



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

**CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA DE LAS ÁREAS DE PROTECCIÓN HÍDRICA Y ÁREAS
DE RECARGA ACUÍFERA POTENCIALES EN MANANTIALES DE LAS ASADAS
GUARUMAL, DULCE NOMBRE, CONCEPCIÓN DE SAN RAMÓN, CIRRÍ, LLANO
BONITO Y SAN ROQUE, CANTÓN NARANJO, ALAJUELA**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN SOMETIDO A CONSIDERACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE EDUCACIÓN Y LA ESCUELA DE POSGRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL
GRADO DE**

MÁSTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

JUAN PABLO RAMÍREZ ALFARO

TURRIALBA, COSTA RICA

**AÑO
2022**

Este trabajo de final de graduación ha sido aceptado en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobado por el Comité Examinador del estudiante, como requisito para optar por el grado de

MÁSTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

FIRMANTES:



José Ney Ríos Ramírez

José Ney Ríos Ramírez, M.Sc.
Coasesor del Trabajo de Graduación

Christian Birkel

Christian Birkel, Ph.D.
Coasesor del Trabajo de Graduación

Roberto Quiroz Guerra

Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado

Juan Pablo Ramírez Alfaro

Juan Pablo Ramírez Alfaro
Candidato

Dedicatoria

A mi madre Isabel, a mi compañera Brenda...
Mujeres imprescindibles.

Agradecimientos

A todas las personas trabajadoras de las ASADAS de Naranjo que dedicaron parte de su valioso tiempo para recabar la información necesaria para esta investigación: Rolando Martín Salazar Quesada, Juan Carlos Arce Umaña, José Navarro Vargas, Flor Emilia Rojas Carranza, Campos Arce y Lisseth Araya Méndez.

A las personas integrantes de las Juntas Administradoras de cada una de las ASADAS que permitieron el acceso y brindaron su colaboración para el desarrollo de este trabajo.

A la Junta Directiva de la Federación de Acueductos de la Zona Protectora El Chayote (FEDAPRO), señores Manuel Montoya Carraza, Rolando Salazar Quesada, Roy Campos Arce, Marco Tulio Varela Araya, Carlos Manuel Corrales Herrera, Guillermo Gerardo Vega Arrieta, Manrique Rojas Ortiz, por su gran labor en la conservación del recurso hídrico del cantón de Naranjo y apoyar este proyecto.

A los profesores Ney Ríos y Christian Birkel por el solidario gesto de compartir conocimiento, de guiar el aprendizaje para poder consolidar este trabajo.

A todos los profesores y profesoras que forman parte del programa de la maestría por ser parte de esta experiencia de aprendizaje.

A todas las personas que de alguna manera se vieron involucradas en este esfuerzo.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes	1
Justificación	2
Importancia	3
II. OBJETIVOS.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
III. MARCO REFERENCIAL	4
3.1 Manantiales y abastecimiento para consumo humano	4
3.2 Legislación relacionada con manantiales en Costa Rica.....	5
3.3 Cobertura boscosa y recurso hídrico	6
3.4 Modelación hidrológica	6
3.4.1 Modelo SWAT	7
3.5 Gestión de cuencas y manejo integrado de recurso hídrico	7
3.6 Gestión comunitaria del agua y ASADAS	8
3.7 Caracterización biofísica de cuencas hidrográficas.....	9
3.8 Metodología para definir áreas de recarga acuífera	9
IV. METODOLOGÍA.....	11
4.1 Ubicación	11
4.2 Descripción del área de estudio.....	12
4.3 Procedimiento metodológico	14
PRINCIPALES RESULTADOS	18
CAPÍTULO I. DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE PROTECCIÓN HÍDRICA (APH) SEGÚN NORMATIVA VIGENTE Y ÁREAS DE RECARGA ACUÍFERA (ARA) POTENCIALES DE NACIENTES EN ANÁLISIS MEDIANTE MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS GEOESPACIAL PARA SU CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA.	18
CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DE LAS CAPACIDADES DE GESTIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DE LOS OPERADORES DE ACUEDUCTO.....	43
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
V. BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS.....	66
ANEXO 1.....	66
ANEXO 2.....	66
ANEXO 3.....	75
ANEXO 4.....	75
ANEXO 5.....	78
ANEXO 6.....	79
ANEXO 7.....	98
ANEXO 8.....	100
ANEXO 9.....	101
Anexo 10	102
Anexo 11	103
Anexo 12	104

Índice de cuadros

Cuadro 1. Datos de uso de suelo del cantón de Naranjo.....	13
Cuadro 2. Datos de fuentes según registro de la Dirección de Aguas del MINAE.....	23
Cuadro 3. Tipo de uso dentro de áreas de protección hídrica de nacientes, radios 100 y 200m.....	24

Cuadro 4. Cantidad de área con uso de suelo diferente a protección de recurso hídrico	24
Cuadro 5. Actividades antropogénicas aguas arriba de las nacientes	25
Cuadro 6. Propiedad de terrenos de áreas de protección hídrica de las nacientes	26
Cuadro 7. Presencia de residuos dentro de áreas de protección hídrica de las nacientes	27
Cuadro 8. Existencia de demarcación dentro de áreas de protección hídrica de ley	28
Cuadro 9. Naciente, tipo de captación y cerramiento perimetral.....	28
Cuadro 10. Cobertura boscosa dentro de áreas de protección hídrica de las nacientes	29
Cuadro 11. Estadísticos calculados para variables meteorológicas	30
Cuadro 12. Valores sugeridos para evaluación de desempeño de la modelación	32
Cuadro 13. Resultados de estadísticos de performance	32
Cuadro 14. Áreas de recarga acuífera inmediata propuestas, cantidad de hectáreas según cada naciente analizada	38
Cuadro 15. Áreas de recarga acuífera inmediata propuestas según uso de suelo actual	39
Cuadro 16. Existencia de registros de aforos	43
Cuadro 17. Análisis de datos de consumo según ASADA.....	44
Cuadro 18. ASADAS con estudio integral de acueducto	46
Cuadro 19. Implementación de macro y micro medición	46
Cuadro 20. Uso de herramientas SIG, informáticas y planos	47
Cuadro 21. Demarcación de áreas de protección hídrica, áreas de recarga acuífera y realización de estudios hidrogeológicos	48
Cuadro 22. Existencia de plan o programa relacionado con cambio climático y gestión de riesgo	49
Cuadro 23. Conocimiento de las nacientes, captaciones y áreas de protección hídrica por parte de las juntas administradoras y personal operativo	50
Cuadro 24. Capacitación de responsables del acueducto según ASADA.....	51
Cuadro 25. Interposición de denuncias por invasión de áreas de protección hídrica y contaminación	52
Cuadro 26. "Broqueo" de nacientes de las ASADAS.....	53
Cuadro 27. ASADAS con infraestructura de saneamiento de aguas residuales	55
Cuadro 28. Propiedad de terrenos de nacientes según ASADA	56
Cuadro 29. Actividades de educación ambiental	57

Índice de gráficos

Gráfico 1. Comportamiento de caudal observado y modelado, río Barranca, estación AYA #2.....	32
--	----

Índice de mapas

Mapa 1. Ubicación del área de estudio	12
Mapa 2. Definición de áreas de protección de nacientes según radios de ley.....	19
Mapa 3. Factor pendiente según ubicación de naciente	21
Mapa 4. Modelo 3D de ubicación de nacientes	22
Mapa 5. Área de estudio según capacidad de infiltración	33
Mapa 6. Comparación de cobertura boscosa, cabeceras cuenca río Barranca y río Grande	35
Mapa 7. Capacidad de infiltración de terreno según naciente.....	36
Mapa 8. Perfil de relieve de áreas de recarga acuífera potenciales según naciente	37
Mapa 9. Capacidad de percolación de terreno según naciente y área de recarga acuífera inmediata .	38
Mapa 10. Área de estudio según nivel de humedad de suelo	41
Mapa 11. Área de estudio según capacidad de recarga de acuíferos.....	42
Mapa 12. Ubicación de sitios de aforo y estación meteorológica.....	102
Mapa 13. Clasificación de la recarga potencial, subcuenca Río Grande	103
Mapa 14. Área de estudio según potencial de acuíferos, 0-30 m.b.n.s.	104
Mapa 15. Área de estudio según potencial de acuíferos, 30-150 m.b.n.s.	105

Lista de abreviaturas, acrónimos y unidades

ASADAS	Asociaciones Administradoras de Acueducto y Alcantarillado Sanitario
AYA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
APH	Áreas de protección hídrica
ARA	Área de recarga acuífera
ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
CGR	Contraloría General de la República
CIA	Centro de Investigaciones Agronómicas
CIAMA	Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente
DA	Dirección de Aguas
ESPH	Empresa de Servicios Públicos de Heredia
FEDAPRO	Federación de Acueductos de la Zona Protectora El Chayote
GIRH	Gestión Integrada del Recurso Hídrico
HRU	Unidad de respuesta hidrológica
ICAFE	Instituto del Café de Costa Rica
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IMAT	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INDER	Instituto de Desarrollo Rural
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo
INVU	Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo
ITEC	Instituto Tecnológico de Costa Rica
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MED	Modelo de elevación digital
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PEN	Programa Estado de la Nación
PGR	Procuraduría General de la República
POWER	The Prediction of Worldwide Energy Resource de la NASA
SENARA	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamientos
SETENA	Secretaría Técnica Nacional Ambiental
SIG	Sistema de información geográfica
SIMOCUTE	Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
SINIGIRH	Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico
SINIA	Sistema Nacional De Información Ambiental
SITADA	Sistema Integrado de Trámite y Atención de Denuncias Ambientales
SNIT	Sistema Nacional de Información Territorial
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
UCR	Universidad de Costa Rica
USDA	Departamento Agrícola de los Estados Unidos, siglas en inglés
W3S	World Weather for Water Data Service
ZPEC	Zona Protectora El Chayote

Resumen

El trabajo se realizó en manantiales de ASADAS del territorio del cantón de Naranjo, específicamente, en las partes altas de las cuencas del río Barranca y subcuenca del río Grande, cuyas cabeceras se ubican en la Zona Protectora El Chayote. El objetivo del trabajo es realizar una caracterización biofísica de las áreas de protección hídrica (APH) y áreas de recarga acuífera potenciales (ARA) en manantiales seleccionados de ASADAS del cantón. Para la caracterización se conformaron tres instrumentos con una batería de preguntas aplicadas a representantes de cada operador de acueducto, se realizaron inspecciones de campo, análisis documental y geoespacial. La definición de ARA se hizo mediante modelación hidrológica utilizando el modelo SWAT, se logró obtener una simulación consistente con los valores observados. Se constató la alta vulnerabilidad en que se encuentran las APH y ARA de los manantiales, derivada de una multiplicidad de amenazas producidas por un entorno de amplia intervención antrópica, desatención institucional de competencias legales, entre otras. Asimismo, se identifican debilidades en las capacidades de gestión de las ASADAS para la protección de recurso hídrico.

Palabras clave: modelo SWAT, áreas de protección hídrica, áreas de recarga acuífera, ASADA, Zona Protectora El Chayote, cuenca del río Barranca, subcuenca río Grande, análisis geoespacial, manantial, naciente, recurso hídrico

Abstract

The work was performed in ASADA's springs in the territory of Naranjo, specifically, in the higher sites of Barranca and Grande watersheds, whose headwaters are located in the "Zona Protectora El Chayote". The objective of this work is to carry out a biophysical characterization of water protection areas (APH) and potential aquifer recharge areas (ARA) in selected ASADA's springs in Naranjo. For the characterization, three instruments were formed with multiple questions applied to representatives of each aqueduct operator and field inspections. Additionally, documentary and geospatial analysis were executed. The definition of ARA was made through hydrological modeling using SWAT model, it was prepared to obtain a consistent simulation with observed values. APH and ARA's springs high vulnerability was verified, because of a multiplicity of threats produced by an environmental extensive anthropic intervention, legally mandatory institutional neglects, among others. Likewise, weaknesses are identified on management capacities of the ASADAS for water resources protection.

Key Words: SWAT model, source water protection area, water recharge areas, Barranca watershed, Grande subwatershed, geospatial analysis, spring, source water, water resources

I. INTRODUCCIÓN

Antecedentes

En Costa Rica existe poca información relacionada con las áreas de protección hídrica (APH) y áreas de recarga acuífera (ARA) potenciales de nacientes de agua o manantiales sistematizada y disponible para las ASADAS, es una situación ampliamente conocida que, si bien estas se encuentran en una situación de alta vulnerabilidad, se carece incluso de una línea base para determinar el estado de estas (PEN, 2022; MINAE, 2020; SINIA, 2018; CGR, 2013 y 2014; MINAET-IMAT, 2008).¹

Existen estudios hidrogeológicos de algunas zonas del país, estudios puntuales sobre nacientes de ASADAS de ciertas regiones,² recientemente también se han desarrollado investigaciones con base en el análisis de isotopos estables de muestras de agua,³ sin embargo, la gran mayoría de operadores de acueductos y sus comunidades no tienen claridad sobre la situación concreta de las APH y zonas de recarga de cada una de las nacientes que utilizan para abastecimiento humano.

Las APH están definidas según lo establecido en el artículo 33 la Ley Forestal, N° 7575 del 16 de abril de 1996, el inciso "a" de esta ley indica que las APH son "a) Las áreas que bordeen nacientes permanentes, definidas en un radio de cien metros medidos de modo horizontal"; asimismo, el inciso "d" establece una protección para "Las áreas de recarga y los acuíferos de los manantiales, cuyos límites serán determinados por los órganos competentes" (Costa Rica, ley 7575).

La Ley de Aguas, N° 276 del 27 de agosto de 1942, en su artículo 31 también establece una restricción ampliada para las APH y zonas de recarga acuífera. En este caso, el artículo referido indica que: "Se declaran como reserva de dominio a favor de la Nación: a) Las tierras que circunden los sitios de captación o tomas surtidoras de agua potable, en un perímetro no menor de doscientos metros de radio; b) La zona forestal que protege o debe proteger el conjunto de terrenos en que se produce la infiltración de aguas potables, así como el de los que dan asiento a cuencas hidrográficas y márgenes de depósito, fuentes surtidoras o curso permanente de las mismas aguas" (Costa Rica, ley 276).⁴

Las obligaciones legales para el resguardo de las APH y de recarga acuífera son claras, también existe una amplia red de instituciones cuyas competencias están abocadas a su conservación, sin embargo, la

¹ En el año 2020 el MINAE publicó la denominada "Política Nacional de Áreas de Protección de Ríos, Quebradas, Arroyos y Nacientes / 2020-2040", la cual, se establece, precisamente, para la "generación de información sobre el estado real de las AP, ya que se carece de línea base sobre el estado de la gran mayoría de ellas" (MINAE, 2020). En 2022 se debe generar el primer informe de "Monitoreo y seguimiento por parte del consejo de alto nivel de la Política". (Ídem).

