de alianzas estratégicas, con instituciones, organizaciones públicas o privadas, nacionales e internacionales, que permitan potenciar sinergias.</p>
<p><b>Decreto ejecutivo N° 41960</b> <b>Establecimiento de la metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras agroecológicas de Costa Rica (2019)</b></p>	<p>El sistema consta de ocho clases, en las cuales se presenta un aumento progresivo de <u>limitaciones para el desarrollo de las actividades agrícolas, pecuarias forestales.</u></p> <p><b>Las clases I, II, III</b> permiten el desarrollo de cualquier actividad incluyendo la producción de cultivos anuales. La selección de las actividades dependerá de criterios socioeconómicos.</p> <p>En las <b>clases IV, V, VI</b> su uso se restringe al desarrollo de cultivos semipermanentes y permanentes. En la clase <b>IV</b> los cultivos anuales se pueden desarrollar únicamente en forma ocasional.</p> <p>La <b>clase VII</b> tiene limitaciones tan severas que sólo permiten el manejo del <u>bosque natural primario o secundario.</u> En las tierras desnudas debe <u>procurarse el restablecimiento de vegetación natural.</u></p> <p>La <b>clase VIII</b> está compuesta de terrenos que <u>no permiten ninguna actividad productiva agrícola, pecuaria o forestal, siendo, por tanto, adecuada únicamente para la protección de recursos.</u></p>

La revisión de instrumentos legales muestra que la visión general de la gestión del recurso hídrico en Costa Rica intenta no estar aislada del manejo y uso de los ecosistemas que le brindan soporte al agua, esto queda visibilizado al incluir los siguientes temas: la relación agua-suelo, el resguardo del área de protección de cuerpos de agua, la capacidad de uso del suelo, la protección de ecosistemas que permiten regular el régimen hídrico, los servicios ambientales que brindan los bosques, entre ellos la protección del agua. Adicionalmente, la legislación incluye la gestión de residuos sólidos y el tratamiento de aguas residuales, y la participación ciudadana en la gestión del recurso hídrico. A continuación, se resumen los seis principales temas que engloban los distintos instrumentos legales revisados.

## 1. Calidad del agua

En relación con la **calidad del agua**, se le otorga al AyA la disposición de las aguas superficiales o subterráneas en peligro de contaminación (*Ley de Aguas* N° 276, 1942). La *Ley N° 7554 Orgánica del Ambiente* (art 67, 1995) menciona la obligatoriedad de adopción de medidas para impedir o minimizar la contaminación de cuencas hidrográficas, y sobre la necesidad de dar tratamiento a las aguas residuales antes de ser descargadas en cuerpos de agua (art 65). En la *Ley N° 7779 de uso, manejo y conservación de suelos* (1998) se obliga a los poseedores de tierras a prevenir la degradación de los suelos, aumentando la capacidad de infiltración en sus terrenos o la evacuación de las aguas sobrantes hacia cauces naturales (art 44). La misma ley indica sobre la obligación de los concesionarios del agua para aplicar técnicas adecuadas de manejo de agua para evitar la degradación del suelo, por erosión, entre otros (art 22). La *Ley General de Salud* (Ley No. 5395, 1973) indica que le corresponde al Ministerio de Salud dictar las medidas para la planificación y coordinación de las actividades públicas referentes a la salud y, además, esta entidad dicta los principios de la sanidad de las aguas en relación con su calidad. El *Plan Nacional de Biodiversidad 2015-2030* incluye un lineamiento para fortalecer capacidades de gestión de aguas residuales y residuos sólidos en apoyo a las competencias de los gobiernos locales, en particular cuencas prioritarias (lineamiento 4.6).

La *Ley N° 8839 para la gestión integral de residuos sólidos* (2010) impone pena de cárcel para los casos de contaminación de áreas de protección del recurso hídrico, áreas silvestres protegidas, la zona marítimo-terrestre, aguas marinas o continentales y los cuerpos de agua destinados al consumo humano (art 45 y 56). El Decreto N° 33903, *reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales* (2007) indica los criterios y la metodología a utilizar para evaluar la calidad de los cuerpos de agua superficiales con miras a clasificarlos para sus diferentes usos. El Decreto Ejecutivo N° 33601-MINAE *Reglamento de vertido y reúso de aguas residuales* (2006), establece los límites máximos permisibles de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el vertido y reúso de aguas residuales de las diferentes actividades comerciales, industriales y de servicios existentes en el país. Para ajustarse a este reglamento se debe consultar el Decreto Ejecutivo 39887-S-MINAE, *Reglamento de Aprobación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales* (2016), este establece los requisitos y requerimientos que deben cumplir los edificios, establecimientos e instalaciones que precisen un Sistema de tratamiento de aguas residuales. Finalmente, se menciona el *Decreto Ejecutivo 32133*, el cual declara *de interés público y necesidad social el diseño, financiamiento, ejecución, operación y mantenimiento de obras para la recolección, tratamiento y disposición final de aguas residuales, generados en centros urbanos* (2004).

## 2. Cantidad de agua

Con respecto a la **cantidad de agua** la Ley de Aguas N° 276 indica lo siguiente: “En toda concesión de aprovechamiento de aguas públicas se fijará la naturaleza de ésta, la cantidad en litros por segundo del agua concedida; y si fuese para riego, la extensión del terreno que haya de regarse, así como la clase de los cultivos que deban servirse, tomando en consideración las necesidades de los predios inferiores que también la necesiten. Si el agua no fuere suficiente para atender todas las demandas, se fijará a cada concesionario el número de horas por día, por semana o por mes en que pueden hacer su aprovechamiento y esas horas se calcularán de acuerdo con el número de propietarios servidos por el mismo caudal, tomando en cuenta la extensión de sus cultivos. El concesionario que no se sujete a las horas que se le concedan, perderá el derecho de aprovechar el agua, fuera de las otras sanciones de carácter punitivo que se determinan en el inciso 2° del artículo 166” (artículo 21).

### **3. Conservación y uso sostenible del agua y ecosistemas asociados**

En relación con la **conservación y uso sostenible del agua y ecosistemas asociados**, el artículo 51 de la *Ley N° 7554 Orgánica del Ambiente* (1995) indica los criterios a aplicarse para la conservación y uso sostenible del agua ((i) Proteger, conservar y, en lo posible, recuperar los ecosistemas acuáticos y los elementos que intervienen en el ciclo hidrológico. (ii) Proteger los ecosistemas que permiten regular el régimen hídrico. y (iii) Mantener el equilibrio del sistema agua, protegiendo cada uno de los componentes de las cuencas hidrográficas). En la misma Ley se indican los criterios para proteger y aprovechar el suelo (artículo 53) ((i) La relación adecuada entre el uso potencial y la capacidad económica del suelo y el subsuelo. (ii) El control de prácticas que favorezcan la erosión y otras formas de degradación. (iii) Las prácticas u obras de conservación de suelos y aguas que prevengan el deterioro del suelo).

El Decreto N° 29375 *Reglamento a la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos* (2001) incluye consideraciones para evitar la contaminación de los suelos, aguas superficiales y subterráneas (art 5), ya sea utilizando mejores prácticas de uso del suelo, así como el manejo que se le da a los productos agroquímicos (art 69). Además, asigna la responsabilidad al MAG de aprobar *autorizar, registrar y supervisar los planes y programas, a las personas físicas o jurídicas que realicen proyectos destinados a racionalizar el uso manejo y conservación de suelos y aguas*”. El artículo 70 asigna al MAG, el Ministerio de Salud y MINAE la responsabilidad de promover “*la realización de estudios e investigaciones hidrológicas, hidrogeológicas, ecológicas, sanitarias en las aguas superficiales y subterráneas de las cuencas hidrográficas del país, así como del mar territorial, con el fin de determinar y corregir, por parte de SENARA, AyA y universidades, la saturación de minerales agrotóxicos nocivos para la salud humana,*

*de la diversidad biológica terrestre, marina, y que podrían ser irreversibles en las aguas subterráneas o en los productos alimenticios, con la consecuente patología general”.*

En la *Política Nacional de Humedales* (2017) se promueve la conservación de la biodiversidad de los humedales y se contempla el manejo integrado de cuencas hidrográficas. En este sentido, en la legislación también queda explícita la definición de las áreas de protección hídrica de cuerpos de agua (nacientes, riberas los ríos, quebradas o arroyos, riberas de los lagos, embalses naturales o artificiales, áreas de recarga, acuíferos de los manantiales) (art 33, *Ley Forestal*, 1996) y la prohibición de corta o eliminación de árboles en dichas áreas de protección (art 34, *Ley Forestal*, 1996). La Ley de Aguas (1942) obliga a los propietarios de terrenos atravesados por ríos, arroyos o manantiales a sembrar árboles en las márgenes de los mismos, en caso de que estos bosques hayan sido destruidos (art 148). Además, indica que es prohibido destruir en los bosques nacionales los árboles que estén situados en las pendientes, orillas de las carreteras y demás vías de comunicación (art 146). Para evitar la disminución de las aguas producida por la tala de bosques, todas las autoridades de la República procurarán, por los medios que tengan a su alcance, el estricto cumplimiento de las disposiciones legales referentes a la conservación de los árboles, especialmente los de las orillas de los ríos y los que se encuentren en los nacimientos de aguas (artículo 145).

Otras prohibiciones indicadas en la Ley de Aguas son: i) destruir, tanto en los bosques nacionales como en los de particulares, los árboles situados a menos de sesenta metros de los manantiales que nazcan en los cerros, o a menos de cincuenta metros de los que nazcan en terrenos planos (art 149); y ii) destruir, tanto en los bosques nacionales como en los terrenos particulares, los árboles situados a menos de cinco metros de los ríos o arroyos que discurren por sus predios (artículo 150). Sobre el resguardo de estas áreas en 2020 se lanzó la *Política Nacional de Áreas de Protección de ríos, quebradas, arroyos y nacientes* (Anexo 3), con el fin de facilitar espacios y mecanismos para un trabajo conjunto entre los diferentes actores sociales e institucionales.

La *Estrategia Nacional de Biodiversidad* (2016) contempla la restauración y reducción de la pérdida y/o deterioro de elementos importantes de la biodiversidad. Se determina la importancia de conservar, restaurar y utilizar sosteniblemente tres tipos de ecosistemas: i) los terrestres, ii) los dulceacuícolas: acuíferos, lagunas, lagunetas y ríos y iii) los marino-costeros: arrecifes de coral, pastos marinos, domo térmico, entre otros. Se incluye como meta global al 2025 la integración del enfoque ecosistémico en la planificación, al menos en el sector de ambiente, que incluye ordenamiento territorial, aguas, mares y energía, agricultura y sector forestal. En el *Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050*, se plantea como acción de cambio “fomentar la protección, restauración y gestión de otros ecosistemas altos en carbono”.



La *Estrategia Nacional de Restauración de Paisajes (2021)*, incorpora como un objetivo estratégico la *gestión del paisaje urbano sostenible* esto incluye la recuperación y el fortalecimiento de la funcionalidad del paisaje y los servicios ecosistémicos que contribuyen a la resiliencia y al bienestar humano, incorporando más espacios azules, trama verde y zonas agropecuarias, tales como, áreas de protección de los cuerpos de agua. En este sentido se fijó la meta al 2030 de incrementar y fortalecer acciones para proteger fuentes y cauces de agua en espacios urbanos y periurbanos. También como objetivo estratégico se menciona la gestión y uso sostenible del recurso hídrico, y se detalla que los actores usuarios del recurso participan de la restauración, rehabilitación, recuperación, regeneración y reforestación de paisajes.

El Decreto N° 2923 *Reglamento a la Ley Forestal (1986)* indica sobre los estudios básicos necesarios para la preparación del plan de ordenamiento de las cuencas hidrográficas (art 13). Hace mención a las consultas técnicas que el SETENA debe hacer a las áreas de conservación cuando se trate de obras que afecten, entre otros elementos, los recursos hídricos (Artículo 81, Decreto N° 3443 *Reglamento a la Ley de Biodiversidad, 2008*).

#### 4. Instrumentos económicos

Entre los Instrumentos económicos relacionados con agua se menciona: i) Canon por Aprovechamiento del Agua (CAA) para la regulación del aprovechamiento y administración del agua, que permite la distribución hídrica para el abastecimiento confiable en el consumo humano y el desarrollo socioeconómico del país, además la generación de recursos económicos para financiar a largo plazo una gestión sostenible del recurso hídrico (Decreto N° 32868, 2006) y ii) Canon por vertidos se fundamenta en el principio de "*quien contamina paga*" y que pretende el objetivo social de alcanzar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado (art 50, *Constitución Política*), a través del cobro de una contraprestación en dinero, a quienes usen el servicio ambiental de los cuerpos de agua, bien de dominio público, para el transporte, y eliminación de desechos líquidos originados en el vertimiento puntual, los cuales pueden generar efectos nocivos sobre el recurso hídrico, los ecosistemas relacionados, la salud humana y las actividades productivas Decreto N° 34431 *Reglamento del Canon Ambiental por Vertidos (2008)*.

#### 5. Gobernanza del agua

**Gobernanza del agua**, Decreto N° 41058-MINAE *Constitución del Mecanismo Nacional de Gobernanza del agua (2018)* establece una plataforma de diálogo que favorezca la gestión integrada de los recursos hídricos, permitiendo la participación de la sociedad civil, instituciones públicas y público en general en

los procesos de acciones estratégicas para la protección y sostenibilidad del recurso hídrico. El mismo decreto establece los siguientes espacios complementarios: Foros regionales del Agua, Foro Nacional del Agua y Grupo de Gobernanza del Agua (Anexo 4).

## 6. Gestión integral del recurso hídrico

**Gestión del recurso hídrico**, el Decreto N° 30480-MINAE *indicia los principios de la gestión de los recursos hídricos* (2002), mismos que regirán la política nacional en materia de gestión de los recursos hídricos y deberán ser incorporados en los planes de trabajo de las instituciones públicas relevantes (Anexo 5). El *Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico* (2008) propone un enfoque integral en la gestión del agua, que busque la protección del recurso hídrico y los ecosistemas afines, que garantice el aprovechamiento del recurso a todos los sectores productivos, reduzca la contaminación urbana y disminuya los riesgos a la salud pública. En este sentido, el *Plan de Acción de la Estrategia Nacional de Cambio Climático* (2015) se incluye la gestión integrada del recurso hídrico como la principal medida de adaptación al cambio climático, para ello plantea mejorar la resiliencia de los ecosistemas que protegen las fuentes de agua superficiales y subterráneas mediante la participación de las personas usuarias en la protección ecosistemas críticos. También se cuenta con una *Política Hídrica Nacional* (Anexo 6) en las que se incluyen los siguientes lineamientos estratégicos: 1. Gobernabilidad del sector hídrico. 2. Garantizar el derecho humano fundamental al acceso al agua potable. 3. Competitividad en el sector hídrico, 4. Sostenibilidad del recurso hídrico. 5. Desarrollo del conocimiento. 6. Creación de una cultura del agua. 7. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. 8. Participación social y formación de alianzas estratégicas.

### iii. Percepción local sobre la gestión del recurso hídrico en la microcuenca

Se conversó con algunos habitantes de la microcuenca del río Cacao, a través de reunión virtual o llamada telefónica, entre las personas consultadas se mencionan i) miembros del grupo organizado Asociación de Desarrollo Específica para la Conservación del Ambiente (ADECA), ii) Administrador de la Asada Barrio Jesús; iii) representante Comisión Ambiental Altos de Naranjo San Isidro de Atenas (CAANSIA) y miembro de la junta directiva de la Asada Altos de Naranjo; y representante de *The School for Field Studies*<sup>7</sup>(Anexo 7).

---

<sup>7</sup> <https://fieldstudies.org/centers/costarica/>

En estas sesiones se realizaron una serie de preguntas abiertas, pues la idea era fomentar el diálogo para conocer a mayor profundidad el contexto social de la microcuenca. Se contó con una entrevista semiestructurada dividida en tres variables y 14 temas, cada uno de ellos con preguntas orientadoras. Las cuatro variables fueron:

1. Percepción local sobre los cuerpos de agua de la microcuenca
2. Actividades económicas dependientes del recurso hídrico
3. Acciones para el manejo y la gestión del recurso hídrico
4. Temas emergentes (temas que no fueron consultados pero que el entrevistado considera importante agregar)

### **1. Percepción local sobre los cuerpos de agua de la microcuenca**

**Concepto.** Las personas entrevistadas manifestaron las siguientes opiniones sobre el agua, el agua *es vida, desarrollo humano* y *¡sin agua no hay nada! El agua es la base de todo. Los ríos son potenciales pasos de fauna.* Adicionalmente, se comentó que la microcuenca cuenta con varias nacientes, las cuales están georeferenciadas, y que dado a que en algunas épocas del año a algunos sectores no llega el agua, las personas han tomado más conciencia sobre la protección del recurso hídrico.

**Condición de los cuerpos de agua y las áreas de protección.** En la parte baja los cuerpos de agua están deteriorados principalmente por la contaminación de desechos domésticos, sólidos y vertidos, también se indicó sobre la falta de cobertura del área de protección de ríos o nacientes, o la invasión a las mismas, ya sea por parte del sector productivo o la infraestructura. En el caso de nacientes captadas, el área de protección se encuentra en terrenos privados, por lo que su grado de protección es variable. Se indicó que en la parte alta de la microcuenca la calidad del agua es buena, esto según los muestreos de macroinvertebrados que se han realizado, no siendo así los resultados para la parte baja de la microcuenca. Con respecto a la cantidad de agua, se indicó que, en algunos sectores, en verano algunos ríos de Atenas tienen mal olor; y en la misma época el agua no es suficiente para abastecer a los abonados, por ejemplo, la Asada de Barrio Jesús cuenta con 10 nacientes captadas para abastecer a sus 600 abonados, pero en época seca tienen que recurrir al uso de dos pozos para dar abasto a la demanda. La misma Asada ha realizado un esfuerzo por comprar algunos terrenos para recuperarlos.

**Uso del agua.** Los principales usos del agua de la microcuenca son el consumo humano y la producción agropecuaria. El principal cultivo es el café y en menor proporción frutales y hortalizas. También hay presencia de ganadería.

**Recursos naturales de la microcuena.** La microcuena colinda con dos zonas protectoras: Cerro Atenas y Río Grande. El ecosistema boscoso se encuentra fragmentado. Sin embargo, se resalta la importancia de estos fragmentos, pues se han avistado tres de las seis especies de felinos (jaguarundi, ocelote y puma) y otras 19 especies de mamíferos. Con respecto a aves se ha observado el Pinzón Cafetalero (*Melozone cabanisi*), la cual es una especie endémica de Costa Rica, la cual se encuentra, según la UICN, en la categoría “casi amenazado”<sup>8</sup>. En el marco de un proyecto de *The School for field studies* se han instalado algunas cámaras trampa, lo que ha permitido observar el paso de ciertas especies de mamíferos.

**Cambios con respecto a la calidad, cantidad y uso del agua.** En la zona se mantienen las mismas actividades productivas (café y hortalizas). Sin embargo, ha ocurrido un crecimiento poblacional, lo cual ha propiciado que fincas grandes se segreguen para la venta de lotes. También por ser una zona con “*el mejor clima del mundo*” es cotizada por extranjeros para construir casas de montaña (9% del a población de la microcuena nació en el extranjero según el Censo 2011); entonces terrenos que eran cafetales arbolados pasan a ser terrenos construidos. Adicionalmente, se mencionó la disminución del agua para consumo humano en época seca y que en algunos sectores “*antes se podía ir a bañar a los ríos*”.

**Amenazas hacia los cuerpos de agua.** Se indicó que entre las principales amenazas a la calidad y cantidad del agua se encuentran: los plaguicidas, el crecimiento poblacional y la deforestación; así como la falta de planificación territorial. Estas amenazas se podrían disminuir o contrarrestar aplicando la legislación, aplicando mejoras al ordenamiento territorial.

**Aguas residuales.** No se cuenta con planta de tratamiento de aguas. Sin embargo, las aguas grises generadas por los productores de café certificados sí son tratadas.

**Acciones para evitar o contrarrestar las amenazas identificadas.** Algunas personas entrevistadas indicaron que para contrarrestar las amenazas es importante la educación ambiental, la promoción e implementación de buenas prácticas agrícolas, manejo integral y sostenible de los cultivos para disminuir el uso de agroquímicos. También, se indica la importancia de aplicar la legislación y la dotación de recursos humanos, económicos y tecnológicos. Adicionalmente, se recalca la importancia de implementar acciones sostenibles como biojardineras, baños secos y hasta cercar el área de las nacientes para evitar el ingreso de ganado a esa zona. Finalmente, se resalta la importancia de crear la conexión de las personas con sus fuentes de agua, es importante que las personas conozcan de dónde viene el agua que reciben.

---

<sup>8</sup> Costa Rican Ground-sparrow *Melozone cabanisi* has most recently been assessed for *The IUCN Red List of Threatened Species* in 2020. *Melozone cabanisi* is listed as Near Threatened under criteria B1b. Disponible: <https://www.iucnredlist.org/species/103776650/182117904>

## 2. Actividades económicas dependientes del recurso hídrico

**Actividades productivas.** La principal actividad productiva es el café, en menor medida la producción de hortalizas y la ganadería. También se indicó un turismo rural, muy incipiente. La ubicación dentro de la microcuenca de estas actividades es en la parte alta y media; mientras que la población se concentra principalmente en la parte baja (Atenas y Santa Eulalia).

**Fuente de ingreso de los habitantes de la microcuenca.** Se indicó que hay personas que trabajan en comercios (talleres, ferreterías, entre otros) y además tienen alguna actividad productiva en su finca. También se indicó que en las partes altas hay algunos residenciales, estas son zonas apetecidas por la vista panorámica. También, se mencionó que Atenas puede ser considerada una ciudad dormitorio.

## 3. Acciones para el manejo y la gestión del recurso hídrico

**Iniciativas locales para proteger el recurso hídrico.** Se indicaron varios proyectos que se han desarrollado con apoyo de instituciones con presencia en la zona, por ejemplo: CoopeAtenas y el Programa de Pequeñas Donaciones del PNUD. Algunos de los proyectos indicados son: compra de tierras, huertos familiares, cosecha de agua, proyecto 1:1 el cual facilita insumos a los productores, pero ellos deben de retribuir de alguna forma el apoyo. CoopeAtenas tiene un proyecto de reforestación, el cual ejecuta en conjunto con Asadas de la localidad.

**Existencia de grupos organizados locales.** La microcuenca cuenta con grupos organizados que impulsan iniciativas ambientales, entre ellos la Asociación de Desarrollo Específica para la Conservación del Ambiente (ADECA)<sup>9</sup>; CAANSIA<sup>10</sup> Altos de Naranjo; CoopeAtenas<sup>11</sup>. También se indicó que algunas Asadas organizan, con estudiantes, actividades de educación ambiental.

En una de las entrevistas se comentó sobre el trabajo de ADECA, sobresaliendo un proyecto diseñado en 2012 para la recuperación de la Quebrada Matías. Este fue ejecutado por la Municipalidad de Atenas con el apoyo de instituciones públicas. El objetivo general era promover la recuperación integral de la Quebrada Matías en todo su trayecto, mediante la educación y concientización comunal del marco legal existente por las instituciones públicas involucradas y la participación de grupos base.

---

<sup>9</sup> <https://www.facebook.com/ADECAAtenas/>

<sup>10</sup> <https://www.facebook.com/caansia.altosdenaranjo.3/about>

<sup>11</sup> <https://coopeatenas.com/>

**Participación de la comunidad.** Se indicó que en general si hay motivación de las familias para participar de proyectos o iniciativas. Sin embargo, a veces su participación se ve limitada por la falta de recursos y no necesariamente porque no deseen. Hay iniciativas que han sido impulsadas por mujeres, por ejemplo: los huertos familiares. La participación de jóvenes es muy puntual, y muchas veces se ve limitada debido a que los jóvenes trabajan o estudian. Sin embargo, cuando son actividades organizadas a través de los centros educativos si hay buena disposición y participación, por ejemplo, se ha tenido buena participación de estudiantes de bachillerato del Liceo de Atenas en actividades de limpieza. Los miembros de CAANSIA son en su mayoría jóvenes.

**Presencia de instituciones.** Se mencionó la presencia del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Municipalidad de Atenas, el MINAE-SINAC y la universidad *The School for field studies*<sup>12</sup>.

#### 4. Temas emergentes

##### **Conflicto por el agua Atenas-Grecia**

Un tema mencionado en una de las entrevistas fue el conflicto por el acceso al agua entre los cantones vecinos de Atenas y Grecia. Este conflicto se encuentra documentado (Castillo-Leandro y León-Álvarez 2022; Valenciano-Hernández 2021). Además, se encuentra en múltiples noticias en distintos medios de comunicación nacional.

En los años 70 se construyó el acueducto que traslada el agua de la naciente Prendas, ubicada en el parque recreativo Los Chorros, en el situado en Tacares, entre los cantones de Poás y Grecia. Desde entonces no se realizaban ampliaciones a esta captación, a pesar del aumento de la densidad poblacional de Atenas, así que la cantidad de agua extraída resultaba insuficiente para satisfacer a los habitantes. Según el AyA, este acueducto brinda agua potable al 66,1% de la población del cantón de Atenas, lo que representa aproximadamente 16822 personas (Sánchez 2019, comunicación personal citado en Castillo-Leandro y León-Álvarez 2022).

En el área se captaron 63,5l/segundo desde los años 70, con la ampliación del acueducto se pretendía aumentar la captación a 119l/segundo, con el fin de asumir la responsabilidad de garantizar el servicio a los vecinos de Atenas. En 2014, el AyA comenzó la construcción de una tubería nueva que complementará la existente (de los Chorros, Grecia a Atenas). Esto generó descontento en la comunidad de Tacares sur de Grecia, ya que los mismos no fueron informados, ni consultados, por lo que percibieron el actuar del AyA

---

<sup>12</sup> <https://fieldstudies.org/centers/costarica/>

como una imposición, e iniciaron las obras de ampliación sin tener en cuenta la opinión de la población de la localidad. Además, se generó temor sobre el incremento del agua no contabilizada que se perdía en el transcurso de la naciente hacia Atenas, pues era conocido por la población de la existencia de gran cantidad de fugas y previstas ilegales. Por su parte, los habitantes de Atenas consideraban pertinente que el AyA comunicara sobre el proyecto, esto hubiera evitado que se crearan opiniones sesgadas.

En 2017 se ejecutó el proyecto, se construyeron los 23 km de tubería que lleva el agua de Grecia hasta Atenas. Como parte de las mejoras del acueducto de Atenas, el AyA compró 13 ha para la protección de la zona de recarga de fuentes de agua en Poás. También se construyó un tanque de almacenamiento de 2500 m<sup>3</sup> en la comunidad de Sabana Larga y se crearon siete pasos elevados<sup>13</sup>. Estudios confirman que la naciente posee un caudal suficiente para los fines que se destina. Partiendo del cálculo del caudal necesario total, al considerar que se requiere una dotación de 300 l/persona/día (máxima recomendada para zonas urbanas), la cual es multiplicada por la cantidad de personas abastecidas por el servicio, que para el caso de Tacaes es 7665, por medio del coeficiente de hacinamiento recomendado en el manual de Asadas de 3.5. Atenas, con 16 822 habitantes, se estima un aproximado de 24 487 personas beneficiadas de la naciente, quienes, a partir de la dotación mencionada, consumen aproximadamente 85 l/seg. Por lo tanto, el caudal propuesto por el proyecto es capaz de solventar las necesidades actuales y futuras, tanto de la comunidad de Tacaes como de Atenas, sin poner en riesgo la disponibilidad del recurso.

Finalmente, el conflicto se originó por falta de información y mala comunicación de los involucrados, esto propició que el chisme cobraría relevancia en ambas comunidades como medio para explicar el actuar de las instituciones involucradas y en el comportamiento de su contraparte. La falta de comunicación entre los actores que se encuentran vinculados directamente al uso del recurso (AyA y la Asada de Tacaes Sur), lo cual desencadenó distintas percepciones en ambas comunidades, y ocasionó que la construcción del proyecto se retrasara 5 años (Castillo-Leandro y León-Álvarez 2022).

### **Deslizamiento de tierra en Atenas**

Uno de los entrevistados mencionó el deslizamiento ocurrido en los barrios de Bajo Cacao y Calle Pavas de Atenas en octubre del 2007, luego de varios días de intensa lluvia (Campos 2015). Esto provocó la destrucción de 13 viviendas, el fallecimiento de 14 personas en el sector de Bajo Cacao y el cierre temporal de la Ruta Nacional 135 que comunica Atenas con Palmares. El deslizamiento fue de 40.000 m<sup>3</sup>.

---

<sup>13</sup>Noticia, periódico la Nación. 2019. Acabó la guerra del agua entre Atenas y Tacarés. <https://www.pressreader.com/costa-rica/la-nacion-costa-rica/20190112/282071983060059>

Campos (2015) analizó los factores causantes del deslizamiento mediante un retroanálisis, y la susceptibilidad del terreno ante otro posible deslizamiento. En este análisis se encontró que en la parte superior del deslizamiento se encontraba un muro de gaviones, que falló junto con el terreno. A escasos 14 m de donde se ubicaba el muro, se encuentra una naciente de caudal permanente que mantiene la elevación del nivel freático muy elevada. En la parte superior de la zona afectada se encuentra la urbanización Monte Real, la cual aportaba gran cantidad de escorrentía al terreno deslizado, debido a un mal manejo de las aguas pluviales. Esta agua era vertida justo detrás del muro de gaviones debido al mal estado de las cunetas.

Campos (2015) indicó en su estudio que la causa principal del deslizamiento fue la gran humedad del terreno debido al mal manejo de las aguas pluviales en la zona. El muro de gaviones también afectó el deslizamiento, sin embargo, su aporte no fue tan significativo. Se comprobó que el muro de gaviones no estaba cimentado sobre el estrato rígido, ya que de haber sido así el terreno no hubiera fallado en la forma en que falló. Además, este muro no fue construido según las especificaciones técnicas indicadas en el plano. La escorrentía superficial máxima en el sitio para un periodo de retorno de 1 año es de  $Q=20$  m<sup>3</sup>/min. La saturación del suelo en la falla fue de aproximadamente un 91 %. El terreno original fue estable a largo plazo (esfuerzos efectivos) para condiciones estáticas, sin embargo, para elevaciones de nivel freático superiores a  $h=20$  m ( $h=0$  m en la base del deslizamiento), el terreno pudo haber fallado ante un sismo de gran magnitud ( $kh=0.20$ ).

En 2009 se realizó un estudio sobre el riesgo que corren las familias que viven en la urbanización La Mandarina del Bajo de Cacao, Atenas a otro posible deslizamiento (Mora 2009). El análisis indicó que la zona es muy similar a la región de Cinchona, debido a que la comunidad se encuentra en un cañón fluvial de un río y el riesgo de otro deslizamiento es alto. Por su parte la CNE declaró la zona inhabitable y no apta para el desarrollo de infraestructura. Mientras que el alcalde de Atenas indicó que se reubicará a las familias y se iniciaría la reforestación de la zona afectada. Campos (2015) indicó que al momento de su estudio las familias no se habían reubicado.

#### **iv. Caracterización del área de estudio (biofísica y socioeconómica)**

Para la caracterización del área de estudio se utilizó información espacial oficial, para ello se consultaron las siguientes fuentes: servicios OCG del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT)<sup>14</sup>, el Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SINIGIRH)<sup>15</sup>, el Sistema Nacional

---

<sup>14</sup> [https://www.snitcr.go.cr/ico\\_servicios\\_ogc](https://www.snitcr.go.cr/ico_servicios_ogc)

<sup>15</sup> <https://mapas.da.go.cr/>



de Información Ambiental (SINIA)<sup>16</sup>, Atlas 2018. También se consultó datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), entre otros.

### **1. Delimitación de la microcuenca del río Cacao**

Primeramente, se delimitó la microcuenca utilizando Qgis 3.16.6 *with Grass*. Las capas iniciales son el modelo de elevación digital de resolución de 12.5 m, descargado de ASF<sup>17</sup> y la capa de cuencas-ICE disponible en el SINIGIRH, de la cual se extrajo el polígono correspondiente a la cuenca “Tárcoles”. El procedimiento se detalla en el Anexo 8.

### **2. Ubicación y descripción del área de estudio**

La microcuenca del río cacao se sitúa en la provincia de Alajuela, cantón de Atenas, y los siguientes 6 distritos, de los 8 que componen al cantón: San Isidro, Jesús, San José, Mercedes, Santa Eulalia y Atenas (Figura 3). La microcuenca se sitúa en las hojas cartográficas Naranja y Río Grande. La microcuenca está dentro de la cuenca del río Tárcoles (ICE) y en la ecorregión cordillera Tilarán-Montes del Aguacate Pacífico Noroeste y colinda con la ecoregión Cuenca alta río Tárcoles Pacífico Valle Central (SINAC capa de ecorregiones). Dentro de la microcuenca está una parte la zona protectora río Grande y el Cerro Atenas; también está una parte del corredor biológico monte del Aguacate, y colinda con los corredores biológicos Achioté y Garcimuñoz.

La microcuenca tiene un área de 6009.5 ha. La red hídrica está compuesta de 127.9 km, conformada principalmente por los ríos Cacao y Cajón; y algunas quebradas, entre ellas: azul, rastro, guizarros, boquerón y quebracho.

---

<sup>16</sup> <https://sinia.go.cr/datos/6032cbe8-b299-453f-81aa-5c13efffec5#home>

<sup>17</sup> <https://asf.alaska.edu/>

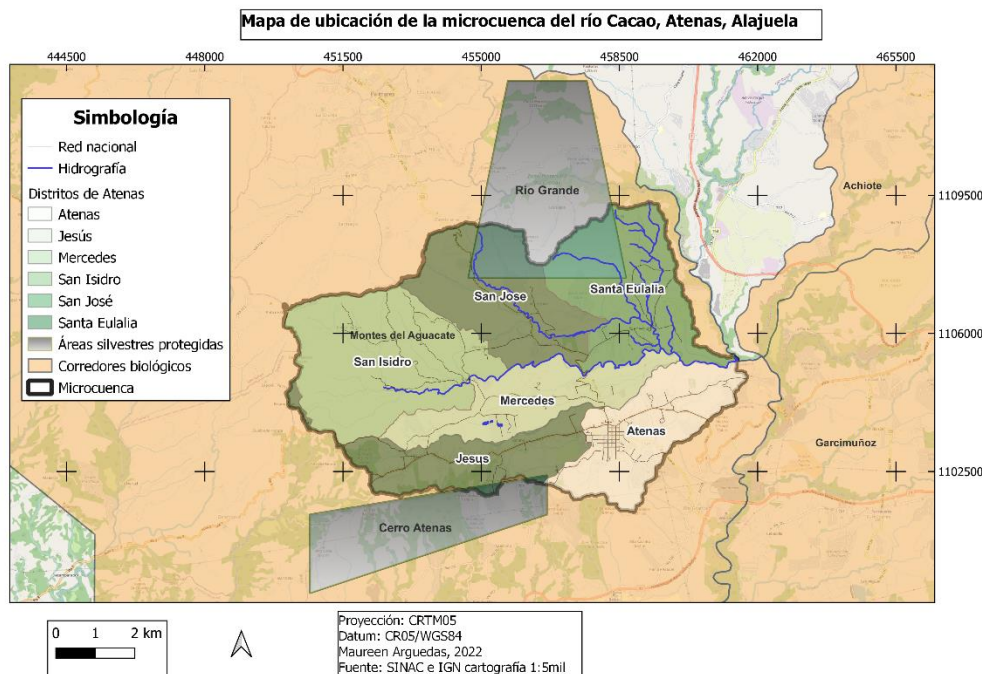


Figura 3. Mapa de ubicación de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

El sistema fluvial del cantón de Atenas es parte de la cuenca del río Grande de Tárcoles, localizado en la vertiente del Pacífico. El cantón es drenado por el río Cacao, que nace de la confluencia de las quebradas Cacao y Pato de Agua, al cual se le une el río Cajón y las quebradas Haya y Grande. El río Cacao es tributario del río Grande y éste último, al confluir con el Virilla, origina el río Grande de Tárcoles, al que dentro del cantón se le unen las quebradas Zopilota, San Francisco, Lapas, Escobal, Vega y Concepción (Arias 2012).