² Véase, por ejemplo: Arellano, Federico et. al., 2015; Arias, 2018.

³ En este campo existe varias investigaciones en el país a cargo del Grupo de Investigación en Isótopos Estables de la Universidad Nacional y el Proyecto de Hidrología isotópica tropical del Observatorio del Agua y Cambio Global de la Universidad de Costa Rica. Ver, además, Monge et. al., 2020.

⁴ Es importante mencionar que existen otros textos legales relacionados con las APH. Diversas instituciones, además, tienen competencias relacionadas con la conservación y salvaguarda de las APH, entre estas: MINAE, AYA, INVU, SENARA, Ministerio de Salud, SINAC, Municipalidades. Sobre el tema se pueden consultar: PGR, 2020 y 2002.

realidad está marcada por la gran vulnerabilidad a contaminación, degradación y presión a que se encuentran sometidos los manantiales y sus APH y de recarga acuífera.⁵

Si se consideran datos sobre cobertura boscosa existente, comparativamente, por ejemplo, las cuencas del río Barranca y la del río Grande de Tárcos, cuencas en las que se ubica el área de estudio, corresponden a los territorios con una menor cantidad de bosque primario o secundario presente. Así, según datos de SINIA (2020), una de las cuencas con mayor cobertura boscosa es la del río Savegre, esta alcanza, aproximadamente, un 74.94%, en contraste, la del río Grande de Tárcos posee un 29.96% y la del río Barranca tan solo un 18.16%. Este dato debe ser visto con atención ya que, efectivamente, es indicativo del nivel de la degradación de las APH de manantiales.⁶

La expansión de actividades agropecuarias, uso intensivo de agroquímicos, el crecimiento urbano desordenado, inexistente tratamiento de aguas residuales, instituciones que, por una parte, no cumplen adecuadamente con sus obligaciones legales y en otros casos no cuentan con recursos humanos, económicos y tecnológicos para cumplir con las competencias otorgadas, son las principales causales de dicha situación en la subcuenca alta del río Barranca, la subcuenca del río Grande (PEN, 2022; MINAE, 2020; Monge, 2020).

Justificación

Costa Rica es un territorio con abundante recurso hídrico, es parte de los países con una disponibilidad mayor a los veinte mil metros cúbicos de agua por persona por año (PEN, 2022; AYA, 2016; Valverde, 2016); se estima que la precipitación anual es de unos 153 km³, lo que se traduce en una dotación de agua privilegiada (INEC, 2021)⁷. Esta disponibilidad es la que permite abastecer a la población, la industria, comercio, agricultura, permite la producción de energía hidroeléctrica y satisface la demanda de los demás usos.

Un rasgo de gran relevancia es que un porcentaje muy importante de esta demanda es cubierto mediante la captación de aguas subterráneas, ya sea mediante pozos o afloramientos de manantiales, de un total de 5674 fuentes inventariadas en el país para potabilización, 1339 corresponden a pozos, lo que representa un 23.59% del total; por otra parte, 3927 corresponden a nacientes, lo que constituye un 69.21% del total de fuentes; así, en conjunto, representan un 92.8% de las fuentes inventariadas (AYA, 2021); el restante 7.2% corresponde a utilización de fuentes superficiales como ríos y quebradas.

Frente a esta imagen de abundancia, sin embargo, se debe considerar que el acceso al agua varía de acuerdo con cada cuenca hidrográfica y está mediado por aspectos de gestión que muchas veces obstaculizan su adecuada disponibilidad y aprovechamiento. En nuestro país, dicha gestión, es responsabilidad compartida entre un gran número de instituciones con diferentes competencias y los

⁵ Esto se puede comprobar con una revisión rápida de los expedientes del Sistema Integrado de Trámite y Atención de Denuncias Ambientales (SITADA), donde se corrobora la gran cantidad de denuncias en trámite relacionadas con invasión de APH de nacientes.

⁶ Véase, además, SINAC, 2015. Para una comparación de coberturas boscosas de años anteriores ver: MINAE-IMAT, 2008.

⁷ Contrástese con SINIA, 2018; Ballesteros y Zeledón, 2016; AYA, 2016; el dato referido en estas fuentes para el 2016 es de 110 km³.

distintos operadores de acueductos, dentro de los cuales, las ASADAS desempeñan un rol muy importante.

En Costa Rica estos operadores comunitarios abastecen aproximadamente a un tercio de la población nacional (AYA, 2021; 2020a; 2016,), en algunos sitios como la zona de occidente en que se ubica el territorio en análisis, su cobertura alcanza al 53% de la población (Badilla y Solórzano, 2021), de ahí la gran relevancia de su papel en la gestión del recurso hídrico, pues muchas comunidades dependen de su servicio de abastecimiento de agua potable y el manejo que realizan de sus fuentes hídricas.

Un aspecto ineludible para asegurar la gestión del agua de las ASADAS, deriva del requerimiento fundamental de poseer información certera, actualizada, técnicamente sólida y accesible, no obstante, en la mayoría de los casos, estos operadores comunitarios no disponen de datos y herramientas que les permita obtener el conocimiento claro sobre la situación socioambiental de sus fuentes de agua.

Considerando lo anteriormente dicho, se plantea este trabajo como un aporte para colaborar en la generación de insumos técnicos con los cuales las ASADAS puedan contar para la consecución de objetivos de conservación de sus nacientes. Asimismo, para que, a partir de la caracterización biofísica a realizar, se puedan implementar las medidas correctivas y se verifique el cumplimiento efectivo de la normativa nacional en relación con el resguardo de las áreas de protección establecidas.

Importancia

Como se ha señalado, los manantiales de las microcuencas en estudio se encuentran en una situación de alta vulnerabilidad ocasionada por la expansión de actividades agropecuarias, por el crecimiento urbano desordenado, negligencia institucional y falta de información técnico-científica para gestión adecuada del recurso hídrico.

Partiendo de este contexto, con el trabajo aquí planteado se pretende abordar el problema de vacío de información biofísica existente en relación con el conocimiento de la situación actual de las áreas de protección y zonas de recarga acuífera de las nacientes de agua o manantiales de la zona de estudio.

Se busca generar información y ponerla a disposición de las ASADAS para que su personal y juntas administradoras tengan insumos claros para la gestión y toma de decisiones relacionadas con este recurso vital que administran. Los datos, información, modelaciones, mapas y demás insumos que puedan ser generados será de gran utilidad para los responsables de las ASADAS (Juntas Directivas, Administración, personal operativo), así como para los vecinos de las comunidades abastecidas quienes podrán contar con datos actualizados sobre los sitios de las fuentes de las cuales reciben el agua.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar una caracterización biofísica de las áreas de protección hídrica y áreas de recarga acuífera potenciales en manantiales de las ASADAS Guarumal, Dulce Nombre, Concepción de San Ramón, Cirrú, Llano Bonito y San Roque

Objetivos específicos

1. Determinar las áreas de protección hídrica según normativa vigente y las áreas de recarga acuífera potenciales de las nacientes en análisis mediante modelación hidrológica y análisis geoespacial para su caracterización biofísica.
2. Caracterizar las capacidades de gestión para la conservación del recurso hídrico de los operadores de acueducto.

III. MARCO REFERENCIAL

3.1 Manantiales y abastecimiento para consumo humano

Un manantial o naciente es un “flujo de agua subterránea que aflora en la superficie debido a cambios topográficos, zonas preferenciales, rasgos geológicos-estructurales como fallas, o cambios en la conductividad hidráulica, fracturas o discontinuidades” (MINAE, 2020; además, AyA, 2016; IMN, 2014). Para el caso de Costa Rica, es necesario hacer la distinción entre naciente intermitente y naciente permanente, debido a que la legislación únicamente establece resguardo y protección sobre nacientes permanentes (MINAE, 2020), sobre estas últimas se centra el trabajo aquí esbozado.

Las nacientes de agua permanentes son las que tanto en época de estío como de invierno se mantienen fluyendo; las nacientes intermitentes son las que están relacionadas directamente con precipitación e infiltración, sin presencia de algún acuífero grande, ya que en época seca desaparece (MINAE, 2020 y 2017).

La consideración de una naciente para su aprovechamiento y conservación encierra una gran complejidad de aspectos, organolépticos, geológicos, edafológicos, hidrogeológicos, climáticos, físicos, tecnológicos, químicos, microbiológicos, socio-económicos, entre otros, los cuales están implicados en todas las fases del ciclo hidrológico, el proceso desde que el agua cae en forma de precipitación, se infiltra, conforma acuíferos hasta que aflora en forma de naciente o manantial y es captada para su uso (AyA, 2020b y 2016; MINAE, 2017; Aparicio, 1992; CGR, 2014 y 2013).

La captación de manantiales para abastecimiento de consumo humano presenta diversas ventajas sobre otros tipos de fuentes, entre las que se pueden mencionar: la construcción de la infraestructura de captación para su uso implica poca complejidad, involucra menores costos económicos, su mantenimiento y construcción es barato en comparación con otros tipos, la calidad del agua es mayor

pues tiene poca o inexistente presencia de sedimentos, además, presenta una menor posibilidad de contaminación (García, 2011).

Debido a lo anterior, en Costa Rica la utilización de manantiales para abastecer los distintos usos que requiere la población, así como las necesidades de consumo humano, representa un importante porcentaje con respecto a los tipos de fuentes existentes. Según datos disponibles, la utilización de nacientes para abastecimiento de agua alcanza, aproximadamente, el 70% del total de tipos de fuentes utilizadas por los distintos operadores de acueductos del país (Mora y Portuguez, 2017; AYA, 2021);⁸ específicamente, en el caso de operadores comunales, este porcentaje representa el 77.5% (Arellano, 2020).

3.2 Legislación relacionada con manantiales en Costa Rica

A nivel nacional el principal instrumento legal relacionado con la protección de los manantiales deriva del artículo 50 de la Constitución Política y la reciente reforma introducida a este mismo artículo para el reconocimiento del derecho al acceso al agua potable. Del 50 constitucional deriva toda la jurisprudencia relacionada con el reconocimiento al derecho a un ambiente sano, salvaguarda que, sin duda, ha establecido un punto de partida muy importante para que el país pueda obtener importantes resultados reflejados en sus indicadores ambientales y que cobija la protección de las nacientes de agua.

Diversos autores han señalado que el reconocimiento de este derecho en el país es anterior a su aparición en instrumentos jurídicos internacionales; otro hecho sobresaliente, deviene que su desarrollo jurisprudencial, en parte, ha estado anclado en sus inicios a consideraciones sobre otros derechos como lo es el derecho a la vida, el derecho a la salud y el derecho a un ambiente sano (PEN, 2022).

Dos leyes centrales están relacionadas directamente con la protección de los manantiales, la primera de estas es la Ley de Aguas (Nº 276, sancionada en 1942); la segunda, más reciente, es la Ley Forestal (Nº 7575, de 1996). En la ley 276 se establece un radio de protección de 200 metros alrededor de las nacientes captadas para consumo humano; por su parte, en la ley 7575, se resguardan 100 metros de radio de protección para todos aquellos manantiales de carácter permanente que no sean utilizados para consumo humano.

A nivel de legislación, igualmente relacionada con el consumo humano de agua, se encuentran varias textos legales de importancia entre los que se pueden citar: Ley General de Salud, Nº 5395, que dispone como prioritario el agua para consumo humano y establece el cumplimiento de criterios de calidad para que esta pueda ser consumida sin afectar la salud pública, lo cual tiene varias consecuencias legales para efectos de la conservación y gestión de los manantiales; Ley General de Agua Potable, Nº 1634, que presenta exigencias en lo que respecta a los operadores de acueductos y también criterios de calidad para el agua; Ley Constitutiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), Nº 2726, con importancia en lo que respecta al abastecimiento para consumo humano y también con claras competencias en el que respecta a protección y conservación de nacientes. Aquí es importante

⁸ Es importante indicar que en el país exista un significativo subregistro y no hay un censo total de las fuentes existentes (MINAE, 2020; MINAE-IMAT, 2008).

mencionar las recientes modificaciones al Reglamento de Prestación de Servicios del AyA, que establecen obligaciones claras para el AyA y ASADAS en lo que respecta a la obligatoriedad de contar con estudios técnicos que delimiten las áreas de protección de nacientes y áreas de recarga acuífera.

3.3 Cobertura boscosa y recurso hídrico

La cubierta forestal influye en los niveles freáticos, los pozos y manantiales (FAO, 2009), según diversos autores facilita la recarga acuífera de manantiales y acuíferos (Veas, 2009; Ríos et. al., 2008). Diversos trabajos han demostrado que la cobertura arbórea, más que otros tipos de vegetación, contribuyen a incrementar la infiltración (Veas, 2009) y mantener la humedad del suelo (Benegas, L. et. al. 2021), lo cual, consecuentemente, se ve reflejado en el aumento de la disponibilidad de agua y recarga hídrica (Ríos et. al., 2008; De la Torre, T. y Rodríguez, A., 2000 citado por Fallas, 2010; contrástese: Cavelier y Vargas, 2002).

La cobertura forestal también influye en la calidad del agua (FAO, 2009), lo cual se puede ver reflejado en una menor erosión y arrastre de sedimentos en los diferentes cuerpos de agua (FAO, 2009; Veas, 2009; contrástese: Hamilton, 1991), así como atrapando o filtrando diversos tipos de contaminantes (FAO, 2019). La presencia de bosque, además, desplaza de áreas de protección de nacientes y zonas de recarga hídrica la instalación de usos de suelo donde la actividad antropogénica podría derivar en riesgos para el recurso hídrico y su aprovechamiento.

En zonas con bosque nuboso tropical de montaña, como la zona alta del área de estudio, los árboles y sus epifitas pueden interceptar horizontalmente la niebla en movimiento, lo cual aporta y constituye una fuente significativa de agua adicional que se suma a la precipitación vertical (Bruijnzeel, L.A. y Hamilton, L.S, 2000). En este contexto, Bruijnzeel y Hamilton (2000) indican que “la captación de agua desde el suelo por parte de los árboles cuyas hojas son humedecidas por la lluvia o la niebla llega a detenerse, el uso general de agua de los bosques de neblina es típicamente mucho menor que la de los bosques ubicados ladera abajo”.

La infiltración se define como el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares (Aparicio, 1992).

3.4 Modelación hidrológica

Se puede definir un modelo hidrológico como “una representación simplificada del mundo real, que permite tener idea de lo que ocurre bajo ciertas circunstancias” (Pascual y Días, 2016). Los modelos aplicados a diversas áreas de la ciencia han conllevado un gran desarrollo, su utilización se ha consolidado y su aplicación en el estudio de la hidrología no es una excepción.

A grandes rasgos, un modelo hidrológico “busca representar los diferentes procesos involucrados en la distribución de la lluvia y la generación de caudales en una determinada cuenca” (Weber y Baigorri, 2019).

La modelación hidrológica es una importante herramienta para comprender el funcionamiento y comportamiento de los distintos componentes del ciclo hidrológico (Cabrera, 2015), este mismo autor señala que se pueden utilizar como herramienta para la gestión y planeamiento, para una mayor comprensión del rol de los componentes del ciclo hidrológico en una determinada cuenca, para extrapolar potenciales condiciones futuras a partir de condiciones actuales, como base para la modelación de otros procesos, como la calidad de agua, erosión, entre otros usos. Se han creado una gran cantidad de modelos diferentes, asimismo, estos se pueden clasificar de diversas maneras; para el caso de estudio se va a implementar el modelo "Soil and Water Assessment Tool" (SWAT, siglas en inglés).

3.4.1 Modelo SWAT

El modelo "Soil and Water Assessment Tool" (SWAT, siglas en inglés), el cual se puede clasificar como un modelo de transporte (Pascual, Juan y Días, Mario, 2016). Con este tipo de modelos es posible la "estimación de las cargas de sustancias que pueden ser arrastradas por los flujos" (Pascual, Juan y Días, Mario, 2016).

El modelo SWAT fue desarrollado por Jeff Arnold para el Departamento Agrícola de los Estados Unidos (USDA, siglas en inglés) para predecir el impacto de las prácticas de manejo del suelo en el agua, el sedimento y producción de sustancias agrícolas químicas en cuencas grandes y complejas con variedad de suelos, usos de tierra y condiciones de manejo en un prolongado período de tiempo (Neitsch, S.L. et. al., 2015).

SWAT es un modelo de base física, es decir, no incorpora ecuaciones de regresión para la descripción de relación entre variables de entrada y de salida, este utiliza datos concretos sobre clima, propiedades de suelo, topografía, vegetación y prácticas de manejo de la tierra en las cuencas de estudio (Weber y Baigorri, 2019; Neitsch, S.L. et. al., 2015).

3.5 Gestión de cuencas y manejo integrado de recurso hídrico

Tomar en cuenta la cuenca hidrográfica como unidad de planificación deriva de la consideración del recurso hídrico como elemento integrador de todas las actividades dentro de este espacio territorial (Jiménez, 2021; Kammerbauer, Hans et. al. 2010); la cuenca "es reconocida como la unidad territorial más adecuada para la gestión integrada de los recursos hídricos" (Dourojeanni, 2002). Aunado a la cuenca como elemento integrador, se sugiere considerar la noción de gestión integrada del recurso hídrico (GIRH) como constructo conceptual que oriente dicha gestión (Dourojeanni, 2002).

Según es considerada actualmente, la GIRH ha evolucionado aproximadamente desde mediados del siglo pasado, en 1977 la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua aprobaría una resolución para la promoción de este concepto (OMM, 2011) y con la "Declaración de Dublín sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible" de 1992, se impulsaría este paradigma.

El primer principio de dicha declaración es interpretado como un llamado inicial por la gestión integrada del recurso hídrico (OMM, 2011; Davie, 2008),⁹ “El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente. Dado que el agua es indispensable para la vida, la gestión eficaz e los recursos hídricos requiere un enfoque integrado que concilie el desarrollo económico y social y la protección de los ecosistemas naturales. La gestión eficaz establece una relación entre el uso del suelo y el aprovechamiento del agua en la totalidad de una cuenca hidrológica o un acuífero.” (CIAMA, 1992).

Adicionalmente, los otros tres principios adicionales presentes en la Declaración de Dublín enfatizan en relación con un planteamiento basado en la participación, el papel de la mujer en el abastecimiento, gestión y protección del agua y el reconocimiento del valor del agua y como un bien económico (CIAMA, 1992).

La gestión de recurso hídrico según cuenca hidrográfica se puede entender entonces como “la gestión de las intervenciones, que los seres humanos realizan en una cuenca y sobre el agua captada por la misma, con el fin de conciliar metas económicas, sociales y ambientales que permitan mejorar la calidad de vida de todos los seres humanos que dependen del uso de su territorio y sus recursos, así como minimizar los conflictos entre los interventores y con el ambiente” (Dourojeanni, 2009).

3.6 Gestión comunitaria del agua y ASADAS

Una característica muy importante en Costa Rica es la gran importancia que tiene la gestión comunitaria del agua. El tipo de gestión del agua en el país ha experimentado grandes cambios a través del tiempo, pero siempre ha estado anclada en la participación propiamente de las comunidades y “su” recurso hídrico.

La principal entidad que asume esta gestión en la actualidad son las denominadas Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS),¹⁰ estas son asociaciones “que surge(n) de un acuerdo entre varios (as) vecinos (as), que ponen en común y de manera permanente, sus conocimientos y/o actividades para cooperar en la administración, mantenimiento, operación y desarrollo de un acueducto comunal, convirtiéndose en una organización privada prestataria de un servicio público, por delegación del AyA, sin fines de lucro, regidas por la Ley de Asociaciones No. 218” (AYA, 2019).

El artículo 2 en su inciso g de la Ley Constitutiva del AyA, Ley N°2726 de 1961, es el que permite la existencia de estas organizaciones comunitarias. En la actualidad la prestación del servicio se realiza por medio de la delegación del servicio en los denominados “Convenios de Delegación”.

⁹ Se debe indicar que este principio no representó una ruptura, desde mediados de siglo pasado muchos países ya habían incorporado la gestión integrada en el manejo del recurso hídrico, para ampliar sobre esto ver: OMM, 2011.

¹⁰ Si bien la ASADA es la organización comunitaria legalmente establecida para brindar servicio de abastecimiento de agua potable, existen al menos otras cuatro figuras que también lo hacen: Asociaciones de Desarrollo Indígenas, Asociaciones de Desarrollo Específico y Comités Administradores de Acueductos Rurales (Martines, 2021). De 1401 organizaciones comunitarias identificadas, 1256 corresponden a ASADAS, lo representa el 89.7% (Ídem).

La actividad de una ASADA implica el desarrollo de una diversa cantidad de tareas que se pueden subdividir en gestión organizativa, gestión legal, gestión administrativa, gestión operativa, gestión financiera, gestión comercial, gestión de riesgo y gestión socioambiental (AyA, 2019). Este trabajo se centra, principalmente, en el análisis de la gestión socioambiental de estos operadores, no obstante, se anticipará la interrelación entre cada una de las otras áreas.

La gestión socioambiental de una ASADA debe estar dirigida al resguardo del agua de las comunidades, con el fin de realizar un aprovechamiento sustentable que asegure la disponibilidad actual y futura del recurso. Lo anterior implica el mantenimiento de los manantiales captados, la vigilancia sanitaria con base en análisis periódicos de muestras de agua según cumplimiento de parámetros establecidos por ley, vigilancia de las zonas de protección y áreas de recarga, educación ambiental de las comunidades abastecidas, entre otros aspectos (AyA, 2019).

3.7 Caracterización biofísica de cuencas hidrográficas

Dentro del ciclo de cogestión de cuencas hidrográficas (Jiménez, 2021), un aspecto clave a desarrollar consiste en la caracterización biofísica y socioeconómica del territorio en análisis, este insumo representa un componente central de este ciclo. Como se indicó anteriormente, la presente indagatoria se va central en la caracterización biofísica de manantiales.

Expresa Jiménez (2021) que la caracterización "es un inventario detallado de los recursos y las condiciones biofísicas, socioeconómicas y ambientales de la cuenca y sus interrelaciones. La caracterización está dirigida fundamentalmente a cuantificar las variables que determinan los atributos de la cuenca con sus recursos naturales, el ambiente y las condiciones socioeconómicas de las comunidades que la habitan".

Este mismo autor refiere que la caracterización está orientada a tres aspectos principales: "describir y tipificar las características principales de la cuenca o territorio; constituye información base para definir y cuantificar el conjunto de indicadores que servirán de línea base para el seguimiento, monitoreo y evaluación de resultados e impactos de los planes, programas o proyectos de manejo y gestión de cuencas; además, es la base del diagnóstico, donde se identifican y priorizan los principales problemas de la cuenca" (Jiménez, 2021).

En lo que respecta específicamente a la caracterización biofísica, para su construcción se consideran datos relacionados con variables climáticas, hidrología, fisiografía, topografía y pendiente, geología, suelos, erosión; uso actual, capacidad de uso y conflictos de uso; amenazas naturales, zonas de vida, biodiversidad, recursos estratégicos, entre otros.

3.8 Metodología para definir áreas de recarga acuífera

La definición de las áreas de recarga acuífera (ARA) comporta una importancia esencial para las ASADAS con el fin de asegurar el abastecimiento de agua potable actual y futuro de sus poblaciones (Matus et. al. 2009). Tradicionalmente, la definición de las ARA se realiza mediante estudios hidrogeológicos, análisis isotópicos, trazadores o uso de sondas, sin embargo, su alto costo limita el acceso por parte de

entidades de escasos recursos como lo son las ASADAS, así como otras entidades de carácter local (Matus, 2007).

Considerando esta situación, se han desarrollado diversas metodologías¹¹ que, utilizando información meteorológica, de relieve, características edafológicas, información sobre uso de suelo, entre otras variables, permiten generar una definición de las ARA de una manera más accesible y a un menor costo para las organizaciones comunales gestoras de recurso hídrico (Matus, 2007; Matus et. al. 2009; Vásquez, 2008).

Cabe destacar, que su implementación permite la participación de las comunidades en el proceso de identificación de las ARA, lo que resulta en un beneficio adicional que deriva en el empoderamiento de estas en la protección de su recurso hídrico (Matus et. al. 2009; González, 2011).

Una de estas propuestas metodológicas es la desarrollada por Matus. Este autor propone una guía de diez pasos para la definición de ARA (Matus, 2007; Matus et. al. 2009), dentro de los que se enumeran: evaluación y definición de la zona de acción en la cual se va a aplicar la metodología; capacitación e involucramiento a diferentes actores; identificación de las fuentes de agua; primer acercamiento de ARA a partir del conocimiento de actores locales y los elementos de la metodología; evaluación de los elementos del modelo propuesto; determinación del potencial de recarga hídrica de zonas evaluadas; elaboración del mapa de ARA; caracterización de las zonas identificadas; propuesta de estrategias y acciones para el manejo de la ARA; difusión de resultados obtenidos del proceso.

Adicionalmente, otra opción posible para identificar y delimitar ARA, es hacer uso de la modelación hidrológica, es precisamente esta alternativa, a partir del robusto modelo SWAT, la que se va implementar como herramienta principal para la definición de dichas ARA de las nacientes en estudio. El modelo SWAT, con base en información meteorológica, de uso de suelo, y suelo permite identificar la capacidad de infiltración o nivel de percolación, lo cual ayuda en la definición de las ARA potenciales de fuentes específica o cuencas hidrográficas.

¹¹ Otras metodologías existentes que se pueden mencionar son: balance hídrico de Thornthwaite, balance hídrico de un ecosistema de Holdridge, método para determinar la recarga de agua subterránea (RAS), metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural (DARHN), cálculo de recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos de Gunther Schosinsky (Blanco, 2010). Para un ejemplo de la aplicación del método RAS ver: Blanco, 2010.

IV. METODOLOGÍA

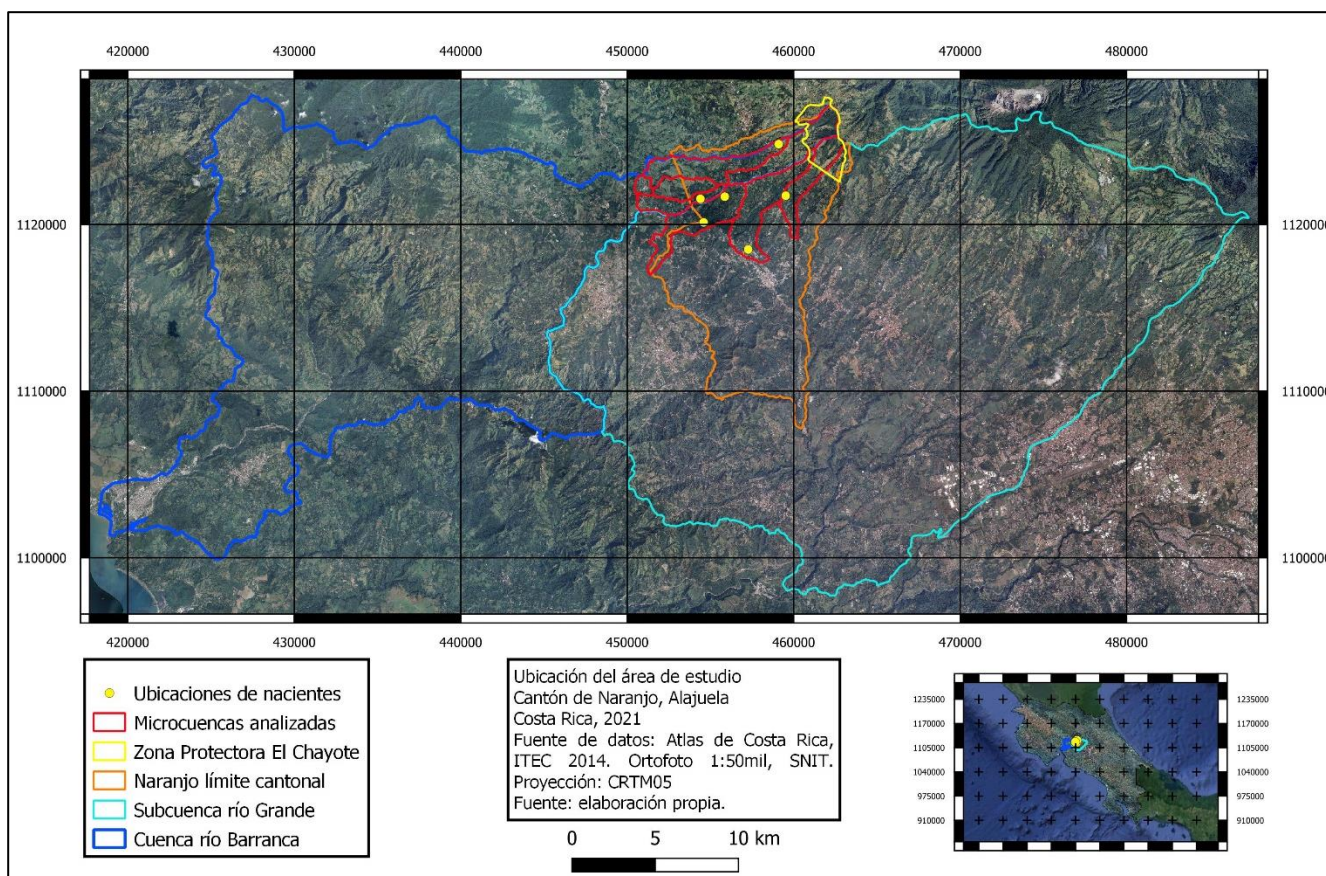
4.1 Ubicación

El área de estudio se circunscribe al territorio del cantón de Naranjo de Alajuela, la zona considera varias microcuencas que son parte de dos cuencas principales diferentes, estas son, parte alta de la cuenca del río Barranca y la subcuenca del río Grande (mapa 1)¹². En esta área, además, se ubican las nacientes de interés para el estudio, las cuales pertenecen a las siguientes ASADAS: Dulce Nombre, Concepción de San Ramón (cuyas nacientes se ubican en Naranjo), Guarumal, Cirrú, Llano Bonito y San Roque.