El piso altitudinal corresponde a Premontano, la elevación se encuentra entre 500-1500 msnm, el sitio tiene de 4 a 5 meses secos (SINAC capa de ecorregiones). El clima es seco con marcada influencia del Pacífico. Se caracteriza por tener una época seca y una lluviosa bien definida. La seca se extiende de diciembre hasta marzo. Abril es un mes de transición. El mes más seco y cálido es marzo. Los meses más lluviosos son septiembre y octubre, siendo noviembre un mes de transición (IMN, sf). El promedio de precipitación mensual para los meses más lluviosos (septiembre y octubre) oscila entre 346-355 mm, según datos del 2011 al 2022 de la estación Barrio Mercedes y entre 413-440 mm según datos del 2000 al 2014 de la estación de Sabana Larga, ambas estaciones en Atenas (Anexo 9).

El rango de pendiente corresponde a las siguientes tres categorías: moderadamente ondulado (9-15%), ondulado (16-30%) y fuertemente ondulado a fuerte (31-70%). Los suelos de la microcuenca se componen principalmente de los órdenes ultisoles (92%) y entisoles (5%), esto según la capa de suelos facilitada por el Centro de Investigaciones Agronómicas (CAI) de la Universidad de Costa Rica.

El uso de suelo predominante en la microcuenca es bosque (maduro, decidido, secundario), no forestal y pastos (Figura 4). En relación con los ecosistemas, la microcuenca del río Cacao no tiene registrados humedales (SINAC 2022<sup>18</sup>). Sin embargo, la cuenca del Tárcoles, a la cual pertenece la microcuenca en estudio, tiene 36 registros de humedales tipo estuarinos (6%), lacustre (61%) y palustres (33 %). 47% son artificiales. 64% son de clase laguna, 33% son pantanos herbáceos y 3% son bajos de lodo, arena, suelos salinos y no arbolados.



Figura 4. Mapa de ubicación y uso de la tierra de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

Fuente: elaboración propia<sup>19</sup>

<sup>18</sup> Registro Nacional de Humedales

<sup>19</sup> Anexo 10. Se encuentran los metadatos de las capas utilizadas en el mapa.

### 3. Información socioeconómica

El cantón de Atenas tiene una población de 25,460 personas, específicamente en los 6 distritos que componen la microcuenca la población es de 21,139 personas. La densidad poblacional de la microcuenca varía entre 139 y 845 personas por Km<sup>2</sup> siendo el distrito con menor densidad poblacional San José y Atenas el de mayor. La población urbana varía entre 31% (Jesús) y 82% Santa Eulalia. En promedio el 9% de la población es mayor a 65 años; y la relación hombres-mujeres es de 101, es decir hay 101 hombres por cada 100 mujeres. En la microcuenca hay 46 personas en edades dependientes por cada 100 personas en edades productivas. La microcuenca no cuenta con territorios indígenas. Sin embargo, en la cuenca del Tárcoles se encuentra la Reserva Indígena Huetar de Quitirrisí (Cuadro 6).

Cuadro 5. Datos socioeconómicos de los distritos de Atenas que componen la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

Provincia, cantón y distrito	Población total	Densidad de población <sup>20</sup>	Población urbana (%)	Relación hombres mujeres <sup>21</sup>	Relación dependencia demográfica	Población de 65 años y más (%)	Población nacida en el extranjero (%)	Personas unidas o casadas (%)	Personas con discapacidad (%)	Población no asegurada (%)
<b>Atenas</b>	<b>25 460</b>	<b>200.2</b>	<b>56.2</b>	<b>100.1</b>	<b>44.9</b>	<b>9.6</b>	<b>8.2</b>	<b>54.0</b>	<b>9.4</b>	<b>10.8</b>
Atenas	7 546	845.	79.5	95.8	41.4	10.3	6.1	50.2	9.5	9.4
Jesús	3 631	215.2	31.5	98.4	46.9	10.0	9.4	56.3	9.7	10.1
Mercedes	3 127	376.7	42.9	101.1	47.2	9.7	9.8	55.2	10.4	11.6
San Isidro	2 813	193.9	-	103.8	47.2	8.7	8.3	54.8	8.5	12.0
San José	1 940	138.8	80.6	101.0	47.8	9.6	8.9	54.2	9.6	17.1
Santa Eulalia	2 082	146.7	82.3	105.1	46.9	8.2	9.9	54.8	9.8	12.5
<b>Total</b>	<b>21 139</b>	<b>319</b>	<b>63</b>	<b>101</b>	<b>46</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>54</b>	<b>10</b>	<b>12</b>

Fuente: INEC. 2011. Censo poblacional<sup>22</sup>

Según el Índice de Competitividad Cantonal.<sup>23</sup> En 2018, Atenas se sitúa en el puesto 33, superado por Liberia (32) y seguido por Montes de Oro (34). En términos de infraestructura se puede indicar que, en Atenas, el 59% de las viviendas tienen acceso a agua potable, 30 viviendas por km<sup>2</sup> tienen acceso a electricidad, 28% de las viviendas cuentan con internet y el 26% de la red vial está pavimentada.

El Índice de Progreso Social Cantonal desarrollado por el Instituto Centroamericano de Administración de Empresas (INCAE)<sup>24</sup>, para el 2019, sitúa a Atenas en el puesto 39 (medio-alto). Algunos indicadores de

<sup>20</sup> Cantidad de personas por km<sup>2</sup>

<sup>21</sup> Se expresa como la cantidad de hombres por cada 100 mujeres

<sup>22</sup> Interpretación de indicadores demográficos.

[https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos/inec\\_institucional/metodologias/documentos\\_metodologicos/mepoblacenso2011-03.pdf.pdf](https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos/inec_institucional/metodologias/documentos_metodologicos/mepoblacenso2011-03.pdf.pdf)

<sup>23</sup> Disponible: <https://icc.fce.ucr.ac.cr/canton/2018/205>

<sup>24</sup> El Índice de Progreso Social Cantonal de 2019 ("IPS"), desarrollado por el Centro Latinoamericano para la Competitividad y Desarrollo Sostenible (CLACDS) de INCAE Business School y la organización Social Progress Imperative mide el desempeño social y ambiental de 81

este índice son los siguientes: el 16% tiene cobertura de servicio de recolección de residuos, el cual es el más bajo reportado, el promedio nacional es de 81% y 26 cantones cuentan con el 100%. El estrés hídrico es de 46%, esto hace referencia a la relación entre las extracciones totales de agua y los suministros de agua renovables disponibles, un valor de 0 se considera un alto estrés y 100 un bajo estrés. Para este indicador Atenas se encuentra en un nivel intermedio, considerando que San Pablo y Belén tienen los valores más bajos (17 y 25% respectivamente) y Golfito, Coto Brus y Limón, los más altos (superior al 80%).

En 2019 se reportaron 10 desastres naturales y 0.05% de hogares dañados por fenómenos naturales<sup>25</sup>, el valor más alto es para Cañas con 10.28% y en 36 cantones el valor fue 0. La esperanza de vida en Atenas es de 83 años, siendo la edad más alta en Turrubares (85 años) y la más baja en Liberia (77 años). Atenas, no cuenta con instrumentos de participación ciudadana, al comparar este indicador con otros cantones se observó que únicamente 20 cantones cuentan con instrumentos; la paridad de género en el gobierno municipal es de 0.80, los valores más bajos son en Guatuso y Los Chiles (0.56) y 13 cantones tienen el valor máximo (1).

#### 4. Desarrollo urbano

Atenas es uno de los sitios donde se evidencia un mayor crecimiento en el número de obras en el país (INEC 2020). Al comparar la capa de mancha urbana<sup>26</sup> del cantón de Atenas para el 2010 y el 2018 se observó que en 2010 no hay ningún polígono de mancha urbana dentro del área de estudio, mientras que para el 2018 si se visualiza, principalmente en la parte baja de la microcuenca, lo cual corresponde al distrito de Atenas (Figura 5).

---

cantones de Costa Rica. Utilizando 53 indicadores sociales y ambientales de fuentes públicas. Disponible: <https://drive.google.com/file/d/17o-1fUiPc5QStkayi3upxBISduGhYttH/view>

<sup>25</sup> Base de datos de Desinventar. <https://www.desinventar.org/>

<sup>26</sup> SNIT, servicios OCG, Ministerio de Vivienda y Asentamientos Urbanos (MIVAH). La capa representa la mancha urbana del GAM según los cálculos estimadas a partir de las imágenes del Sensor Sentinel 2, fue uno de los insumos elaborados para el Estudio del Estado de Áreas Metropolitanas de Centroamérica de la ONU-Hábitat para el cálculo de CPI del GAM en SJ, CR.



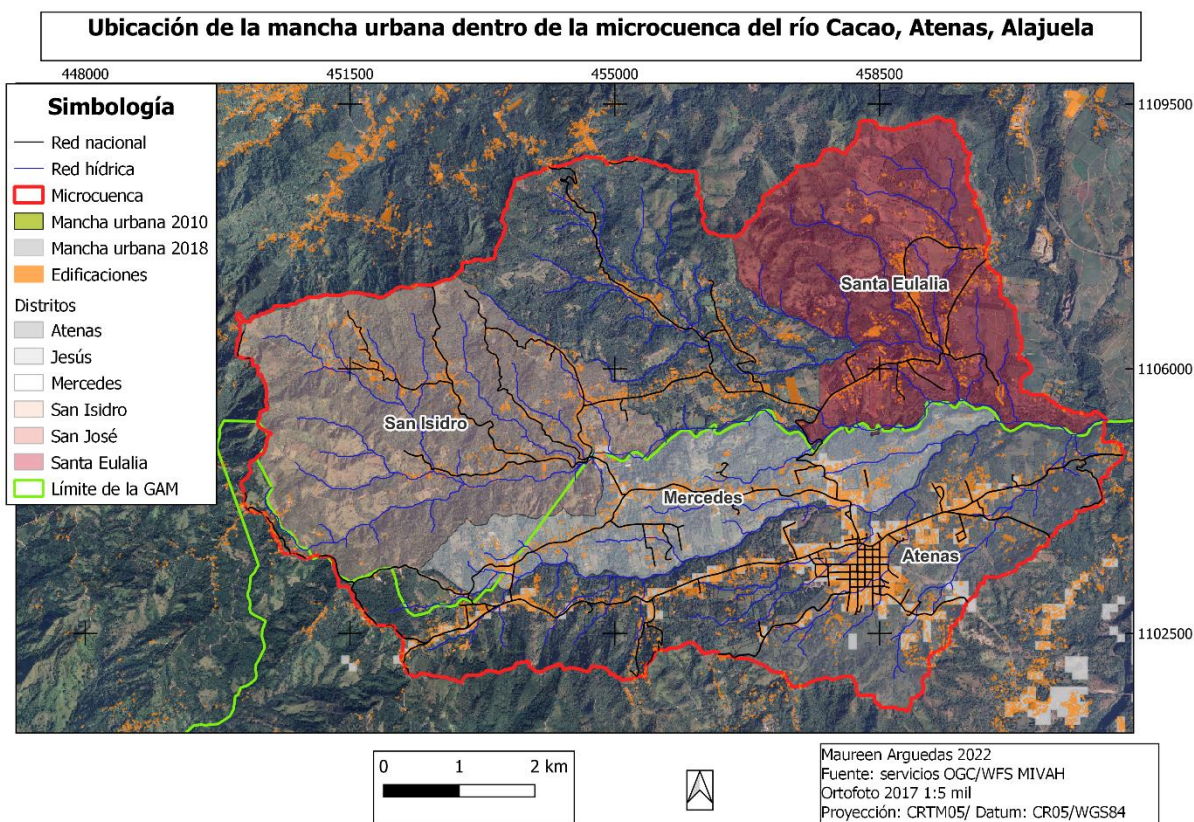


Figura 5. Ubicación de la mancha urbana dentro de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

Esta situación es importante de analizar y considerar para la gestión integral del recurso hídrico, ya que, de ser el caso que este crecimiento urbano no se esté regulando ni planificando, estaría generando presión sobre las zonas de protección ambiental y de producción agrícola de la región, comprometiendo la conservación y la calidad del recurso hídrico y el aire. Además, de lo anterior, el crecimiento y urbanización lleva implícito el aumento en la demanda de agua potable e impermeabilización de los suelos lo cual disminuye la recarga natural de los mismos y por lo tanto la cantidad de agua que puede extraerse. También, representa una amenaza para la calidad del agua debido a la existencia de gran cantidad de tanques sépticos y otras fuentes de contaminación.

La variación en la cobertura del suelo producto del proceso de urbanización produce alteraciones en los patrones de drenaje, aumentando la escorrentía superficial por efecto de la impermeabilización (cemento, asfalto, zinc, canoas, alcantarillados y otros), lo anterior sumado a lluvias fuertes en periodos cortos influye en que se sobrepase la evacuación de los caudales, incidiendo en la ocurrencia de inundaciones (MIVAH, MINAE, PNUMA 2006).

En Atenas se presentó un conflicto por el agua entre comunidades vecinas de Grecia y Atenas. En 2014, 60% de los habitantes de Atenas sufría de racionamientos diarios de agua (Fornaguera 2014). Como respuesta a esta situación de escasez de agua, el AyA inició en 2012 un proyecto para aumentar el caudal de agua de la captación en Grecia, y así trasladar el agua hacia Atenas y solucionar el desabastecimiento. Luego, inició un conflicto que duró aproximadamente siete años entre el Estado y las comunidades de Atenas y Tacares de Grecia por el uso de las fuentes ubicadas en el Parque Recreativo Municipal Los Chorros en Tacares.

## 5. Gestión del recurso hídrico

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) abastece la mayoría de la población ubicada en el distrito central de Atenas y algunas zonas aledañas. Los distritos restantes del cantón están a cargo de 10 Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (Asadas) (Cuadro 7).

Cuadro 6. Listado de Asadas que brindan servicio dentro de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

Nombre de la Asada	Clúster
Barrio Jesús de Atenas	2
Morazán de San Isidro de Atenas	2
Barrio San José Norte y Sur de Atenas	2
San Isidro y Barrio Mercedes	2
Altos de Naranjo de San Isidro de Atenas	3
Plancillo de Mercedes de Atenas	3
Rincón Altos de Naranjo de San Isidro	3
El Santuario de Atenas	3
Alto del monte de Jesús de Atenas	No
Vistas de Atenas	definido

Según datos del Sistema de Apoyo y Gestión de Asadas (SAGA) del AyA, estas 10 Asadas abastecen a 9656 personas, de 14 comunidades; siete Asadas lo hacen por medio de un sistema de mixto, dos por gravedad y una por bombeo. La longitud de tubería promedio es de 10 km. El año de construcción varía entre 1948 y 2005. Con respecto al tipo de fuente de agua, para las 10 Asadas en el área de estudio, se reportaron 104 fuentes de agua, de las cuales 84 son de tipo manantial y 20 pozos. La cantidad de fuentes por Asada varía entre 1 y 26. La mayoría de las Asadas (82%) han indicado que las fuentes de agua no se encuentran demarcadas, ni cuentan con cerca de protección inmediata (88%). Sin embargo, a la mayoría de las fuentes se les hace visitas de vigilancia periódicamente (85%). La mayoría de estas fuentes no tiene una condición de acceso adecuado (57%), ni existe servidumbre de acceso (53%), la mayoría no le da mantenimiento a la servidumbre (56%). Un 28% de las fuentes se encuentran protegidas, dado que se han comprado terrenos. El 64% de estas fuentes no están rotuladas, y el 24% de las fuentes tiene población en

un radio de 50 m. Casi en su totalidad las Asadas indicaron que en los alrededores de las fuentes no hay presencia de basura.

La Intendencia de Agua de la Aresep analizó el nivel de gestión de estas Asadas utilizando 12 variables disponibles en el Sistema de Apoyo y Gestión de Asadas (SAGA) del AyA. Las variables utilizadas se agruparon en las siguientes cuatro categorías: i) administrativas, ii) mercado, iii) calidad y iv) infraestructura (Anexo 11). Producto de este análisis se agruparon las Asadas con características similares, resultando en cuatro clústers, en los clúster o grupos 1 y 2 están las Asadas con mejor capacidad de gestión, mientras que el 3 y 4 están las Asadas que requieren mejorar sus capacidades (González *et al* 2022).

**Concesiones.** Según la información disponible, en septiembre 2022, por la DA<sup>27</sup> en la microcuenca del río Cacao hay 417 concesiones de las cuales 113 están vigentes, éstas tienen fechas de vencimiento del 2022 al 2032. El 75% de estas concesiones provienen acuíferos, seguido de nacientes (18%) y en menor medida quebradas (6%) y cauces (0.8%) (Cuadro 8) (Figura 6).

Cuadro 7. Caracterización de las concesiones de agua vigentes en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

Tipo de expediente	Tipo de fuente				
	Acuífero	Cauce	Nacimiento	Quebrada	Total
Aguas superficiales		1	20	7	28
Pozo	75				75
Pozo (amnistía)	10				10
<b>Total</b>	<b>85</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>7</b>	<b>113</b>

Fuente: SINIGIRH

La mayor cantidad de agua concesionada es para riego (42 m<sup>3</sup>) y abrevadero (14 m<sup>3</sup>), seguido de consumo humano (6.4 m<sup>3</sup>) (Cuadro 6).

Cuadro 8. Uso del agua concesionada (m3) en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

Uso del agua concesionada	Descripción	m <sup>3</sup>
Turístico	Desarrollo de actividades de servicio tales como el de hotelería, recreación, restaurante, bar, piscinas, piscinas termales, destinados a visitantes nacionales y extranjeros.	1.744
Agroindustrial	Producción, industrialización, procesado y preparación de productos agropecuarios, procesos de arrastre, limpieza de productos, enfriamiento o generación de vacíos, en actividades tales como ingenio, beneficiado, concentrado, lavado y empaque de frutas y/o verduras frescas o preparadas.	1.91
Consumo humano	Empleo del agua que reúne todas las condiciones indicadas por el Ministerio de Salud, sea concesionada o inscrita, para satisfacer las necesidades básicas de consumo, limpieza y saneamiento, sean estas suministradas por medio de un servicio público o autoabastecidas por un acueducto propio.	6.39

<sup>27</sup> <https://drive.google.com/file/d/1oAI91RDakoyt-FUYZFDJDFryg1JAO072/view>



Abrevadero/ agropecuario	Reproducción, crianza y comercialización de animales y siembra y comercialización de productos agrícolas, incluye actividades de riego y fumigación.	14.08
Riego	Práctica mediante la cual se satisface la demanda hídrica a los cultivos en las condiciones de estrés, de modo que la producción se óptima	41.82
Industrial	Procesos de producción de actividades industriales, tales como metalúrgica, química, farmacéutica, pinturas, alimentaria, bebidas, textiles, minería.	0.5
<b>Total</b>		<b>66.444</b>

Fuente: Manual técnico de dotaciones de agua aprobado mediante resolución R-0327-2021 MINAE<sup>28</sup> y datos SINIGIRH.

**Vertidos.** Actualmente hay cinco permisos por vertidos, los cuales están vigentes entre el periodo 2023-2031. En dos de estos permisos el cuerpo receptor es el río Cacao, uno a la quebrada el rastro, quebrada azul y río Cajón (Figura 6).

**Obras en cauce.** Cauces del dominio público intervenidos con infraestructuras hidráulicas. Se revisó la información disponible en el SNIT de la Dirección de Agua (DA), no se encuentran reportadas obras en cauce para la microcuenca del río Cacao.

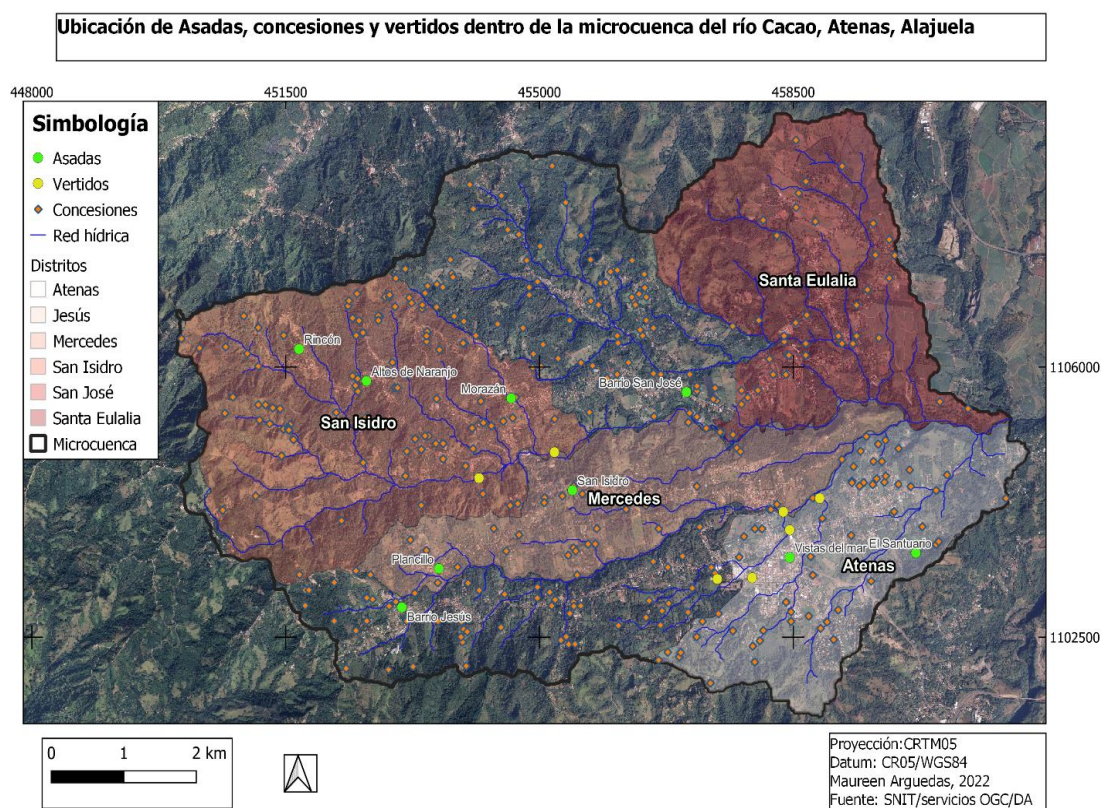


Figura 6. Mapa de Asadas ubicación de concesiones y vertidos de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

<sup>28</sup> [https://da.go.cr/wp-content/uploads/2016/06/MANUAL\\_TECNICO\\_DE\\_DOTACIONES\\_DE\\_AGUA.pdf](https://da.go.cr/wp-content/uploads/2016/06/MANUAL_TECNICO_DE_DOTACIONES_DE_AGUA.pdf)

**Aguas residuales.** En promedio el 18% de los hogares dentro de la microcuenca del río Cacao tiene el servicio sanitario conectado a tanque séptico. Esta situación se reporta con mayor frecuencia en el distrito de Atenas y en menor medida en el distrito de San José; en los cuatro cantones restantes los valores se mantienen entre 11 y 16%. En menor medida las personas recurren a otras medidas como: salida directa a zanja, río o estero (0.03%) y hueco o letrina (0.20%) (Cuadro 10).

**Almacenamiento del agua.** En promedio el 18% de los hogares cuenta con un tanque de almacenamiento de agua. Esto sucede con mayor frecuencia en Atenas (35%), Jesús (23%) y San José (18%), y en menor medida en Santa Eulalia (9%), Mercedes (10%) y San Isidro (11%) (Cuadro 10).

Cuadro 9. Gestión de las aguas residuales y almacenamiento del agua en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

Distrito	¿El servicio sanitario está conectado a?				Tenencia de tanque de almacenamiento de agua (sí, %)
	Tanque séptico	Tiene salida directa a acequia, zanja, río o estero	Hueco, de pozo negro o letrina	No tiene servicio sanitario	
Atenas	41	0.12	0	0.0	35
Jesús	16	0.00	0.08	0.0	23
Mercedes	13	0.02	0.12	0.0	10
San Isidro	11	0.02	0.43	0.0	11
San José	6	0.00	0.37	0.0	18
Santa Eulalia	12	0.02	0.25	0.0	9
<b>Promedio</b>	<b>18</b>	<b>0.03</b>	<b>0.20</b>	<b>0.02</b>	<b>18</b>

Fuente: Censo 2011

## 6. Gestión de residuos sólidos

El 84% de los hogares de la microcuenca respondieron, en el Censo 2011, que cuentan con servicio de recolección de basura. Sin embargo, al observar los datos por distrito se observan diferencias, reportándose valores entre 3 y 7% en tres distritos (San Isidro, San José y Santa Eulalia), valores intermedios en Jesús y Mercedes (entre 11 y 15%) y únicamente en Atenas un valor de 41% (Cuadro 11). En promedio 12% de los hogares reportaron quemar la basura y un 4% entierran la basura. Nadie reportó tirar la basura a los cuerpos de agua.

Más del 50% de los hogares dentro de la microcuenca separa los residuos, principalmente el vidrio, plástico y aluminio (50%), seguido de los restos de comida (46%) y finalmente el papel (41%).

Cabe destacar que estos datos provienen del Censo 2011, es posible que en 2022 esta realidad sea distinta. De hecho, uno de los entrevistados manifestó observar mejoras en cuanto al sistema de recolección de basura.

Cuadro 10. Gestión de los residuos sólidos en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

Distrito	Eliminación de desechos sólidos					Clasificación de residuos		
	Por camión recolector	Botan en un hueco o entierran	La queman	Botan en lote baldío	Botan en un río, quebrada o mar	Separan vidrio, plástico, aluminio (sí) %	Separan papel (sí, %)	Separan restos de comida (sí, %)
Atenas	41	0.06	0.08	0.00	0.00	51	45	35
Jesús	15	0.31	0.59	0.02	0.00	51	42	45
Mercedes	11	0.37	1.15	0.06	0.00	47	40	43
San Isidro	6	1.47	3.93	0.04	0.00	52	34	52
San José	3	0.57	1.98	0.04	0.00	47	37	45
Santa Eulalia	7	1.19	4.36	0.04	0.00	55	45	59
<b>Promedio</b>	<b>84</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>50</b>	<b>41</b>	<b>46</b>

Fuente: Censo 2011

## 7. Pago por servicios ambientales (PSA)

Según los datos suministrados por el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (Fonafifo) en la microcuenca no se encuentra vigente ningún contrato de PSA. En distritos cercanos hay tres proyectos de PSA, específicamente en el distrito de Jesús, cantón de Atenas, y en el distrito La Granja, cantón de Palmares. Dos de los proyectos son de la modalidad protección del bosque (uno de 29.8 ha y otro de 26 ha) y el tercer proyecto corresponde a sistema mixto en agroforestería (2.9 ha, 545 árboles) (Figura 10).

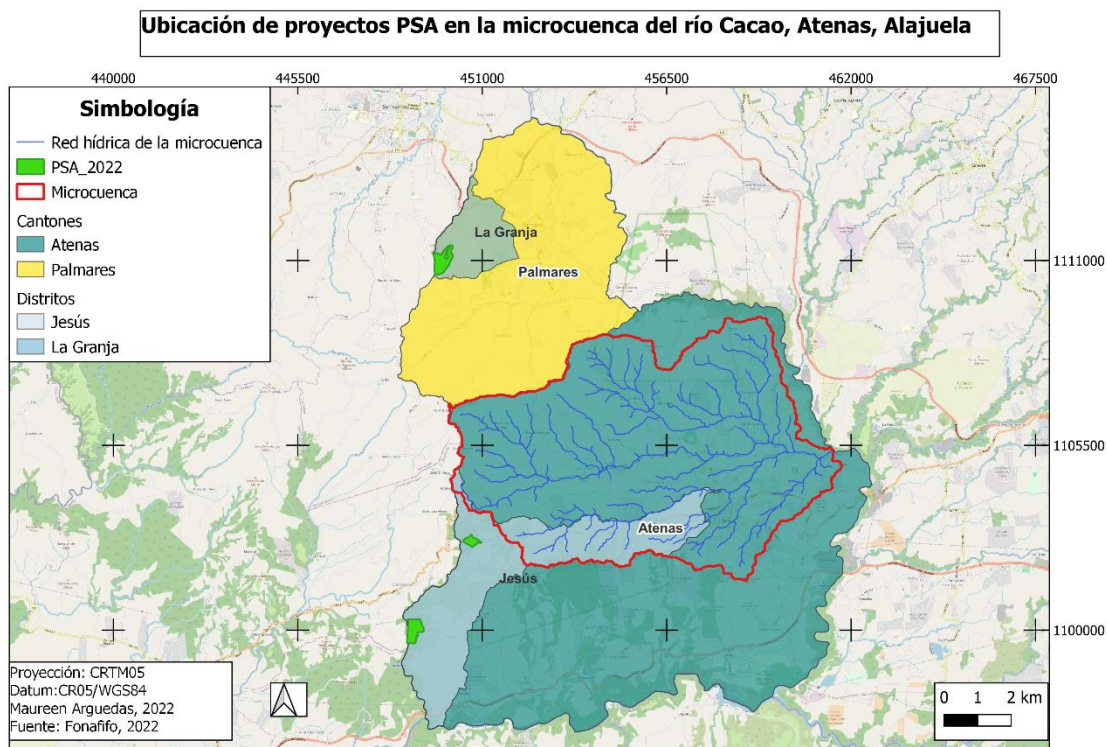


Figura 7. Ubicación de proyectos PSA en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

## 8. Eventos hidrometeorológicos

En el área de estudio se han presentado eventos hidrometeorológicos, entre ellos: un deslizamiento e inundaciones (Figura 8). El deslizamiento ocurrió en 2007. Con respecto a la inundación, está se presentó en una zona urbana; se desconoce si han sido recurrentes en este sitio. Tampoco fue posible obtener información más actualizada.



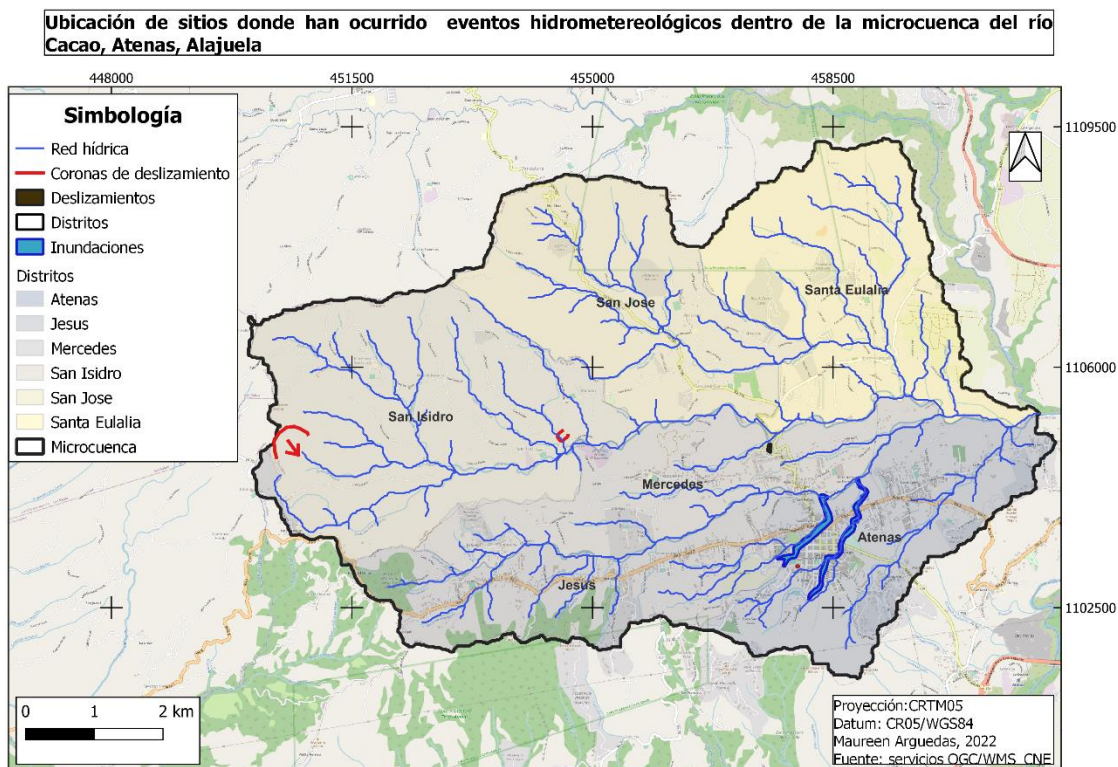


Figura 8. Sitios en los que ha ocurrido eventos hidrometeorológicos, microcuenca del río Cacao, Atenas, Costa Rica

## v. Recorrido por la microcuenca

Se realizó un recorrido por la microcuenca con el fin de observar algunos puntos estratégicos, en la parte alta, media y baja (Figura 9). En la parte alta, se realizó un recorrido por el río Quebracho. Allí se observaron algunas obras de captación de la Asada San Isidro, las cuales se encontraban debidamente rotuladas. También se observó una propiedad boscosa, en medio de potreros de ganadería, comprada por la Asada para protección de sus fuentes de agua. En la parte media y baja se observó el desarrollo urbanístico. En donde se observó residenciales, comercios, escuelas, colegios, CoopeAtenas R.L, entre otros.







Uso de suelo café



Uso de suelo potreros para ganadería



Propiedad de la Asada para protección





Figura 9. Puntos de algunos sitios visitados en el recorrido de campo en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

#### vi. Selección de indicadores para la priorización de sitios para el desarrollo de estrategias de protección y restauración del recurso hídrico

Para la selección de indicadores fue de utilidad analizar ciertas preguntas claves entre ellas: ¿qué aspectos del paisaje influyen (positiva o negativamente) sobre el recurso hídrico? ¿Qué aspectos/variables permiten identificar que un ecosistema requiere ser restaurado? ¿Con qué información espacial se cuenta? ¿Qué indicadores *sombrilla* permitirían proteger el recurso hídrico? ¿Qué condiciones del terreno deben ser identificadas dado que influyen en la cantidad, calidad o permanencia del recurso hídrico?

El agua es un recurso vital para el mantenimiento y la conservación de toda la vida en el planeta; se reconoce su función ecológica como fuente de vida y de sobrevivencia de todas las especies y ecosistemas que dependen de ella.<sup>29</sup> Una cuenca en buen estado necesita de plantas y árboles para proteger el hábitat de la vida silvestre, y para preservar las fuentes de agua. Es por esto que se consideró importante proponer indicadores que tengan influencia en el régimen natural de las aguas y protejan la funcionalidad hídrica. Esto incluye la relación agua-suelo. Las características y propiedades hidrológicas de los suelos son factores determinantes en los procesos hidrológicos de una cuenca, los cuales son afectados por la cubierta vegetal

<sup>29</sup> Decreto Ejecutivo N° 30480-MINAE

y su gestión. Un mejor conocimiento de la relación agua-suelo-vegetación es esencial para el desarrollo de estrategias de gestión del agua y el territorio (Valiente *et al* 2021).