Un rasgo muy importante a resaltar sobre el área de estudio es que la cabecera desde donde se origina la red de drenaje de las microcuencas analizadas coincide con el área que comprende la Zona Protectora El Chayote¹³, esto, en la parte alta de las estas dos cuencas. En el mapa 1 se puede observar el área de estudio en detalle.

¹² La subcuenca del río Grande es una amplia área al oeste del país que, a su vez, forma parte de la cuenca del río Grande de Tárcoles, sus aguas se juntan con los caudales del Virilla y conforman el río Grande de Tárcoles. Es común que se confunda el río Grande como la cuenca del río Grande de Tárcoles, sin embargo, se subraya, que son dos unidades hidrográficas diferentes. En este trabajo se analizan microcuencas del río Grande ubicadas en la zona del cantón de Naranjo. Para una visualización de las cuencas hidrográficas de Costa Rica y las áreas que comprenden ver: ITEC, 2014; SINIGIRH, visor en línea: <https://mapas.da.go.cr/mapnew.php>.

¹³ La "zona protectora" es una de las categorías de manejo de las áreas silvestres protegidas de Costa Rica establecidas por la Ley de Biodiversidad (N° 7788) y su reglamento.



Mapa 1. Ubicación del área de estudio

4.2 Descripción del área de estudio

El cantón de Naranjo es un territorio de 126.9 km² (ITEC, 2014), se encuentra al occidente del Valle Central en la periferia de la GAM, Naranjo se ubica en cabecera de cuenca, además, en la parte alta de este cantón se sitúa la divisoria de aguas entre la vertiente Pacífica y Atlántica. Según datos del INEC, Naranjo tiene una población de 42713 habitantes distribuida en 8 distritos (INEC, 2011), de los cuales, el distrito central es el de mayor población.

Según análisis de datos de estaciones meteorológicas del AYA e ICAFE, el promedio de temperatura anual oscila entre los 17 y 24 grados centígrados, por su parte, los registros de precipitaciones varían entre los 2000 a 4000 milímetros anuales (ICAFE; ITEC, 2014).

El cantón de Naranjo es un territorio altamente intervenido por el crecimiento urbano y diversas actividades antropogénicas. Según datos de uso de suelo de SINIA (2020) (cuadro 1), se puede observar que en el cantón queda un remanente de cobertura boscosa de, únicamente, un 9.37% del total del territorio.¹⁴

¹⁴ Para contrastar datos anteriores, según ECOPLAN (2011), la cobertura boscosa en el cantón para el año 2011 era de un 15.82%.

Cuadro 1

Datos de uso de suelo del cantón de Naranjo, año 2020

Uso de suelo	Relativo
Cultivos anuales	1.42%
Cultivo permanente	17.47%
Pastos	10.44%
Bosque secundario	4.45%
Plantaciones forestales	0.45%
Bosque maduro	4.87%
Áreas urbanas	7.51%
Charral y tacotal	0.15%
Uso mixto	0.02%
Bosque - ráster de cobertura forestal	0.05%
Café	49.32%
Ríos	3.69%
Mosaico de cultivos (>50%) y vegetación natural (<50%) -ESA	0.14%
Mosaico de cultivos (<50%) y vegetación natural (>50%) -ESA	0.02%
Total	100%

Fuente: elaboración propia con base en SINIA, 2020.

En lo que respecta a las principales actividades económicas, el cantón, históricamente, se ha dedicado a la actividad cafetalera, asimismo, a la agricultura de diversos cultivos (tomate, caña, papa, hortalizas varias, otros); la actividad agrícola se realiza bajo técnicas convencionales intensivas en el uso de agroquímicos; en menor medida también se desarrollan actividades pecuarias como ganadería, avicultura y crianza de cerdos.

En los últimos años se observa una gran transición de propiedades con cafetales hacia el desarrollo de nuevos sitios urbanizados, lo que desemboca en la pérdida de importantes suelos de cultivo, invasión de áreas de protección de ríos, quebradas, nacientes y zonas de recarga hídrica, entre otras problemáticas.

Naranjo no cuenta con ningún instrumento de planificación territorial, la propuesta de plan regulador no ha sido aprobado y son tres administraciones municipales distintas las que han dejado relegada la aprobación y puesta en práctica de esta herramienta. Derivado de esto, el crecimiento urbano se caracteriza por ser desordenado, presenta situaciones de usos inconformes, sobre uso crítico, construcciones ilegales en APH, zonas de alta pendiente, entre otras situaciones propias de un municipio sin ordenamiento territorial (SETENA, 2013).

Más recientemente, sin embargo, el cantón, a través del municipio, ha participado en otro tipo de iniciativas relacionadas con el cumplimiento de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), de esta manera, es parte de la denominada "Red de Cantones Promotores de los ODS" (MIDEPLAN, 2022); asimismo, es parte del proyecto "NAP Readiness Costa Rica – ONU Medio Ambiente" que consiste en apoyar la integración de estrategias de adaptación al cambio climático en los procesos de planificación (Fundecooperación, 2021).

4.3 Procedimiento metodológico

4.3.1 1. **Determinar las áreas de protección hídrica según normativa vigente y las áreas de recarga acuífera potenciales de las nacientes en análisis mediante modelación hidrológica y análisis geoespacial para su caracterización biofísica.**

La primera actividad por realizar es la georreferenciación de las nacientes a analizar, para esto se realizarán visitas de campo con personeros de las ASADAS y se utilizarán los datos existentes de la DA del MINAE. Si bien este podría parecer un aspecto muy básico y elemental, en todos los casos se realiza una revisión de la información disponible en la DA para verificar que los registros sean correctos pues, como ya se indicó previamente, se han encontrado varios expedientes de la DA cuya información es errónea tanto para tipo de fuente como con respecto a la ubicación. Para la georreferenciación se utilizará un equipo Garmin GPSMAP60CS y se ajustarán las ubicaciones utilizando ortofotos del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT) y otras fuentes de imágenes satelitales.

Una vez establecidas y revisadas las coordenadas de los manantiales, con la utilización del software QGIS se realizarán mapas de cada naciente con la demarcación de los polígonos de las APH según radio de 100 y 200 metros alrededor de cada una de las nacientes.

Para determinar las áreas de recarga acuífera potenciales, en vista de que no hay información existente que señale estos sitios, se correrá una modelación hidrológica utilizando el software QSWAT en la interfaz de QGIS, para esto se utilizarán los siguientes tipos, fuentes de datos y parámetros:

Datos climáticos

El rango temporal de datos meteorológicos utiliza registros diarios desde el 1 de enero de 2001 hasta al 31 de diciembre 2019, la información del modelo presentado se obtiene de World Weather for Water Data Service (W3S)¹⁵. Se utilizan datos promedio de precipitación diaria, temperatura diaria máxima, temperatura diaria mínima. La selección de esta fuente se hace debido a que presenta la serie de datos más reciente, es un rango de 18 años en total, la ubicación de la estación es favorable y las comparaciones con otros datos arroja un resultado muy consistente con respecto a los valores observados.

Adicionalmente, existen tres fuentes de información climática consultadas y utilizadas como referencia y punto de comparación: a) base de datos climáticos de SWAT, b) The Prediction of Worldwide Energy Resource de la NASA (POWER), c) información de estaciones meteorológicas suministrada por el AYA. Los registros, además, fueron contrastados con promedios medidos por una estación de ICAFE,¹⁶ así como con promedios registrados del IMN (ITEC, 2014), esto con el fin de que los datos se ajusten a los registros de la zona de estudio.

¹⁵ Datos disponibles para consulta y descarga en línea: <https://www.uoquelpa.ca/watershed/w3s/>.

¹⁶ Estación Naranjo de Alajuela, Valle Occidental, coordenadas 10.1077, -84.3836; disponible en: <http://www.icafe.cr/sector-cafetalero/clima/?zona=VCO>

Todos los datos climáticos obtenidos de las fuentes anteriores se procesaron para correr diferentes versiones del modelo (20 en total), como se indicó, esto se hace para obtener la mayor precisión posible de las salidas de la simulación e identificar los datos más confiables a utilizar para el modelo final. Se debe mencionar que esta es una medida tomada debido a la enorme dificultad que existe para acceder a datos meteorológicos de estaciones de IMN, ICE e ICAFE. En algunas de estas entidades se empezó a gestionar las solicitudes desde octubre del 2021 y a la fecha de finalización del documento no se ha tenido ninguna respuesta.

Datos de uso de suelo

Se utilizó un ráster de cobertura de con datos del año 2020 (SINIA, 2020). El mismo se procesa para abarcar el espacio del área de estudio, las categorías se revisaron para que reflejen el uso de suelo actual, así, por ejemplo, se observó que gran parte de las áreas identificadas como cultivos permanentes corresponden a cafetales por lo que se realizaron los ajustes respectivos. El tamaño de pixel de la capa utilizada es de 12.5mx12.5m.

Datos de suelo

La base de datos del modelo se construyó fundamentada en la información de suelo del CIA-UCR (CIA, 2016). Para cada suborden de suelo identificada se calcularon valores de albedo, factor de erosionabilidad, densidad aparente, conductividad hidráulica, agua disponible, en algunos casos se completaron los datos de textura, para esto se utilizó el programa "Soil Water Characteristics" de la herramienta SPAW de la USDA. También se determinó el grupo hidrológico con el software NunCur de la Universidad de Valladolid.

Datos de relieve

Se procesó un MED del área de estudio con una resolución 12.5mx12.5m, se obtuvo de imágenes de NASA's Earth Science Data Systems.

Otros parámetros

La simulación se configura con cuatro años de calentamiento del modelo. La interfaz de SWAT permite seleccionar tres métodos distintos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, debido a que se cuenta con datos de precipitación y temperatura, se seleccionó el método de Hargreaves. La definición de las unidades de respuesta hidrológica (HRU, siglas en inglés) en QSWAT se generaron sin aplicar algún filtro por tamaño específico o cantidad de HRUs, es decir, el cálculo se hizo para todas las HRUs identificadas por el modelo.

Una decisión metodológica de relevancia que se toma es la de generar una modelación que comprende tanto la cuenca del río Barranca como la subcuenca del río Grande, esto es posible gracias a dos factores, el primero, que dichas cuencas son vecinas, es decir, se ubica una contiguo a la otra (ver mapa 1); el segundo, la flexibilidad de la interfaz de SWAT, la cual, permite generar la simulación marcando múltiples y diferentes "sitios de salida" para cada cuenca; de esta manera, aunque inicialmente se iba

proceder a realizar una modelación separada, posterior a un ensayo previo, se precedió a generar el modelo incluyendo ambas cuencas. Se subraya, entonces, que, si se hubiese generado el modelo de manera independiente para cada cuenca, el resultado generado sería el mismo.

Otro aspecto metodológico relevante a considerar es que se optó por realizar una modelación de un área más amplia que la que correspondería a las microcuencas donde se ubican las nacientes, esto, se justifica en la necesidad de obtener una imagen de mayor tamaño que permita mostrar el contexto en el que se sitúa el área de estudio (ver anexo 10, mapa 12), lo que, además, brinda mayor certeza sobre los resultados, pues se pueden comparar los valores de distintas áreas.

Calibración y evaluación del modelo

La calibración y evaluación del modelo se realizó con base en datos observados de caudales de las estaciones hidrológicas del AYA en diferentes sitios de la zona de estudio.¹⁷ Como fue señalado arriba, para contrastar diferencias con respecto a los datos climáticos y de caudales utilizados se hicieron al menos 20 simulaciones utilizando las diferentes versiones de bases de datos de información meteorológica arriba mencionadas para lograr definir los datos climáticos más aproximados a los valores similares a los observados, una vez definida la fuente de los datos climáticos, la calibración se hizo de manera manual con la misma herramienta de la interfaz de SWAT.

En relación con la caracterización biofísica de las áreas de protección hídrica y áreas de recarga acuífera potenciales, se realizaron visitas de campo con personeros de las ASADAS a las nacientes seleccionadas, se levantó una ficha de inspección (ver ficha 1 en anexo 2) donde se registraron datos generales de los terrenos inmediatos de las nacientes, las APH (radio de 100 y 200 metros), así como de las zonas circundantes de las APH, aspectos sobre uso de suelo, propiedad de terrenos, estado de cobertura boscosa, existencia de residuos, entre otros.

En lo que respecta a las ARA de las nacientes se aplicó la ficha 2 (ver anexo 2), que aborda aspectos relacionados con el estado actual de estas áreas, presencia de actividades económicas, cobertura boscosa infraestructura, acciones implementadas por las ASADAS, entre otros, para detallar los datos necesarios para su caracterización. Los resultados recabados por la ficha 1 y 2 fueron tabulados para un análisis estadístico posterior y visualizar de una mejor manera los hallazgos obtenidos.