Además, de las preguntas claves se tomaron en cuenta los siguientes insumos: i) la revisión del contenido de instrumentos legales relacionados con el uso, conservación y/o gestión del agua, en éstos se identificó prohibiciones y/o restricciones legales, así como principios o criterios (Anexo 12A); ii) criterios utilizados en otros estudios similares (Anexo 12B), y iii) los temas mencionados por los actores claves entrevistadas.

El análisis de lo indicado anteriormente permitió generar un listado amplio de indicadores que podrían generar un impacto, positivo o negativo, en la cantidad y la calidad del agua, y que podrían ser utilizados en otros sitios (Anexo 12). Sin embargo, no todos estos indicadores se utilizaron para el presente estudio, por varias razones, entre ellas: i) los indicadores no están representados en el área de estudio, como es el caso de ecosistemas frágiles como los humedales, o la ocurrencia de incendios forestales. Ii) la disponibilidad de datos y iii) la variabilidad de los datos, por ejemplo: la precipitación es un indicador importante, pero no fue incluido en este estudio debido a la disponibilidad de datos y a lo reducido del área de estudio, por lo que para demostrar su variabilidad dentro de la microcuenca tendría que disponerse de mediciones en distintas partes (alta, media, baja).

Arias (2012) indica que el registro de precipitaciones de las nueve estaciones meteorológicas aledañas al cantón de Atenas, evidencian un comportamiento bastante similar entre ellas, con un periodo lluvioso que inicia en marzo y concluye en noviembre en la mayoría de las estaciones pues en Turrúcares se extiende hasta el mes de diciembre. Los meses más lluviosos son septiembre y octubre con un valor de promedio aritmético de 325 mm/mes.

Con respecto a indicadores climáticos, se resaltan algunos de importancia: i) precipitación representa una condición ambiental importante para una cuenca hidrográfica, pues controla en gran medida el ciclo hidrológico y es relevante para determinar la oferta hídrica, además tiene un efecto en la recarga hídrica. Ii) El número de meses secos, la variabilidad en la disponibilidad de agua entre la época seca y la lluviosa ponen de manifiesto la importancia de preservar y mejorar la capacidad para regular y recargar los acuíferos, debido a que estos controlan la disponibilidad de agua para sus diferentes usos en el resto de la cuenca. Las áreas con mayor cantidad de meses secos tienen influencia en caudales menores y esto repercute en mayor concentración de contaminantes en la cuenca, perjudicando las actividades aguas debajo de la cuenca. Cabe destacar que algunos de los indicadores del Anexo 12 no son espacializables, por lo tanto, no pueden ser utilizados en el álgebra de mapas. Sin embargo, son importantes de considerar para complementar el



análisis espacial, entender el contexto y tomar decisiones sobre las gestiones a realizar en una cuenca o microcuenca. Los Indicadores cualitativos son importantes para describir y entender el contexto. Sin embargo, no siempre se dispone de esta información, por lo que la misma debe generarse de forma participativa, por medio de consultas a los actores locales. Se propone como buena práctica complementar el análisis espacial con indicadores cualitativos (ver capítulo XI percepción local sobre el recurso hídrico capítulo).

Con el uso de los indicadores propuestos se pretende realizar un análisis exploratorio, para caracterizar el estado actual de la microcuenca en estudio por lo tanto planificar intervenciones para proteger el recurso hídrico y restaurar ecosistemas. Cabe destacar que para evaluar el agua subterránea se requiere estudios detallados y específicos tales como estudios hidrológicos o hidrogeológicos.

Debido a lo explicado anteriormente se generó una lista más corta de indicadores (Cuadro 10). Los indicadores propuestos se agruparon en las siguientes tres temáticas dada sus similitudes en cuanto al impacto que generan sobre la gestión del recurso hídrico.

**1) Presión sobre el recurso hídrico:** agrupa indicadores que visibilizan la demanda que se le da al recurso hídrico y la posible presión sobre el mismo. En este sentido, se consideró incluir la densidad poblacional (cantidad de habitantes por km<sup>2</sup>). Las áreas con mayor densidad representan los sitios que se asume ejercen una mayor presión poblacional sobre los recursos naturales, en este caso sobre el agua.

El crecimiento poblacional y la concentración urbana implica un aumento sostenido en la demanda de agua, por lo que se requiere de una gestión y manejo adecuados de los ecosistemas que abastecen el líquido para garantizar una apropiada oferta futura (Solano *et al* 2016).

Inicialmente se había contemplado incluir como indicadores las concesiones, los permisos de vertidos y las obras en cauce, para visibilizar la presión sobre el recurso hídrico, pues además de ser información de utilidad se encuentra espacializada, disponible y es fácil de acceder. Sin embargo, al menos en el área de estudio no hay reportadas obras en cauce y la cantidad de vertidos es mínima (5 permisos).

Con respecto a concesiones se requiere de un análisis más profundo para que realmente el indicador refleje la presión sobre el recurso hídrico, por ejemplo: el indicador *cantidad de concesiones* no refleja realmente la presión dado que puede presentarse que un cuerpo de agua tenga muchas concesiones, y que la suma de

todas ellas estén por debajo del caudal disponible. En este caso un posible indicador podría ser el caudal concesionado con respecto al caudal disponible por el cuerpo de agua. Cabe destacar que DA-MINAE como ente encargado de regular y controlar el aprovechamiento de cada una de las concesiones que se inscriben y se otorgan, ha desarrollado herramientas técnicas que permiten esta labor por ejemplo: obras de calibración del aprovechamiento de agua, manual de dotaciones<sup>30</sup> y también realiza un monitoreo de las fuentes de agua concesionadas cada 2 años o cuando el concesionario lo solicita, esto último ocurre cuando el concesionario percibe una disminución en el caudal recibido, por lo que recurre a la DA-MINAE para solicitar un ajuste al monto que pagan por concepto del Canon por Aprovechamiento del Agua (CAA).

En resumen, para evaluar la presión sobre el recurso hídrico se tomará como indicador únicamente la densidad poblacional por distrito.

2. **Características del sitio y de los ecosistemas:** ciertas características del sitio propician la infiltración del agua, lo cual es una característica deseable.

### **Bosque/cobertura forestal**

El **bosque** crea un mantillo forestal, el cual protege el suelo de la compactación debido al impacto de las gotas de lluvia, adiciona materia orgánica al suelo mineral y disminuye el volumen y la velocidad de la escorrentía, permitiendo mayor infiltración por las raíces al abrir grietas en el suelo. También el mantillo forestal mantiene altas tasas de infiltración y percolación en el suelo y subsuelo. Esto permite que el agua de lluvia penetre en el suelo mineral y se mueva tanto en forma lateral (flujo sub superficial) como vertical (percolación profunda). La percolación permite crear acuíferos y estos a su vez mantienen el flujo base durante la estación seca. El acuífero funciona como un espacio tridimensional que almacena agua en forma dinámica, o sea gana y pierde agua en el tiempo (Reyes *et al* 2002).

Los árboles son indispensables en los ciclos del agua, oxígeno, carbono y nitrógeno las raíces de los árboles contribuyen con la formación y fijación de los suelos, mejoran la fertilidad por los compuestos nitrogenados que se forman en muchas especies o bien por la descomposición de ramas, hojas, flores y frutos al formar el mantillo, que más tarde se convierte en suelo, además, proporcionan hábitat y alimento a la fauna silvestre (Rovere 2011).

---

<sup>30</sup> Manual técnico de dotaciones de agua. Aprobado mediante resolución R-0327-2021-MINAE del 29 de septiembre del 2021. Objetivo: Establecer la cantidad de agua (caudal en litros por segundo) requerida por unidad de producción o necesidad, para cada una de las actividades humanas; que sirva de base para la evaluación técnica de necesidades y resolver sobre las solicitudes de asignación de caudal en las concesiones e inscripciones, según los usos establecidos en la Ley de Aguas N°276 y Decreto Ejecutivo N°32868-MINAE del CAA. Su uso es complementario con otros instrumentos y procedimientos ordinarios de la Dirección de Agua.

### **Pendiente**

Además del bosque, la **pendiente** es un factor que influye en la infiltración del agua. En sitios de mayor pendiente hay menor infiltración. En condiciones de pendiente plana, el agua cae a la superficie y su movimiento será lento, lo que dará un mayor tiempo para que esta se infiltre, caso contrario en condiciones de terreno quebrado, el agua cae y debido a la inclinación del terreno se desplaza a mayor velocidad pasando más rápido a formar parte del agua de escorrentía, a mayor escorrentía, la recarga hídrica disminuye (Padilla 2003).

La pendiente está relacionada directamente con la pérdida del horizonte fértil del suelo. La inclinación y la longitud de la pendiente son características del terreno que inciden en el comportamiento de los flujos de agua, que dependiendo de la vegetación existente o no, pueden ser precursores de problemas de erosión, a mayor inclinación y longitud de pendiente suele existir una erosión más considerable. El grado de inclinación de la pendiente, así como las malas prácticas de manejo de la tierra, influyen en la erosión, definida en el Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM como la pérdida actual o potencial de suelo provocada por la escorrentía superficial y la acción del viento.

La pendiente limita el uso de la tierra; entre mayor la clase, mayor es la limitación y por tanto la restricción a ciertos usos de la tierra. Según el Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM, la clase VII, misma que tiene entre otras características pendientes superiores a 60%, tiene limitaciones tan severas que sólo permiten el manejo del bosque natural primario o secundario. En las tierras desnudas debe procurarse el restablecimiento de vegetación natural.

### **Área de protección (art 33 Ley Forestal)**

Otra característica del sitio que incide sobre el recurso hídrico es el **área de protección de cuerpos de agua**, además de ser un mandato legal (Ley Forestal, artículo 33 y Ley de Aguas, artículos 31 y 32), es una condición deseable debido los múltiples beneficios que estos ecosistemas proveen a la calidad del agua. El manejo de cuencas comienza con el establecimiento de vegetación de ribera densa, como componente clave de los ecosistemas fluviales que proporciona una gran cantidad de servicios ecosistémicos, por un lado, estas formaciones vegetales regulan los flujos de materia y energía en los ecosistemas acuáticos y terrestres, aportando materia orgánica particulada al cauce una de las principales fuentes alimenticias para los organismos que habitan en los cauces fluviales, el desarrollo de la vegetación de ribera ayuda a la estabilización de taludes, evita la erosión de las márgenes, favorecen la retención de sedimentos y la creación de nuevos hábitats (Sánchez 2007).

## Estado de los ecosistemas

El estado de los ecosistemas brinda una idea sobre el funcionamiento natural de los ecosistemas y su capacidad para producir servicios ecosistémicos (SE). Un ecosistema sano brinda múltiples SE, algunos de ellos relacionados con el recurso hídrico.

La vegetación es importante para el equilibrio del sistema ambiental, y es considerado un recurso con un amplio valor intrínseco (bosques naturales, agricultura, ganadería, pastos). Además, la cubierta vegetal juega un papel decisivo para el adecuado mantenimiento del resto de recursos naturales que componen el sistema (Alatorre *et al* 2014; Salinas *et al* 2017).

Los SIG ofrecen la posibilidad de asociar espacialmente diferentes fuentes de datos que contengan una ubicación (datos geospaciales). Por lo tanto, partiendo del análisis de imágenes generadas por sensores remotos, es posible obtener información de ciertas características de las coberturas vegetales a través de las diferentes bandas del espectro electromagnético y la aplicación de ecuaciones para la obtención de índices de vegetación a partir de los valores de reflectividad a distintas longitudes de onda (Hatfield, 2008; Aguilar *et al* 2010).

Los valores de **Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada** (NDVI) son el reflejo de la relación de la banda roja y una banda en el infrarrojo cercano (IRc). Por lo tanto, en la vegetación la banda roja se ve influenciada por la cantidad de clorofilas, mientras que la banda NIR es influenciada por el contenido de agua (Asner, 1998; Curran, 1989). Estas propiedades hacen que el NDVI se constituya en una valiosa herramienta para la evaluación de cubiertas vegetales, así como para estudiar la clasificación, dinámica vegetal y sus aspectos fenológicos (Rouse *et al* 1974).

$$NDVI = \frac{IRc - R}{IRc + R}$$

### Donde:

- **NDVI** es el índice de vegetación cuyo resultado oscila entre -1 y 1,
  - valores menores a 0,1 se interpreta como suelos desnudos o cuerpos de agua,
  - valores mayores a estos va en relación equivalente a la cobertura vegetal, entre más alto los valores indican la actividad fotosintética de las diversas coberturas
- **IRc** representa la banda del infrarrojo cercano
- **R** a la banda del rojo

El uso de cocientes para discriminar las masas vegetales se deriva del comportamiento radiométrico de la vegetación. La signatura espectral característica de la vegetación sana muestra un claro contraste entre las bandas del rojo visible (VIS) y especialmente la banda roja (0,6 a 0,7 um) y el IRc (0,7 a 1,1 um). Mientras que en el VIS los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben, estas sustancias apenas afectan al IRC. Por este motivo se produce un notable contraste espectral entre la baja reflectividad de la banda R del espectro y la del IRC, lo que permite separar claramente la vegetación sana de otras cubiertas.

Cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés su reflectividad será inferior en el IRC, aumentando paralelamente en el rojo (al tener menor absorción clorofílica), con lo que el contraste entre ambas bandas será mucho menor. En resumen, cuanto mayor sea la diferencia entre las reflectividades de la banda IRC y R, mayor vigor vegetal presentará la cubierta observada; bajos contrastes indican una vegetación enferma, senescente o con poca densidad, hasta llegar a los suelos descubiertos o el agua, que presentan una reflectividad similar entre el IRC y el R o incluso inferior en esta última (caso del agua o algunas nubes) (Chuvieco 2002).

La base de las fórmulas de los índices de vegetación está en la diferente reflectancia o absorción de las plantas para las distintas longitudes de onda del espectro electromagnético que les llega el sol. Para cada longitud de onda se comportan de distinta forma la vegetación sana, la vegetación enferma, el suelo, entre otros.

El **Índice de Vegetación Ajustado al Suelo**, considera un factor adicional (L) en la ecuación del NDVI, esto permite capturar la información en escenarios donde el desarrollo vegetal es incipiente; además, evita distorsiones en los valores de análisis cuando la vegetación se encuentre en suelos expuestos, es decir evita la influencia del suelo.

$$SAVI = \frac{IRc - R}{IRc + R + L} * (1 + L)$$

**Donde:**

- **IRc** representa la banda del infrarrojo cercano
- **R** a la banda del rojo
- **L:** factor que amortigua la presencia del suelo. Se utiliza 0 para zonas con gran densidad vegetal, 1 para zonas con escasa densidad vegetal. Se utiliza 0,5 para suelos medianamente expuestos.

A continuación, se resumen los indicadores que serán utilizados en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela para priorizar sitios a restaurar para proteger el recurso hídrico (Cuadro 12 y Figura 10).

Cuadro 11. Resumen de indicadores para priorizar sitios para el desarrollo de acciones de protección y restauración del recurso hídrico

Temática	Indicador	Fuente de información
<b>Presión poblacional</b>	<b>Densidad poblacional (cantidad/km<sup>2</sup>):</b> sitios con mucha densidad poblacional demandan más recursos, entre ellos el agua. Además, la densidad de población es un mecanismo para ubicar a los pobladores geográfica e indirectamente los sistemas productivos de la cuenca, al asumirse que los pobladores habitan sus propias fincas productivas.	INEC
<b>Características del sitio</b>	<b>Pendiente (en porcentaje):</b> Limita el uso de la tierra. Entre mayor la clase mayor es la limitación y por tanto la restricción a ciertos usos de la tierra.	Dem de alta resolución <sup>31</sup>
	<b>Uso del suelo en Áreas de protección nacientes, ríos y quebradas</b> Según la Ley Forestal las áreas de protección de cuerpos de agua deben estar resguardados. Son sitios de importancia para el recurso hídrico y mantienen y potencial la conectividad entre ecosistemas.	SINAC 2022 <sup>32</sup> (Mapa de tipos de bosque) Y elaboración propia (delimitación de las AP)
	<b>Condición de los ecosistemas:</b> conocer el estado de la vegetación puede dar una idea sobre el funcionamiento natural de los ecosistemas y su capacidad para producir servicios ecosistémicos. La capacidad de recarga y escurrimiento superficial en una cuenca depende de la cobertura vegetal presente, por su efecto en la protección del suelo y el mantenimiento de condiciones adecuadas de infiltración y percolación, mantenimiento de caudales de aguas superficiales durante todo el año y la capacidad de recarga de los reservorios. La condición del ecosistema se evaluó por medio de los índices NDVI y SAVI.	Imagen Sentinel

<sup>31</sup> Sitio de descarga de DEM de alta resolución: <https://asf.alaska.edu/>

<sup>32</sup> SINAC, 2022. Mapa de tipos de bosque y otras tierras de Costa Rica (en impresión)

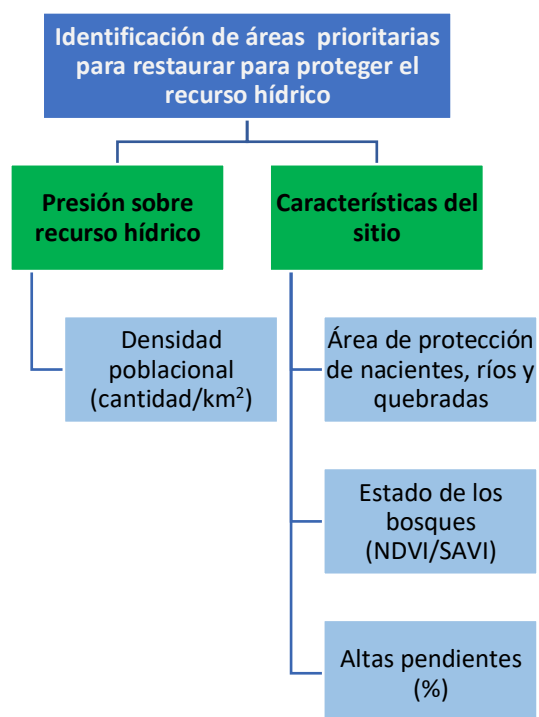


Figura 10. Resumen de indicadores para priorizar sitios para el desarrollo de acciones de protección y restauración del recurso hídrico

A continuación, se presenta el comportamiento de los indicadores en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela.

## 1. Presión sobre el recurso hídrico

### Densidad poblacional

La microcuenca abarca seis de los ocho distritos de Atenas. Dentro de la microcuenca se encuentra la totalidad de la extensión de los distritos de Mercedes y San Isidro; en el caso de los otros distritos varía la proporción de área ( $\text{km}^2$ ) dentro de la microcuenca entre un 42 y un 89% (Figura 11 y Cuadro 14). Utilizando estas proporciones de área y la cantidad de habitantes por distrito reportada por el INEC (2011) se realizó un ajuste al dato de población y se estimó el dato de densidad poblacional por distrito, se encuentra entre 137 (Santa Eulalia) y 773 (Atenas), el promedio para la microcuenca es de 309 personas/ $\text{km}^2$  (Cuadro 14).



Figura 11. Distritos que componen la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

Cuadro 12. Población dentro de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

Nombre del distrito	Distrito		Microcuenca			
	Área (km <sup>2</sup> )	Población (cantidad de personas)	Área dentro de microcuenca (km <sup>2</sup> )	% de área dentro de microcuenca	Población dentro de microcuenca	Densidad (cantidad de personas/km <sup>2</sup> )
Jesús	18.11	3631	7.6	42	1,523.8	200
Atenas	9.76	7546	8.7	89	6,711.0	773
Mercedes	7.84	3127	7.8	100	3,127.0	399
San Isidro	14.39	2813	14.4	100	2,811.0	195
Santa Eulalia	14.56	2082	10.5	72	1,494.3	137
San José	13.47	1940	10.9	81	1,568.4	150
<b>Promedio</b>		<b>3523</b>			<b>2873</b>	<b>309</b>

Fuente: INEC 2011

La densidad poblacional no es uniforme, varía según factores sociales, económicos, históricos, geográficos, entre otros. Una densidad poblacional alta, implica un aumento en la presión por los recursos y el espacio disponible para diversas actividades productivas (Cascante y Méndez 2014). En este caso los distritos de



alta baja densidad son: San Isidro, Santa Eulalia y San José; mediana densidad: Jesús y alta densidad: Atenas y Mercedes (Figura 12).

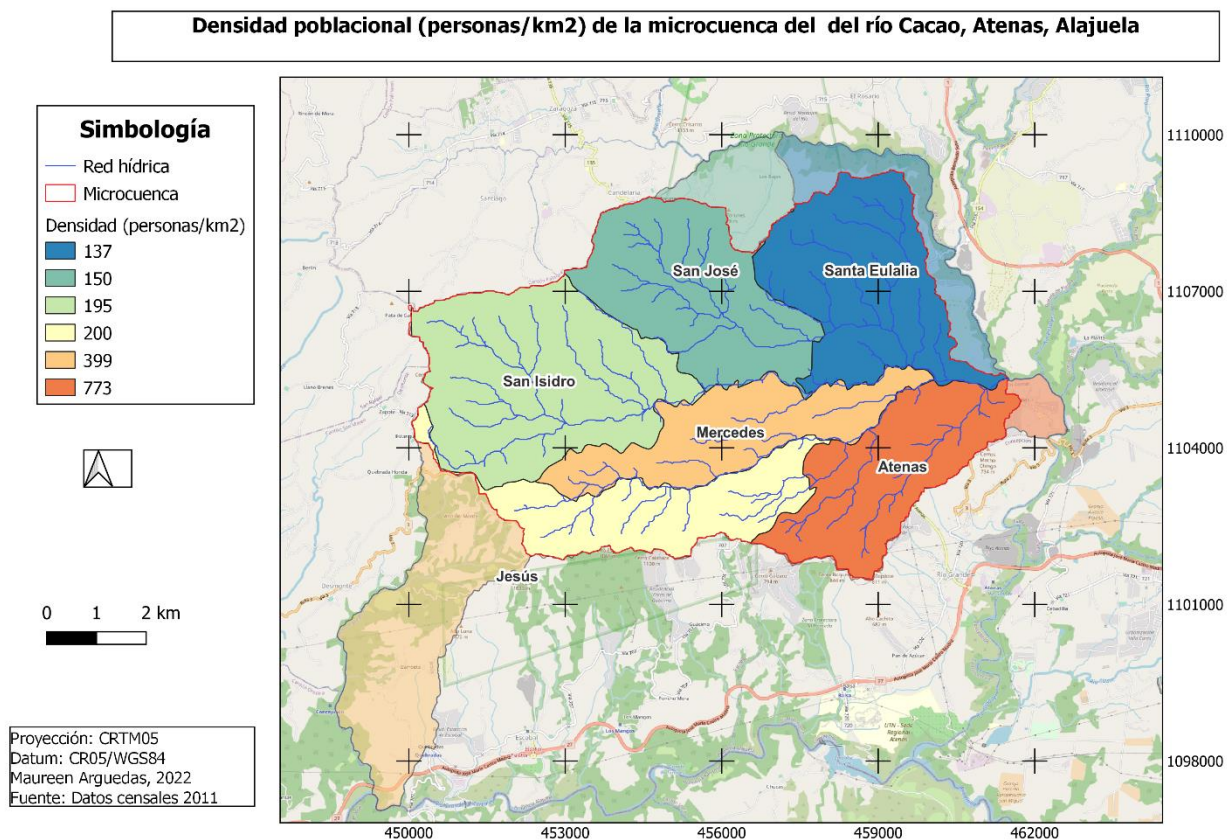


Figura 12. Densidad poblacional en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

## 2. Características del sitio

### Pendiente

Se generó un mapa de pendientes, a partir de un Modelo de Elevación Digital (MDE) de alta resolución (12.5 m)<sup>33</sup>. Se decidió utilizar un MDE debido a que es un recurso disponible que facilita la elaboración y aplicación del método. Además, su uso ha reportado resultados satisfactorios para trabajar a nivel de cuenca hidrográfica (Roa 2019). La pendiente de la microcuenca se encuentra entre 0 y 158% (Figura 13 y Anexo 14).

<sup>33</sup> Sitio de descarga: <https://asf.alaska.edu/>

### Mapa de pendiente de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

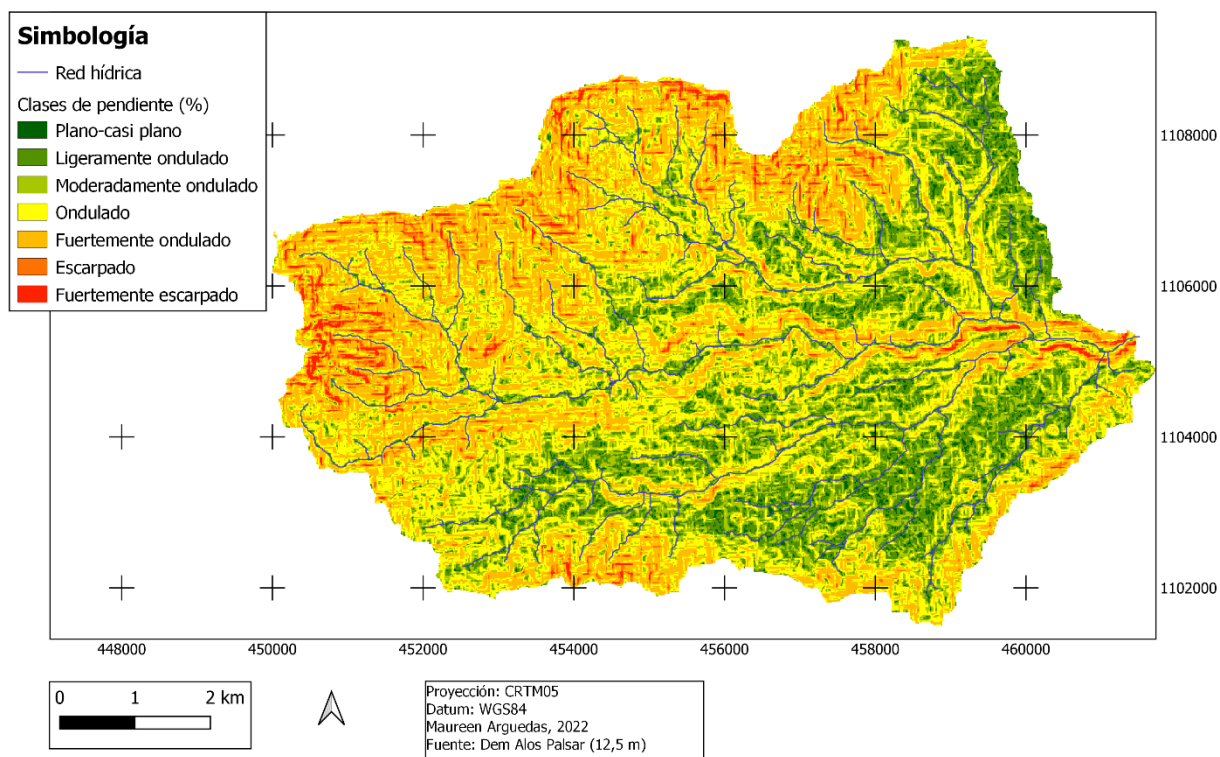


Figura 13. Mapa de pendiente de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

### Áreas de protección de nacientes, ríos y quebradas

#### Ríos y quebradas

Para proteger el recurso hídrico se deben limitar las actividades potencialmente contaminantes en el área de captura de la recarga del manantial para eliminar el riesgo de contaminación. Esto a veces se dificulta debido, entre otras cosas, a la presión socioeconómica. Es por ello que se debe contar con alguna división de la zona de captura de la recarga del manantial en cuestión, esto con el fin de que las restricciones más estrictas al uso del territorio sean aplicadas en aquellas áreas más próximas al origen de la fuente (Arias 2012).

Las áreas de protección de cuerpos de agua son definidas por la Ley Forestal según el tipo de cuerpo de agua, si el mismo está situado en una zona urbana o rural y la pendiente del terreno. También puede ser

definida para una fuente individual, como el área de captura de la recarga (o tubo de flujo). En este caso se utilizará un área arbitraria, según lo estipulado en la Ley Forestal.

**Delimitación.** Para la delimitación de las áreas de protección (AP) de ríos y quebradas (artículo 33 de la Ley Forestal 7676) se tomó como referencia la metodología desarrollada por Brenes *et al* 2020. Inicialmente, se identificó si los distritos que componen la microcuenca son urbanos o rurales pues el AP varía según este criterio, para ello se consultó la Norma Actualización de los Distritos Urbanos a nivel nacional del Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (febrero 2020)<sup>34</sup>, esta indica que los siguientes distritos de Atenas son considerados urbanos: Atenas, Jesús, Mercedes, Concepción, San José y Santa Eulalia. Únicamente San Isidro es rural, por lo que el AP utilizado fue de 15 m, en caso de terrenos planos. En caso de terrenos quebrados para ambos casos (rural o urbano) el AP es de 50 m. El artículo 2 del reglamento a la Ley Forestal N° 25721 define de la siguiente manera los terrenos quebrados: *Son aquellos que tienen un pendiente promedio superior al cuarenta por ciento (40%).*

Seguidamente, se generaron los siguientes insumos: i) un mapa de pendientes en porcentaje, utilizando un Modelo de Elevación Digital (MED) de alta resolución (12.5m); ii) un buffer de 10 y 50 m utilizando la red hídrica de la microcuenca y iii) un *buffer* de 15 m únicamente para el distrito de San Isidro.

Posteriormente, se utilizó la herramienta de geoprocésamiento de corte para trabajar con la información de la capa de la pendiente únicamente dentro del *buffer* de 10 y 50 m. Luego, se utilizó la herramienta *Zonal Statistics* para estimar el promedio de pendiente (%) dentro de los buffers creados anteriormente (10 y 50 m). El resultado de este proceso es una capa ráster que con los valores promedios de pendiente y su ubicación espacial. En este caso los valores promedio para las pendientes dentro de los 10 m dan valores entre 4 y 32%; mientras que dentro de los 50 m los valores de pendiente están entre los 4 y 52%. La capa ráster con los promedios de pendiente fue reclasificada. Se identificaron espacialmente los píxeles con valores superiores a 40%, pues esto refleja los sitios a los cuales les corresponde un AP de 50 m. Únicamente 4 píxeles estaban dentro de la categoría 4 (rango de pendiente 40-52%). Estos estaban dentro del distrito de San Isidro. En estos transectos el AP debía modificarse de 15 m a 50 m, dado que correspondían a un distrito rural (Anexo 15). Para los demás casos se trabajó con el buffer de 10 m pues ninguna de las pendientes sobrepasaba el 40%, y estaban dentro de distritos urbanos.

---

34

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=91628&nValor3=121052&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=91628&nValor3=121052&strTipM=TC)

La capa de áreas de protección generada anteriormente sirvió para realizar el corte de la capa de mapa de bosques y otras tierras de Costa Rica (SINAC 2022). Esto permitió identificar que dentro del área de protección se encuentran usos de suelo distintos al forestal. Finalmente, se asignó un valor de 1 a 5 según el grado de prioridad que tendría el sitio para su restauración con fines de protección del recurso hídrico.

### **Nacientes.**

En 2012 el Centro de Investigaciones en Ciencias Hidrogeológicas realizó un estudio hidrogeológico para el cantón de Atenas. A partir de la información de 282 pozos, 218 manantiales, el análisis de los mapas de equipotenciales -tanto para pozos como para manantiales-, la realización de perfiles hidrogeológicos, el análisis detallado de la geología regional, la geomorfología y patrón de drenaje, así como los aforos diferenciales, se definieron cuatro Unidades Hidrogeológicas que conforman el Sistema Acuífero Río Grande, mismas que se extienden incluso fuera del cantón de Atenas. El área de estudio se encuentra dentro de la unidad hidrogeológica Cacao. El cual corresponde a una zona de baja vulnerabilidad, según el cálculo del índice de vulnerabilidad hidrogeológica (2,31).

**Delimitación.** Se utilizó la capa de nacientes provista por la Municipalidad de Atenas, la cual se compone de 218 nacientes para todo el cantón. Además, se utilizó la capa de nacientes y la capa de tubo de agua generada por un estudio hidrogeológico realizado en 2012. Ambas capas mostraron similitud en la ubicación de las nacientes. Se realizó un corte para ubicar únicamente las nacientes dentro de la microcuenca, esto redujo el número de nacientes a 136, de las cuales 19 no estaban captadas. La información anterior se contrastó con información del SAGA sobre nacientes de las Asadas y las 19 nacientes que no estaban captadas en el estudio realizado en 2012, a la fecha si estaban captadas. Por lo que se trabajó con las 136 nacientes y se les asignó un radio arbitrario de 200 m según lo estipulado en la Ley de Aguas (Figura 16).

Se generó una capa de área de protección de nacientes captadas (200 m de *buffer*) la capa resultante fue utilizada como capa de corte de la capa tipos de bosque y otros usos de la tierra generada por el SINAC (2022). Finalmente, se asignó un grado de prioridad (de 1 a 5) a cada uso de la tierra (Figura 16).

**Uso del suelo de la microcuenca en áreas de protección de cuerpos de agua, microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela**

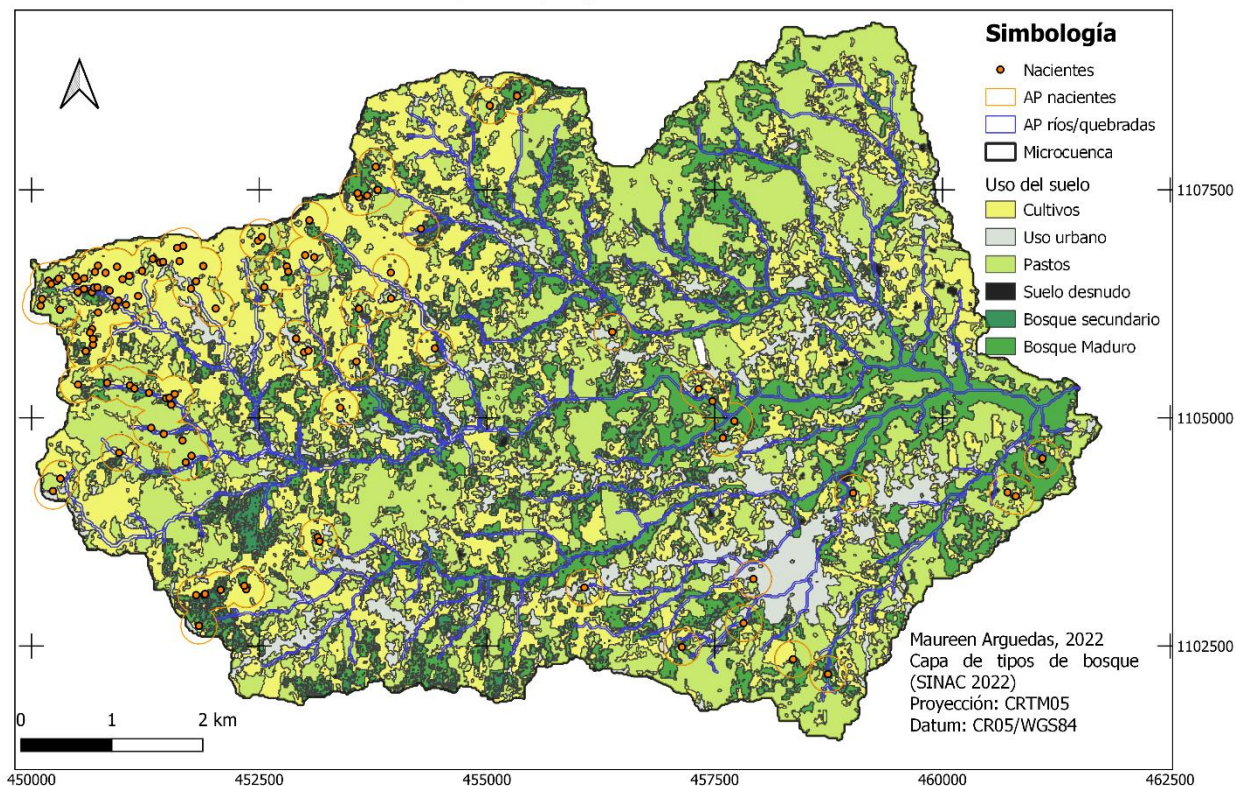


Figura 14. Uso de la tierra en áreas de protección de ríos, quebradas y nacientes en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

## NDVI y SAVI

Para este estudio se descargaron varias imágenes Sentinel 2 del sitio Copernicus Open Access Hub<sup>35</sup> (Anexo 16). Debido a que el área de estudio presenta bien marcada la estación seca (diciembre a abril) y la lluviosa (mayo a noviembre) se buscó exhaustivamente imágenes dentro del rango del periodo lluvioso. Se intentó seleccionar la imagen con mayor nitidez y de ser posible menos nubes. La imagen utilizada es de junio de 2021. El procedimiento se detalla en el Anexo 17.

En la calculadora ráster se aplicó la fórmula del NDVI. En el caso de las imágenes Sentinel la banda roja e infrarroja corresponde a las bandas 8 y 4, tal como se puede apreciar en la siguiente fórmula.

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$$

<sup>35</sup> <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>



Adicionalmente, se estimó el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI). Este índice se estima de forma similar al NDVI, pero se le agrega un factor de corrección (L) relacionado al suelo. La constante del suelo, se usa según la vegetación sea baja, intermedia o de alta densidad y considera la influencia de la luz y del suelo. Los resultados varían entre -1 y 1. El índice SAVI está más adaptado a estudios de análisis de vegetación en etapas de crecimiento inicial o vegetación dispersa. Esta alternativa es buena en condiciones de baja densidad vegetal y la exposición de la superficie del suelo sea relevante. El factor L amortigua la presencia del suelo a través de valores comprendidos entre 0 y 1. Cero para zonas de gran densidad vegetal y 1 para zonas con escasa densidad vegetal; en suelos con presencia de desarrollo vegetativo, el factor L pasa a valor 0 inalterado la ecuación y haciéndola equivalente a la ecuación del NDVI. Cuando exista vegetación en desarrollo con influencia de exposición del suelo, el factor L pasa a valor 1, amortiguando el índice inicial NDVI. Suelos medianamente expuestos adoptarán un valor de factor L igual a 0.5 por defecto. En este caso se utilizó el valor de 0.5.

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{(B8 + B4 + L)} * (1 + L)$$

Los valores más cercanos a 1 indican mayor densidad de vegetación. Los valores de NDVI obtenidos se encuentran entre -0.07 y 0.71; mientras que los de SAVI entre -0.014 y 0.47. Al posicionar las capas resultantes de estimar ambos índices con otras capas generadas previamente tales como: nacientes y áreas de protección de ríos y quebradas se observa sitios con valores cercanos a 0 dentro de estas áreas, las cuales se espera sean sitios priorizados por el modelo (Figuras 15 y 16).

### Índice de vegetación normalizado de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela,

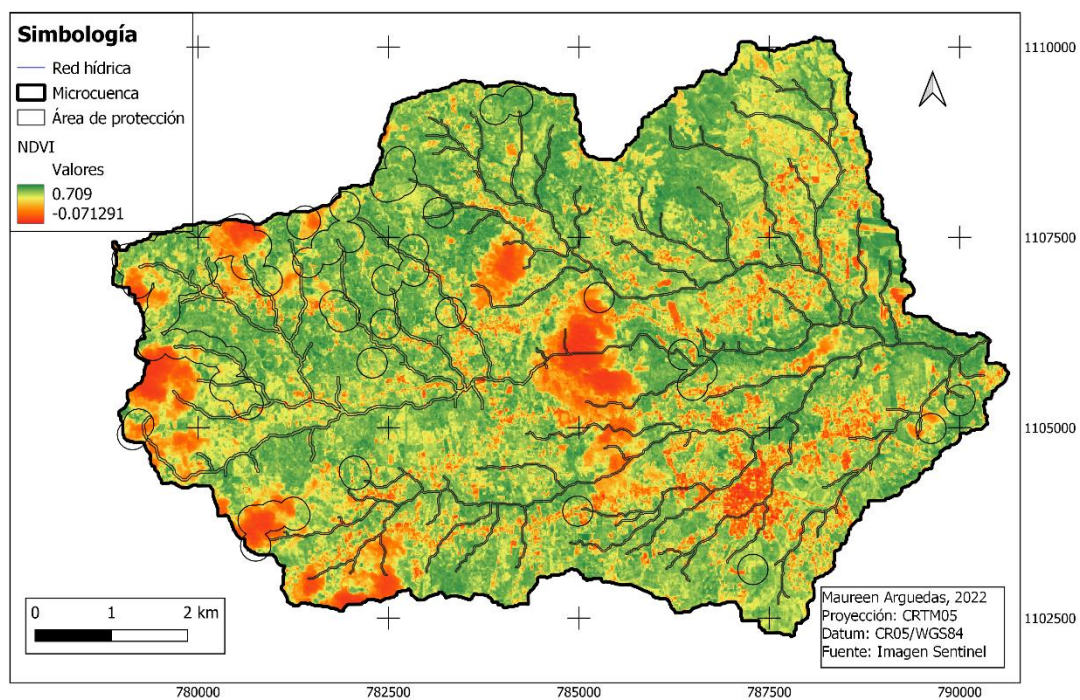


Figura 15. Índice de vegetación normalizado para la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

### Índice ajustado al suelo para la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

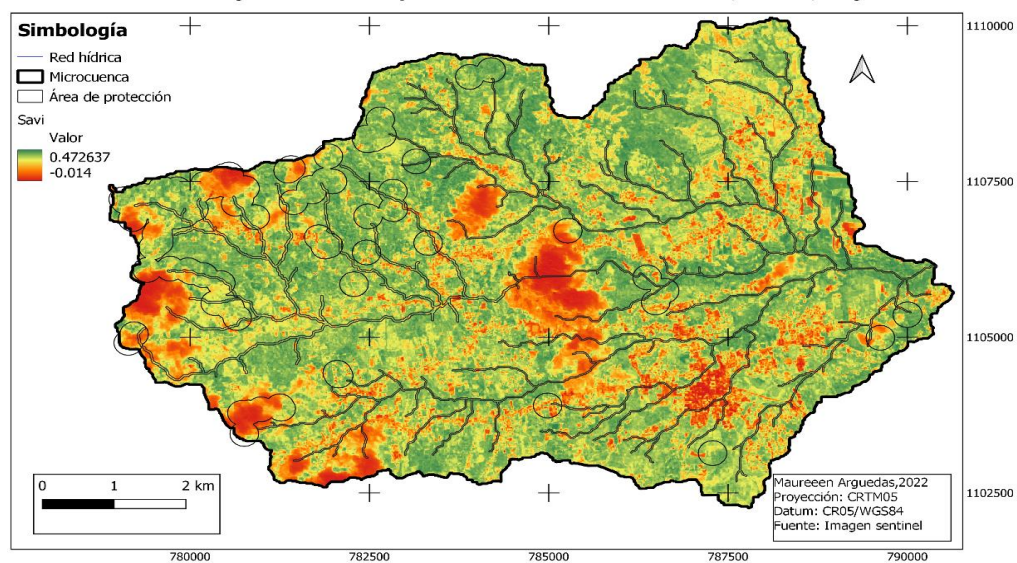


Figura 16. Índice de vegetación ajustado al suelo para la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

## vii. Indicadores y su nivel de prioridad

Los valores de los indicadores fueron homologados de 1 a 5 según su nivel de prioridad, siendo 1 muy baja y 5 muy alta (Cuadro 16). Posteriormente, se observó el comportamiento de estos dentro de la microcuenca con una escala común (Figura 17).

Cuadro 13. Resumen de los criterios a utilizar para identificar sitios con baja, media y alta prioridad para protección del recurso hídrico

Indicador	Prioridad				
	1 Muy baja	2 Baja	3 Media	4 Alta	5 Muy Alta
Pendiente (%)	0-20	20-30	30-50	50-75	+75
SAVI	0.37-0.67	0.31-0.38	0.21-0.31	0.11-0.21	-0.13-0.10
NDVI	0.56-1	0.45-0.56	0.32-0.45	0.16-0.32	-0.20-0.16
Uso suelo en AP	Bosque maduro	Bosque secundario	Pastos/cultivo	Descubierto	Urbano

Comportamiento de los indicadores para priorizar la protección del recurso hídrico en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

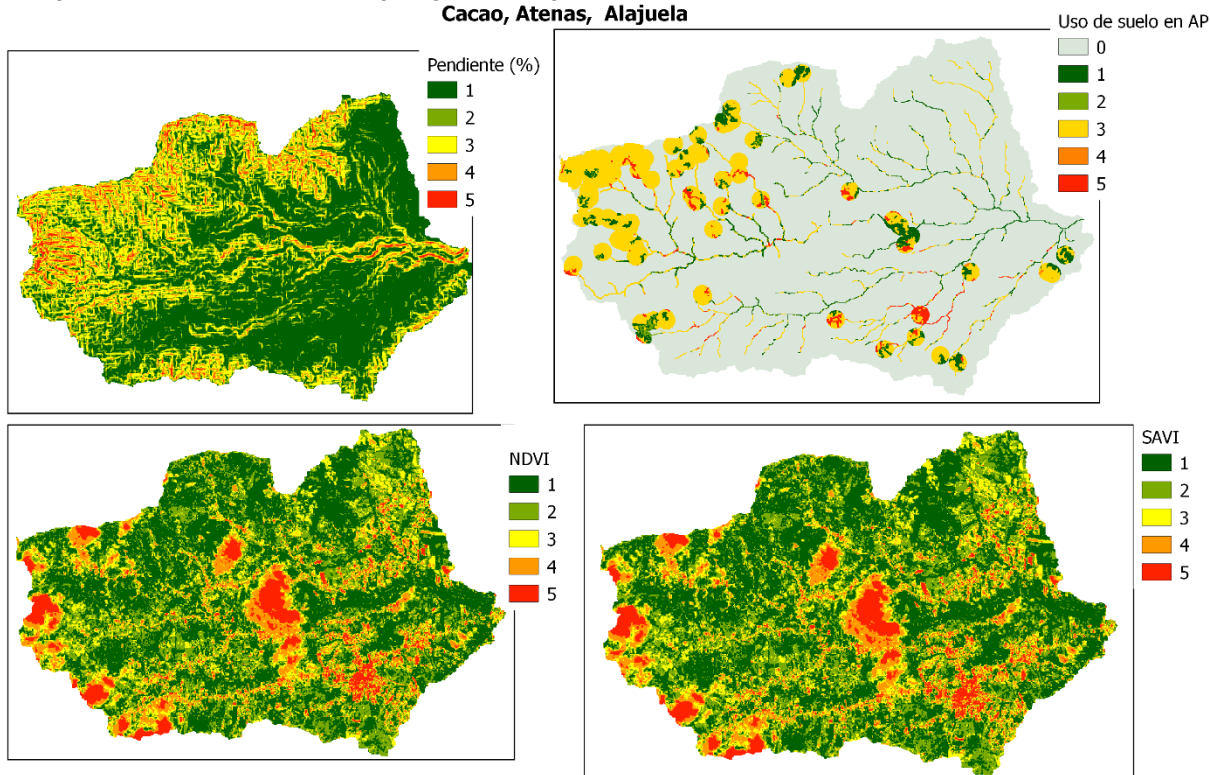


Figura 17. Comportamiento de los indicadores para priorizar la protección del recurso hídrico en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela



Un resumen del proceso metodológico puede ser observado en la Figura 18.

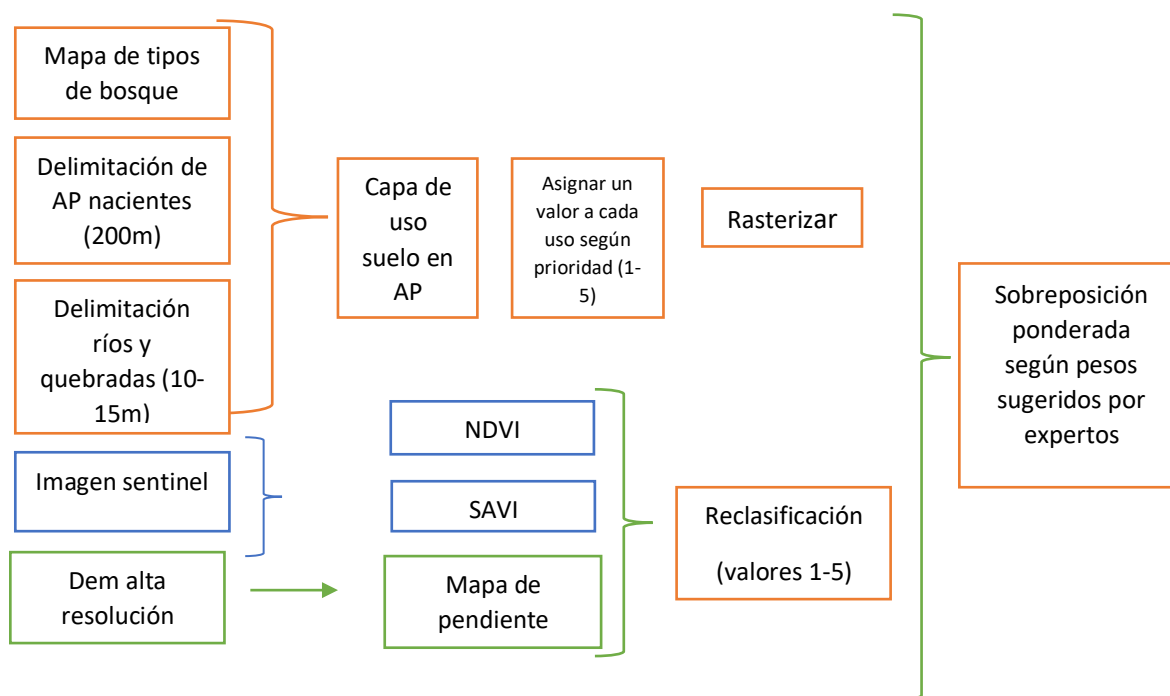


Figura 18. Resumen del proceso metodológico

### viii. Asignación de pesos a los indicadores según expertos

Se envió un Excel a 6 expertos en temas relacionados con la gestión integral del recurso hídrico para que según su criterio catalogaron los indicadores propuestos. Los expertos fueron seleccionados debido a su experiencia y conocimiento del tema a nivel nacional, y en algunos casos internacional (Cuadro 14).

Cuadro 14. Personas consultadas para la asignación de pesos a los indicadores a utilizar en el análisis

#	Nombre de la persona	Institución	Perfil profesional
1	Christian Golcher	UNA (Hidrocec)	Especialista en hidrología, uso del suelo y gestión de cuencas.
2	Miguel Cifuentes	Conservación Internacional	Miembro del Grupo de Trabajo Científico de la Iniciativa Internacional de Carbono Azul.
3	Ney Ríos	CATIE	Especialista en SIG y cuencas hidrográficas. Profesor/investigador
4	Sergio Feoli	CNFL	Encargado de proceso de Recursos Naturales y Mejoras de Cuenca
5	Andrés Araya	UTN	Coordinador Subprograma de Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SubGIRH)
6	Christian Brenes	CATIE	Especialista en SIG

En el Excel los expertos debían poner valores de 0 a 1, a los indicadores; una columna que automáticamente sumaba los valores colocados para que los expertos puedan identificar fácilmente si están pasando de 1; pues ninguna suma puede pasar de este valor (Anexo 18). También, se solicitó indicar los motivos por los cuales asignaron el peso a cada indicador. Se recibió la respuesta de 6 expertos, el peso asignado a cada indicador se resume en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Resumen de los pesos asignados por los expertos

Indicadores	Promedio	Desviación Estándar	Valor mínimo	Valor máximo	Motivo
Densidad poblacional	0.65	0.36	0.20	1.00	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>En un proxi de la demanda, pero no cubre el uso de agua para otros sectores.</i></li> <li>• <i>Su importancia es relativa y con buenas prácticas y técnicas científicas se pueden mitigar.</i></li> <li>• <i>Este un valor difícil de estimar habría que tener bien mapeada la demanda, fracción para consumo humano, agrícola, industrial, por ejemplo</i></li> <li>• <i>Es un proceso constante, vinculado a dinámicas territoriales</i></li> </ul>
Pendiente	0.26	0.13	0.20	0.50	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Un proxi del conflicto de uso de la tierra</i></li> </ul>
Uso de suelo en Áreas de protección de cuerpos de agua (nacientes, ríos y quebradas)	0.76	0.19	0.20	0.75	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Un proxi del conflicto del uso de la tierra.</i></li> <li>• <i>El uso del suelo y los efectos que genera es relevante para la protección y restauración.</i></li> <li>• <i>Responde a dinámicas territoriales limitada por aspectos legales</i></li> </ul>
Condición de los ecosistemas (NDVI) en la microcuena	0.28	0.26	0.10	0.75	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Un solo índice es insuficiente, habría que probar con el EVI, SAVI, etc</i></li> </ul>

Dados los aportes de los expertos, se decidió modificar algunos indicadores y variar el modelo. Uno de los indicadores eliminados fue densidad poblacional. Al no contar con la densidad por unidad geostadística mínima no fue posible capturar la variabilidad del valor dentro del área de estudio. Únicamente se disponía del dato por distrito, y éste se utilizó en algunos modelos, pero se observó que el resultado no daba una buena representación de los otros indicadores. En general, este indicador obtuvo una calificación alta por parte de los expertos. Sin embargo, uno de los encuestados indicó que podría ser un *proxi* de la demanda del agua, pero que no cubre todos los sectores que utilizan el agua.

La pendiente y el área de protección de cuerpos de agua obtuvieron pesos altos por parte de los expertos. Por lo que son considerados importantes para la priorización. El NDVI se consideró medianamente

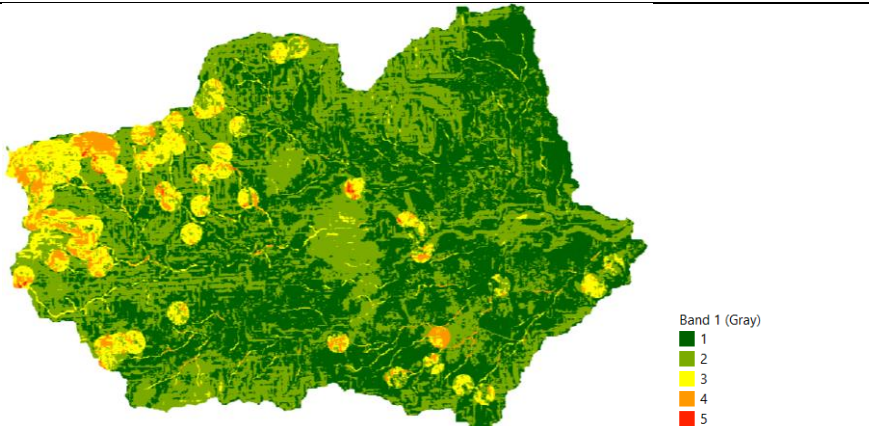
importante y se sugirió incorporar otros índices para complementarlo. En este caso se decidió incluir el SAVI.

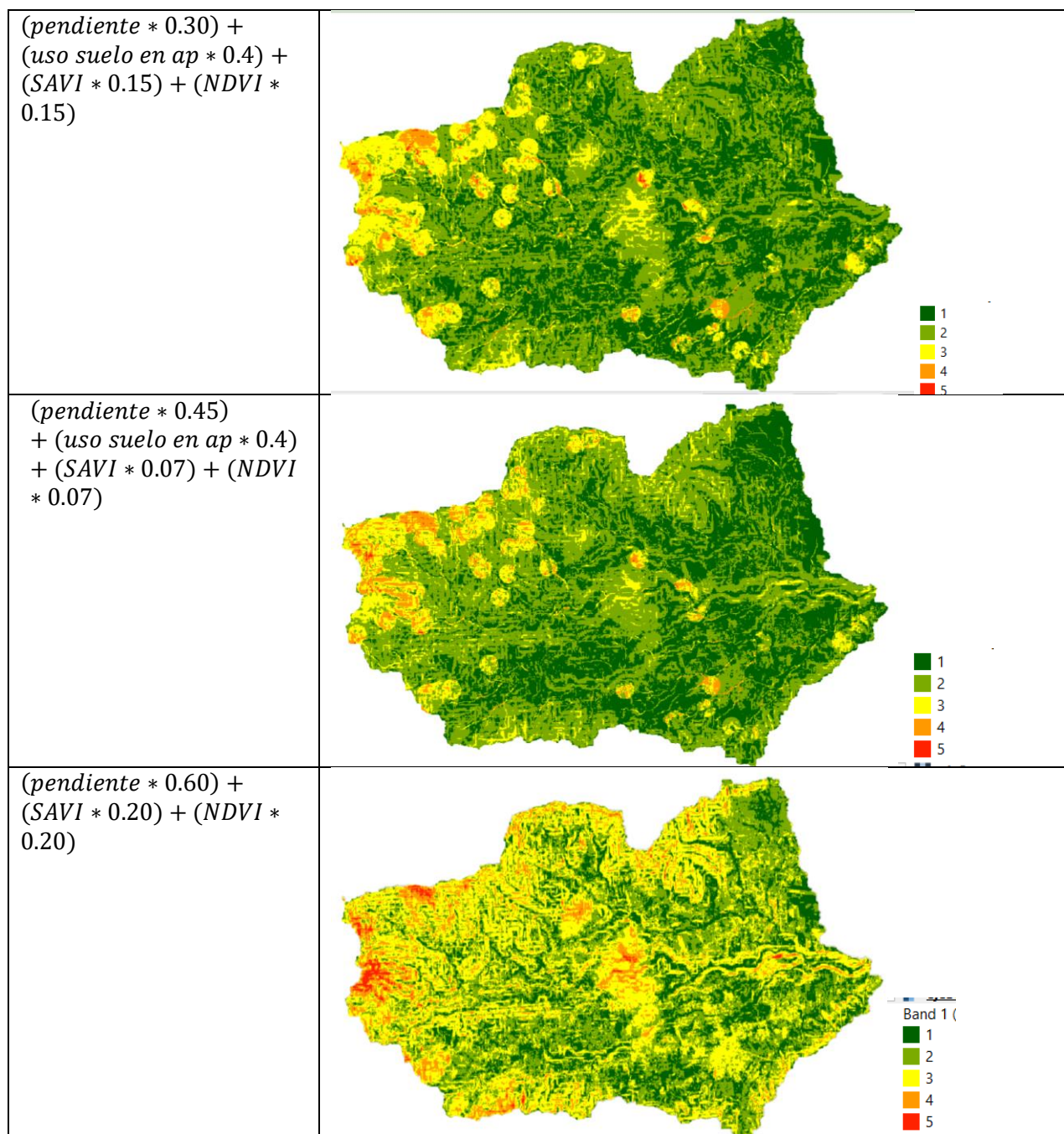
Se corrieron tres modelos con el fin de analizar cual refleja de mejor forma el comportamiento de los indicadores de forma conjunta (Cuadro 16). Se tomó en consideración la tendencia mostrada por los expertos. Es decir, dándole mayor importancia al área de protección de cuerpos de agua y la pendiente; y menor importancia a los índices (SAVI-NDVI).

Al analizar los resultados de los tres modelos se observa una tendencia similar, mostrando sitios prioritarios en la parte noroeste y sureste del mapa. La principal diferencia entre los tres modelos recae en la parte central, en donde según el modelo esta pasa de ser de baja prioridad a media. Esto está influenciado por el peso que se les asigna a los índices SAVI y NDVI, pues al corroborar estas dos capas individualmente se observa que ambos índices tienen valores bajos en esa zona central, es decir valores altos de prioritaria, al corroborar con la capa de tipos de bosque se observa que eso corresponde a zonas de pasturas y algunos remanentes de bosques, motivo por el cual se decidió utilizar el modelo que si visibiliza esa zona. Es decir, el segundo modelo.

Se corrió un cuarto modelo, este corresponde a uno temático, en este se busca observar sitios con alta pendiente y el estado de la vegetación, medido a través de dos índices (SAVI y NDVI). El mapa resultante muestra sitios prioritarios en la parte noroeste, suroeste y norte; y algunos pequeños parches distribuidos en la parte central de la microcuenca. Estas zonas prioritarias coinciden con usos de suelo de tipo cultivos y pastos. En la parte norte de la microcuenca, además de estos dos usos de suelo también hay presencia de algunos parches de bosque.

Cuadro 16. Modelos y sus respectivos resultados según peso asignado a los indicadores

Modelo	Resultado
$(pendiente * 0.30) + (uso\ suelo\ en\ ap * 0.5) + (SAVI * 0.10) + (NDVI * 0.1)$	



### ix. Mapa de priorización

Tomando en consideración los cuatro indicadores que se utilizaron para el análisis se requiere la restauración de 15 km<sup>2</sup> (9, 5 y 1 km<sup>2</sup> en prioridad media, alta y muy alta respectivamente).

### Sitios prioritarios para restauración con fines de protección del recurso hídrico, microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

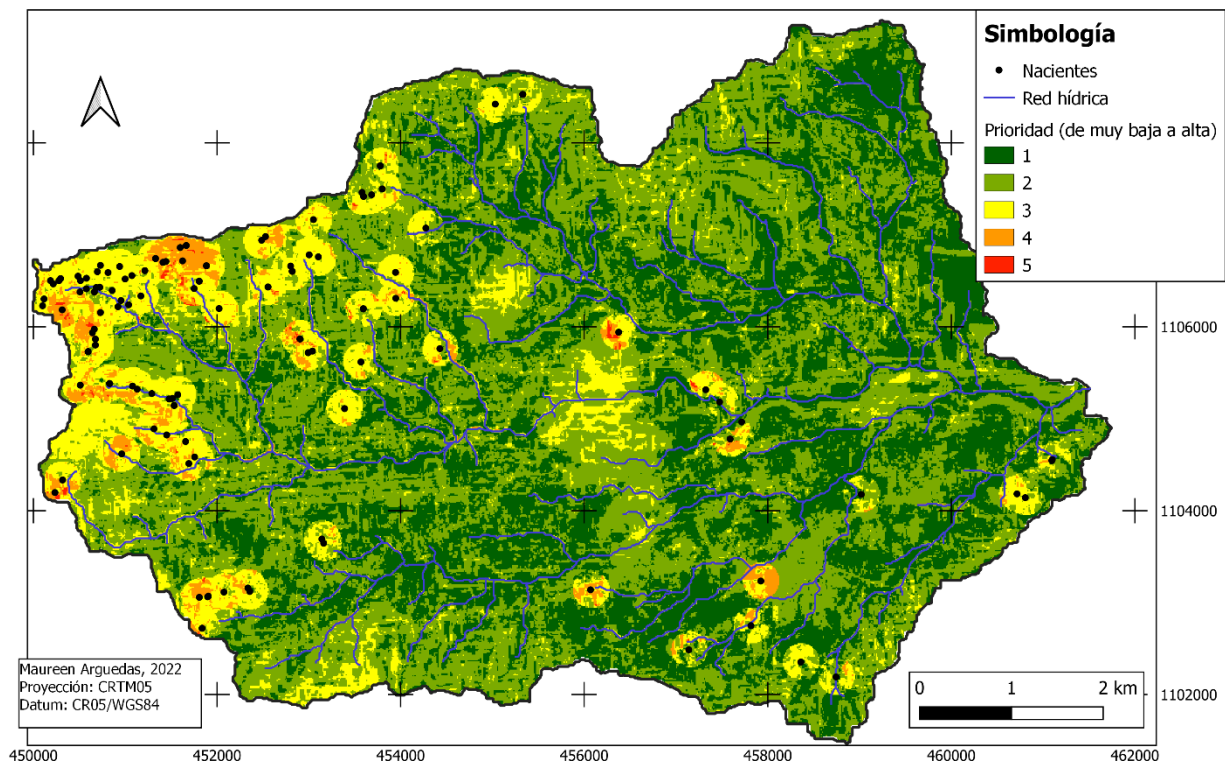


Figura 19. Sitios prioritarios para restauración con fines de protección del recurso hídrico, microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

#### 1. Identificación de sitios para rehabilitar áreas de protección de cuerpos de agua (nacientes, ríos y quebradas)

Dentro de la microcuenca del río Cacao el área de protección de la microcuenca suma 10 km<sup>2</sup>, de los cuales 8 km<sup>2</sup> requieren acciones de rehabilitación. La rehabilitación de la cobertura forestal en el área de protección de cuerpos de agua de la microcuenca es una acción puntual para realizar. Estas áreas cumplen una función importante en la regulación de la calidad del agua, pues actúan como filtro biológico para retener sedimentos que bajan por las laderas, además aumentan la conectividad del paisaje.

Los principales usos de suelo identificados en las áreas de protección son pastos, cultivos y en menor medida el uso urbano. Los dos primeros usos se presentan más en la parte noroeste mientras que el uso urbano en área de protección se presentan en la parte sureste, lo que corresponde al distrito de Atenas, sitio donde se concentra la mayor cantidad de población (Cuadro 17).

Debido a que la Ley Forestal y de Aguas protege estas zonas, es importante realizar acciones puntuales para preservar estas zonas. En el caso del uso urbano, es importante verificar en campo la delimitación y realizar el estudio catastral, para tomar las medidas respectivas. En el caso del uso de suelo pastos y cultivos es importante implementar campañas de reforestación para rehabilitar estas zonas. Esto en coordinación con los dueños de las fincas y previa sensibilización con estos sobre la importancia de mantener estas áreas de protección (10 o 15 m) con cobertura forestal.

Cuadro 17. Área de terreno por uso de la tierra dentro y fuera de áreas de protección de cuerpos de agua en la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

Uso de suelo	Fuera AP	Dentro de Área de protección (AP)					Total (km <sup>2</sup> )
		1 Muy Baja	2 Baja	3 Media	4 Alta	5 Muy alta	
Cultivos	14.78	0.00	0.00	4.29	0.00	0.00	19.06
Urbano	4.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	5.04
Pastos	19.93	0.00	0.00	2.67	0.00	0.00	22.59
Suelo desnudo	0.13	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.14
Bosque II	1.33	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	1.61
Bosque maduro	9.59	2.03	0.00	0.00	0.00	0.00	11.61
<b>Total (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>50.17</b>	<b>2.03</b>	<b>0.28</b>	<b>6.95</b>	<b>0.02</b>	<b>0.65</b>	<b>60.10</b>

## 2. Identificación de sitios para implementar prácticas sostenibles que contribuyan a la protección del recurso hídrico



**Sitios prioritarios para restauración con fines de protección del recurso hídrico considerando pendientes y estado de la cobertura, microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela**

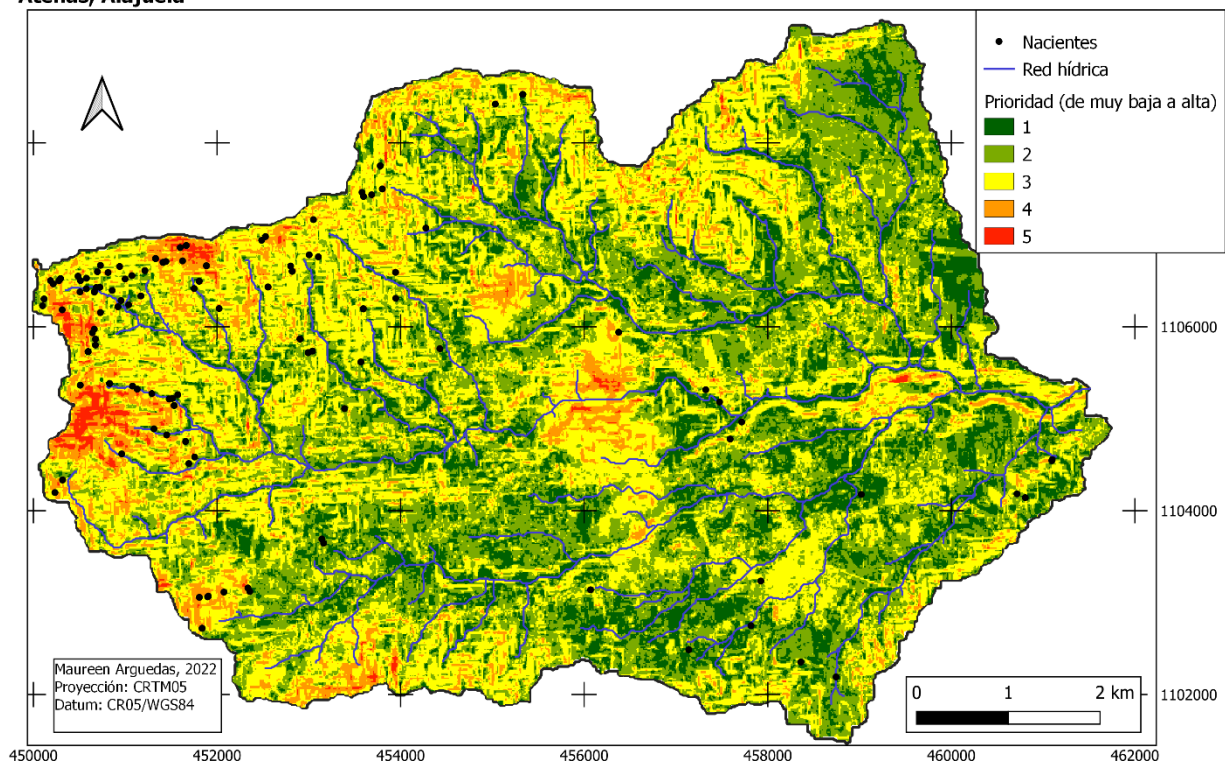


Figura 20. Sitios prioritarios para restauración con fines de protección del recurso hídrico considerando pendientes y estado de la cobertura, microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

Considerando solamente los indicadores: pendiente y estado de la cobertura, medido a través de dos índices, resulta prioritario realizar acciones de restauración en 28 km<sup>2</sup>, de los cuales 17 km<sup>2</sup> corresponden a prioridad media, 8 km<sup>2</sup> a prioridad alta y 2 km<sup>2</sup> a prioridad muy alta.

En el sector noroeste los usos de la tierra cercanos a las nacientes corresponden a pastos y cultivos. Mientras que en el sector sureste los usos de suelo que predominan cerca de nacientes son pasto y uso urbano. En ambos sectores, y en el sector norte, hay algunos pequeños parches de bosques maduros. Al observar el índice de NDVI y SAVI estos sitios también coinciden con algunos parches de valores bajos. Además, son sitios de alta pendiente. Es por lo anterior que es indispensable la implementación de prácticas sostenibles para los sistemas productivos y que al mismo tiempo no impacten negativamente los ingresos de las familias productoras.

Dado que las nacientes se encuentran cercanas a usos de la tierra distintos a bosque es importante que las mismas estén resguardadas, esto implica su correspondiente rotulación, y que estén cercadas para evitar el ingreso de ganado.

Uno de los cultivos predominantes de la microcuenca es el café. Incorporar árboles de sombra en los cafetales podría ser una alternativa para la sostenibilidad de los sistemas cafetaleros, al mismo tiempo que mejora la provisión de servicios ecosistémicos entre ellos el mantenimiento de la calidad de los suelos, la regulación hídrica y el secuestro de carbono (Vignola *et al* 2015). Adicionalmente, ayudan a amortiguar los efectos de eventos climáticos extremos.