4.3.2 Caracterizar las capacidades de gestión para la conservación del recurso hídrico de los operadores de acueducto.

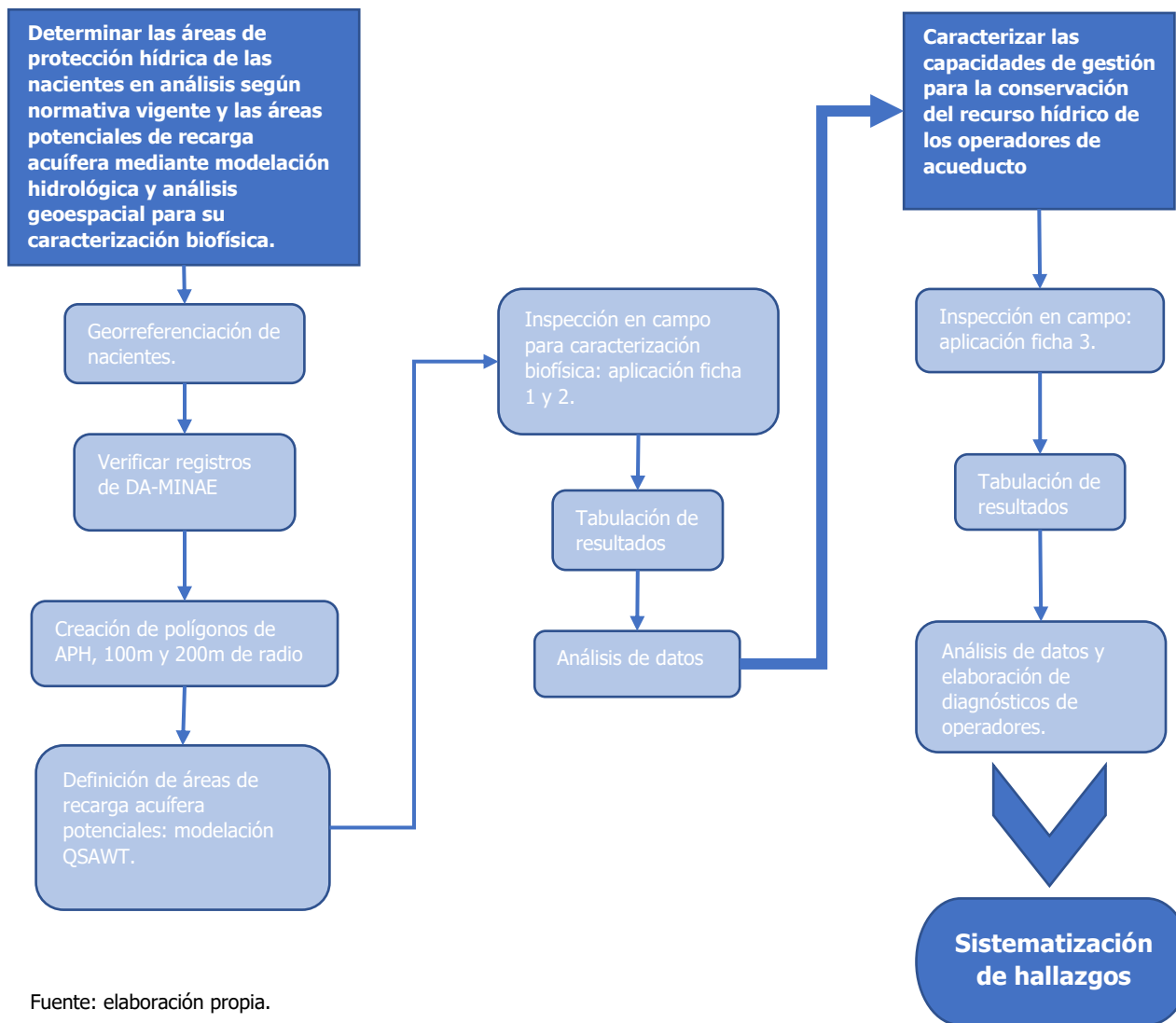
El análisis de estos aspectos de carácter cualitativo relacionados con las capacidades de gestión para la conservación del recurso hídrico de los operadores de acueducto se realizó con base en la aplicación de los temas listados en el instrumento número 3 (ficha 3, anexo 2).

Los aspectos seleccionados se derivan de la revisión de las obligaciones de las ASADAS establecidas en la legislación nacional, algunos de los textos legales son, por ejemplo: Reglamento de Prestación de

¹⁷ En el anexo 5 se muestran los datos de identificación de cada estación hidrológica utilizada.

Servicios de AYA, Reglamento técnico de Prestación de Servicios de ARESEP, Reglamento sobre la Calidad de Agua Potable del MINSA, Ley de Aguas, Ley Forestal, Manual de Procedimientos de la categoría entes operadores del programa Sello Calidad Sanitaria del AyA, entre otros.

La información recabada se tabuló y constituye el insumo para generar un diagnóstico de las capacidades de gestión de los entes operadores.



Fuente: elaboración propia.

Figura 1. Flujograma de la propuesta metodológica

PRINCIPALES RESULTADOS

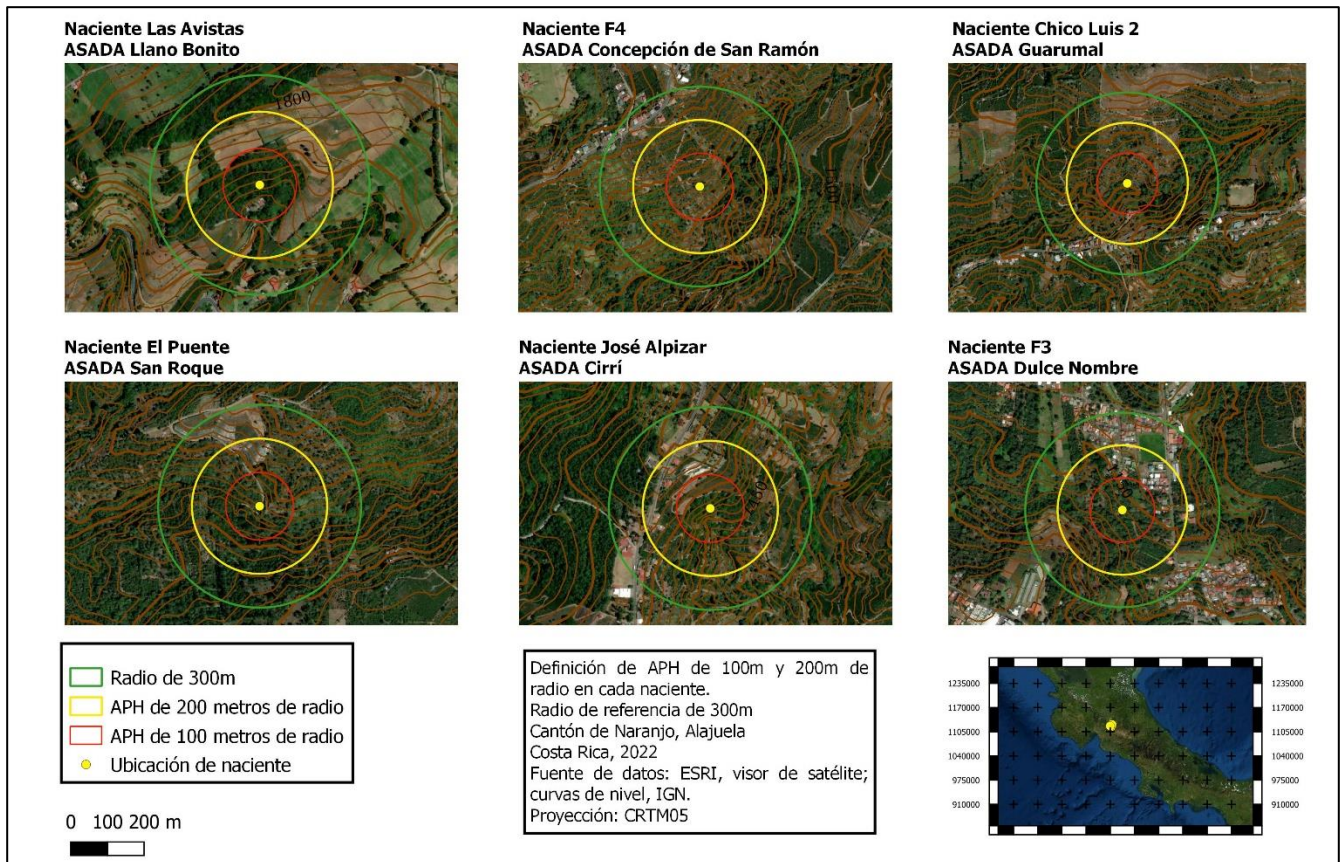
CAPITULO I. DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE PROTECCIÓN HÍDRICA (APH) SEGÚN NORMATIVA VIGENTE Y ÁREAS DE RECARGA ACUÍFERA (ARA) POTENCIALES DE NACIENTES EN ANÁLISIS MEDIANTE MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y ANÁLISIS GEOESPACIAL PARA SU CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA.

Identificación de las áreas de protección hídrica (APH) según legislación nacional

Según la inspección de campo, se procedió a realizar una georreferenciación de las ubicaciones de las nacientes seleccionadas¹⁸. Con base en las coordenadas obtenidas y utilizando el software QGIS se delimitaron las APH de los manantiales según legislación nacional vigente. Se reitera que esta verificación, aunque podría parecer algo muy elemental, es un aspecto central, debido a que se han detectado múltiples errores en el registro de nacientes de la DA y, para los efectos de este trabajo, se requieren precisión en los datos, más adelante se amplía sobre esta situación y se explican las implicaciones que esto conlleva.

En el mapa 2 se pueden observar las ubicaciones de las nacientes, así como la delimitación de las APH de 100 y 200 metros de radio establecidas por Ley Forestal y Ley de Aguas. Se generó un radio de 300 metros adicional para obtener una referencia en relación con la presencia de estructuras, cultivos y otros usos alrededor de cada manantial. Para facilitar la interpretación del sitio se incluyen curvas de nivel cada 10m.

¹⁸ En el anexo 3 se pueden consultar las coordenadas de cada nacimiento.



Mapa 2. Definición de áreas de protección de nacientes según radios de ley

Conforme a lo que se puede observar en las imágenes anteriores (mapa 2) y, como fue señalado arriba, fue constatado en visitas de campo, existe una invasión muy significativa tanto en el APH de 100 metros como en la de 200 metros de todas las nacientes. La que menor intervención tiene es el APH de 100 metros de la fuente de la ASADA de Llano Bonito que presenta una cobertura boscosa muy buena (mapa 2).

Las demás nacientes tienen presencia de diferentes cultivos; en todo el cantón de Naranjo, así como en las APH revisadas, predomina el cultivo de café. Otro aspecto que sobresale de la imagen anterior es que la nacimiento de la ASADA de Dulce Nombre es la que mayor invasión de uso urbano presenta dentro de su APH de 200 metros (mapa 2). En la siguiente sección se realiza un análisis más detallado sobre este tema.

Caracterización biofísica de las áreas de protección hídrica (APH) de 100 y 200 metros de radio establecidas por ley

Datos climáticos

La precipitación en la cabecera de las microcuencas en análisis oscila en un rango promedio anual entre los 3000mm y 4000mm;¹⁹ por otra parte, la zona donde se ubican las nacientes en estudio registra entre 2000mm y 3000mm de lluvia promedio al año.²⁰

Un rasgo muy importante a considerar sobre la zona de estudio es que, si bien las microcuencas se ubican en la vertiente pacífica, al estar situadas en la divisoria entre la vertiente atlántica y pacífica, la recarga de dicha zona proviene de precipitaciones que se forman de la humedad del atlántico y es dirigida por las corrientes de viento hacia la vertiente pacífica,²¹ siendo que las lluvias caen en la divisoria de aguas continental y gran parte de estas aguas discurren por las microcuencas en análisis hasta llegar al océano pacífico.

Tipo de suelo

Según se desprende de los datos disponibles del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (CIA, 2016), en los terrenos del APH de 200 metros de radio de todas las nacientes, el tipo de orden de suelo corresponde a Andisoles, los cuales, se caracterizan por una "alta porosidad total y de macroporos que ayudan a la formación de microagregados estables y a favorecer una alta velocidad de infiltración, baja densidad aparente, son susceptibles a la compactación por el pisoteo, animal y un elevado contenido de materia orgánica, lo cual puede reducir su densidad aparente y favorecer la retención de humedad" (Alvarado et. al. 2001, citado por Monge, 2020; ver, además, Alvarado, Alfredo et. al. 2014).

A nivel de microcuencas del territorio en análisis se ha determinado presencia de los siguientes subórdenes de suelo: Humults, Humults-Ustepts, Orthents, Udands, Ustands, Ustepts, Usterts, Ustults. Los de mayor prevalencia son los Ustands, con 52.57% del total de área analizada; seguidos de los Ustults que representan el 14.19%; Udands con un 9.94%; Humults con 6.93% (CIA, 2016).

Un rasgo importante a considerar señalado por Monge (2020), es que los suelos de la subcuenca del río Grande se clasifican como limos elásticos con plasticidades entre intermedia a extremadamente alta, donde la alta plasticidad se debe a la presencia de arcillas como la alofana, la cual, se caracteriza por el alto nivel de retención de agua (Monge, 2020).