Con respecto al uso de suelo pastos, es importante la concientización sobre el manejo racional del recurso arbóreo en potreros esto acorde con las condiciones edafoclimáticas, socioeconómicas y culturales de las comunidades. Algunos autores han reportado incrementos en la producción animal de hasta un 15% debido a la disminución del estrés calórico en potreros arbolados (Restrepo *et ál.* 2004, Souza de Abreu *et ál.* 2000).

A nivel de políticas públicas, los incentivos a los productores para que mantengan el componente arbóreo en sus fincas podría ser una estrategia para conservar la biodiversidad vegetal en las fincas ganaderas. El proyecto GEF-Silvopastoril comprobó que esta medida puede dar resultados satisfactorios (Casasola *et ál.* 2006). En el marco de este proyecto se promovió el pago por servicios ambientales, el cual logró la retención y el manejo de la regeneración natural y el establecimiento de especies arbóreas en potreros (árboles dispersos y/o cercas vivas). Esta alternativa se puede combinar con el establecimiento de árboles en hileras en los límites de la finca o sus divisiones internas con el fin de diversificar y aumentar la productividad, sin tener que ceder terreno productivo.



## Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

A nivel de paisaje la microcuenca presenta condiciones favorables para la protección del recurso hídrico, considerando los cuatro indicadores incluidos en el análisis. Los sitios clasificados con prioridades alta y muy alta suman 6 km<sup>2</sup> (10% de la microcuenca).

Si se considera únicamente la pendiente y el estado de la cobertura forestal, las áreas para restaurar suman 28 km<sup>2</sup>, lo cual representa un 47% de la microcuenca. Considerando únicamente las áreas de protección de cuerpos de agua, el 80% requieren restauración pues presentan un uso distinto al forestal, en su mayoría el uso corresponde a cultivos y pastos, y en menor medida a uso urbano. Esto representa una acción prioritaria a realizar dado que atenta contra la protección del recurso hídrico.

Los parches de bosque presentes en la microcuenca se encuentran rodeados de cultivos y pasturas, y en sitios de altas pendientes. Incorporar árboles a estos usos (cultivos y pasturas) permite la conectividad del paisaje, permitiendo la distribución de distintas especies de fauna, a la vez que se proveen distintos servicios ecosistémicos, entre ellos la regulación hídrica y la protección de suelos.

Restaurar ecosistemas permite que se restablezcan funciones y servicios ecosistémicos que previenen y reducen amenazas que atentan contra el desarrollo humano sostenible, a la vez se genera resiliencia económica, social y ecológica. Es por esto que es importante iniciar acciones de restauración en los sitios prioritarios.

Algunos aspectos positivos identificados en la microcuenca son la presencia de un 22% de cobertura boscosa y de organizaciones locales que han impulsado iniciativas y/o proyectos, por ejemplo, COOPEATENAS apoya a las Asadas para la compra de tierras, y grupos organizados han coordinado la realización de campañas de reforestación y limpieza de ríos, lo cual visibiliza el interés por el tema ambiental y la conciencia social en relación a la preservación de sus recursos. Por ejemplo, ADECA es una organización local que se fundó en 2004 con el objetivo principal de rescatar la quebrada Matías, microcuenca vecina.

### Recomendaciones sobre el método

- **Considerar la escala de trabajo para la selección de los indicadores.** Existen indicadores de gran relevancia para entender el contexto de una cuenca hidrográfica o entre cuencas, por lo que pueden ser indicadores importantes para realizar priorizaciones a nivel nacional o regional, pero a una escala de microcuenca, puede que no sean de utilidad, pues tal vez no muestren tanta variabilidad espacialmente o no se cuentan con los datos para demostrar la variabilidad, por ejemplo: las variables climáticas;

difícilmente se cuenta con varias estaciones meteorológicas dentro de una misma microcuenca y en caso de haber datos, el acceso a ellos implica un costo. La densidad poblacional, para utilizar este indicador es necesario utilizar las unidades mínimas para poder capturar la variabilidad en el territorio.

- **Complementar indicadores cualitativos, cuantitativos, espacializables, no espacializables.** Para hacer un análisis integral es importante complementar varios tipos de indicadores. Aunque para el álgebra de mapas únicamente se utilizarán los indicadores espacializables, es importante complementar el análisis con una descripción del contexto del sitio.
- **Mapas temáticos.** Realizar mapas temáticos y analizar el comportamiento de los indicadores por separado, antes de realizar el álgebra de mapas, aporta un gran entendimiento del área de estudio para generar recomendaciones más específicas.
- **Variaciones en los pesos.** Adicionalmente a los pesos asignados por los expertos es recomendable realizar ciertas variaciones en estos para ver el comportamiento del resultado final, y evaluar si al modificar los pesos se visibiliza más o por el contrario se invisibiliza algún sitio que podría ser prioritario. En este caso, debe prevalecer el criterio y sustento técnico para realizar modificaciones a los pesos, siempre teniendo claro el objetivo central de la priorización.

#### **Recomendaciones sobre los datos**

- **Coordinación interinstitucional para obtener con mayor agilidad datos públicos.** Existen esfuerzos institucionales para que la información espacial esté disponible a todo el público, por ejemplo, el SNIT y el SINIGIRH. Las cuales son plataformas de gran utilidad para consultas de carácter exploratorio. Sin embargo, ciertos datos no están disponibles o no actualizados se deben de solicitar directamente a las instituciones, y en ocasiones dadas muchas situaciones, tales como poco personal, limitada disponibilidad de tiempo, múltiples funciones por parte de los funcionarios(as), entre otros, dificulta tener una respuesta oportuna. También, en algunos casos los datos están disponibles, pero a un costo elevado.

#### **Recomendaciones a nivel municipal / instituciones gubernamentales con presencia en la zona**

- **Proactividad.** El cantón no cuenta con plan de ordenamiento territorial, y dado el desarrollo del cantón, es importante prestar atención al uso de las áreas de protección de cuerpos de agua antes que se den

invasiones. El 22% de la microcuenca tiene presencia de bosque maduro y/o secundario, es importante seguir resguardando y evitar procesos de degradación.

- **Sensibilización.** En las partes altas con usos de la tierra de tipo cultivos o pastos, es importante realizar acciones de sensibilización sobre el uso de prácticas agropecuarias sostenibles, y el impacto positivo de estas prácticas sobre el recurso hídrico y otros servicios ecosistémicos por ejemplo la regulación hídrica.
- **Información para la toma de decisiones.** Es importante realizar un sondeo para conocer el uso y tipo de agroquímicos utilizados por el sector productivo. Así como la implementación de prácticas agropecuarias para proteger el recurso hídrico. Lo anterior como insumo para buscar soluciones más amigables con el ambiente que puedan empezar a ser promovidas entre los productores.

También es importante identificar sitios con presencia de residuos sólidos en cuerpos de agua, con el fin de realizar acciones de concientización en las comunidades aledañas (campañas de limpieza, talleres a escuelas, colegios, entre otros, según el perfil de las personas que habitan las comunidades identificadas y según el tipo de residuos/contaminantes encontrados).

- **Apoyo a Asadas.** Es importante el apoyo a las Asadas para el resguardo de sus fuentes de agua. Esto implica tanto la compra de tierras, como el mantenimiento de las nacientes, por ejemplo: cercas, rotulación, entre otros.
- **Apoyo a grupos organizados.** Es importante fortalecer y apoyar a grupos organizados existentes para que puedan seguir desarrollando proyectos que favorezcan la sostenibilidad ambiental de la microcuenca. Para la sostenibilidad de los proyectos y/o iniciativas es necesario el apoyo permanente de la Municipalidad, así como la coordinación interinstitucional para abordar los distintos problemas ambientales que se salen del alcance de los grupos organizados, por ejemplo, invasión a áreas de protección y/o contaminación de ríos por aguas servidas.
- **Comunicación.** Es importante visibilizar y difundir el trabajo que se realiza en temas ambientales, a través de distintos mecanismos de comunicación local (páginas de *Facebook*, boletines, sitio web de la Municipalidad, anuncios parroquiales, entre otros). Esto despierta el interés por el tema y empodera a

las organizaciones que realizan acciones. Para esto es importante documentar las acciones que se realizan.

### **Recomendaciones para grupos organizados que trabajan en temas ambientales**

Aprovechar la presencia de universidades aledañas para realizar trabajos comunales universitarios que puedan apoyar acciones locales en el río Cacao, tales como campañas de restauración, limpieza, sensibilización, así como apoyo y/o acompañamiento técnico. Es importante documentar y formalizar a través de algún instrumento estos compromisos con instituciones, por ejemplo, a través de planes de trabajo, en el que existan compromisos mutuos. También, aprovechar otras plataformas existentes que les podría permitir visibilizar el trabajo que realizan y acceder a recursos, por ejemplo: los observatorios ciudadanos del agua.

## Bibliografía

- Astorga, Y. (2010). Gestión del Recurso Hídrico y Uso del Agua. Estado de la Nación. Consultado: [https://www.ucipfg.com/Repositorio/MLGA/MLGA-01/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/lecturas/En\\_Gestion\\_Recurso\\_Hidricos\\_Costa\\_Rica.pdf](https://www.ucipfg.com/Repositorio/MLGA/MLGA-01/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/lecturas/En_Gestion_Recurso_Hidricos_Costa_Rica.pdf)
- Aguilar, A; Salvadora, M; Cruz, M. (2001). Manual de regulaciones jurídicas para la gestión del recurso hídrico en Costa Rica. Disponible: <https://cedarena.org/images/publicaciones/pdf/Manual-de-Regulaciones-Juridicas-para-la-gestion-de-recurso-hidrico-en-CostaRica.pdf>
- Aguilar, G; Iza A. (2009). Gobernanza del agua en Mesoamérica: Dimensión Ambiental. UICN.
- Aguilar, N., Galindo, G., Fortanelli, J. Contreras, C. (2010). Índice normalizado de vegetación en caña de azúcar en la Huasteca Potosina. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 14(2), 49-65.
- Alfaro, L. (2016). Propuesta metodológica para la creación y operación participativa de los Consejos de Unidad Hidrológica, establecidos en el proyecto de ley para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico de Costa Rica. Tesis para optar por el grado de *Magister Scientiae* en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. CATIE. Disponible : <http://repositorio.conicit.go.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/153/2016%20Tesis.%20L.Alfaro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alatorre, L.C., Miramontes-Beltrán, S., García-Peña, A.K., Díaz-Cervantes, R., & Bravo, L.C. (2014). Evolución de la dinámica vegetal mediante una serie de imágenes LANDSAT TM (1986-2011): Región central de Chihuahua, México. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 40(2), 449-476. DOI: 10.18172/cig.2510
- Aresep. (2018). Metodología tarifaria para la protección del recurso hídrico Resolución RE-0213-JD-2018. Disponible: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=87859](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=87859)
- Arias. J. (2018). Mapeo de áreas prioritarias para la restauración ecológica en la zona de influencia del centro agrícola cantonal de Oreamuno, Cartago, CR. Tesis lic. TEC. 106p.
- Arias, M. (2012). Estudio hidrogeológico del cantón de Atenas. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas. UCR. Costa Rica.
- Álvarez, A; Villavicencio, R; Ruiz, J; Santiago, A. (2020). Efecto del cambio climático a partir de los escenarios RCP 4.5 y 8.5 del año 2050 en el balance hídrico del Área Natural Protegida La Primavera, Jalisco, México. *Áreas Naturales Protegidas Scripta*. Vol 6 (1): 53-74. Disponible: [https://www.researchgate.net/profile/Villavicencio-Raymundo/publication/342643698\\_Efecto\\_del\\_cambio\\_climatico\\_a\\_partir\\_de\\_los\\_escenarios\\_RCP\\_45\\_y\\_85\\_del\\_ano\\_2050\\_en\\_el\\_balance\\_hidrico\\_del\\_Area\\_Natural\\_Protegida\\_La\\_Primavera\\_Jalisco\\_Mexico/links/5efe3804299bf18816fcaa23/Efecto-del-cambio-climatico-a-partir-de-los-escenarios-RCP-45-y-85-del-ano-2050-en-el-balance-hidrico-del-Area-Natural-Protegida-La-Primavera-Jalisco-Mexico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Villavicencio-Raymundo/publication/342643698_Efecto_del_cambio_climatico_a_partir_de_los_escenarios_RCP_45_y_85_del_ano_2050_en_el_balance_hidrico_del_Area_Natural_Protegida_La_Primavera_Jalisco_Mexico/links/5efe3804299bf18816fcaa23/Efecto-del-cambio-climatico-a-partir-de-los-escenarios-RCP-45-y-85-del-ano-2050-en-el-balance-hidrico-del-Area-Natural-Protegida-La-Primavera-Jalisco-Mexico.pdf)
- Arosemena, J. (2010). Gestión del recurso hídrico en la cuenca alta del Río Caldera, Panamá. (tesis Msc). CATIE. Turrialba, Costa Rica. Disponible: [https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2938/Gestion\\_del\\_recurso\\_hidrico.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2938/Gestion_del_recurso_hidrico.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Alanís, E. (2008). Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada post-incendio en el Parque Ecológico Chipouinque. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 14(2):113-118.
- Alpízar, F; Jiménez, F; Madrigal, R; Retamal, R. (2008). Metodología para valorar la oferta de servicios ecosistémicos asociados al agua de consumo humano, Copán Ruinas, Honduras. Informe técnico 362. CATIE. Costa Rica.
- Asner, G.P. (1998). Biophysical and Biochemical Sources of Variability in Canopy Reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 64(3), 234-53. DOI: 10.1016/S0034-4257(98)00014-5

- Baron, J. S. et al. (2002). Meeting ecological and societal needs for freshwater. *Ecological Applications* 12:1247–1260
- Barlin, O; López-Beltrán, M. 2019. Índice de vegetación de diferencia normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. Disponible: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-42662019000200112&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-42662019000200112&script=sci_arttext)
- Birkel, D. (2007). Delimitación empírica de áreas prioritarias para el manejo del recurso hídrico en Costa Rica. *Revista Reflexiones* 86 (2): 39-49.
- Brown G, J Montag, K Lyon. (2012). *Public participation GIS: a method for identifying ecosystem services. Society and Natural Resources* 25 (7): 633-651.
- Bajaña, F; Castillo, M; Mosquera, G; Segarra, P. (2013). Elaboración de planes de restauración pasiva para el programa socio bosque región amazónica “propuesta para definición de áreas prioritarias para restauración, programa socio bosque” documento técnico USAID, Ecuador. 37 p.
- Barrera Cataño, J. I., Valdés López, C. (2007). Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia. *Universitas Scientiarum*, 12, 11-24.
- Barrera, J. I., Contreras, S. M., Garzón, N., Moreno, A. C., & Montoya, S. P. (2010). Manual para la restauración ecológica de los ecosistemas disturbados del distrito capital. Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá, Colombia. 401 p
- Barredo, C. J. I. (2005). Sistemas de Información geográfica y evaluación multicriterio, en la ordenación del territorio. 2º edición. RAMA. Madrid, España. 279 p.
- Betrano, S. (2016). Evolución y efectos de la legislación sobre recurso hídrico en Costa Rica (1942-2015). 22 informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Costa Rica.
- Benegas, L; León, J. (2009). Criterios para priorizar áreas de intervención en cuencas hidrográficas. Disponible: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/1036>
- Benez, M.; Kauffer-Michel, E. y Álvarez-Gordillo, G. (2010). Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la microcuenca del río Fogótico, Chiapas. *Frontera Norte*, 22(43), 129-158. Recuperado de <http://www.otmail.org/pdf/136/13612035006.pdf>
- Bustamante, R.; Palacios, P. (2005). Gobernanza, Gobernabilidad y Agua en Los Andes: un análisis conceptual y contextual.
- Bohn, V; Piccolo, M. (2018). Propuesta metodológica para el análisis de inundaciones en cuencas hidrográficas de llanura. Párrafos Geográficos. Disponible: [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/90509/CONICET\\_Digital\\_Nro.1dc0cbca-f0b8-4e63-929d-852a13ca280a\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/90509/CONICET_Digital_Nro.1dc0cbca-f0b8-4e63-929d-852a13ca280a_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Brooks TM, Mittermeier RA, Da Fonseca Gab, Gerlach J, Hoffmann M, Lamoreux JF, Mittermeier cg, Pilgrim JD, Rodríguez ASL. (2006). Global Biodiversity Conservation Priorities. *Science* 313; 58-61.
- Briones, E. E., Arce, S., Tapia, A. (2009). Propuesta técnica de criterios para la selección de sitios de reforestación (restauración), de manglares en la costa ecuatoriana. *EcoCiencia*.57 p.
- Brenes, C; Corrales, L; Brenes, R; Cifuentes, M; (2020). Evaluación de la infraestructura verde y su relación con los servicios ecosistémicos urbanos en el Cantón de La Unión, Cartago, Costa Rica.
- Campos, JA. (2015). Análisis de estabilidad del deslizamiento en el Bajo Cacao de Atenas. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería Civil. (Licenciatura en ingeniería civil). Disponible: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/1852>
- Campos, J.; Faustino, J.; Jiménez, F. (2005). La cogestión de cuencas hidrográficas en América Central. Propuesta para el análisis en el grupo de pensamiento. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 34 p.
- Castro, A; Martínez, H; Arguello-Sierra, F; Sandoval-Rivera. (2020). Métodos para el análisis de actores en el contexto de spin-off universitarias. *Revista UIS Ingenierías*. Vol 19. N° 1. Universidad Industrial de Santander.
- Castillo-Leandro, A; León-Álvarez, R. (2022). ¿Dos comunidades en disputa? El caso de Atenas y Tacaes por el acceso al recurso hídrico. *Intersedes, Revista electrónica de las sedes regionales de la UCR*. XXIII, #47.

- Carvajal-Vanegas, D., Calvo-Alvarado, J. (2012). Intercepción de precipitación en dos especies forestales nativas: *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. y *Vochysia ferruginea* Mart. Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 9(22), pág. 32–39. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v9i22.361>
- Cassasola; Ibrahim, M; Villanueva, C; González, A. 2006. Efecto del pago de servicios ambientales sobre los cambios de los usos de la tierra en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica. In No. especies ha -1 y= 13,66 - 3,66x R2 = 0,38 Tamaño de potrero (ha) 0 1 2 3 4 25 20 15 10 5 0 Figura 5. Impacto del tamaño de los potreros activos en el número de especies por unidad de área en Esparza, Costa Rica. *Acrocomia aculeata* (coyol), especie predominante en potreros de Esparza, Costa Rica. Agroforestería en las Américas. N° 452006. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible y III Simposio sobre sistemas silvopastoriles para la producción ganadera sostenible (Cuba). Memoria. p. 102
- Cascante, A; Méndez, M. (2014). Aplicación metodológica para el estudio de los servicios ecosistémicos hídricos asociados al consumo humano de agua. El caso de estudio de la microcuenca del río Macho, subcuenca del río Virilla, Costa Rica.
- Constitución Política de Costa Rica. (1948). Disponible: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/busqueda/normativa/normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=871&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/busqueda/normativa/normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=871&strTipM=TC)
- Crossman N; Burkhard, S Nedkov, L Willemen, K Petz, I Palomo, E Drakou, B Martín-López, T McPhearson, K Boyanova, R Alkemade, B Egoh, M Dunbar, J Maes. (2013). *A blueprint for mapping and modelling ecosystem services*. *Ecosystem Services* 4: 4-14.
- Chang, M. (2012). *Forest hydrology: an introduction to water and forests*. CRC press.
- Chevalier, J.M; Buckles, D.J. (2008). *A Guide to Collaborative Inquiry and Social Engagement*. SAGE Publishing India
- Conti, E; Cabezón, I; Rendas, R. (2010). Sistemas de Información Geográfica para la gestión de recursos hídricos. *Revista Geográfica de América Central*. N° 45.
- Contraloría General de la República. (2013). División de fiscalización operativa y evaluativa. Informe No. DFOE-AE-IF-01.2013. Informe sobre el estado de la eficiencia del estado para garantizar la calidad del agua en sus diferentes usos.
- Cotler, H. (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 185-245.
- Cedarena. (2000). *Manual de Regulaciones Jurídicas para la Gestión del Recurso Hídrico en Costa Rica*. Disponible: <https://cedarena.org/images/publicaciones/pdf/Manual-de-Regulaciones-Juridicas-para-la-gestion-de-recurso-hidrico-en-CostaRica.pdf>
- Chávez, H; González, M; Hernández, P. (2014). Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. Vol 6 (27): 8-23.
- Clark, D.B. (2002). Los factores edáficos y la distribución de las plantas. In: Guariguata MR, Kattan GH (eds.) *Ecología y Conservación de Bosques*. 193-221.
- Clewell, A. F. (1999). Restoration of riverine forest at Hall Branch on phosphateminced land, Florida. *Restoration Ecology* 7(1):1-14
- Curran, P.J. (1989). Remote Sensing of Foliar Chemistry. *Remote Sensing of Environment*, 30 (3), 271-78. DOI: 10.1016/0034-4257(89)90069-2.
- Chuvienco, E. 2002. *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Edit. Ariel Ciencia. España.
- Chereque, W. (1996). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima, CONCYTEC
- Comisión Nacional de Emergencias (CNE). (sf). *Deslizamientos, inundaciones y sismos*. Disponible: [https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/informacion\\_educativa/recomendaciones\\_consejos/documentos/Folleto\\_Deslizamientos.pdf](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/informacion_educativa/recomendaciones_consejos/documentos/Folleto_Deslizamientos.pdf)
- De Groot R, M Wilson, R Boumans. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41: 393-408.

- Del Moral, L. (2008). Nuevas tendencias en gestión del agua, ordenación del territorio e integración de políticas sectoriales. *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Disponible: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/43651/Nuevas%20tendencias.pdf>
- Decreto Ejecutivo N° 42128. Reglamento del Canon Ambiental por Vertidos Disponible: [http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2016/06/DE-42128-MINAE-S\\_Reglamento-Canon-por-Vertidos.pdf](http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2016/06/DE-42128-MINAE-S_Reglamento-Canon-por-Vertidos.pdf)
- Decreto Ejecutivo de MINAE N° 29238-MINAE Crea la Red Nacional de Cuencas Hidrográficas. Disponible: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=45754&nValor3=48226&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=45754&nValor3=48226&strTipM=TC)
- Decreto Ejecutivo N° 32868. (2006). Canon por Concepto de Aprovechamiento de Aguas. Disponible: <http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2016/06/Decreto-Canon-por-concepto-de-aprovechamiento-de-aguas-DE-32868-MINAE.pdf>
- Decreto Ejecutivo N° 41058 – MINAE. (2018). Constitución del Mecanismo Nacional de Gobernanza del Agua. Disponible: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86422&nValor3=112122&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86422&nValor3=112122&strTipM=TC)
- Decreto Ejecutivo 35669-MINAE. Reglamento Orgánico del Ministerio de Ambiente y Energía. Disponible: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=66973](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=66973)
- Decreto Ejecutivo 30480-MINAE. (2002). Determina los principios que regirán la política nacional en materia de gestión de los recursos hídricos, y deberán ser incorporados, en los planes de trabajo de las instituciones públicas relevantes. Disponible: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=48707&nValor3=98600&strTipM=TC#:~:text=Determina%20los%20principios%20que%20regir%C3%A1n,de%20las%20instituciones%20p%C3%BAblicas%20relevantes.](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=48707&nValor3=98600&strTipM=TC#:~:text=Determina%20los%20principios%20que%20regir%C3%A1n,de%20las%20instituciones%20p%C3%BAblicas%20relevantes.)
- Decreto Ejecutivo 41960-MAG-MINAE. (2019). Establecimiento de la metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras agroecológicas de Costa Rica. Disponible: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=90001&nValor3=118346](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=90001&nValor3=118346)
- Decreto Ejecutivo 29375. (2000). Reglamento a la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos. Disponible: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/normas/nrm\\_articulo.aspx?nValor1=1&nValor2=46035&nValor3=97496&nValor5=7&nValor6=25/06/2012](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/normas/nrm_articulo.aspx?nValor1=1&nValor2=46035&nValor3=97496&nValor5=7&nValor6=25/06/2012)
- Declaración de Dublín sobre el agua y el Desarrollo Sostenible. <http://appweb.cndh.org.mx/derechoagua/archivos/contenido/CPEUM/E1.pdf>
- Dourojeanni, A. (2015). Diferencias conceptuales entre los términos Manejo Integrado de Cuencas y Gestión (integrada) de recursos hídricos. Fundación Chile.
- De Camino, R., McCaffee, B. J., Burton, P. J., Eddy, B., *et al.* (2010). Managing Forested Landscapes for Socio-Ecological Resilience. In: G. Mery, P. Katila, G. Galloway, R. I. Alfaro, M. Kanninne (Eds), *Forests and Society – Responding to Global Drivers of Change*, IUFRO World Series Volume 25. International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), Vantaa, Finland, Chapter 22: 399-440. En línea, disponible en [www.infoandina.org](http://www.infoandina.org)
- Esse, C; Valdivia, P; Encina-Montoya, F; Aguayo, C; Guerrero, M; Figueroa, D. (2014). Modelo de análisis espacial multicriterio (AEMC) para el mapeo de servicios ecosistémicos en cuencas forestales del sur de Chile. *Bosque (Valdivia)* vol.35 no.3 Valdivia 2014. Disponible : [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92002014000300004](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002014000300004)
- Echeverría, J; Cantillo, B. (2013). Instrumentos económicos para la gestión del agua. *Ambientales*. 45: 13-22.
- Echeverría, J. (2011). Evaluación de la vulnerabilidad futura del sistema hídrico al cambio climático. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-Instituto Metrológico Nacional.
- Echeverría, C., Schiappacasse, I., Urrutia, R., Cárcamo, M., Becerra, P., Smith, C. y Holmgren, M. (2010). Restauración de ecosistemas degradados para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo rural en la zona semiárida de Chile central. Valdivia, Chile: Proyectos Reforlan-RUE 33.



- Estado de la Nación. (2009). Armonía con la naturaleza. Capítulo 4. Disponible: <https://repositorio.conare.ac.cr/rest/bitstreams/c6281dfd-b9ef-428a-b003-26f10d80d243/retrieve>
- Estado de la Nación. (2013). Armonía con la naturaleza. Capítulo 4. <https://repositorio.conare.ac.cr/rest/bitstreams/7369472a-1c6b-494f-bb8e-8190ecc041dc/retrieve>
- Estado del Ambiente Costarricense (2018). Disponible: <http://sinia.go.cr/wp-content/uploads/2019/05/Capitulo-II-2018-estadoambiente.pdf>
- Fornaguera, I. (2014). “Lío por agua tiene a Grecia y Atenas enfrentados”. La Nación, 20 de septiembre. Disponible: <https://www.nacion.com/el-pais/servicios/lio-por-agua-tiene-a-grecia-y-atenas-enfrentados/ZH3OV5GSLVHK3CICX2TLWOTBJ4/story/>
- Foro Conflictos Hídricos en Costa Rica: devenir de una ética exigente hacia posibles soluciones. (2011). Disponible <http://tragua.com/wp-content/uploads/2012/06/INFORME-COSTA-RICA-MAYO-2011.pdf>
- Fondo Mexicano para Conservación de la Naturaleza (FMCN). 2009. Análisis, priorización de alternativas y plan estratégico para mejorar la competitividad del manejo del agua, conservación de la biodiversidad y los recursos forestales de los bosques templados en México. Informe final. United States Agency for International Development. México. 165 p.
- Geneletti, D., Orsi, F., Lanni, E. y Newton, A. C. (2011). Identificación de áreas prioritarias para la restauración de bosques secos. En A. C. Newton y N. Tejedor (Eds.), Principios y práctica de la restauración del paisaje forestal: Estudios de caso en las zonas secas de América Latina (290-327). Gland, Suiza y Madrid, España: UICN.
- Gómez D., M. y Barredo C., J. I. (2005). Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio, en la ordenación del territorio (2ª ed.). Madrid, España: RA-MA.
- Gonzaga, S; Chicaiza, P; Valarezo, J. (2018). Análisis multicriterio en la planificación de una red de monitoreo de calidad de agua en el río Puyango-Ecuador. XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Buenos Aires, Argentina.
- Global Water Partnership* (GWP). (2013). Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal.
- Guerrero, M; Herrera-F.; B. Carazo, F. (2019). Priorización de inversiones para la conservación del recurso hídrico en iniciativas público-privadas: el caso de Agua Tica, Costa Rica. San José, Costa Rica, Fundecor. 43 p. (Serie Técnica no. 2: Laboratorio Vivo de Mi Paisaje).
- Garibello, C. (2003). Restauración de ecosistemas a partir del manejo de la vegetación. Guía metodológica. Bogotá (Colombia): Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal CONIF, 95 p
- Gálvez, J. (2002). La restauración ecológica: conceptos y aplicaciones. Universidad Rafael Landívar Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Guatemala. 22p.
- Galindo, G., D. Marcelo, N. R. Bernal, L. K. Vergara y J. C. Betancourt. (2009). Planificación ecorregional para la conservación de la biodiversidad en el Caribe Continental Colombiano. Serie Planificación Ecorregional para la Conservación de la Biodiversidad No. 1. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Agencia Nacional de Hidrocarburos, The Nature Conservancy e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia. 24 p
- González, M; Plascencia, O; Martínez-Trinidad, T. (2016). Áreas prioritarias para restauración ecológica y sitios de referencia en Chignahuapan-Zacatlán. Madera y Bosques. Vol 22 (2:41-52).
- González Ovando, M. L. (2014). Identificación de áreas prioritarias para restauración ecológica, en la región Chignahuapan-Zacatlán, Puebla. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. De México. 115 p.
- González, C; Ramírez, D. (2022). Análisis de clúster en Asadas. Revista de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. Volumen 8.
- Geneletti D., F. Orsi, E. Lanni y A.C. Newton. (2011). Identificación de Áreas Prioritarias para la Restauración de bosques secos. In: Newton, A.C. y N. Tejedor, eds. Principios y práctica de la restauración del paisaje forestal: Estudios de caso en las zonas secas de América Latina. Gland, Suiza: UICN y Madrid, España. 290-327.

- Goodman, L.A. (1961) Snowball Sampling. *Annals of Mathematical Statistics*, 32, 148-170. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177705148>
- Hatfield, J.L (2008). Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions. *Agronomy Journal*, 100(3), 117-131. DOI: 10.2134/agronj2006.0370c
- Hobbs, R. (2008). 'Goals, Targets and Priorities for Landscape Scale Restoration'. In *Managing and Designing Landscapes for Conservation*.
- Hernández, R; Martínez, L; Peñuela, L; Rivera, S. (2020). Identificación de zonas potenciales de recarga y descarga de agua subterránea en la cuenca del río Ayuquila-Armería mediante el uso de SIG y el análisis multicriterio. *Investigaciones geográficas*. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112020000100102&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112020000100102&script=sci_arttext). <https://doi.org/10.14350/rig.59892>
- IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). (2008). *Climate Change and Water*. IPCC Technical Paper VI. WMO. UNEP. OSD. 2011. Why use scenarios? *Schooling for tomorrow: knowledge Bank*. Disponible en: [www.osd.org](http://www.osd.org).
- Instituto Costarricense de Electricidad. Sf. Cuencas de Costa Rica. Disponible: [https://www.snitcr.go.cr/ico\\_servicios\\_ogc\\_info?k=bn9kbzo6OQ==&nombre=Centro%20Nacional%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoambiental](https://www.snitcr.go.cr/ico_servicios_ogc_info?k=bn9kbzo6OQ==&nombre=Centro%20Nacional%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoambiental)
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (Sf). *Clima en Costa Rica: el clima y las regiones climáticas de Costa Rica*. Disponible: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/31165/clima-regiones-climat.pdf/cb3b55c3-f358-495a-b66c-90e677e35f57>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). 2020. *Estadísticas de la construcción 2019*. San José.
- Jiménez, F. (2007). *Introducción al Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas*. Turrialba, CR. CATIE.
- Lamb, D. (2005). Desarrollo de modelos para optimizar los resultados. In UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, CH), OIMT (Organización Internacional de Maderas Tropicales, JP). *Restaurando el paisaje forestal: Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales*. Serie Técnica OIMT, no. 23.
- Lammerant, J., Peters, R., Snethlage, M., Delbaere, B., Dickie, I., Whiteley, G. (2013). *Implementation of 2020 EU Biodiversity Strategy: Priorities for the restoration of ecosystems and their services in the EU*. Report to the European Commission. ARCADIS (in cooperation with ECNC and Eftec). 210 p.
- Ley Orgánica del Ambiente N° 7554. (1995). Disponible: [https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2019/07/05/COMP\\_05\\_07\\_2019.pdf](https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2019/07/05/COMP_05_07_2019.pdf)
- Ley de Conservación de Suelos N° 7779 *Uso, manejo y conservación de suelos*. (1998). Disponible: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=26421](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=26421)
- Lebel, L.; Garden, P.; Imamura, M. 2005. The politics of scale, position, and place in the governance of water resources in the Mekong region. *Ecology and society* (2): 18. Disponible en [http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1031&context=unf\\_research](http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1031&context=unf_research)
- Maginnis, S; Jackon, W. (2005). ¿En qué consiste la RPF y cómo se diferencia de los métodos actuales? In: UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, CH), OIMT (Organización Internacional de Maderas Tropicales, JP). *Restaurando el paisaje forestal: Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales*. Serie Técnica OIMT no. 23. En línea, disponible en disponible en [www.itto.or.jp](http://www.itto.or.jp)
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley. Inc. Ontario, Canadá. 392 p.
- MINAE. MAG. SINAC. (2021). *Estrategia Nacional de Restauración de Paisajes de Costa Rica 2021-2050*. Disponible: [http://www.sinac.go.cr/ES/noticias/Documents/Estrategia%20Nacional%20de%20Restauraci%C3%B3n%20de%20Paisajes%20de%20Costa%20Rica\\_digital\\_vf.pdf](http://www.sinac.go.cr/ES/noticias/Documents/Estrategia%20Nacional%20de%20Restauraci%C3%B3n%20de%20Paisajes%20de%20Costa%20Rica_digital_vf.pdf)
- MINAE. (2012). *Acuerdo 60-2012 Alcance 105 del 31 de julio del 2012. Metodologías Hidrogeológicas para la Evaluación del Recurso Hídrico*. Disponible: <https://da.go.cr/wp-content/uploads/2016/06/Acuerdo-60-2012-ESTUDIOS-HIDROGEOLOGICOS.pdf>

- MIVAH, MINAE; PNUMA. (2006). Perspectivas del Medio Ambiente Urbano 2006. Geo GAM del Valle Central Costa Rica. Disponible: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9215>
- Madrigal-Solís; Pizarro-Méndez, Y; Jiménez-Cavallini, S; López-Alfaro, N; Echeverría-Sáenz, S; Alfaro-Chinchilla, C; Centeno-Morales, J; Suárez-Serrano, A. (2020). ¿Qué pensamos del agua? Percepción de la población sobre la situación actual del recurso hídrico en Costa Rica: un indicador sobre el conocimiento y la gestión del agua. UNICIENCIA vol 34, N° 1, pp 170-188. DOI: <https://doi.org/10.15359/ru.34-1.10>
- Madrigal, J. (sf). Los efectos de las amenazas naturales y antropogénicas de las cuencas hidrográficas de Costa Rica. Comisión Nacional de Emergencias. Disponible: [hidhttps://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/CEDO-CRID%20V4/pdf/spa/doc2983/doc2983-contenido.pdf](https://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/CEDO-CRID%20V4/pdf/spa/doc2983/doc2983-contenido.pdf)
- Martínez, R. y D. A. Rodríguez. (2003). Los incendios forestales en México y América Central. Memorias del Segundo Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas de Protección Contra Incendios Forestales: Una visión global. 767-779
- Moral, L. (2009). Nuevas tendencias en gestión del agua, ordenación del territorio e integración de políticas sectoriales. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Vol. XIII, num, 285. Disponible: <https://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/1592>
- Mora, R. (2009). Aplicación de la metodología MVM para determinar la susceptibilidad a deslizamientos en el Bajo Cacao, Atenas, Alajuela.
- Moraga, J. (2012). Modelo cartográfico para un ordenamiento de cuencas hidrográficas. Revista Geográfica de América Central. N° 49.
- Martínez, M., y V. Reyes. (2007). Criterio para la priorización y selección de cuencas. Programa de comunicaciones WWF (World Wildlife Fund) Centroamérica. Guatemala, Guatemala. 36 p
- Murcia, C., Guariguata, M. R. (2014). La restauración ecológica en Colombia: tendencias, necesidades y oportunidades (Vol. 107). CIFOR.
- Maderey, L. Jiménez, A. (2005). Principios de Hidrogeografía Estudio del Ciclo Hidrológico, p. 11. Recuperado de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=0S3XDWsDzSAC&oi=fnd&pg=PA7&dq=ciclo+hidrol%C3%B3gico+&ots=2R5EkqnSE&sig=x4Ouy7yDjbo1z0K7ie\\_YglqeK5M#v=onepage&q=ciclo%20hidrol%C3%B3gico&f=true%B3gico&f=true](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=0S3XDWsDzSAC&oi=fnd&pg=PA7&dq=ciclo+hidrol%C3%B3gico+&ots=2R5EkqnSE&sig=x4Ouy7yDjbo1z0K7ie_YglqeK5M#v=onepage&q=ciclo%20hidrol%C3%B3gico&f=true%B3gico&f=true).
- Llano-Serna, M; Muniz-de Farias, M; Martínez-Carvajal, E. (2015). Modelamiento numérico del deslizamiento Alto Verde usando el método del punto material. Doi: DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v82n194.48179>
- Oldeman, R.A.A. (1983) Tropical RainForest, Architecture, Sylvigenensis and Diversity. Special Publication Series of the British Ecological Society No. 2., Blackwell Scientific Publications, 498.
- Padilla, TA. (2003). Evaluación del potencial hídrico en la microcuenca del río Cantil, para el aprovechamiento de las aguas subterráneas en la finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, Guatemala. Tesis MSc. Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 102 p.
- Poiani, Karen, Jeffrey Baumgartner, Jeffrey Buttrick, Shelley Green, Edward Hopkins, George Ivey, Katherine Seaton, and Robert Sutter. (1998). 'A Scale independent, Site Conservation Planning Framework in The Nature Conservancy'. Landscape and Urban Planning 43: 143–156
- Política Nacional de Áreas de Protección (2020). Disponible: [http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/Politica\\_Nacional\\_Areas\\_Proteccion\\_2020.pdf](http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/Politica_Nacional_Areas_Proteccion_2020.pdf)
- Política Hídrica Nacional. (2009). Disponible: <http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/Pol%C3%Adtica-H%C3%Addrica-Nacional.pdf>
- Política Nacional de Humedales 2017-2030. (2017). Disponible: <https://repositorio-snp.mideplan.go.cr/bitstream/handle/123456789/145/PP.044.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Decreto Ejecutivo 23375. (2000) Disponible: [http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/Plan\\_Nacional\\_Gestion\\_Integrada\\_Recursos\\_Hidrico.pdf](http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/Plan_Nacional_Gestion_Integrada_Recursos_Hidrico.pdf)
- Pochat, V. (2008). Principios de gestión integrada de los recursos hídricos: Bases para el desarrollo de planes nacionales. *Global Water Partnership*: 12.

- Pequeño-Ledezma, M; Alanís-Rodríguez, E; Jiménez-Pérez, J; Aguirre-Calderón, O; González-Tagle, M; Molina-Guerra, V. (2016). Criterios a considerar para desarrollar proyectos de restauración ecológica. *Revista Iberoamericana de Ciencias*.
- Pool, S. (2017). Consultoría para definir las medidas y acciones de conservación para las fuentes y zonas de recarga hídrica prioritarias que serán financiadas con la aplicación de la tarifa de uso y aprovechamiento de agua cruda en el Ecuador: Informe de priorización y planificación de las medidas y acciones que podrían ser aplicadas en función de las particularidades de cada demarcación hidrográfica con mapas a la escala más adecuada de la información disponible. Disponible: [https://www.biodiversityfinance.net/sites/default/files/content/knowledge\\_products/Producto%203%20Informe%20de%20priorizaci%C3%B3n%20y%20planificaci%C3%B3n%20de%20las%20medidas%20y%20acciones%20en%20ZIHP.pdf](https://www.biodiversityfinance.net/sites/default/files/content/knowledge_products/Producto%203%20Informe%20de%20priorizaci%C3%B3n%20y%20planificaci%C3%B3n%20de%20las%20medidas%20y%20acciones%20en%20ZIHP.pdf)
- Pozzobon, E. y Gutiérrez, J. (2003). Utilización de un sistema de información geográfica para la selección y priorización de áreas a reforestar en los alrededores de la ciudad de Mérida, Venezuela. *Revista Forestal Venezuela*, 47(2), 61-72.
- Proaño, M. Gavilanes, C., Valenzuela, P., Cisneros, C. (2006). Informe técnico sobre la aplicación del modelo SWAT en la subcuenca del río Ambato. Proyecto Cuencas Andinas - CODESAN - GTZ.
- Pullar, D., Lamb, D., (2007). Scenario Analysis with Performance Indicators: a Case Study for Forest Linkage Restoration. Queensland, AU, University of Queensland, 16 p.
- Rands, M et al. (2010). Biodiversity Conservation: Challenges Beyond Science.
- Rojas, A. (2016). Elaboración de un mecanismo de cobertura nacional para el manejo de la contaminación difusa. Escuela de Ingeniería Agrícola, UCR. Disponible: <http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2017/01/Informe-Final-Contaminacion-Difusa-UCR.pdf>
- Rojas, C. (2019). Delimitación de la cuenca hidrográfica del río Bitá, Departamento del Vichada a partir de modelos digitales de elevación. Tesis. Universidad de Manizales. Disponible: [http://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/4167/Rojas\\_Ochoa\\_Camilo\\_Andres\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/4167/Rojas_Ochoa_Camilo_Andres_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rodríguez, D; Gast, F; Latorrey, J. (2017). Contribución a la evaluación metodológica para la priorización de ecosistemas estratégicos y áreas ambientales de Colombia a través de submodelos de SIG (caso de estudio en el Departamento de Quindío). Disponible : <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/25621/LatorreyLozanoJaidyVanessa2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Reyes, V; Fallas, J; Miranda, M; Segura, O; Sánchez, R. (2002). Parámetros para la valoración del servicio ambiental hídrico brindado por los bosques y plantaciones de Costa Rica. Disponible: <https://www.ucipfg.com/Repositorio/MAES/PED/Semana5/ServicioHidricoBosques.pdf>
- Rovere, A. (2011). Taller: Restauración y conservación: debate para la planificación de la sustentabilidad socio-ecológica. III Jornadas Argentinas de Ecología de Paisajes. Mayo de 2011. Bariloche, Argentina. 95-99p.
- Roa, G (2019). Evaluación y comparación de un modelo de clasificación geo morfométrica automática a partir de dos MDE: STRM (90 m) y Alos Palsar (12.5 m). Universidad Pública de Navarra. Disponible: [https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/35121/JOSE\\_ROA\\_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/35121/JOSE_ROA_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Reyes, P; Ríos, O. (2011). La restauración ecológica en la práctica: memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica. Universidad Nacional de Colombia.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., & Deering, D.W. (1973). Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. *3<sup>rd</sup> ERST Symposium, NASA, 1*, 309-317.
- Restrepo, C; Ibrahim, M; Harvey, C; Harmand, M; Morales, J. 2004. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en trópico seco en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 41- 42:29-36.



- Saborío, J. 2011. Metodología para la gestión de cuencas hidrográficas siguiendo el enfoque del riesgo integral. *Revista Geográfica de América Central*, 2 (43), 25-35. Disponible: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/215/172>
- Solano, A; Pérez, L. (2016). Análisis multicriterio para la identificación de prioridades de conservación para el SINAP. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C.
- Salinas, C.A., Martínez, R.O., Morales, M.V. (2017). Trend in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Southern Part of Baja California Península. *Investigaciones Geográficas*, 94,82-90. DOI: 10.14350/riig.57214.
- Saaty, T.L. 1980 *The Analytic Hierarchy Process*, New York : McGraw Hill. International, Translated to Russian, Portuguese, and Chinese, Revised editions, Paperback (1996, 2000), Pittsburgh : RWS Publications.
- Segura, O. (2004). *Agenda Ambiental del agua en Costa Rica*. Fundación UNA. Heredia, Costa Rica. 192.
- Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2013). *Guía Análisis y Zonificación de Cuencas Hidrográficas para el ordenamiento territorial*. Chile. Disponible: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36817/S2014205\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36817/S2014205_es.pdf)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2006. Métodos para identificar áreas prioritarias de conservación de la biodiversidad para el ordenamiento ecológico. In: SEMARNAT. *Manual del proceso de ordenamiento ecológico*. México, D. F., México. Pp. 223-254. +Anexo 6.
- Society for Ecological Restoration International (SERI); UICN. (2004). *Ecological Restoration a means of conserving biodiversity and sustaining livelihoods*.
- Souza de Abreu, MH; Ibrahim, M; Harvey, CA; Jiménez, F. 2000. Caracterización de los componentes arbóreos de los sistemas ganaderos de la Fortuna de San Carlos, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7: 53-56.
- Sánchez, Ó. (2000). Programas de conservación de vida silvestre: diseño, ejecución y seguimiento. En: Sánchez, O., M. C. Donovarro-Aguilar y J. E. Sosa-Escalante (eds.). *Conservación y manejo de vertebrados en el trópico de México*. INE-Semarnat, U.S. Fish & Wildlife Service, UPC, A.C., Universidad Autónoma de Yucatán y Conabio. México, 19-34.
- Sánchez, K; Jiménez, F; Velásquez, S; Piedra, M; Romero, E. (2004). Metodología de Análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo de recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. *Revista Recursos Naturales y Ambiente*.
- Sánchez, G. (2007). *El Plan de Arborización Urbana*. III Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Ambiente. III CISDA. San José. 26-33p.
- SINAC. (2022). *Mapa de bosques y otras tierras de Costa Rica*.
- Sayer, J.A; Kapos, V; Mansourian, S; Maginnis, S. (2003). Forest Landscape Restoration: the role of forest restoration in achieving multifunctional landscapes. En línea, disponible en [www.fao.org](http://www.fao.org)
- Shepherd, G. (2004). *The Ecosystem Approach: Five Steps to Implementation*. IUCN, Gland, Switzerland and UK Cambridge, Vi. 30 p.
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga: Ingeniería de Suelos.
- Schulz, C., García, R. (2015). Balance hídrico y recarga de acuíferos, p. 5, 9 y 10. Recuperado de [http://aihcl.org/cursos/Balance\\_y\\_Recarga\\_de%20Acuiferos\\_Version\\_Final.pdf](http://aihcl.org/cursos/Balance_y_Recarga_de%20Acuiferos_Version_Final.pdf).
- Stohlgren TJ, Barnett DT, Jarnevich CS, Flather C, y J. Kartesz. (2008). The myth of plant species saturation. *Ecological Letters* 11: 313–326.
- Tobón, C. 2009. *Los bosques andinos y el agua*. Programa Regional ECOBONA - INTERCOOPERATION, CONDESAN, Quito. 64 p
- Uribe, D. (2011). *Análisis Multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de restauración del paisaje forestal en la Mixteca Alta, Oaxaqueña*. Tesis. Instituto Politécnico Nacional. Disponible : <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/15741>
- UICN; PNUMA; WWF. (1991). *Cuidar la tierra: Estrategia para el futuro de la vida*. Gland, Suiza. 258 p. [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=48707&nValor3=98600&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=48707&nValor3=98600&strTipM=TC)

- Urbanska, K et al. (1997). Why restoration? Restoration ecology and sustainable development. University Press, Cambridge.
- USAID; Iniciativa para la conservación Andina (ICAA); The nature conservancy (TNC). (2013). Elaboración de planes de restauración pasiva para la región amazónica Programa socio bosque. Consultado en: [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PA00K45G.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00K45G.pdf)
- Valiente, M; Zabaleta, A; Meaurio, M; Uriarte, J.A. (2021). Caracterización y funcionalidad hidrológica de los suelos de una cuenca pre-pirenaica (Bidasoa, Navarra). Geotemas (Madrid). N° 18. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8440295>
- Vargas, O. (2007). Guía Metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Vargas, J. O. (2011). Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. Acta Biológica Colombiana, 16(2), 221-246.
- Vargas, E; Marín-Alfaro, A. (2016). Costa Rica demanda una gestión integral del recurso hídrico: escenario latinoamericano y la realidad del país. Scielo. Vol 17. No.35. Disponible: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/is/v17n35/2215-2458-is-17-35-00095.pdf>. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/isucr.v17i35.25565>
- Van Andel, J; Aronson, J. (2006). Restoration ecology: the new frontier.
- Valverde, R. (2013). Disponibilidad, distribución, calidad y perspectivas del agua en Costa Rica. Ambientales. 45:5-12.
- Valenciano-Hernández, S. (2021). ¿Agua para quién? Movilización comunitaria y negociación en el conflicto socioambiental del Parque Los Chorrros, Costa Rica. ICONOS Revista de Ciencias Sociales N° 60 vol XXV.
- Villota, M. (2019). Análisis morfométrico de la Cuenca del Río Mulaló utilizando herramientas de SIG. Disponible: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/16665/2019mariovillota.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Villón, M. (2004). Hidrología. Cartago, Costa Rica, ITCR. 400 p.
- Vignola, R.; Harvey, C.A.; Bautista-Solis, P.; Avelino, J.; Rapidel, B.; Donatti, C.; Martinez, R.; 2015. Ecosystem-based adaptation for smallholder farmers: Definitions, opportunities and constraints. Agriculture, Ecosystems & Environment 211, 126-132.
- Veluk, F. (2012). Restauración del paisaje forestal y planificación participativa como herramientas para la transformación del territorio y medios de vida en el altiplano del departamento de San Marcos, Guatemala (tesis de postgrado). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, p. 2.
- Vogl, A; Tallis, H; Douglass, J ; Sharp, R ; Veiga, F ; Benítez, S ; León, J ; Game, E ; Petry, P ; Guimaraes, J ; Lozano, J. (2016). Sistema de optimización de inversión de recursos: introducción y documentación teórica. Disponible: [Sistema de Optimización de Inversiones en Recursos \(RIOS\) \(naturalcapitalproject.org\)](http://naturalcapitalproject.org)
- Wilson, Kerrie A., Megan Lulow, Jutta Burger, Yi-Chin Fang, Caitlin Andersen, David Olson, Michael O'Connell, and Marissa F. McBride. (2011). 'Optimal Restoration: Accounting for Space, Time and Uncertainty'. Journal of Applied Ecology 48 (3): 715–725
- Yaguache, R; Cobo, E; Yaguache, L. (2018). ¿Cómo priorizar acciones de protección de servicios ecosistémicos hidrológicos? El caso de la cuenca transfronteriza Catamayo-Chira. UICN. Quito, Ecuador. Disponible: <https://es.scribd.com/document/487395488/experiencia-de-priorizacion-catamayo-chira-uicn-pdf>

## **Anexos**

### **Anexo 1. Funciones de la Red Nacional de Cuencas Hidrográficas**

1. Brindar lineamientos de políticas en el marco del manejo de las Cuencas Hidrográficas.
2. Identificar las necesidades de cooperación conforme con su grado de prioridad.
3. Promover la creación de un banco de datos y el intercambio de información a nivel nacional y regional.
4. Impulsar y apoyar actividades dirigidas a la concienciación del ciudadano sobre la importancia de la conservación y protección de cuencas.
5. Definir y verter criterio sobre actividades relacionadas con el manejo de cuencas.
6. Apoyar las propuestas institucionales, municipales, comunales y privadas, dirigidas al manejo integral de cuencas.
7. Propiciar la coordinación entre las organizaciones miembros de la Red.
8. Difundir los logros del país en materia de manejo de Cuencas Hidrográficas.
9. Preparar y aprobar el Plan Anual de la Red Nacional de Cuencas.
10. Seleccionar los funcionarios que representen la Red Nacional en los eventos que se realizan en el país como en el exterior.
11. Procurar el financiamiento de la Red.
12. Participar y cooperar en las actividades que la coordinación de la Red Latinoamericana proponga a la Red Nacional.
13. Promover la realización de convenios con organismos internacionales.

## Anexo 2. Protocolo de entrevista semiestructurada para identificar la percepción de los actores clave sobre la gestión del recurso hídrico de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

### PRESENTACIÓN

Buenos días/tardes mi nombre es Maureen Arguedas Marín, soy estudiante de la UCR y la UNA, soy funcionaria del SINAC y me encuentro realizando un estudio sobre la percepción local del agua en la microcuenca del río Cacao. Por lo que me gustaría solicitarle aproximadamente 1 hora para entrevistarle y a la vez le comento lo siguiente:

*Su participación en esta entrevista es totalmente voluntaria y su respuesta es totalmente anónima. Es decir, todas las respuestas, tanto suyas como la de los demás entrevistados, serán estudiadas en conjunto y, por eso, no se sabrá cuáles son las respuestas de una determinada persona. Si en algún momento no quisiera continuar, por favor indicármelo. O si las preguntas no le parecen claras no dude en preguntarme. Durante la entrevista estaré tomando nota y si usted lo permite también estaré grabando para no olvidar ningún detalle de la entrevista. Espero que eso no le incomode y si hay algo que no quisiera que quedara escrito o grabado, por favor de indicármelo.*

Por ser un estudio de percepción no hay respuestas buenas ni malas, simplemente queremos saber su opinión.

### CONSENTIMIENTO INFORMADO

Me gustaría confirmar que está claro que su participación es voluntaria y que podemos terminar la entrevista en el momento que usted lo decida.

### IDENTIFICACIÓN DE LA ENTREVISTA

- Nombre del entrevistado (a): \_\_\_\_\_ Empresa/asociación/ entre otros que representa \_\_\_\_\_
- Ubicación dentro de la cuenca de la empresa/asociación que representa (provincia, cantón, distrito, comunidad) \_\_\_\_\_
- Sexo: M \_\_\_\_\_ F \_\_\_\_\_
- Grupo etario: 20-30 años \_\_\_\_\_ 30-40 años \_\_\_\_\_ 40-50 años \_\_\_\_\_ 50-60 años \_\_\_\_\_ más de 60 años \_\_\_\_\_
- Grado de escolaridad: escuela completa \_\_\_\_\_ secundaria completa \_\_\_\_\_ secundaria incompleta \_\_\_\_\_ universidad completa \_\_\_\_\_ universidad incompleta \_\_\_\_\_
- Hora de inicio: \_\_\_\_\_ Hora de fin: \_\_\_\_\_

Variable de interés/ Pregunta clave	Tema	Preguntas orientadoras
4. Percepción local sobre los cuerpos de agua de la cuenca  ¿Cómo perciben las personas los cuerpos de agua de la subcuenca/cuenca en que habitan?	Concepto	¿Qué representan para ustedes los cuerpos de agua de la subcuenca (ríos, nacientes, pozos, entre otros)?
	Estado	¿Cómo es la condición de los cuerpos de agua de la cuenca? ¿Cuál es la condición del área de protección de los cuerpos de agua? ¿Es la cantidad de agua adecuada para los usos principales en la cuenca o subcuenca? ¿Es la calidad de agua adecuada para los usos principales en la cuenca o subcuenca?
	Existencia de ecosistemas estratégicos (bosques,	¿Cuáles son los recursos naturales presentes en la cuenca? ¿Qué uso se le dan? ¿En la cuenca/subcuenca hay ecosistemas estratégicos (humedales, páramos, manglares, entre otros)? ¿Cuál es el estado de esos ecosistemas?



	humedales, páramo, entre otros)	
	Presencia de ecosistemas protegidos	¿En la cuenca/subcuenca hay áreas con alguna categoría de manejo?
	Cambios	¿Qué cambios percibe en los cuerpos de agua de la cuenca (ríos, nacientes, pozos, entre otros) con respecto hace 5/ 10/20 años? En los últimos años, ¿Cuáles son las actividades de los pobladores y empresas que están generando problemas en la calidad, cantidad y uso del agua?
	Impulsores de cambio	¿Cuál es la principal amenaza hacia los ríos, pozos, entre otros de su comunidad?
	Soluciones /alternativas para la protección y/o conservación	¿Qué podría evitar o contrarrestar esas amenazas?
<b>5. Actividades económicas dependientes del recurso hídrico</b>  ¿Cuál es el principal beneficio que obtienen las personas de los cuerpos de agua de la cuenca?	Principales usos del agua	¿Qué actividades productivas se desarrollan en la cuenca?
	Presencia y desarrollo de actividades humanas	¿Cuáles son los principales usuarios del agua? Ejemplos de uso del agua: Consumo humano, agropecuario, transporte fluvial, actividad turística (hoteles, navegación recreativa), hidroenergía. ¿En qué parte de la cuenca se ubican los principales usuarios? ¿Cuál es la principal época de uso (permanente o estacional) del agua por cada tipo de usuario? (Intensidad de uso) ¿Cuál es la proveniencia del agua para cada tipo de usuario? (Fuente de uso: acueducto, pozos perforados, desviación de drenajes, entre otros) ¿Cuál es el destino de las aguas residuales para cada tipo de uso? ¿Los grupos de usuarios se encuentran organizados?
	Principal fuente de ingresos de la cuenca hidrográfica	¿Qué sector o sectores reciben mayor beneficio de los cuerpos de agua de la cuenca? ¿Qué actividades productivas de la cuenca dependen del agua? ¿Cuáles son las principales fuentes de ingresos de las personas que habitan la cuenca?
<b>6. Acciones para el manejo y la gestión del recurso hídrico</b>  ¿Las se organizan para gestionar el recurso hídrico?  ¿Existe coordinación interinstitucional para abordar temas relacionados con la gestión del recurso hídrico?	Iniciativas locales	¿Han hecho algo para enfrentar o prevenir los daños o impactos negativos hacia los cuerpos de agua de la cuenca? (sí sí, ¿qué proyectos? Y ¿Cuáles serían las lecciones aprendidas?
	Organización local	¿Existencia de grupos organizados para mejorar la gestión del recurso hídrico? ¿Cuál es el nivel de organización, participación y empoderamiento de la población en relación a la gestión del recurso hídrico?
	Apoyo externo/Político	¿Existencia de instituciones trabajando en temas relacionados a la gestión del recurso hídrico? Y ¿qué proyectos han realizado?
	Sistematización de buenas prácticas	¿Qué acciones o prácticas contribuirían a minimizar el impacto negativo hacia el agua de la cuenca/subcuenca? ¿En qué parte se debería aplicar cada práctica o acción?

### Anexo 3. Política Nacional de Áreas de protección de ríos, nacientes y arroyos

#### Principios generales

**Responsabilidad por daño ambiental:** quien ocasione un daño a las AP de los cuerpos de agua superficiales será responsable, conforme lo establecido en las leyes de la República y los convenios internacionales vigentes. El daño al ambiente constituye un delito desde el punto de vista social, económico, cultural y ético.

**Coordinación interinstitucional:** Las instituciones del Estado con competencias en la materia objeto de esta Política deben actuar de manera coordinada en la implementación de esta, teniendo claros cuáles son los roles que la Ley le otorga a cada una.

**Función social y ambiental de la propiedad:** Las AP de los cuerpos de agua superficiales constituyen una limitación a la propiedad privada en función del interés social y ambiental, debidamente establecida en la legislación. Las limitaciones al derecho de propiedad en las AP no implican la pérdida de derechos y obligaciones de las personas propietarias sobre estos espacios, sino que implicarán a) la supresión de ciertas facultades, b) el ejercicio condicionado de las facultades legales y c) el ejercicio obligado de algunos deberes.

**Participación:** en los procesos de recuperación y resguardo de las AP de los cuerpos de agua superficiales de dominio público, se implementarán mecanismos efectivos para la participación de todos los actores y sectores sociales, garantizando la equidad de género e incluyendo a la población joven y a los grupos minoritarios y en condición de vulnerabilidad. Esos mecanismos deben abarcar todos los niveles de participación, a saber: acceso a la información, consulta, toma de decisiones y ejecución de acciones.

**Transparencia y rendición de cuentas:** las autoridades encargadas de implementar esta política deberán establecer mecanismos para transparentar los procesos de recuperación y resguardo de las AP de los cuerpos de agua superficiales durante el desarrollo de estos y para rendir cuentas a la ciudadanía sobre la forma en que los mismos han sido ejecutados, esto de manera periódica y sistemática.

**Inclusión de la variable ambiental en los procesos educativos:** el Estado, las municipalidades y las demás instituciones, públicas y privadas, han de fomentar la inclusión permanente de la variable ambiental y, específicamente, de los aspectos relacionados con la materia objeto de esta política, en los procesos educativos, formales y no formales, con el fin de generar una cultura ambiental para alcanzar el desarrollo sostenible.

**Preventivo:** Se deberán anticipar, prevenir y atender las causas antrópicas de la pérdida de ecosistemas ribereños y que rodean nacientes, así como de los elementos que componen su biodiversidad y que pueden afectar a las poblaciones que dependen, directa o indirectamente, de estos. Política Nacional de Áreas de Protección de Ríos, Quebradas, Arroyos y Nacientes / 2020-2040.

**Precautorio:** El desarrollo de cualquier actividad que esté vinculada directa o indirectamente con los ecosistemas ribereños y que rodean nacientes, debe ser analizado de manera integral, bajo una visión a largo plazo que considere todas aquellas situaciones en las que exista o pueda llegar a existir cierto nivel de incertidumbre con respecto a los efectos que esta pueda generar al ecosistema en sí o a las poblaciones que dependen en alguna medida de él. La ausencia de certeza científica no deberá utilizarse como razón para no adoptar medidas de protección.

**Quien contamina paga:** significa que los gastos económicos resultantes de las medidas para la prevención, reducción y control de la contaminación deben ser sufragados por quien genera dicha contaminación.

## Ejes transversales

**Biofísico/ambiental:** Esta política tiene en consideración las mejores herramientas teóricas y prácticas a nivel técnico-científicos para la recuperación y resguardo de las AP teniendo en cuenta las condiciones biofísicas y ambientales de las mismas y entendiendo dichas condiciones en relación con la dimensión social.

**Perspectiva de género e inclusión poblaciones en vulnerabilidad:** Esta política considerará las necesidades y perspectivas diferenciadas de mujeres, población joven, adulta mayor y niñez, diferentes condiciones socioeconómicas, capacidades, aptitudes y de género, al momento de realizar el diseño e implementación de propuestas, buscando el beneficio de toda la sociedad e implementando medidas afirmativas, cuando sea requerido, para alcanzar condiciones de justicia e igualdad.

**Gestión del riesgo:** Esta política reconoce que las medidas que se tomen en las AP de cuerpos de agua tienen importantes implicaciones en materia de gestión de riesgo, las acciones a implementar deben contemplar entre sus fines reducir las condiciones de vulnerabilidad ante eventos hidrometeorológicos, predecibles e impredecibles, mediante un uso planificado del territorio y la participación de la ciudadanía.

**Adaptación al cambio climático:** Esta política aplica medidas para fortalecer las capacidades de adaptación al cambio climático y condiciones de resiliencia, además permite contribuir en la mejora de la calidad de vida de las personas y asegura el recurso hídrico para las generaciones presentes y futuras.

**Educativo:** Esta política reconoce el papel fundamental de los procesos educativos, formales y no formales, para lograr una cultura ambiental que favorezca la recuperación y el resguardo de las AP de los cuerpos de agua. Política Nacional de Áreas de Protección de Ríos, Quebradas, Arroyos y Nacientes / 2020-2040 30

**Cultural:** esta política reconoce que existe un valor histórico-cultural asociado a los ríos y sus áreas de protección, con potencial de recuperación a través del mejoramiento ambiental de estos sitios. El valor cultural está asociado tanto a la infraestructura existente como a las prácticas culturales y tradiciones.

## Anexo 4. Principios del Mecanismo Nacional de Gobernanza del Agua

a) **Agua como Derecho Humano:** El acceso al agua potable para consumo humano en cantidad y calidades adecuadas es un derecho fundamental del ser humano. Garantizar el acceso universal a los servicios básicos de agua potable y saneamiento de todos los habitantes de Costa Rica, garantizando para ello el dominio público del agua y su asignación bajo principios de equidad y en armonía con el ambiente.

b) **Participación ciudadana:** Debe existir un proceso democrático que garantiza una contribución legítima, plena, libre, significativa, articulada, ordenada, regulada, representativa e informada de aquellos actores involucrados en el diseño, construcción y ejecución de Políticas del recurso hídrico.

c) **Rendición de cuentas:** Se debe de informar de los resultados de la actividad estatal, que permita que los involucrados puedan asegurarse de la calidad, forma y estado del cumplimiento de las obligaciones, mediante el mecanismo de planeamiento, ejecución, seguimiento y socialización de sus resultados.

d) **Acceso a la información y transparencia:** La administración Pública debe crear y propiciar canales permanentes y fluidos de comunicación o intercambio de información con los administrados en aras de incentivar una mayor participación directa y activa en la gestión pública.

e) **Sostenibilidad:** Las decisiones tomadas en torno al recurso hídrico se deben dar de forma que se respeten las dinámicas ambientales y se garantice el equilibrio entre las dimensiones económica, social y ambiental. La disponibilidad del recurso debe resultar sostenible tanto para las generaciones actuales como las futuras, y la provisión de los servicios en el presente no debe comprometer de modo alguno la capacidad de las generaciones futuras de ver realizados sus propios derechos humanos.

f) **Búsqueda de acuerdos:** se debe fomentar la búsqueda de puntos de encuentro y construcción de acuerdos mediante la relación entre actores, con el fin de encontrar soluciones en conjunto, privado siempre el interés público sobre los intereses particulares

g) **Responsabilidad compartida y diferenciada:** todos los habitantes del territorio nacional tienen responsabilidad en el uso y protección del recurso hídrico. En este sentido, siendo una responsabilidad compartida es diferenciada en la medida que es distinta a aquella que le corresponde al Estado, empresa o particulares y debe adecuarse a sus respectivas competencias.

h) **Legitimidad:** Implica procurar la participación amplia y activa de los actores sociales, mediante un diálogo transparente basado en respeto mutuo y la búsqueda de consensos para lograr soluciones, en atención a las necesidades locales y nacionales

i) **Alianzas estratégicas:** Se permite el establecimiento de alianzas estratégicas, con instituciones, organizaciones públicas o privadas, nacionales e internacionales, que permitan potenciar sinergias para evaluar riesgos, establecer medidas de mitigación de daños y potenciación de impactos positivos, así como desarrollar y ejecutar proyectos que incentiven la conservación de las fuentes y el buen uso del recurso.

## **Anexo 5. Principios de la Gestión de los Recursos Hídricos**

Principios regirán la política nacional en materia de gestión de los recursos hídricos, y deberán ser incorporados, según corresponda, en los planes de trabajo de las instituciones públicas relevantes:

- El acceso al agua potable constituye un derecho humano inalienable y debe garantizarse constitucionalmente.
- La gestión del agua y sobre todo las reglas de acceso a este recurso deben regirse por un principio de equidad y solidaridad social e intergeneracional.
- El agua debe ser considerada dentro de la legislación como un bien de dominio público y consecuentemente se convierte en un bien inembargable, inalienable e imprescriptible.
- Debe reconocerse el valor económico del agua que procede del costo de administrar, protegerla y recuperarla para el bienestar de todos. Con esto se defiende una correcta valoración del recurso que se manifieste en conductas de ahorro y protección por parte de los usuarios.
- Debe reconocerse la función ecológica del agua como fuente de vida y de sobrevivencia de todas las especies y ecosistemas que dependen de ella.
- El aprovechamiento del agua debe realizarse utilizando la mejor infraestructura y tecnología posibles de modo que se evite su desperdicio y contaminación.
- La gestión del recurso hídrico debe ser integrada, descentralizada y participativa partiendo de la cuenca hidrográfica como unidad de planificación y gestión.
- El Ministerio de Ambiente y Energía ejerce la rectoría en materia de recursos hídricos. La gestión institucional en este campo debe adoptar el principio precautorio o indubio pro-natura.
- El recurso hídrico y las fuerzas que se derivan de este son bienes estratégicos del país.
- Que es de suma importancia la promoción de fuentes energéticas renovables alternativas que reduzcan o eliminen el impacto de esta actividad sobre el recurso hídrico.