Factor pendiente

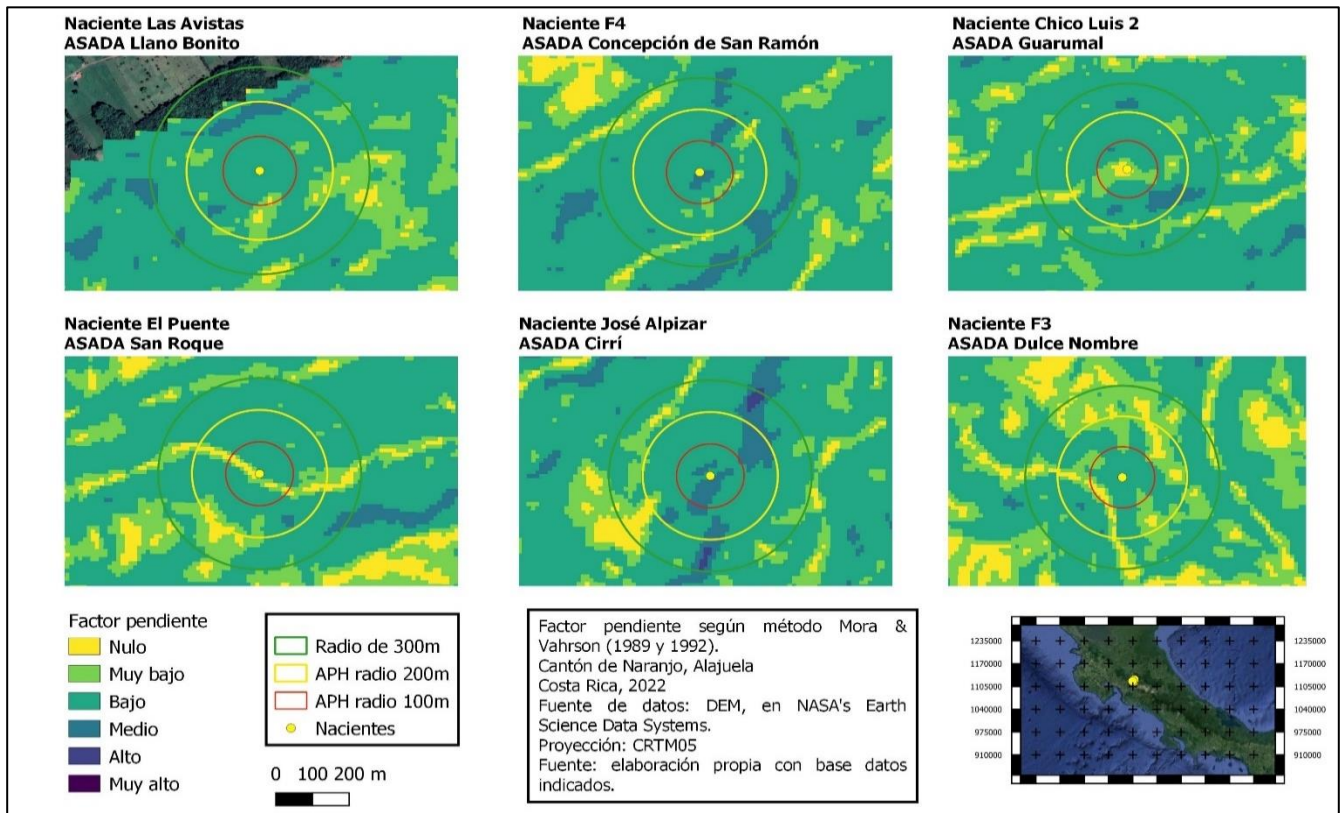
Con base en el método Mora & Vahrson (1989 y 1992) se realizó un análisis del factor de la pendiente para las ubicaciones de las nacientes y el radio de 200 metros del APH. Para esto se utilizó un MED con tamaño de pixel de 12.5mx12.5m. Según se puede apreciar en el mapa 3, los terrenos aledaños a las fuentes oscilan entre pendientes con factor entre "Muy bajo" a "Medio". Con base en este resultado, los

¹⁹ Análisis de datos con base en estaciones meteorológicas de AYA e ICAFE; además: ITEC, 2014; INEC, 2021.

²⁰ Ídem.

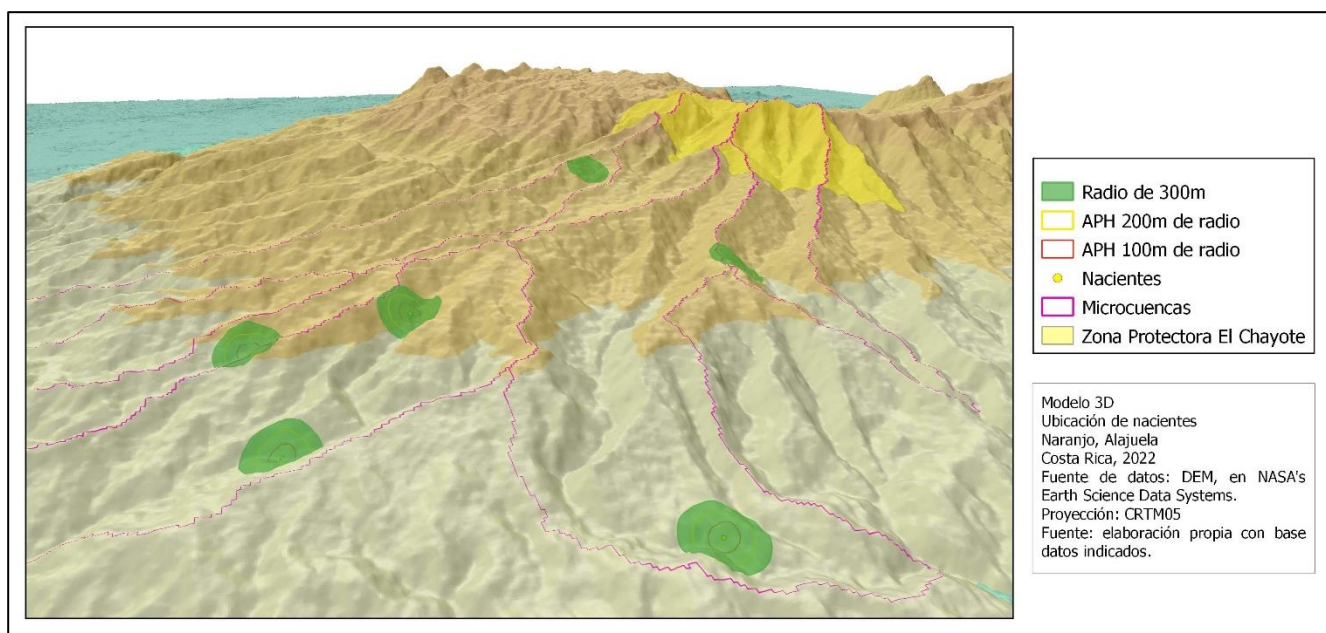
²¹ Esto puede ser verificado mediante imágenes satelitales, véase: CIRA/NOAA, "[GeoColor](#)" imagery. Monge (2020), con base en análisis de firmas isotópicas de muestras de agua, reafirma lo aquí indicado, su investigación brinda datos para el área cercana entre el Volcán Poas y el Volcán Barva, sitios de la misma cuenca del río Grande.

datos sugieren que las áreas inmediatas a los manantiales poseen un importante potencial con respecto a la capacidad de recarga hídrica dado su factor de pendiente.



Mapa 3. Factor pendiente según ubicación de nacimiento.

Para complementar lo anterior, en el mapa 4 se puede observar un modelo en 3D para visualizar el contexto topográfico en el que se encuentran las nacientes, este resulta muy útil para apreciar el grado de la pendiente, su posición con respecto a la parte superior de las cuencas, así como toda la red de drenaje que discurre desde la Zona Protectora El Chayote, en la parte alta de Naranjo, hacia el Pacífico.



Mapa 4. Modelo 3D de ubicación de nacientes

Como parte de los insumos para apoyar la caracterización biofísica de las APH de 100 y 200 metros de radio se realizaron visitas de campo a los sitios de cada una de las nacientes, para el levantamiento de la información se utilizó el instrumento de la ficha 1 (ver anexo 2). Para el almacenamiento de los datos se utilizó la aplicación "Epicollect5", del "Big Data Institute" de la Universidad de Oxford.

En el siguiente enlace se puede consultar toda la información recabada para cada ASADA y fuente seleccionada con base en la ficha 1: <https://five.epicollect.net/project/maestria>. Se generó, además, un archivo fotográfico sobre cada sitio, en el anexo 6 se pueden consultar algunas de las imágenes.

Un primer aspecto que se revisó responde a una verificación muy básica pero que reviste una importancia fundamental para la protección de las nacientes, esto es, comprobar el tipo de fuente y contrastar con la información existente en el expediente de la DA del MINAE, la cual, es la referencia oficial de registro para el país.²²

Según se desprende de la información del cuadro 2, si bien todas las ASADAS tienen las nacientes debidamente registradas ante la DA, cuatro de seis ASADAS no tienen correcta la información del expediente. Un aspecto que llama la atención se da con respecto a la identificación del "tipo de fuente", pues, si bien en todos los casos corresponden a nacientes, en el expediente de la DA se tienen las nacientes registradas como "río".²³

²² El nombre oficial asignado por la Dirección de Aguas es "Registro nacional de concesiones y aprovechamientos de agua".

²³ Es necesario mencionar que ninguna de las ASADAS analizadas cuenta con información 100% correcta sobre todas sus fuentes, en el cuadro 2 se muestra la situación para la naciente específica de cada ASADA en análisis.

Cuadro 2

Datos de fuentes según registro de la Dirección de Aguas del MINAE

ASADA	¿Están las fuentes inscritas ante el MINAE?	¿La información del registro en MINAE coincide con los datos de campo?	Tipo de datos erróneos identificados
Llano Bonito	Sí	No	Tipo de fuente indica río
Cirrí	Sí	No	Tipo de fuente indica río Ubicación inexacta
Concepción de San Ramón	Sí	Sí	No aplica. La ubicación no es exacta
Dulce Nombre	Sí	Sí	No aplica
Guarumal	Sí	No	Tipo de fuente indica río
San Roque	Sí	No	Tipo de fuente indica río

Fuente: elaboración propia con base en inspección de sitio.

La existencia de datos erróneos dentro del registro de nacientes de la DA es muy preocupante pues viene a minar la protección establecida por ley con base en el radio de protección de 100 y 200 metros, esto, debido a que los municipios revisan el registro de la DA para otorgar certificados de uso de suelo para nuevas construcciones y, a partir de este registro, emiten las restricciones sobre cada terreno, en el caso de los ríos o quebradas la legislación establece una protección entre los 10 y 50 metros (varía según tipo de pendiente aledaña al cuerpo de agua y tipo de zonificación rural/urbana, véase MINAE, 2020), lo cual, es significativamente menor al APH de las nacientes.

Como un ejercicio adicional de comprobación, se hizo una revisión aleatoria de otras nacientes utilizando el registro de la DA, se analizaron ubicaciones en todo el país, se revisaron también otras fuentes de ASADAS de Naranjo de las cuales se tiene conocimiento que son manantiales e igualmente fueron detectadas inconsistencias en los datos de registro, principalmente, como se mencionó, con respecto al tipo de fuente, donde al igual que los casos de estudio, las nacientes se registran erróneamente como "ríos" o "quebradas".

Para el cantón de Naranjo, se hizo un análisis más detallado con base en la capa de información geográfica sobre concesiones de la DA, en este caso, se identificaron 122 fuentes que corresponden a nacientes pero que se tienen registradas erróneamente como "ríos" o "quebradas".²⁴

Uso de suelo

En el cuadro 3, con base en las fuentes de datos disponibles, se detallan los usos de suelo predominantes dentro de las APH de las nacientes en estudio, los datos corresponden a las áreas

²⁴ En el anexo 4 se presenta la información indicada sobre estas nacientes.

agregadas de las seis nacientes, según sea, para el radio de 100m o para el radio de 200m. Como referencia, la suma total de las APH de 100 metros de radio corresponde a 18.75ha; por otra parte, la suma total de las APH de 200 metros de radio corresponde a 75.40. En principio, según la legislación nacional, y salvo excepciones relacionadas con la vigencia de las leyes (años 1942 y 1996) o la realización de estudios hidrogeológicos puntuales, todas estas áreas deberían poseer una importante cobertura boscosa, sin embargo, la situación actual es muy distinta.

El resultado presentado en el cuadro 3, muestra que predomina la presencia de cultivo de café, el cual abarca 53.92ha; seguido de pastos, con 5.93ha y cultivos anuales, con 5.42ha. Nótese la cantidad marginal que representa el bosque secundario, con sólo 4.47ha de las 75.40ha del total.²⁵

Cuadro 3

Tipo de uso dentro de áreas de protección hídrica de nacientes, radios 100 y 200m

Tipo de uso	Área según tipo de uso de suelo dentro de APH, radio 100 metros (hectáreas)	Cantidad de terreno según uso de suelo en APH, radio 200 metros (hectáreas)
1 Cultivos anuales	1.12	5.42
2 Café	13.07	53.92
3 Cultivo permanente	0	2.58
4 Pastos	2.84	5.93
6 Bosque secundario	0	4.47
10 Áreas Urbanas	0.86	2.92

Fuente: elaboración propia con base en información de SINIA (2020)

Los datos del cuadro anterior (3) son relevantes, porque se pueden utilizar para contrastar, el porcentaje aproximado de área invadida o con un uso distinto a la protección del recurso hídrico que establece la legislación nacional. Como se muestra en el cuadro 4, al menos un 94.91% de área dentro del APH del radio de 100 metros de las nacientes corresponde a usos de suelo diferentes a la protección de recurso hídrico, por otra parte, al menos un 99.79% de área dentro del APH del radio de 200 metros corresponde a usos de suelo diferentes a la protección de recurso hídrico.

Cuadro 4

Cantidad de área con uso de suelo diferente a protección de recurso hídrico

Detalle	APH Radio 100 metros	APH Radio 200 metros
Total de área que debería ser destinada a protección de recurso hídrico (absoluto)	18.85 ha	75.40 ha

²⁵ Más adelante se presentan resultados de cobertura que indican la existencia de una mayor área de bosque, el dato se obtuvo de las visitas de campo y se estimó con base en fotografías satelitales.

Detalle	APH Radio 100 metros	APH Radio 200 metros
Total de área con uso de suelo diferente a protección de recurso hídrico (absoluto)	17.89 ha	75.24 ha
Total de área con uso de suelo diferente a protección de recurso hídrico (relativo)	94.91%	99.79%

Nota: las cifras presentadas corresponden a la suma total de las APH de las 6 nacientes seleccionadas en análisis. Como dato de referencia, para una sola naciente el APH de 100m de radio correspondería, aproximadamente, a 3.14 ha y el APH de 200m de radio sería equivalente a 12.56 ha.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos disponibles.

De las inspecciones de campo, se constata que todas las nacientes analizadas están ubicadas aguas abajo de sitios con actividad antropogénica, en todas se observa algún tipo de agricultura, como ya se mencionó, principalmente café; en la parte alta del cantón se identifican cultivos de papa y hortalizas varias.

Cabe señalar que el tipo de producción predominante en los sitios revisados es de carácter convencional, con utilización intensiva de agroquímicos y otras prácticas que degradan el suelo y el medio ambiente.²⁶ Asimismo, en todos los casos se observan casas de habitación e incluso centros de población; un aspecto a considerar en relación con esto, es que no hay tratamiento de aguas residuales, es muy común que estas aguas sean conducidas al alcantarillado fluvial, lo que resulta en altos grados de contaminación de los cuerpos de agua aledaños; asimismo, el uso generalizado de tanques sépticos en viviendas, donde el mantenimiento del sistema es inexistente, genera otro riesgo adicional de contaminación con materia fecal.

En el cuadro 5, se detallan las actividades antropogénicas ubicadas aguas arriba de las nacientes, estas fueron identificadas con las visitas de campo realizadas.