## **Anexo 6. Principios, Ejes Transversales y Lineamientos Estratégicos de la Política Hídrica Nacional**

### **Principios**

- 1) Derecho humano fundamental de acceso al agua potable y saneamiento básico
- 2) Bien de dominio público.
- 3) Enfoque ecosistémico e integral del manejo del agua
- 4) Prioridad del uso del agua para consumo humano.
- 5) Unidad territorial de planificación y gestión
- 6) Valor del agua social, ambiental y económico, en sus múltiples usos
- 7) Aprovechamiento sostenible del agua
- 8) Participación de los actores sociales en la gestión del recurso hídrico
- 9) Contaminador pagador

### **Ejes Transversales de la Política Hídrica Nacional**

- 2) Recurso
- 3) Infraestructura
- 4) Gestión
- 5) Demanda
- 6) Género

### **Lineamientos estratégicos:**

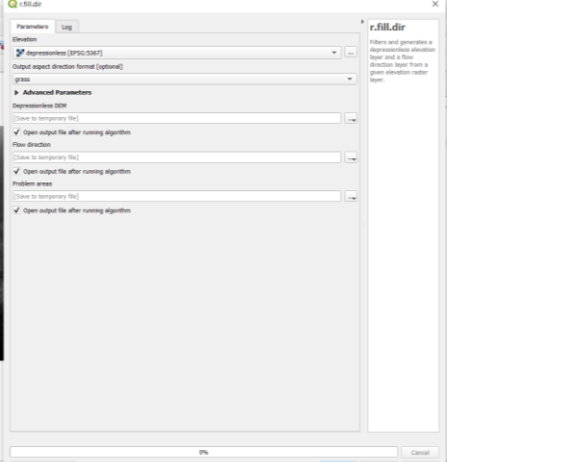
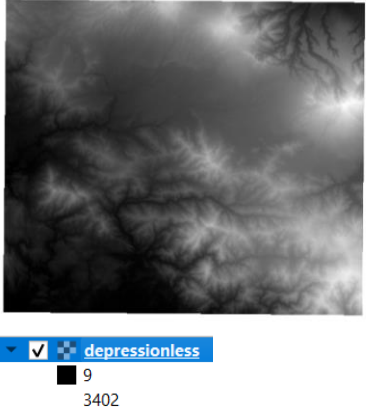
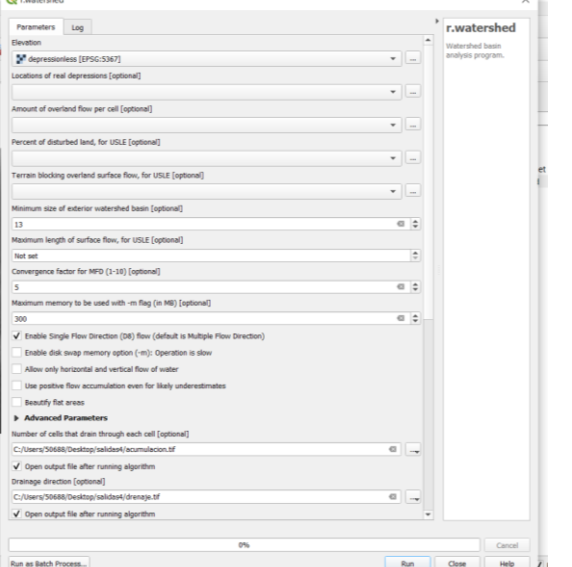

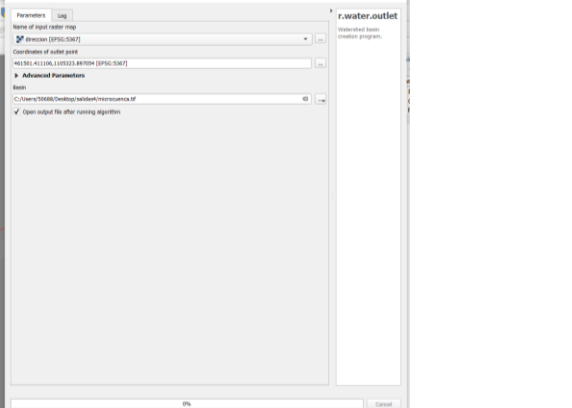

- 1) Gobernabilidad del Sector Hídrico
- 2) Garantizar el Derecho Humano Fundamental al acceso a agua potable
- 3) Competitividad en el sector hídrico
- 4) Sostenibilidad del recurso hídrico
- 5) Desarrollo del conocimiento
- 6) Creación de una cultura del agua
- 7) Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático
- 8) Participación social y formación de alianzas estratégicas
- 9) Sostenibilidad del recurso hídrico

## Anexo 7. Perfil de las personas entrevistadas


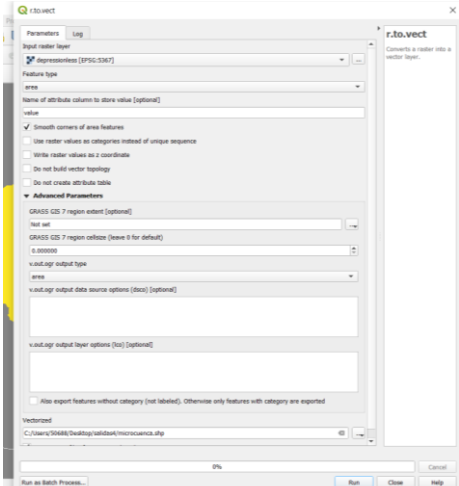

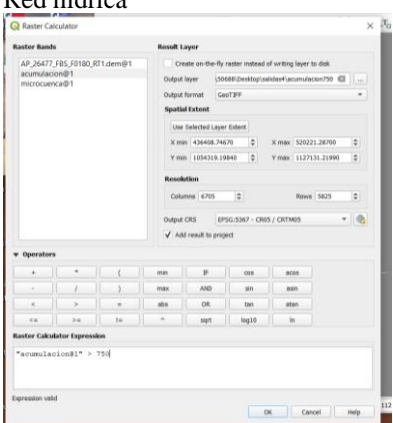

Nombre	Institución	Rol en el sitio donde trabaja	Profesión/formación académica	Rango de edad (años)	Correo
Amanda Campos Zumbado	CoopeAtenas R.L	Encargada de certificaciones	Lic. Gestión Ambiental	30	acampos@coopeatenas.com
	Asociación de Desarrollo Específica para la Conservación del Ambiente (ADECA)	Presidenta de ADECA			
Ana Lucía Ureña Bogantes	MAG	Jefe de extensión agropecuaria	Ing. Agrónoma/ Fitotecnista	50-60	aurena@mag.go.cr
Rodney Lobo González	ADECA	Apoyo en la gestión y ejecución de proyectos ambientales	Ing. Manejo Forestal y Vida Silvestre	30-40	
María Rosa Ramírez Vargas	SINAC Oficina Subregional Alajuela	Educación ambiental y participación ciudadana	Bachiller en protección y manejo de recursos naturales	50-60	<a href="mailto:rosa.ramirez@sinac.go.cr">rosa.ramirez@sinac.go.cr</a>
Luis Alberto Vega Ugalde	Asada de Barrio Jesús	Presidente de la Asada	Secundaria	50-60	Telf.: 89770634 <a href="mailto:ivegaugalde@hotmail.com">ivegaugalde@hotmail.com</a>
Milena Cambroner	<i>The School for Farm Field</i>	Profesora de gestión de recursos naturales	Bióloga y antropóloga	30-40	<a href="mailto:mile.camb@gmail.com">mile.camb@gmail.com</a>
Jonathan Chaves Quesada	Comisión Ambiental Altos de Naranjo (CAANSIA) y junta directiva de la Asada Altos de Naranjo	Docente	Docente	40-50	<a href="mailto:grabajon@gmail.com">grabajon@gmail.com</a>



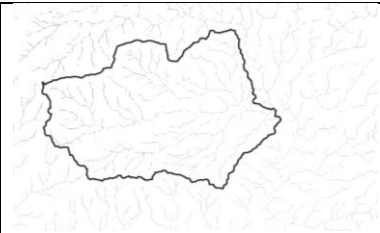
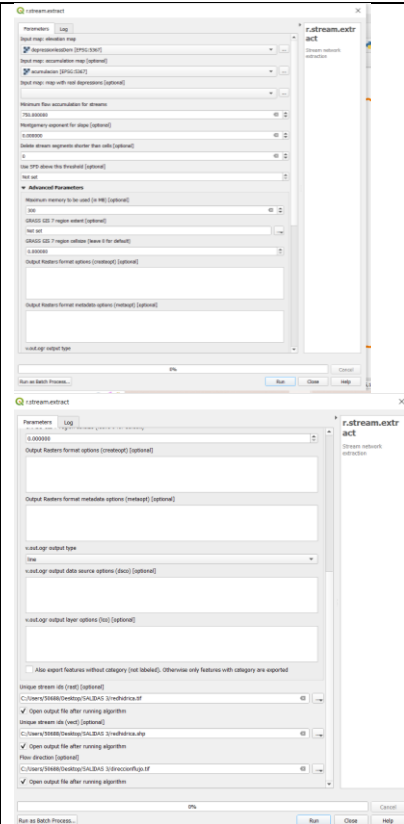
## Anexo 8. Procedimiento para delimitar la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela, Costa Rica

Comando	Procedimiento	Capa de salida
<p>r.fill.dir</p> <p>(para generar un DEM sin depreciaciones o corregido)</p>		 <p>Dem corregido sin valores atípicos</p>
<p>r.watershed</p>		 <p>Acumulación</p> <p>Drenaje</p>
<p>r.watershed.outlet</p> <p>Se necesita conocer el punto de desfogue de la cuenca</p>		 <p>Delimitación de la microcuenca del río cacao</p>

Se coloca un punto justo al inicio de la red de drenaje

		
<p>r.to.vect Convertir a de ráster a vector</p>		 <p>Microcuena en formato vectorial</p>
<p>Raster calculator</p>	<p>Red hídrica</p> 	 <p>acumulacion750</p> <p>Band 1 (Gray)</p> <p>1</p> <p>0</p> <p>Acumulación 750</p>

r.stream.extract



Red hídrica (raster)



(vectorial)

### Anexo 9. Datos de precipitación total mensual (mm) de dos estaciones cercanas a la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela

#### Sabana larga, Atenas

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2000	0	4.8	41.3	73.3	344.8	205	105.5	192.5	448.8	305.7	59.2	26.4
2001	3.2	0	14.6	24.5	277.8	278.8	267.8	168	252.4	447.9	93.1	25.8
2002	6.3	1.7	0	0	294.9	177.2	199.3	279.7	310.2	348.5	116.1	0
2003	0	4.9	72.9	129.7	455.5	528.6	137.3	161.8	470.7	370	197	48.4
2004	9.6	2.4	3.7	125.1	505.9	130.3	214.2	187.7	539.2	322.9	149.7	4
2005	9.4	0	78.8	5.9	349	433.1	168.7	316	403.8	638.5	166.3	25
2006	58.2	38.4	5	33.2	266.6	248.9	428.1	251	368.9	387.3	255.7	77.2
2007	0	0	1.6	253.2	434.2	322.4	213.3	562.9	481.5	766.6	109	21.1
2008	0	77.4	0	147.9	627.4	429.8	456.5	626.3	370.4	621.3	125	25.9
2009	9.6	0	19.3	38	276	300.9	185.2	171.4	294.6	287.3	264.4	3.4
2010	7.9	26.3	40.1	298.6	312.1	499.2	591.6	562.9	730	419.4	512.3	35.1
2011	5.4	6	17.7	32.8	120.7	312.6	278.8	349.9	315.2	684.3	120.8	32
2012	0	0	0	150.8	286.6	221.9	149.3	322.5	419.4	211.9	97.8	3.7
2013	0	0	0	96.4	353.1	254.5	198.3	331.2	375.7	349	136.3	8.4
2014	0	0	0	123	220.9	270.4	115.5					
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>102</b>	<b>342</b>	<b>308</b>	<b>247</b>	<b>320</b>	<b>413</b>	<b>440</b>	<b>172</b>	<b>24</b>

#### Barrio mercedes, Atenas

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2011								240.7	265.3	511.3	135.8	31.6
2012	0	0	0.1	116.2	297.1	160	115.1	276.7	318.3	174.1	79	3.2
2013	0	0	0.1	31.7	202.5	263.1	139.8	224.6	419.2	362.5	126.4	28.9
2014	0	0	0	98.2	182.2	228.6	115.9	219	404.4	420.6	49.8	9.1
2015	0	0.9	0	40	182.7	113.2	137.9	133.4	206.1	308.5	209	20.4
2016	0	0	0	25.8	175.9	291	128	173.8	306.4	319.9	106.6	119.6
2017	0.4	0	0	231.8	282	310	194	162.8	364.9	340.8	128.5	8.8
2018	2.6	20.4	0	81.8	195.8	223.3	123	218.3	365.2	346.4	144.2	0.5
2019	0	0	0.3	9.6	521.1	148.8	99.3	167.6	239	268	52.8	5.4
2020	6.4	0	0	30.5	322.7			345.6	294	372.7		94.4
2021	4.7	0	6.1	220.7	225.9	197.1	191.1	305.5	618.4	261.5	53.1	
2022	0	0.2	18.6	170.4	314.5							
<b>Promedio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>96</b>	<b>264</b>	<b>215</b>	<b>138</b>	<b>224</b>	<b>346</b>	<b>335</b>	<b>109</b>	<b>32</b>

## Anexo 10. Metadatos de la capa WFS/WMS del IGN Cartografía 1:5 mil

**Descripción:** Servicios OGC a escala 1:5000 del Instituto Geográfico Nacional, que contemplan los productos elaborados en el año 2005 por el Programa de Regularización de Catastro y Registro (PRCR), y los productos elaborados en el año 2017 mediante la Licitación Pública 2013LN-000002-00100. Y otra información derivada como es el caso de la División Territorial Administrativa.

Fuente: WMS: [https://geos.snitcr.go.cr/be/IGN\\_5/wms?](https://geos.snitcr.go.cr/be/IGN_5/wms?)

Nombre capa	Descripcion
Pastos 2017 1:5mil	Capa vectorial correspondiente a la cobertura de pastos a nivel del país, obtenida como producto de la restitución realizada con la producción de ortoimágenes producidas entre el año 2015 e incluso 2018
Urbano 1: 5 mil	Urbano en escala 1:5000 conteniendo: Edificaciones privadas, públicas, líneas de manzana, zonas de recreo, industria, zona de uso agropecuario y tapias
Vías 1: 5 mil	Vías en escala 1:5000, clasificado en: autopistas, red vial nacional, otma férrea, puentes, veredas y red municipal
Cultivos 2017 1:5mil	Capa vectorial correspondiente a cultivos a nivel del país, obtenida como producto de la restitución realizada con la producción de ortoimágenes producidas entre el año 2015 e incluso 2018
ARBOLES 2017 1:5MIL	Capa vectorial correspondiente a la cobertura forestal a nivel del país, obtenida como producto de la restitución realizada con la producción de ortoimágenes producidas entre el año 2015 e incluso 2018
Edificaciones 2017 1:5mil	Capa vectorial correspondiente a edificaciones y construcciones a nivel del país, obtenida como producto de la restitución a partir de la producción de ortoimágenes entre el año 2015 e incluso 2018
Hidrografía 1:5mil	Restitución de ríos en escala 1:5000, clasificado en ríos principales, secundarios y lagos y lagunas

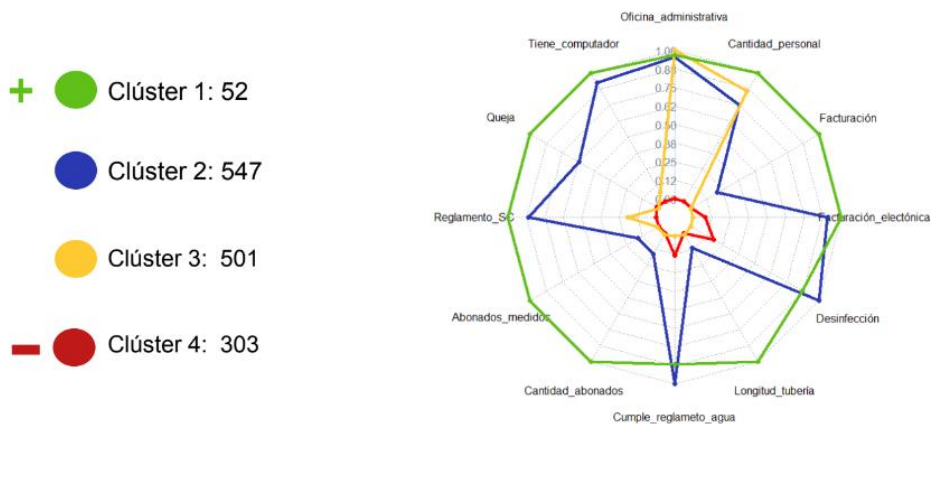
## Anexo 11. Variables consideradas para agrupar a las Asadas en clúster

**Objetivo:** disponer de un insumo para definir una hora de ruta que coadyuve en el proceso de aplicación de la metodología tarifaria y su mecanismo de transferencia (estructura tarifaria) para el servicio del acueducto.

### Variables utilizadas para realizar la agrupación de Asadas según sus características

Administrativas	Mercado	Calidad	Infraestructura
Cantidad de personal	Abonados	Cumple reglamento de agua	Cantidad de sistemas
Facturación electrónica	Abonados medidos	Desinfección	Longitud de tubería
Computadora	Facturación mensual	Reglamento de servicio al cliente	
Oficina administrativa			

### Comparación de clústeres



Cantidad de Asadas: 1403

Fuente: González *et al* 2022

## Anexo 12. Resumen de criterios

### i. Principios, criterios e indicadores propuestos y posibles fuentes de información

Principios	Marco jurídico	Criterios	Indicadores	Pregunta clave	Fuente de información
<b>Participación ciudadana</b>  <b>Responsabilidad compartida y diferenciada:</b> todos los habitantes del territorio nacional tienen responsabilidad en el uso y protección del recurso hídrico. En este sentido, siendo una responsabilidad compartida es diferenciada en la medida que es distinta a aquella que le corresponde al Estado, empresa o particulares y debe adecuarse a sus respectivas competencias	Principio de la GIRH, mecanismo de gobernanza, restauración de paisajes, política de resguardo de áreas de protección de ríos, arroyos y nacientes.	Se comparte la responsabilidad de la gestión del agua	Existencia de grupos organizados trabajando en la protección o conservación del agua	¿Cuentan con comité de cuenca?  ¿Hay grupos organizados trabajando en la protección o conservación del agua?	Consulta a actores locales  <b>Información espacial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Capa de corredores biológicos</li> <li>● Clúster de Asadas</li> </ul>
	Mecanismo de gobernanza del agua	Se reportan delitos ambientales relacionados con recurso hídrico o los ecosistemas frágiles (por ejemplo, humedales)	Cantidad y tipo de denuncias ambientales que ocurren en el territorio		<b>Información espacial</b> Capa de denuncias ambientales, según tipo
Se reconoce la función del agua como fuente de vida y de sobrevivencia de todas las especies y ecosistemas que dependen de ella.  Proteger, conservar y, en lo posible, recuperar los ecosistemas acuáticos y los elementos que intervienen en el ciclo hidrológico.	Principio de la GIRH  Ley orgánica del ambiente	Se conocen las principales características de los ecosistemas presentes en el sitio, su estructura, composición y sus relaciones funcionales más importantes.	Existencia de ecosistemas frágiles (humedales, páramos, cuerpos de agua)	¿Con qué ecosistemas frágiles se cuenta en el área de estudio?  ¿Cuál es el estado de estos ecosistemas?	<b>Información espacial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Capa de humedales (SINAC)</li> <li>● Capa de tipos de bosque (SINAC)</li> <li>● Capa de cuerpos de agua (DA)</li> </ul>
Proteger los ecosistemas que permiten regular el régimen hídrico.	Ley orgánica del ambiente	La cobertura boscosa se encuentra protegida	Existencia de cobertura boscosa protegida	¿Cuál es el grado de protección de la cobertura boscosa?	<b>Información espacial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Capa de tipos de bosque (SINAC)</li> <li>● Capa de ASP (SINAC)</li> <li>● Capa de PSA (Fonafifo)</li> </ul>

		La cobertura forestal presenta alguna alteración otmaila	Áreas afectadas por incendios forestales	¿Cuáles son los sitios que han perdido cobertura forestal recientemente debido a incendios forestales?	<b>Información espacial</b> Capa de incendios forestales (SINAC)
Áreas de protección de cuerpos de agua	Ley Forestal Política Nacional Ley de Aguas	Se resguardan las áreas de protección de cuerpos de agua	Se conoce el estado del área de protección de cuerpos de agua	¿las áreas de protección de cuerpos de agua se encuentran resguardadas?	Generar información con información del SINIGIRH (Capa de cuerpos de agua)
		Invasión al área de protección (AP)	Se encuentran invadidas las áreas de protección	¿Se encuentran invadidas las áreas de protección con asentamientos urbanos?	<b>Información espacial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Capa de asentamientos informales del INVU</li> <li>● Delimitar AP</li> </ul>
Mantener el equilibrio del sistema agua, protegiendo cada uno de los componentes de las cuencas hidrográficas.	Ley orgánica del ambiente	Se resguarda del suelo	El uso de la tierra actual está acorde a su capacidad	¿Es el uso de la tierra actual acorde a su capacidad?	Generar información
			Clase de suelo VII “solo se permite el manejo forestal en caso de cobertura boscosa”	¿Se realiza una actividad distinta al manejo forestal en los suelos clase VII?	<b>Información espacial</b> Modelo de elevación digital
		Se tienen identificadas las fuentes de contaminación	# de viviendas con tanques sépticos	¿La mayoría de las viviendas cuentan con tanques sépticos?	Censo Nacional 2010 (info por UGM)
			Contaminación de ríos con residuos sólidos	¿Los ríos están visiblemente contaminados?	Vista de campo Consulta a actores locales
		Se cuenta con sistema de recolección de basura	Se cuenta con servicio de recolección de basura	¿Se cuenta con sistema de recolección de basura?	Consulta a actores locales Consultar a Municipalidad cercana sobre la ruta de recolección y frecuencia
a) La relación adecuada entre el uso potencial y la capacidad económica del suelo y el subsuelo. b) El control de prácticas que	Ley orgánica del ambiente	Se aplican y promueven buenas prácticas agropecuarias	Actores locales conocen y aplican buenas prácticas agropecuarias	¿Los actores locales han recibido capacitaciones efectivas relacionadas con buenas prácticas	Consulta a actores locales



<p>favorezcan la erosión y otras formas de degradación.</p> <p>c) Las prácticas u obras de conservación de suelos y aguas que prevengan el deterioro del suelo.</p>				<p>dirigidas a minimizar repercusiones negativas en el ecosistema intervenido y otros ecosistemas?</p> <p>¿Los actores locales aplican buenas prácticas agropecuarias para proteger el recurso hídrico?</p>	
---	--	--	--	---	--

**ii. Listado criterios utilizados para priorizar sitios que contribuyan a la conservación y restauración del recurso hídrico**

<b>Criterios</b>	<b>Descripción</b>	<b>Útil para el análisis de</b>	<b>Fuente</b>
Precipitación (mm)	Controla en gran medida el ciclo hidrológico y es relevante para determinar la oferta hídrica. Tiene un efecto en la recarga hídrica.	Calidad y cantidad	Sánchez <i>et al</i> 2004
Proximidad al río (m)	Accesibilidad de la población a las fuentes de agua superficial para satisfacer sus necesidades de consumo y producción. Al existir sistemas urbanos y productivos cercanos a los ríos, se presenta una alta explotación a los RN, pudiéndose incrementar la contaminación de las aguas y disminuir la disponibilidad para otros usos cuenca abajo. Cuerpos de agua cercanos poblaciones o actividades agropecuarias son más vulnerables a contaminación	Calidad	
Profundidad de pozo (m)	La profundidad del agua subterránea indica la disponibilidad del agua para sus diferentes usos e indica la distancia y el tiempo requerido por los contaminantes para desplazarse a través de la zona saturada del acuífero. A mayor profundidad mayor es el riesgo de contaminación.	Calidad	
Uso actual del suelo	La capacidad de recarga y escurrimiento superficial en una cuenca depende de la cobertura vegetal presente, por su efecto en la protección del suelo y el mantenimiento de condiciones adecuadas de infiltración y percolación, mantenimiento de caudales de aguas superficiales durante todo el año y la capacidad de recarga de los reservorios. El uso de la tierra influye en otros procesos que se relacionan con la calidad del agua, tales como: escorrentía superficial, erosión, sedimentación, turbidez, contenido de oxígeno disuelto, temperatura y contenido de organismos infecciosos.	Calidad	
Cobertura vegetal	Esta variable permite identificar toda la cobertura (herbácea, arbustiva y arbórea) del sitio, y en qué condición se encuentra actualmente; dar una idea de cómo esta vegetación puede intervenir en el funcionamiento natural de los ecosistemas aledaños y su capacidad para producir servicios ecosistémicos. La deforestación y posterior cambio de uso de la tierra de los terrenos de aptitud forestal disminuyen la capacidad de infiltración (Álvarez et al 2020).		Álvarez <i>et al</i> 2020
Presencia de ecosistemas esenciales	Presencia de ecosistemas esenciales para la cantidad y calidad del agua, por ejemplo: páramos, humedales. Estos ecosistemas captan y almacenan temporalmente la precipitación y facilitan la infiltración al interior del suelo para alimentar los escurrimientos superficiales y de base. Estos últimos son lo que aparecen en los meses secos. Es decir, un mejor funcionamiento de los escurrimientos con base demuestra una contribución en términos de regulación del agua. Al retener sedimentos y filtrar contaminantes regulan la calidad del agua.	Cantidad y calidad del agua	
Densidad de población (hab/km <sup>2</sup> )	El crecimiento urbano y la concentración de población incrementa significativamente la demanda de agua. Además, la densidad de población es un mecanismo para ubicar a los pobladores geográfica e indirectamente los sistemas productivos de la cuenca, al asumirse que los pobladores habitan sus propias fincas productivas.	Calidad	Sánchez <i>et al</i> 2004
Proximidad del camino al río (m)	La presencia de carreteras está relacionada con la explotación de recursos hídricos de la cuenca.	Calidad	
# de meses secos	La variabilidad en la disponibilidad de agua entre la época seca y la lluviosa ponen de manifiesto la importancia de preservar y mejorar la capacidad para regular y recargar los acuíferos, debido a que estos controlan la disponibilidad de agua para sus diferentes usos en el resto de la cuenca. Las áreas con mayor cantidad de meses secos tienen influencia en caudales menores y esto repercute en mayor concentración	Cantidad y calidad	

	de contaminantes en la cuenca, perjudicando las actividades aguas debajo de la cuenca.		
Textura del suelo	<p>Cuando la lluvia alcanza la superficie terrestre, la textura del suelo propicia la formación de espacios porosos y de agregados, que ayudan a la infiltración y percolación del agua que formará parte de los acuíferos, fuente del caudal para los ríos, durante la época seca. Entre mayor sea el tamaño de los agregados del suelo, mayor será su infiltración y percolación; por tanto, texturas arenosas permiten mayor infiltración que texturas arcillosas. Las texturas finas son menos eficientes en la infiltración y percolación del agua, y por lo tanto en la capacidad de recarga de los acuíferos.</p> <p>En el caso de la calidad, las texturas arcillosas propician mayor escorrentía superficial, incrementando la capacidad de arrastres de materiales contaminantes hacia aguas superficiales.</p>	Calidad y cantidad	
Pendiente (%)	<p>Con respecto a la calidad, la pendiente determina la posibilidad de que un agente contaminante se movilice como escorrentía superficial o que por el contrario permanezca sobre el sitio, aumentando el tiempo disponible para que infiltre y pase a formar parte del agua subterránea. Con respecto a la cantidad, la pendiente influye en el volumen de agua que se infiltra o se escurre superficialmente, y por lo tanto en la capacidad de los acuíferos.</p> <p>La inclinación y la longitud de la pendiente son características del terreno que inciden en el comportamiento de los flujos de aguas, que dependiendo de la vegetación existente o no, pueden ser precursores de problemas de erosión; a mayor inclinación y longitud de pendiente suele existir una erosión más considerable. La pendiente está relacionada directamente con la pérdida del horizonte fértil del suelo.</p>	Calidad y cantidad	
Presión sobre el estado natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Índice de uso de la tierra: % espacial (clases de divergencia de uso*calidad)</li> <li>● índice de Densidad poblacional por distrito: % espacial (habitantes por área (n) * área (km<sup>2</sup>) * calidad)</li> <li>● capa de uso de la tierra y densidad poblacional</li> </ul>	Calidad	Birkel 2007
Presión sobre el recurso hídrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Índice de uso de aguas superficiales: % espacial (índice de uso de aguas*calidad)</li> <li>● Índice de aguas subterráneas: % espacial (clases hidrogeológicas * calidad)</li> </ul>		
Calidad morfológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Clases de pendientes: % espacial (unidades*calidad)</li> <li>Capa de pendientes clasificada</li> </ul>		

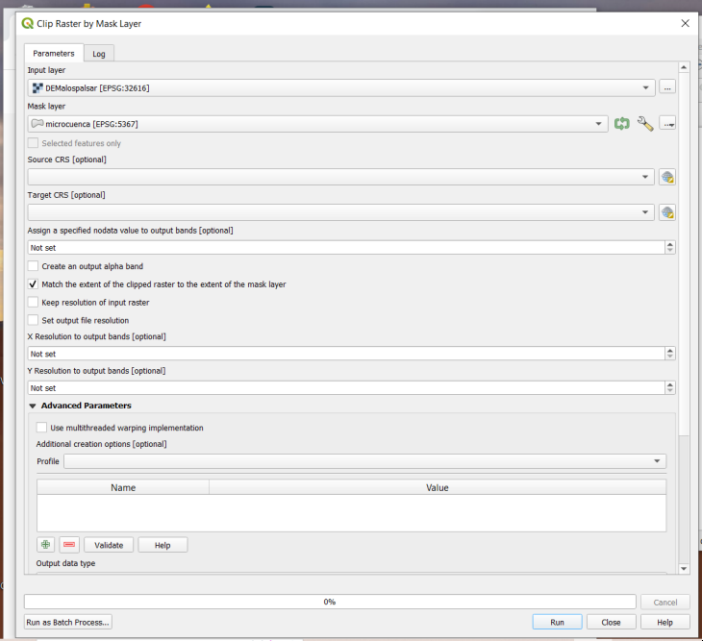
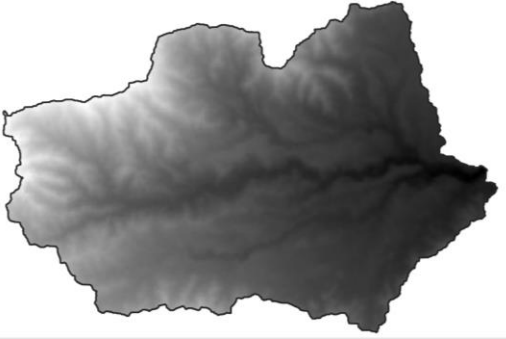

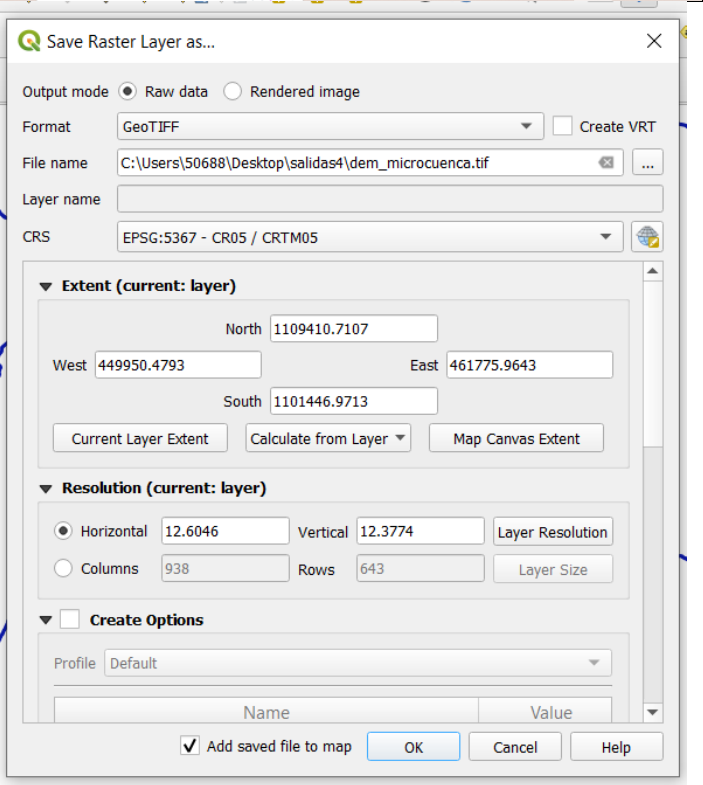
### Anexo 13. Ejemplos de Estrategias y acciones para contrarrestar algunas problemáticas en las cuencas hidrográficas

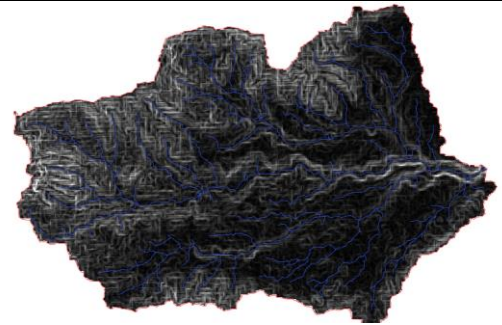
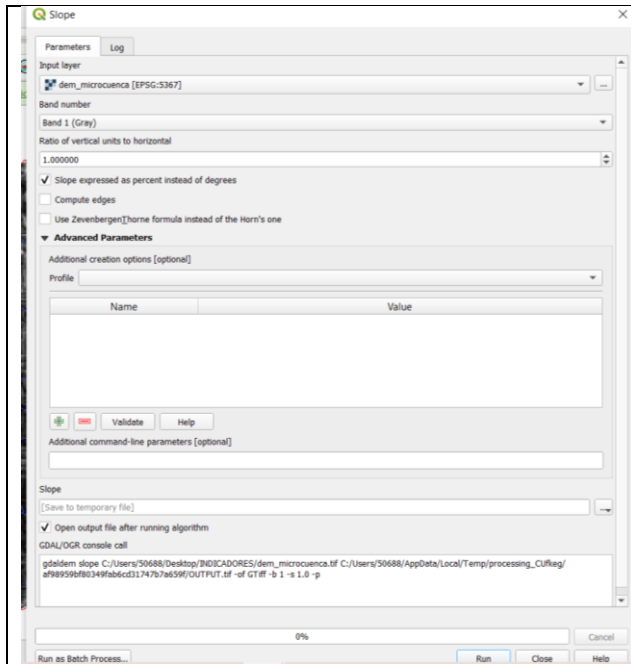
Estrategia	Acciones	Fuente
Organización y participación para la gestión del recurso hídrico	Consolidación del organismo de cuenca	Arosemena, 2010
	Establecer un sistema para la comunicación intersectorial en materia de uso del recurso hídrico	
	Fiscalizar el cumplimiento de las normativas existentes, en materia de recursos hídricos.	
Ordenamiento territorial de la cuenca/Subcuenca	Conservar áreas boscosas y zonas de recarga hídrica.	
	Intervención priorizando áreas críticas y vulnerables.	
Promoción de tecnologías agro silvo pecuarias y turísticas sostenibles	Implementar prácticas de conservación de suelos y aguas en la cuenca alta	Yaguache <i>et al</i> 2018
	Enfoque de “ <i>producir conservando</i> ” plantaciones agroforestales como linderos, cercas vivas, cortinas de protección y zanjas para conservación de suelos; y por otro lado, prácticas agroecológicas como la elaboración de abonos orgánicos y reciclaje de materia orgánica, mantenimiento de cultivos de cobertura, diversificación y rotación de cultivos, entre otros.	
	Fomentar la utilización de sistemas de ganadería ecológica en la parte alta de la cuenca	Arosemena, 2010
	Elaborar un plan de restauración de ecosistemas. Implementación de campañas de turismo ecológico en fincas modelo ubicadas en las partes más altas de la subcuenca.	
Prácticas de manejo, conservación y recuperación de los suelos	<u>Medidas de manejo de suelo:</u> son las prácticas que se usan para mantener y mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y así aumentar su capacidad productiva, entre ellas están: labranza profunda, roturación profunda, labranza reducida o superficial, cero labranzas, compost, abonos verdes, barreras muertas, barbecho, uso de fertilizantes y enmiendas minerales, rotación de cultivos, caminos de accesos y drenajes, establecimiento de cercas,	Decreto Ejecutivo N° 41960
Prácticas mecánicas de conservación de suelos	Son estructuras específicas que se construyen principalmente para proteger y controlar el suelo de la erosión hídrica	
	<p><b>Canal de guardia:</b> Es un canal trapezoidal que intercepta gran cantidad de escorrentía proveniente de la parte alta.</p> <p><b>Vía de agua empastada:</b> Es el uso de depresiones naturales como vía de agua natural para recibir y desviar el agua de escorrentía provenientes de los drenajes laterales.</p> <p><b>Terrazas de desagüe:</b> Son aptas en zonas húmedas con períodos de lluvia prolongadas, su función es eliminar el exceso de agua que provoca erosión del suelo.</p> <p><b>Acequias de ladera:</b> Son estructuras de control de erosión hídrica para tierras escarpadas, se pueden construir en pendientes de 10 a 50% y con profundidad mínima del suelo de 50 cm.</p> <p><b>Terrazas de desviación:</b> Consiste en modificar la pendiente del terreno, constituida por una sección de corte triangular con capacidad para evacuar el exceso de agua de escorrentía y una sección de relleno con forma de cama elevada que se utiliza para siembra de cultivos anuales. Se usa para control de erosión en terrenos con pendientes inferiores al 15%</p> <p><b>Canal de desviación:</b> Consiste en un canal que se construye a través de la pendiente para interceptar el escurrimiento superficial y llevar las aguas hasta un lugar seguro.</p>	