Cuadro 5

Actividades antropogénicas aguas arriba de las nacientes

ASADA	¿Está la naciente ubicada aguas abajo de caseríos, sitios de actividades agropecuarias, industrias o algún otro tipo de actividad económica?	Indicar actividades aguas arriba de la naciente
Llano Bonito	Sí	Parcelas agrícolas del INDER dedicadas al cultivo de papa, zanahoria, chiverre,

²⁶ Se estima que el uso promedio de uso aparente de plaguicidas en la agricultura del país entre el período del 2012 al año 2020 fue de 34.45 kilos por hectárea (PNUD, 2022). Para un amplio análisis sobre el uso de agroquímicos en Costa Rica y su impacto a nivel de salud de la población y personas trabajadoras, fiscal, de capital ambiental, entre otros, revisar: PNUD-Costa Rica, 2022a, 2022b, 2022c y 2022d; todos los informes están disponibles: <https://impactoplaguicidas.cr>.

ASADA	¿Está la naciente ubicada aguas abajo de caseríos, sitios de actividades agropecuarias, industrias o algún otro tipo de actividad económica?	Indicar actividades aguas arriba de la naciente
		cebolla, hortalizas. Además, potreros con ganado de leche.
Cirrí	Sí	Cafetales, micro beneficio de café, casas.
Concepción de San Ramón	Sí	Caseríos, fincas de café, una pequeña porqueriza, una pequeña lechería, una pulpería.
Dulce Nombre	Sí	Cafetales, casas de habitación (caserío de San Rafael de Naranjo), cancha de fútbol, comercio, otros.
Guarumal	Sí	Cultivos de café
San Roque	Sí	Cultivos de café y tomate; se observa tenencia de algunas cabezas de ganado. Se observan casas dispersas. Se tiene conocimiento de dos proyectos urbanísticos en trámite, uno de 18 casas otro de 27.

Visitas realizadas entre diciembre de 2021 y enero del 2022.

Fuente: elaboración propia con base en inspecciones de sitios.

De las 6 nacientes analizadas, únicamente, en una de estas, se da la situación que los terrenos son propiedad de la ASADA²⁷ (cuadro 6). Nótese, que en tanto que los terrenos son propiedad de terceros, no hay posibilidad real de desplazar usos de suelo como los referidos en el cuadro anterior (5) para poder dedicarlos a la conservación, esto, pese a que la legislación en relación con este tema es clara y su vigencia data del año 1942 y 1996; la situación es resultado de varios factores, por una parte, las instituciones competentes (SINAC, MINSA, DA, AYA, municipalidad) no tienen recursos y personal suficiente para resguardar estos terrenos; en el caso de los personeros de las ASADAS, no entran a exigir el respeto de las APH para “no tener conflictos” con los propietarios; en el caso de los propietarios, buscar obtener mayores réditos económicos del aprovechamiento de sus terrenos, de esta manera, invaden las APH para poder ampliar sus actividades económicas.

Cuadro 6

Propiedad de terrenos de las áreas de protección hídrica de las nacientes

ASADA	¿Los terrenos del APH son propiedad de la ASADA?	Observaciones
Llano Bonito	No	
Cirrí	No	

²⁷ Dicha ASADA compró parcialmente terrenos del APH, no adquirió la totalidad del área.

ASADA	¿Los terrenos del APH son propiedad de la ASADA?	Observaciones
Concepción de San Ramón	No	
Dulce Nombre	Sí, parcialmente	Se adquirió un terreno menor a las 12 ha que corresponden al área de protección establecida de ley con el radio de protección de 200m
Guarumal	No	
San Roque	No	El terreno donde se ubica la naciente es propiedad de la ASADA, sin embargo, sólo incluye terrenos a 5 metros sobre la naciente, dejando por fuera gran parte del AP.

Fuente: elaboración propia con base en inspección de sitio.

Muy relacionado con la presencia de actividades antropogénicas en zonas aledañas a las nacientes, está la situación que reflejan los resultados con respecto a la existencia de residuos dentro del APH, en cinco de los seis casos se detectó algún tipo de material de desecho, algo muy característico, es que predominan desechos de tipo doméstico y empaques de agroquímicos, en el cuadro 7 se detalla el resultado de la indagatoria.

Cuadro 7

Presencia de residuos dentro de áreas de protección hídrica de las nacientes

ASADA	Presencia de residuos, escombros, basura, otro, en el AP de la naciente	Tipo de residuo encontrado
Llano Bonito	Sí	Empaques de insumos agrícolas, botellas plásticas, latas de cerveza, cajetillas y colillas de cigarrillos, entre otros de carácter doméstico.
Cirrí	Sí	Basura de tipo doméstica, llantas.
Concepción de San Ramón	Sí	Se observan trozos de ropa desechada, cobertura de metal de un electrodoméstico y envases de agroquímicos.
Dulce Nombre	Sí	Empaques de agroquímicos, basura de tipo doméstica.
Guarumal	No	No aplica. Al momento de inspección no se observó, sin embargo, se indica que se han sacado residuos de tipo doméstico y empaques de agroquímicos.
San Roque	Sí	Se observan árboles cortados y ramas. Basura de tipo doméstica en caminos aledaños.

Fuente: elaboración propia con base en inspección de sitio.

En lo que respecta a demarcación o delimitación del APH de las nacientes establecido por ley, en ninguno de los casos se observa que las ASADAS tengan algún tipo de infraestructura erigida para este fin (cuadro 8), sean cercas, mojones, mallas perimetrales, entre otras; de esta manera, no hay forma de que terceras personas puedan identificar la existencia de una naciente de agua captada para consumo humano y su respectiva APH en los terrenos donde se ubican.

Cuadro 8

Existencia de demarcación dentro de áreas de protección hídrica de ley

ASADA	¿Está demarcada y delimitada el APH de la naciente?		Observaciones
	Radio de 100 metros	Radio de 200 metros	
Llano Bonito	No	No	
Cirrí	No	No	
Concepción de San Ramón	No	No	
Dulce Nombre	No	No	Tiene delimitada parcialmente el AP en un radio menor a 60m.
Guarumal	No	No	
San Roque	No	No	

Fuente: elaboración propia con base en inspección de sitio.

En relación con el tipo de captación utilizado por cada ASADA, se observó que todas utilizan tanque de captación de concreto, un aspecto a indicar es que sólo tres de las seis nacientes cumplen con la exigencia del MINSA de contar con una malla de cerramiento perimetral construida a su alrededor (cuadro 9). Esta situación es de especial atención ya que existe un acceso libre de parte de terceros a la captación, lo que genera un riesgo de que sean manipulados los componentes del sistema de acueducto, de contaminación, vandalismo, entre otros.

Cuadro 9

Naciente, tipo de captación y cerramiento perimetral

ASADA	Tipo de captación	Existencia de cerramiento de malla perimetral
Llano Bonito	Tanque de captación de concreto	No (en construcción)
Cirrí	Tanque de captación de concreto	No
Concepción de San Ramón	Tanque de captación de concreto	No
Dulce Nombre	Tanque de captación de concreto	Sí

ASADA	Tipo de captación	Existencia de cerramiento de malla perimetral
Guarumal	Tanque de captación de concreto	Sí
San Roque	Tanque de captación de concreto	Sí

Fuente: elaboración propia con base en inspección de sitio.

Como se mencionó anteriormente, se procedió a realizar un análisis geoespacial detallado de la cobertura boscosa de las nacientes, los datos generados visualizan una mayor cobertura que la identificada con la capa de uso de suelo utilizada. La verificación se hizo para el APH de 200 metros de radio de cada fuente²⁸, con base en inspección de campo y utilización de herramientas de análisis SIG.

El resultado obtenido indica que, únicamente, dos manantiales cuentan con cobertura forestal significativa, aunque no en toda el APH, estas son San Juanillo y Guarumal, las otras nacientes tienen escasa área con bosque, la más crítica es la de Concepción de San Ramón con un minúsculo parche de sólo un 0.79% del APH total alrededor de la naciente. En el siguiente cuadro (10) se detallan las coberturas aproximadas de cada naciente. Cabe destacar, que, si se considera la cobertura boscosa aguas arriba de la naciente, el área se reduce considerablemente para todas las nacientes.

Cuadro 10

Cobertura boscosa dentro de áreas de protección hídrica de las nacientes

ASADA	Área aproximada con cobertura forestal dentro de APH de 200 metros de radio (m²)	Porcentaje de cobertura con respecto a total de APH de 200 metros de radio	Predominan especies nativas de árboles	Se observan alguna especie exótica
Llano Bonito	47819.27	38.07%	Sí	Sí
Cirrí	7930.87	6.31%	Sí	Sí
Concepción de San Ramón	994.32	0.79%	Sí	Sí
Dulce Nombre	15089.32	12.01%	Sí	No
Guarumal	31922.34	25.42%	Sí	No
San Roque	23635.27	18.82%	Sí	Sí
Total	127391.39	^{a/} 17%	Sí	Sí

a/Este dato representa el porcentaje con respecto a la suma total de APH de 200 metros de radio que equivale a 75.4ha. Contrástese con datos del cuadro 3 (supra) cuya cantidad refleja un 4.47% de cobertura boscosa del APH de 200 metros de radio.

Fuente: elaboración propia con base en inspección de sitio y análisis con herramientas de SIG.

²⁸ Esta área equivale a 12.56 hectáreas.

En general, la cobertura boscosa en el área de las nacientes está compuesta, predominantemente, de especies de árboles nativos, sin embargo, en algunas APH hay presencia de cipreses y eucaliptos arcoíris de mediana o talla grande (ficha 1).

Un aspecto que se evaluó en este trabajo, que usualmente se deja de lado en relación con captaciones de nacientes para consumo humano, es la situación con respecto al resguardo de algún porcentaje para caudal ambiental.²⁹ Como fue posible constatar en las visitas realizadas, en ninguna de las 6 captaciones revisadas existe algún porcentaje de agua que se respete para este fin; asimismo, cuando se les consultó a los personeros de las ASADAS si en alguna de las otras nacientes de las que el acueducto tiene en operación había uso de esta figura, en todos los casos se indicó que no se respeta algún porcentaje de caudal ambiental.

A manera de síntesis, con base en la información recabada y el análisis realizado, se puede afirmar que la situación que caracteriza a todas las APH de las nacientes en estudio está definida por un gran impacto antropogénico, coberturas boscosas inexistentes o deficientes, presencia de diversos residuos de tipo doméstico y agropecuario, presencia de cultivos bajo un modelo de producción convencional; adicionalmente, no existe un respaldo institucional activo de parte de entidades que tienen competencias claras establecidas por ley relacionadas con el resguardo de APH de nacientes, dentro de las que se pueden mencionar, MINAE, SINAC, DA, MINSA, municipalidades, entre otras.

Identificación de áreas de recarga acuífera (ARA) potenciales y modelación SWAT

Como se indicó en la sección de metodología, para la identificación de las ARA potenciales se utilizó la modelación hidrológica con base en SWAT, se utiliza esta herramienta debido a la ausencia de información o estudios que definan estas áreas para las nacientes en estudio. Con los datos de las variables utilizadas se calculó los siguientes estadísticos (cuadro 11) que, en conjunto con los registros diarios, conforman la base de datos de clima del modelo:³⁰

Cuadro 11
Estadísticos calculados para variables meteorológicas

Nombre de estadístico en tabla SWAT	Descripción
TMPMX	Promedio mensual de la temperatura máxima diaria (°C)
TMPMN	Promedio mensual de la temperatura mínima diaria (°C)
TMPSTDMX	Desviación estándar mensual de la temperatura máxima diaria (°C)
TMPSTDMN	Desviación estándar mensual de la temperatura mínima diaria (°C)
PCPMM	Promedio mensual de la precipitación diaria (mm H ₂ O)

²⁹ Para una explicación sobre la metodología de caudal ambiental implementada en el país por la DA desde diciembre del año 2021, ver: Dirección de Aguas, 2021 y el Decreto Ejecutivo N° 43242-MINAE (La Gaceta N° 241, Alcance N° 255). Además: <https://www.youtube.com/watch?v=XhGxmQlrTTM>. Esta metodología aplica para todos los cuerpos de agua del país como ríos, quebradas y nacientes.

³⁰ Los cálculos de registros mayores a 5 años se realizaron con la herramienta "WGN Excel Macro", los registros menores a 5 años se realizaron de manera manual con excel y verificando otros datos con Pcpstat. Los ejecutables están disponibles en la página: <http://swat.tamu.edu/>. Estos cálculos se hacen dentro del proceso de verificación de datos climáticos que se mencionó previamente, donde existen diferencias en el rango de fechas registrado.

Nombre de estadístico en tabla SWAT	Descripción
PCPSTD	Desviación estándar mensual de la precipitación diaria (mm H ₂ O/día)
PCPSKW	Coefficiente de asimetría mensual de la precipitación diaria
PR_W1	Probabilidad mensual de ocurrencia de un día húmedo luego de un día seco
PR_W2	Probabilidad mensual de ocurrencia de un día húmedo luego de un día húmedo
PCPD	Promedio mensual del número de días de lluvia
RAINHHMX	Máxima lluvia de media hora por mes (mm H ₂ O)

Fuente: Ríos (2021).

Calibración del modelo

La calibración de la modelación se pudo lograr con base en datos de la cuenca del río Barranca, en el área del río Grande, lamentablemente, los datos de caudales registrados por el AYA no son representativos y no comparten el patrón observado en datos de precipitación y aforos de nacientes consultados, lo cual sugiere errores de medición pues no reflejan la realidad de los caudales de las fuentes donde fueron tomados, esto dio paso a que no se pudiera complementar la calibración con base en datos de esta otra subcuenca.³¹

Es importante indicar que la modelación se realizó para un área que incluye terrenos tanto de las microcuencas del río Barranca como de las subcuencas del río Grande. Esto, es posible, debido a la flexibilidad del modelo SWAT, el cual, permite insertar datos de las estaciones meteorológicas y, posteriormente, comparar caudales de cada una de las microcuencas modeladas por el software en los puntos de salida o aforo que se sitúan dentro de la programación del modelo, estos puntos de salida/aforo son los que brindan la diferenciación entre cuencas y estos sí deben responder a una ubicación que considere cada cuenca de manera independiente. Así, aunque se hubiese modelada cada una de las cuencas de manera separada (río Barranca y río Grande), los resultados serían los mismos.

Tomando en cuenta el resultado favorable de los estadísticos para la evaluación de la eficiencia del modelo, adicionalmente, se realizó un ajuste manual de acuerdo a las condiciones biofísicas particulares del terreno.

Asensios (2020) con base en Moriasi (Moriasi et al., 2007), expone un rango de valores de varios estadísticos para evaluar la eficiencia y calidad de la modelación, el rango va entre un nivel "insatisfactorio" a "muy bueno", según los valores que se obtengan del NSE, PBIAS y MSRE. Para este trabajo, se utilizó la propuesta de Asensios para realizar la evaluación del modelo, en el siguiente cuadro (12) se presenta en detalle los rangos sugeridos por este autor:

³¹ En el anexo 10 se puede observar un mapa con la ubicación de los sitios de aforos utilizados.