	<p><b>Terrazas de huerta o escalones:</b> Son terrazas de banco angostas construidas en pendientes de 30 a 50%, donde el suelo es apto para la producción de frutales entre las terrazas.</p> <p><b>Barreras de piedra:</b> Son estructuras para desviar el exceso de escorrentía hacia un desagüe natural o vía de agua empastada, especial para suelos volcánicos con piedras superficiales.</p>	
Prácticas mecánicas de conservación de agua	<p><b>Canal de infiltración:</b> Se utiliza en zonas secas, para conservar mayor cantidad de agua de lluvia. El canal está a nivel y tiene profundidad variable.</p> <p><b>Terrazas de banco:</b> consiste en una terraza de talud 1:1 y con un ancho que permite ser cultivado.</p> <p><b>Terrazas individuales:</b> Consiste en una pequeña estructura en forma de banco cuadrado o de media luna en donde se siembra un árbol y se utiliza en terrenos que tienen hasta un 50% de pendiente.</p> <p><b>Surcos en contorno en pastizales:</b> Son surcos que se usan para disminuir la escorrentía superficial en los pastizales con pendiente.</p> <p><b>Melgas en contorno:</b> Se usan para el control, distribución y profundidad del agua. El ancho de la melga varía entre 10 y 20 metros en pendiente del 1% y se reduce entre 5 y 10 metros en pendiente de 2% según la profundidad del agua seleccionada.</p> <p><b>Aprovechamiento de manantiales:</b> identificación de fuentes naturales de agua para su posible utilización</p> <p><b>Sistemas de riego:</b> Diseño, construcción y mantenimiento de proyectos de regadío</p> <p><b>Represas de conservación de suelos:</b> Es la conservación de la escorrentía por medio de una represa en una depresión o quebrada.</p> <p><b>Estanques de agua:</b> Fosos que se excavan en el suelo para el almacenamiento de aguas de lluvia o de fuentes naturales.</p> <p><b>Represas para contener agua:</b> Estructuras transversales a la dirección del flujo de agua</p> <p><b>Control de cárcavas:</b> Se debe cercar y establecer vegetación, para controlar la cárcava.</p> <p><b>Control de deslizamiento de tierras:</b> Se debe suavizar la superficie de las depresiones o grietas para poder establecer las coberturas.</p> <p><b>Control de inundación:</b> El control de inundación se puede efectuar por medio de pared de gaviones, diques de desviación, recanalización, muros de sedimentación, alcantarillas de drenaje.</p>	
Calidad del recurso hídrico	<p><u>Recuperación de la cobertura vegetal</u> en las orillas de los ríos de la cuenca: La <u>vegetación de ribera</u> cumple un papel trascendental en la regulación de la calidad del agua, ya que actúa como filtro biológico para retener sedimentos y residuos de pesticidas y fertilizantes que bajan por la ladera. La <u>protección y restauración de una franja de por lo menos 10 a 20 metros</u> desde cada margen se constituye en verdadero filtro natural, desempeñando una función eficaz en la retención de sedimentos y residuos de pesticidas que bajan por las laderas con la erosión y en escurrimientos superficiales. Por este motivo, la vegetación ubicada junto a las riberas de quebradas, esteros, ríos y otros humedales (Price y Lovett 2.002), también es denominada buffer biológico (National Research Council, 2002)</p>	Sánchez et al 2004  Yaguache <i>et al</i> 2018
	<p><u>Mitigación de focos de contaminación</u> mediante la corrección de prácticas productivas y educación ambiental a las comunidades aledañas a los cuerpos de agua</p>	Sánchez et al 2004
	<p><u>Recuperación de la cobertura natural en las riberas de los cuerpos de agua.</u> Esta alternativa se puede combinar con el establecimiento de árboles en hileras en los límites de la finca o sus divisiones internas con el fin de diversificar y aumentar la productividad, sin tener que ceder terreno productivo. Además de aumentar la conectividad del paisaje y contribuir a</p>	Sánchez et al 2004  Arias 2018

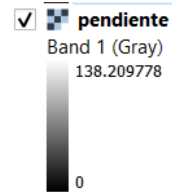
	<p>crear una matriz amigable con la biodiversidad sin tener que ceder terreno productivo. Mantiene la conectividad del territorio.</p>	Yaguache et al 2018
	<p><u>Reforestación</u> Efecto regulador al balance hídrico.</p>	Yaguache et al 2018
	<p><u>Restauración de franjas de conectividad:</u> contribuye a la biodiversidad formando corredores biológicos, actúan como barreras para retener sedimentos, residuos de pesticidas/fertilizantes y para estabilizar taludes. <u>Recuperación de áreas degradadas:</u> contribuye a recuperar los SE.</p>	
	<p>Las líneas de cumbre o <i>cejas de montaña</i>, por su ubicación estratégica, se constituyen en áreas claves a restaurar, dada su función primordial de captación, almacenamiento temporal y recarga de escurrimientos de base.</p>	
Protección de ecosistemas esenciales	<p>Los <b>bosques de neblina</b> juegan un papel preponderante en la regulación de cantidad de agua en las cuencas por su capacidad de condensar la neblina o niebla que es arrastrada por las corrientes de aire. Se trata de precipitación horizontal adicional a la precipitación vertical, cuyo aporte puede estar entre el 2 y 24% de la precipitación vertical (Rollenbeck <i>et al</i> 2008).</p> <p>La deforestación de estos bosques, cubiertos frecuentemente por neblina, provoca la disminución de caudales hasta consecuencias catastróficas (Hamilton, 1982; Bruijnzeel, 2.004). Los bosques de neblina contribuyen a la regulación del agua y albergan una diversidad de especies endémicas, por lo que su valor en biodiversidad es alto.</p> <p><b>Humedales:</b> Procesos realizados en ecosistemas de humedales tales como ciclo de nutrientes, productividad, procesos de sucesión o relaciones de competencia entre las especies, están controlados en gran medida por su régimen hidrológico. En este sentido, los humedales son tanto una fuente de agua como usuarios de la misma, razón por la que el hecho de garantizar el agua que necesitan promoverá la conservación de su biodiversidad, así como el uso sostenible de sus componentes. El conocimiento de las necesidades en cuanto a calidad, cantidad y temporalidad de agua de los humedales contribuirá entonces al manejo sostenible de la misma, manteniendo las repercusiones de sus usos dentro de los límites ecológicos para su integridad y correcto funcionamiento (Política Nacional de Humedales 2017-2030).</p>	

## Anexo 14. Procedimiento para generar un mapa de pendiente a partir de un DEM

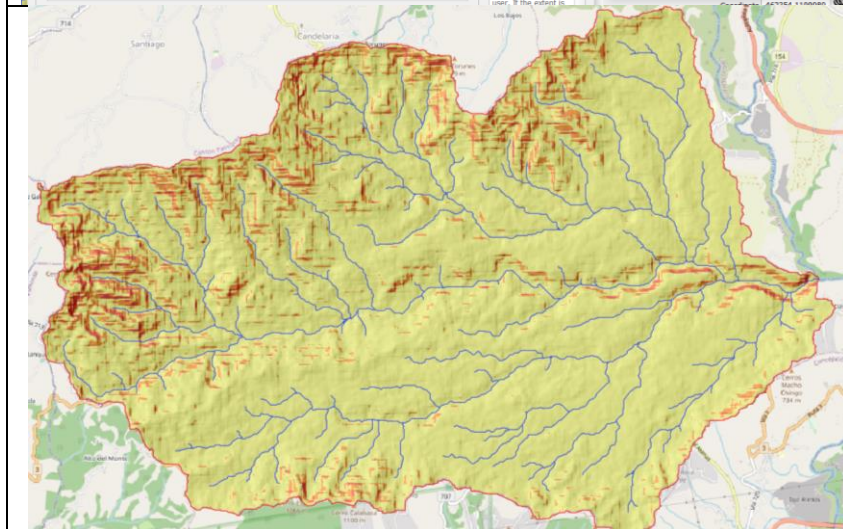
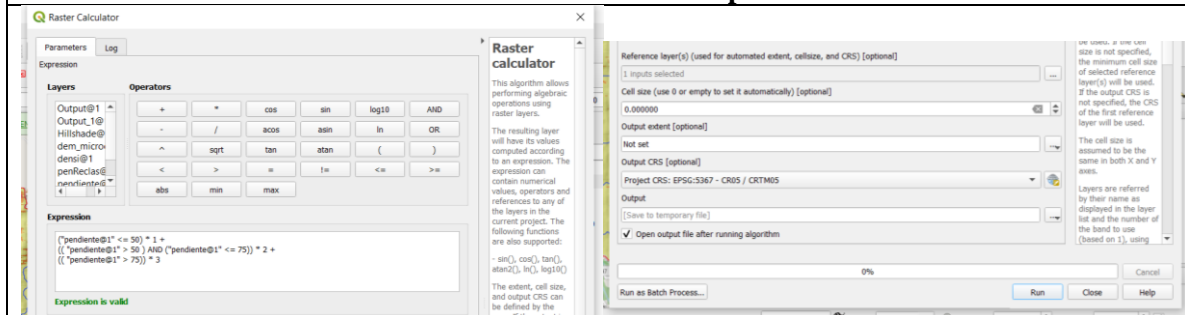
Procedimiento	Salida
	 <p data-bbox="1222 604 1482 716">  <b>dem_microcuena</b>  545  1346 </p>
	



**Pendiente en porcentaje**

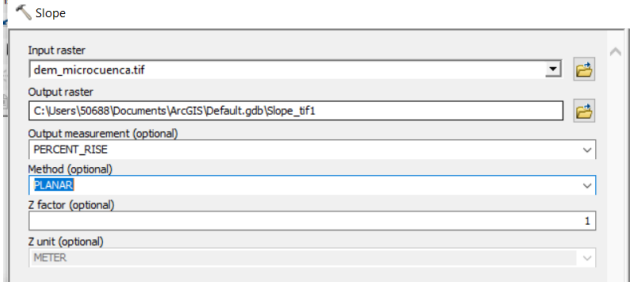
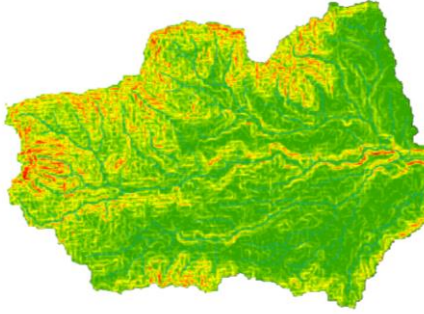
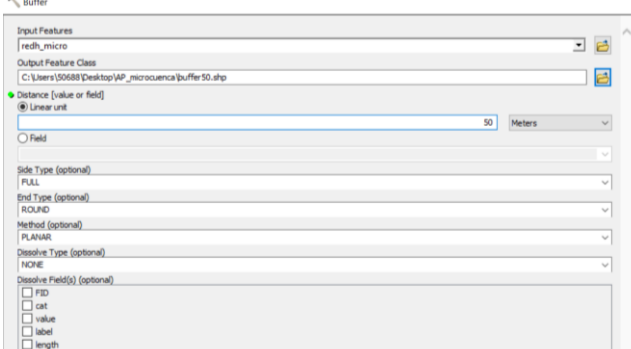
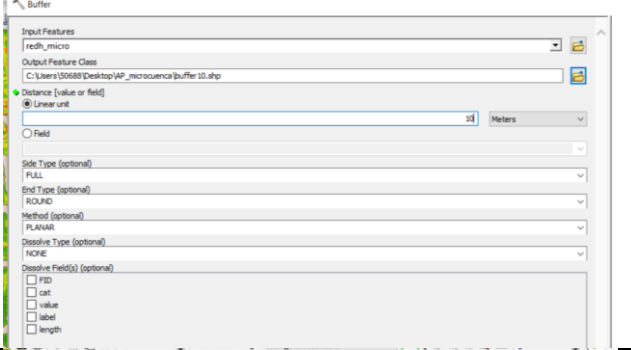
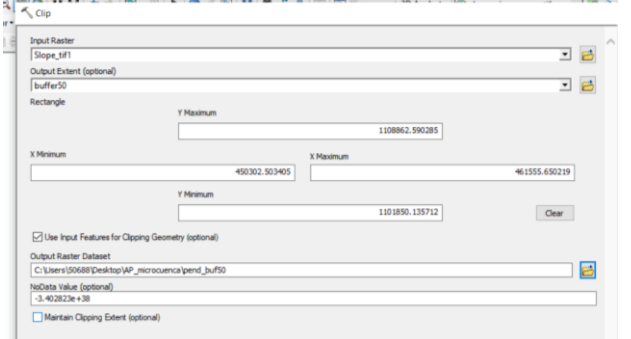



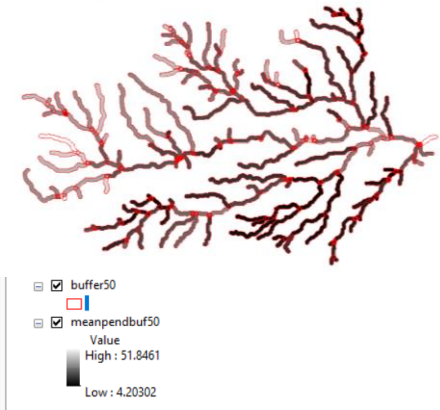
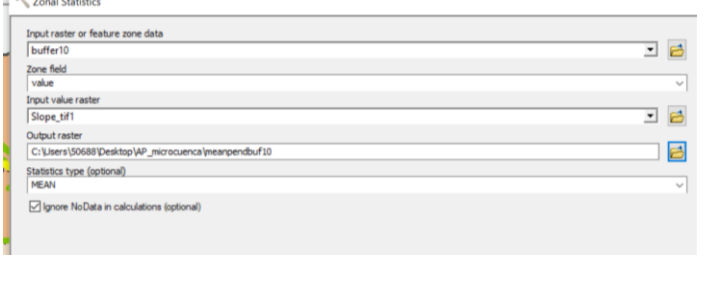
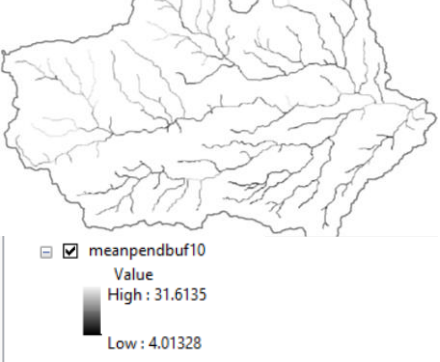
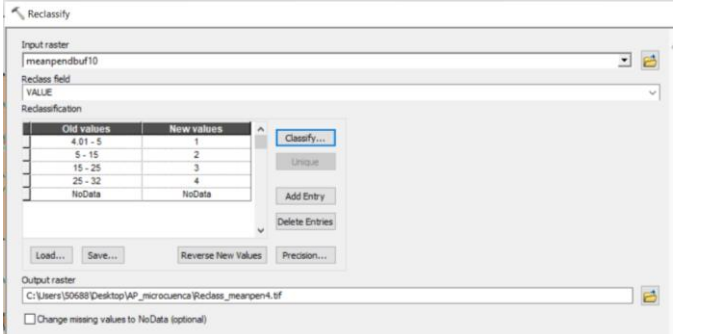
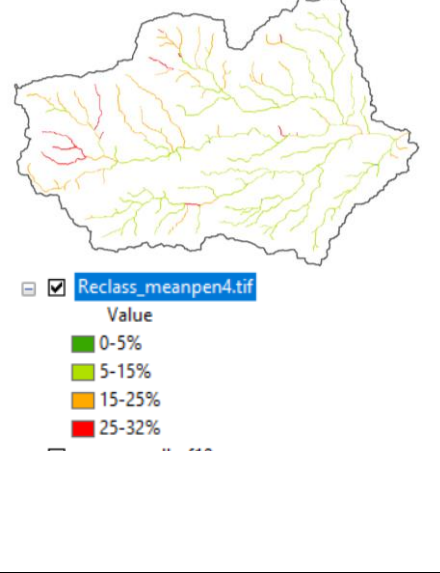
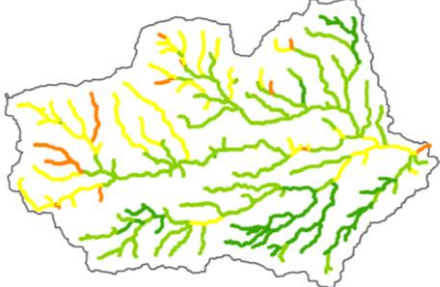
**Reclasificación de pendiente**

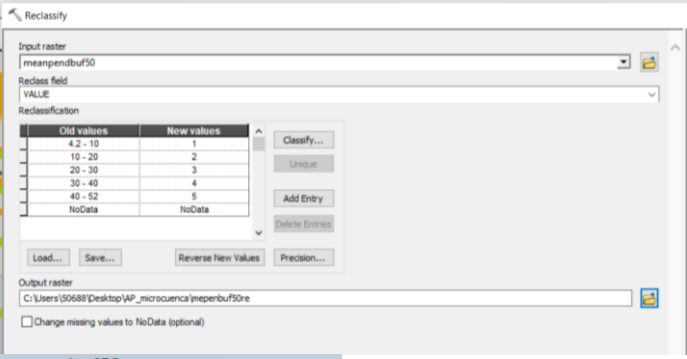
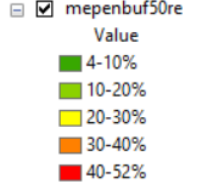
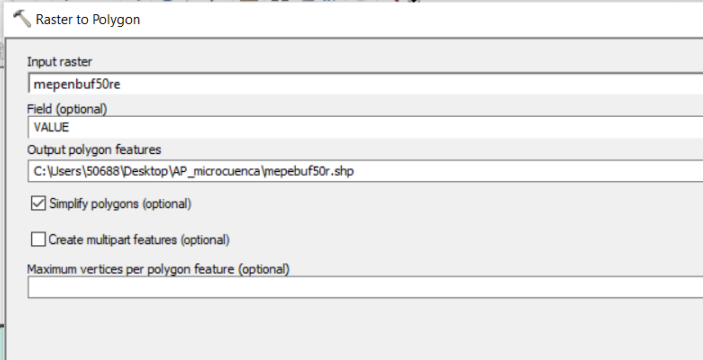
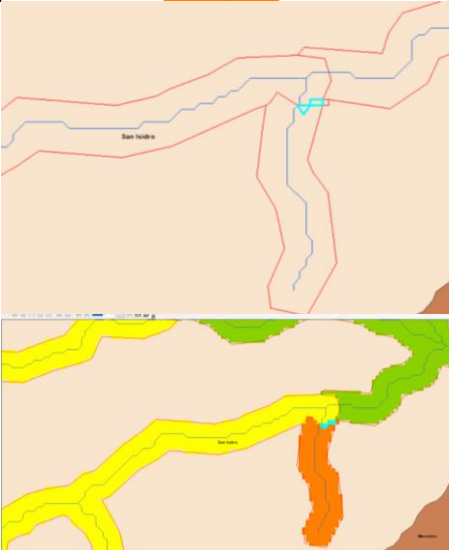






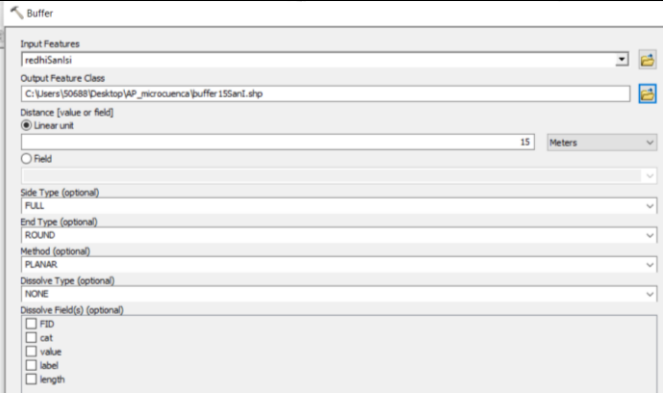
### Anexo 15. Procedimiento para delimitar áreas de protección de ríos y quebradas

	Procedimiento	Capa resultante
<p>Utilizando un DEM de alta resolución (12.5 m) se creó un mapa de pendientes</p>		
<p>Utilizando la red hídrica se creó un buffer de 50 m</p>		
<p>Utilizando la red hídrica se creó un buffer de 10 m</p>		
<p>Se cortó la capa de pendientes (%) con los buffers creados anteriormente (10 y 50)</p>		

<p>Se utilizó la herramienta <i>Zonal Statistics</i> para estimar el promedio de pendiente (%) dentro de los buffers creados anteriormente</p>																	
																	
<p>Se reclasificaron las capas resultantes del paso anterior para ambos buffers (10 y 50 m)</p>	<p><b>BUFFER 10 m</b></p>  <table border="1" data-bbox="358 1367 586 1520"> <thead> <tr> <th>OID</th> <th>Value</th> <th>Count</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>46</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>10701</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>3</td> <td>4145</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>4</td> <td>1080</td> </tr> </tbody> </table> <p>Dentro del buffer de 10 m, ninguna pendiente sobrepasa los 40% de pendiente promedio.</p>	OID	Value	Count	0	1	46	1	2	10701	2	3	4145	3	4	1080	
OID	Value	Count															
0	1	46															
1	2	10701															
2	3	4145															
3	4	1080															
	<p><b>BUFFER 50 M</b></p>																

<p>Dentro del buffer de 50 m, solo 4 píxeles están en la categoría de pendiente 5 (40-52%).</p> <p>Se identificaron espacialmente los píxeles, en estos transectos del río el área de protección corresponde a 50 m</p>	 <table border="1" data-bbox="365 577 706 766"> <thead> <tr> <th>Rowid</th> <th>VALUE</th> <th>COUNT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>14461</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>38144</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>3</td> <td>20352</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>4</td> <td>4312</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>5</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	Rowid	VALUE	COUNT	0	1	14461	1	2	38144	2	3	20352	3	4	4312	4	5	4	
Rowid	VALUE	COUNT																		
0	1	14461																		
1	2	38144																		
2	3	20352																		
3	4	4312																		
4	5	4																		
<p>Se convirtió de ráster a vector para ubicar más fácil los 4 píxeles</p>																				
<p>Se cortó el distrito de San Isidro, pues es el único cantón considerado como rural por lo tanto su área de protección es de 15 m</p>																				

Se realizó el buffer de 15 m a la red hídrica de San Isidro



## Anexo 16. Información de las imágenes Sentinel

**Launch:** Sentinel-2A se lanzó el 23 junio de 2015, Sentinel-2B se lanza en marzo de 2017

**Lanzador:** Un lanzador Vega, desde Kourou, Guayana Francesa

**Órbita:** Polar, heliosíncrona, a una altitud de 786 km

**Frecuencia de paso:** Cinco días a partir de constelación de dos satélites (en el Ecuador)

**Cobertura:** Cobertura sistemática de tierra y áreas costeras entre 84°N y 56°S

**Vida:** Mínimo siete años

**Satélite:** 3.4 m de largo, 1.8 m de ancho, 2.35 m de alto

**Masa:** 1140 kg (incluyendo 123 kg de combustible)

**Instrumentos:** Cámara Multiespectral (MSI) capaz de cubrir 13 bandas espectrales (443 nm–2190 nm), con una anchura de barrido de 290 km y resolución espacial de 10 m (4 en el visible e infrarrojo cercano), 20 m (6 bandas *red-edge/shortwave-infrared*) y 60 m (3 bandas de corrección atmosféricas)

**Estaciones de recepción:** datos MSI: transmitidos a estaciones de tierra de Sentinel vía enlaces láser mediante EDRS; datos de telemetría: transmitidos a y desde Kiruna, Suecia.

**Aplicaciones principales:** Vigilancia agrícola, selvas, cambios en el uso del territorio; mapeo de variables biofísicas, como contenido en clorofila y agua de la hoja, índice de área foliar; vigilancia de costas y aguas interiores; mapeo de zonas de riesgo y desastres.

**Misión:** Desarrollada, operada y dirigida desde diversos establecimientos de la ESA.

**Financiación:** Estados Miembros de la ESA y Unión Europea.

**Contratistas principales:** Airbus Defence and Space Germany (satélite), Airbus Defence and Space France (instrumento multiespectral).

Fuente: [https://www.esa.int/Space\\_in\\_Member\\_States/Spain/Datos\\_de\\_Sentinel](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Datos_de_Sentinel)

## Spatial Resolution

The spatial resolution of SENTINEL-2 is dependent on the particular spectral band:

### 10 metre spatial resolution:

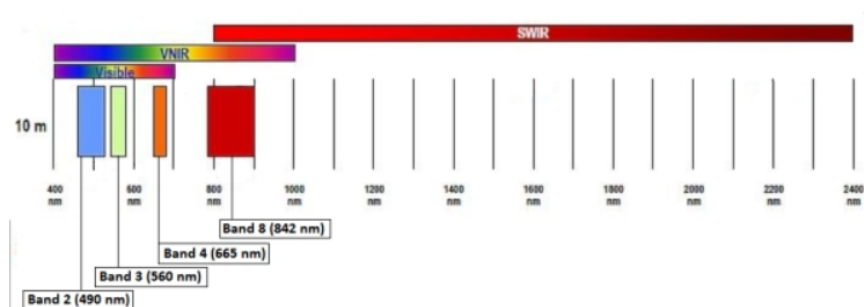
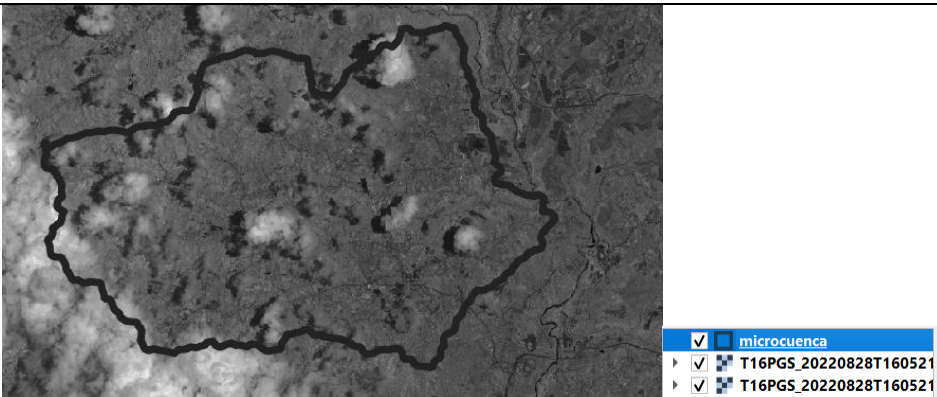
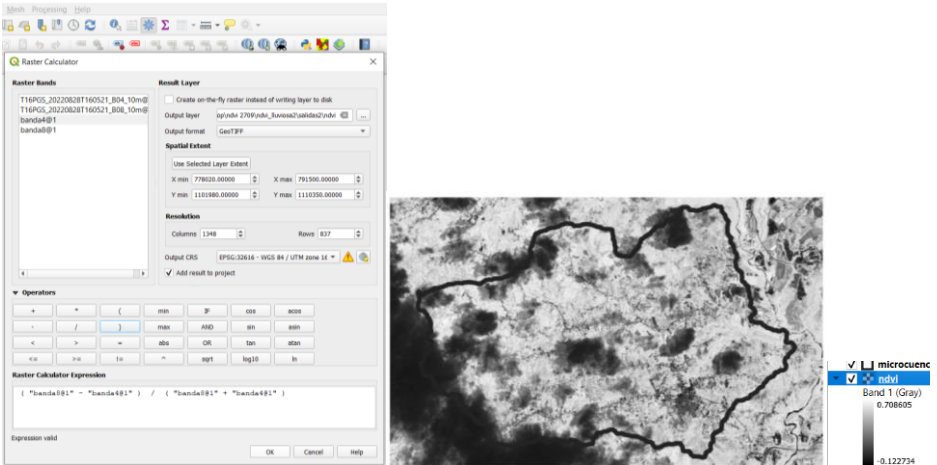
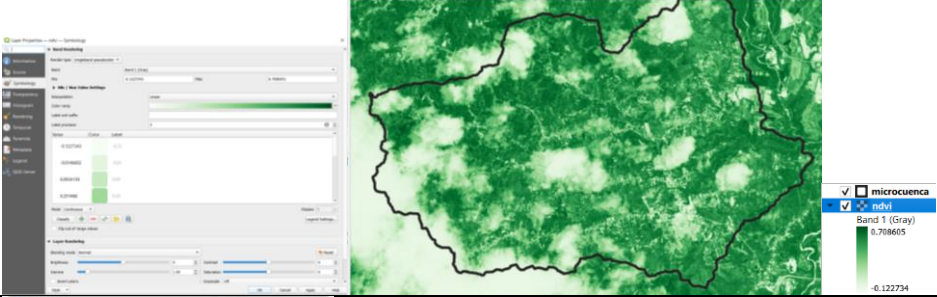
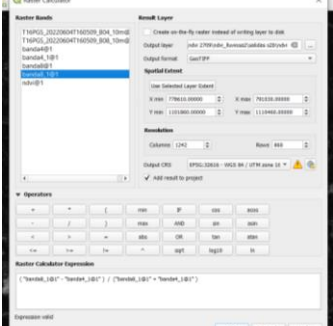



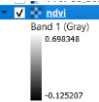
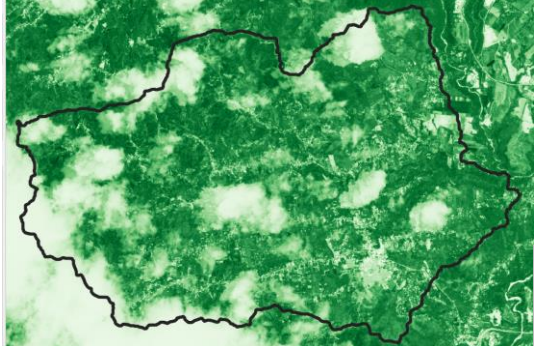
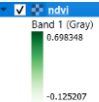
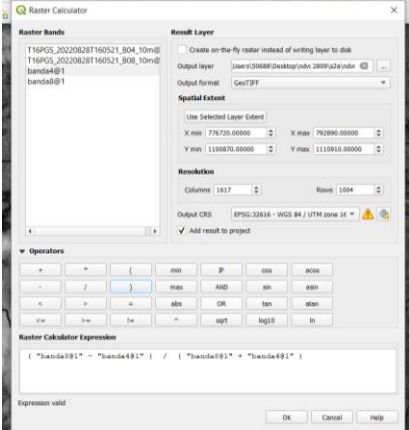
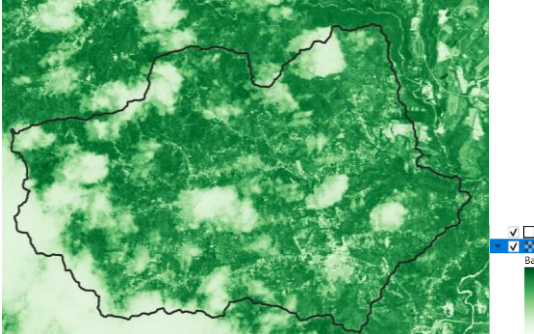
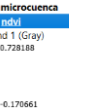
Figure 1: SENTINEL-2 10 m spatial resolution bands: B2 (490 nm), B3 (560 nm), B4 (665 nm) and B8 (842 nm)

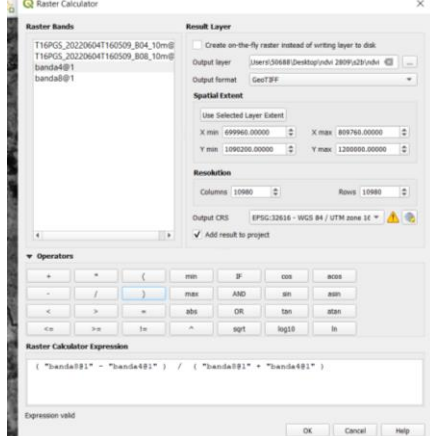
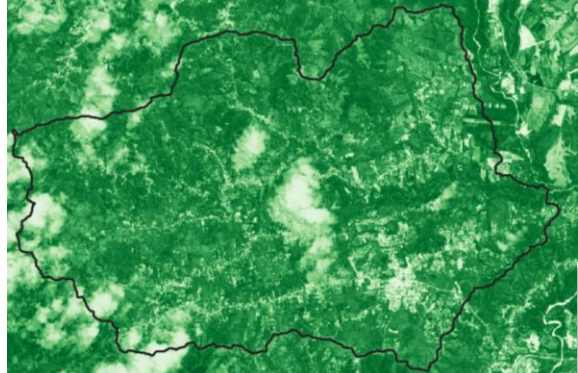
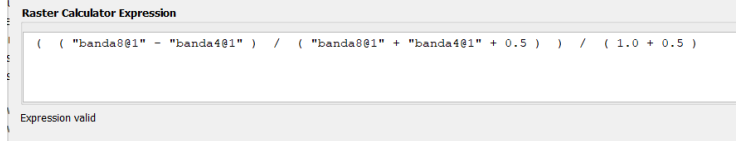
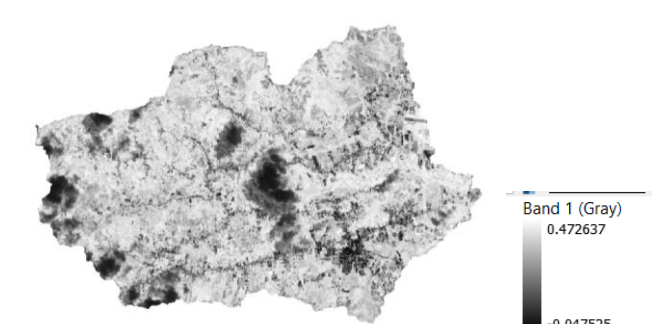
Fuente: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>

## Anexo 17. Procedimiento del NDVI y SAVI

<p><b>NDVI</b></p> <p>Se cargaron las imágenes en Qgis</p> <p>Se recorto el área de estudio</p>	
<p><b>Calculadora ráster</b></p>	
<p>Se ajustó el color (S2a)</p>	
<p>Se repitió el procedimiento a varias capas</p>	



<p>Capa 2</p>		
		
<p>Capa 3</p>		
		

<p>Capa 4</p>	
	
<p><b>SAVI</b></p>	
<p>Se aplicó la fórmula en la calculadora ráster</p>	
<p>Resultado</p>	



## Anexo 18. Asignación de pesos a los criterios e indicadores (consulta a expertos)

### Presentación

Buenos días/tardes mi nombre es Maureen Arguedas Marín, soy estudiante de la maestría conjunta (UCR-UNA) en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Me encuentro realizando el trabajo final de graduación, el cual se titula: *Propuesta metodológica para la identificación de sitios prioritarios para restaurar ecosistemas con fines de protección del recurso hídrico: estudio de caso de la microcuenca del río Cacao, Atenas, Alajuela.*

Para el desarrollo de este trabajo se incluyeron 8 fases (Figura 1). Por medio de esta encuesta se solicita su colaboración para la fase 7 (Asignación de pesos (consulta a expertos)).



**Figura 1. Asignación de pesos (consulta a expertos).**

Los pesos asignados por los expertos serán promediados y utilizados para desarrollar el modelo propuesto:

$$\text{Sitios prioritarios} = (\text{densidad poblacional} * X) + ((\text{pendiente} * X) + (\text{ndvi} * X) + (\text{área de protección de cuerpos de agua} * X))$$

\*\*Las X, representan el peso ponderado, según el criterio de experto.

## Instrucciones

Se adjunta un archivo Excel, con los indicadores propuestos para realizar la priorización de sitios para el desarrollo de acciones para la protección del recurso hídrico y la restauración de ecosistemas.

Estos serán insumo para desarrollar un análisis multicriterio. Se solicita su colaboración para asignar un peso a los indicadores.

Se presentan **5 indicadores**, a cada uno de ellos se les debe asignar un peso (de 0 a 1, según su nivel de importancia y/o influencia en la priorización de sitios para restaurar con fines de protección del recurso hídrico).

Los 5 **indicadores** son:

- 1) Densidad poblacional
- 2) Pendiente
- 3) Áreas de protección de nacientes, ríos y quebradas
- 4) NDVI