Cuadro 12

Valores sugeridos para evaluación de desempeño de la modelación

Eficiencia de ajuste	NSE	PBIAS	RMSE
Muy bueno	$NSE \geq 0.60$	$PBIAS \leq +/- 10$	$0 \leq RMSE \leq 0.50$
Bueno	$0.40 < NSE \leq 0.60$	$+/- 10 \leq PBIAS \leq +/- 15$	$0.50 < RMSE \leq 0.60$
Satisfactorio	$0.20 < NSE \leq 0.40$	$+/- 10 \leq PBIAS \leq +/- 25$	$0.60 < RMSE \leq 0.70$
Insatisfactorio	$NSE < 0.20$	$PBIAS > +/- 25$	$RMSE \geq 0.70$

Fuente: Asensios (2020).

Los valores obtenidos para el modelo presentado se exponen en el cuadro 13. Según lo propuesto por Asensios (2020) y los resultados obtenidos, el valor de NSE es "satisfactorio"; para PBIAS, "bueno"; por su parte, para el RMSE, "muy bueno". Adicionalmente, se calcularon los valores para R, R² y KGE (cuadro 13). En conjunto, estos resultados permiten informar con certeza sobre la precisión adecuada del modelo generado.

Cuadro 13

Resultados de estadísticos de performance

Datos comparados	NSE	PBIAS	RMSE	R	R ²	KGE
Estación hidrológica AYA #2 y datos de modelación de cuenca 89, datos W3S	0.30	10.79	0.43	0.71	0.51	0.66

Fuente: elaboración propia.

En el gráfico 1 se puede observar el comportamiento de los caudales observados y los que arrojó la simulación, como se desprende de este, los patrones de ambas series son bastante consistentes.

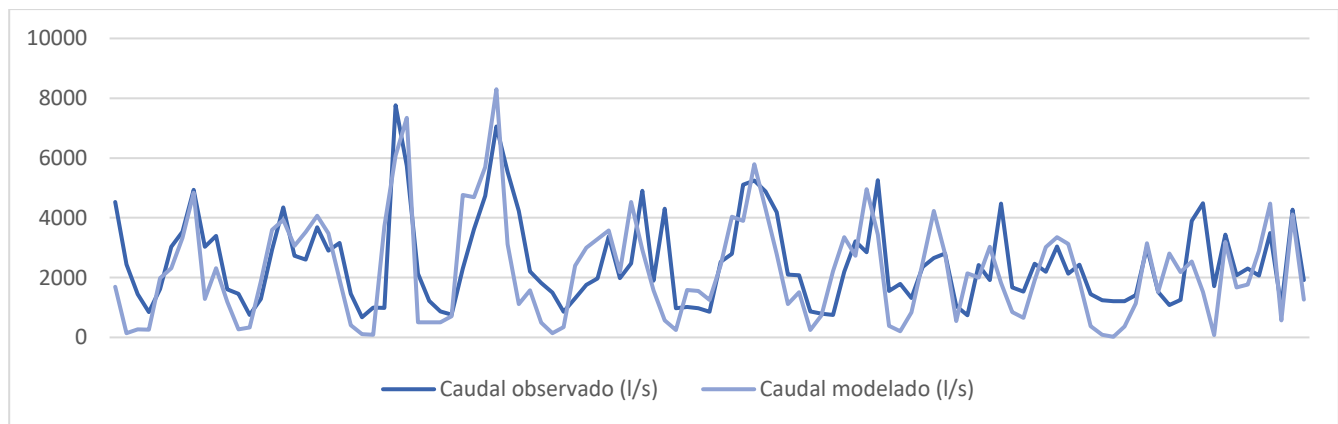


Gráfico 1. Comportamiento de caudal observado y modelado (l/s), río Barranca, estación AYA #2, litros por segundo (l/s)

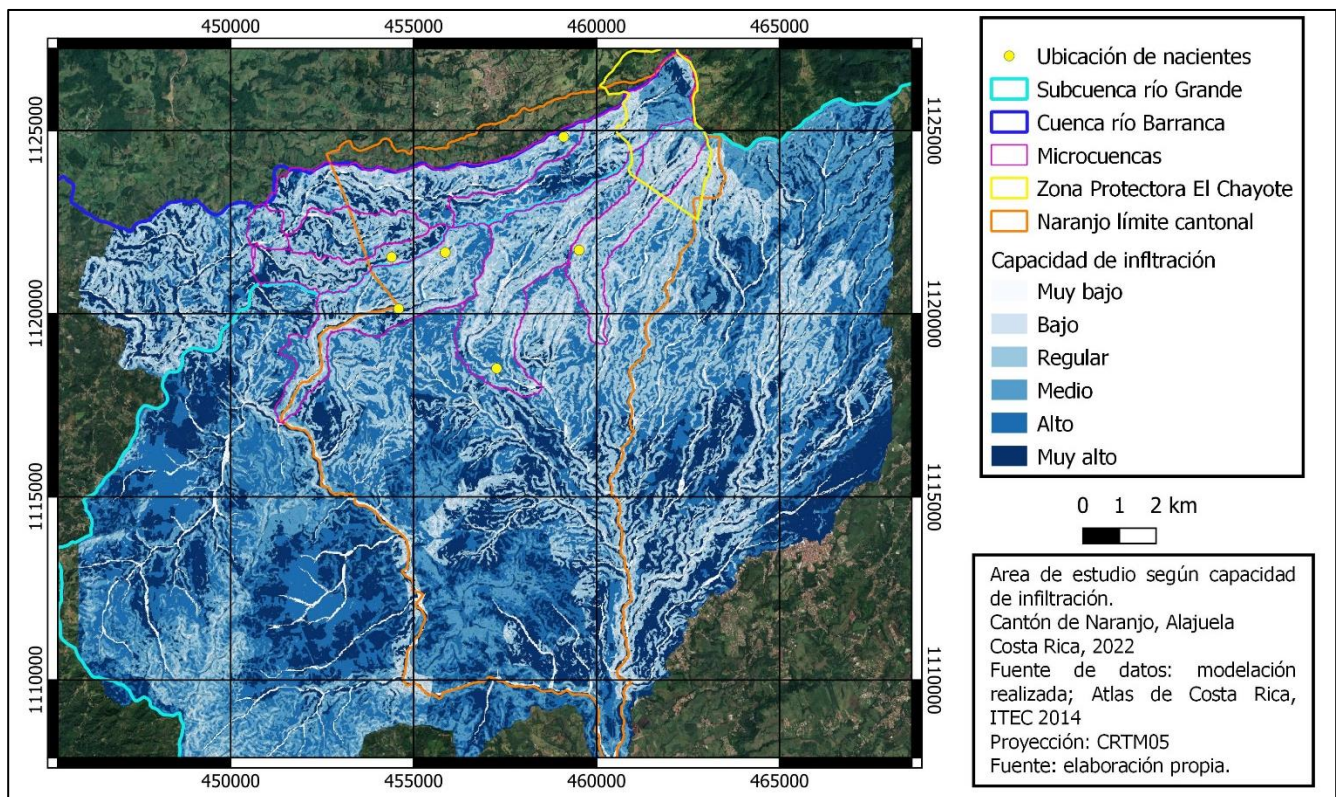
Fuente: elaboración propia.

Se debe resaltar que la calidad de los datos de caudales observados no es la más adecuada, ya que no hay datos diarios de todo el rango estudiado, hay muy pocos registros por año, los datos no se actualizan constantemente, entre otras limitaciones. Esta es una deficiencia a nivel país que, lamentablemente, se observa en muchas cuencas, lo que obstaculiza la investigación y el monitoreo efectivo del recurso

hídrico. Debido a esta situación, para este ejercicio, la comparación de caudales se realizó a partir del cálculo de promedios mensuales, pues, sólo de esta manera, se podía generar una imagen del comportamiento anual de los datos observados; asimismo, se descartaron datos de varios otros sitios de afloramientos debido a lo expresado. No obstante, según la información presentada en el cuadro 13 (supra), se pudo lograr una modelación consistente.

Discusión de resultados de la modelación hidrológica

En el mapa 5 es posible observar, a grandes rasgos, el resultado obtenido, este demuestra el nivel de percolación o capacidad de infiltración del suelo categorizado en 6 niveles. Según esta simulación, para el territorio del cantón de Naranjo, la parte alta, media-baja y baja, son las áreas donde se presenta un mayor nivel de percolación. Asimismo, según este resultado, para el caso de las nacientes en estudio, la zona alta de la cuenca del río Barranca, así como la subcuenca del río Grande, son las que tienen mayor relevancia como ARA potenciales.



Mapa 5. Área de estudio según capacidad de percolación

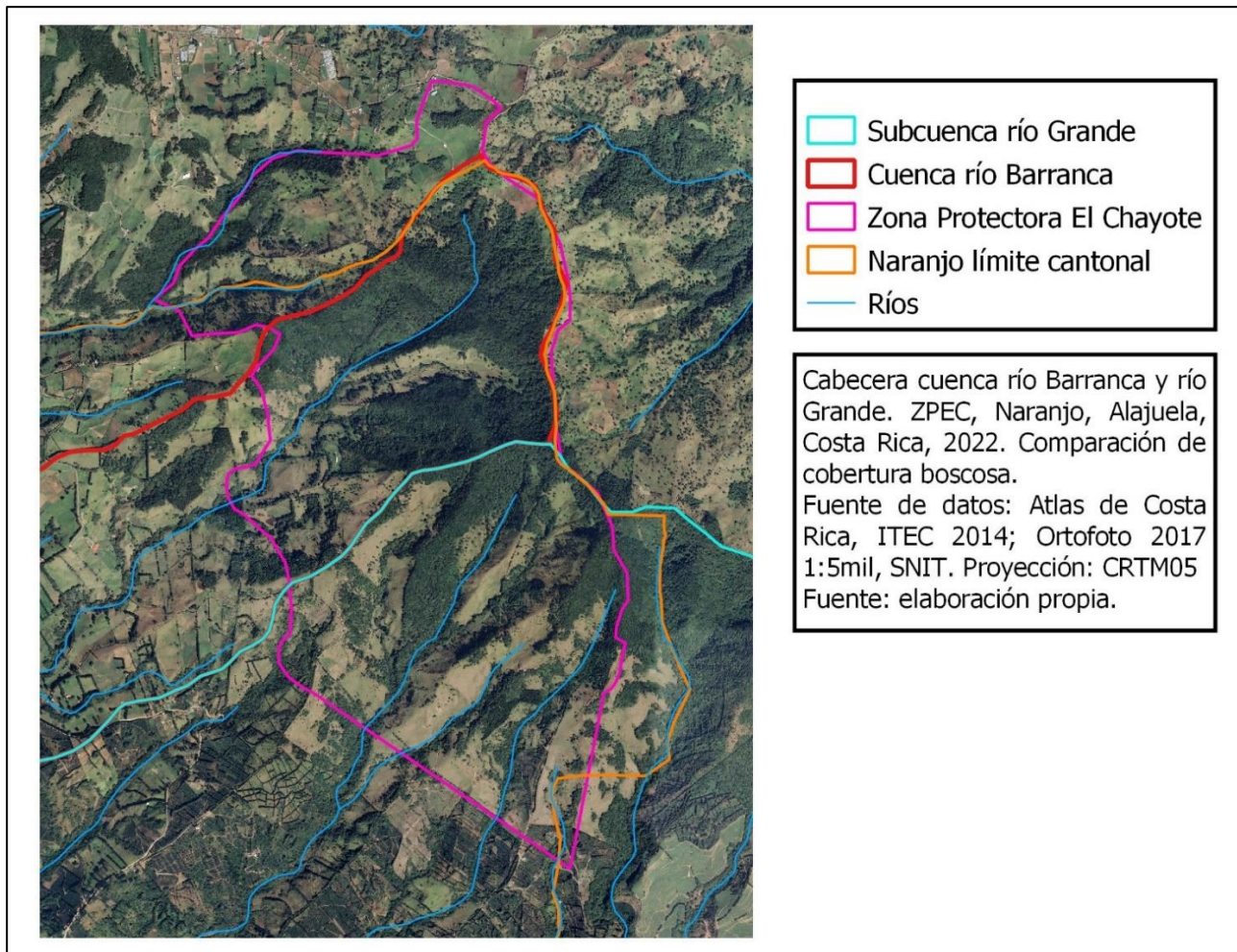
Un hallazgo muy importante que se debe resaltar es que el área de la Zona Protectora El Chayote (ZPEC) se identifica con una importancia sobresaliente como área de recarga acuífera, predominando zonas con valores de alta y muy alta capacidad de infiltración. Esto indica que dichos terrenos tienen una gran relevancia para el cantón de Naranjo y, claramente, se pueden señalar como áreas de recarga acuífera de las diferentes nacientes de agua y microcuencas del cantón, tanto de la cuenca alta del río Barranca, como de la zona de la subcuenca del río Grande. Sobre este aspecto, y conociendo las limitaciones que una modelación podría tener, se resalta, sin embargo, que los resultados aquí obtenidos son

consistentes con los datos que arroja el estudio de Monge (2020); la autora, cabe destacar, se basa en detallados análisis geofísicos mediante una variedad de técnicas hidrogeológicas; el trabajo de Monge, como se comenta más adelante, también brinda un sustento sólido sobre otros resultados propios obtenidos con la modelación aquí expuesta.³²

La interpretación del resultado de la modelación a partir de lo observado durante la inspección de sitio, indica que si se compara el nivel de infiltración dentro del área de estudio, se observa un contraste con las cabeceras de los ríos Barranca y Grande y los terrenos dentro de la ZPEC, según se puede ver en el mapa 5 (supra), la simulación podría estar identificando suelos con densa cobertura forestal en el caso de la cuenca del río Barranca, en contraste con la situación del río Grande donde hay mayor presencia de suelos con potrero, pastizales o agricultura y alta pendiente.

En el mapa 6 se puede observar este contraste entre las cabeceras de los ríos Barranca y Grande. Según datos de cobertura de SINIA (2016), la cobertura de bosque de la cuenca de río Barranca corresponde a un 66% del total de su área dentro de la ZPEC, por su parte, el río Grande tiene un 44%. Se compararon imágenes de diferentes fuentes y todas arrojan este resultado: ESRI, Sentinel 2, otros.

³² Como referencia adicional del trabajo de Monge (2020), en el anexo 11 se presenta el mapa de "clasificación de la recarga potencial" conformado por la autora, el cual, se presenta para que se contraste con los resultados de la simulación aquí presentada.

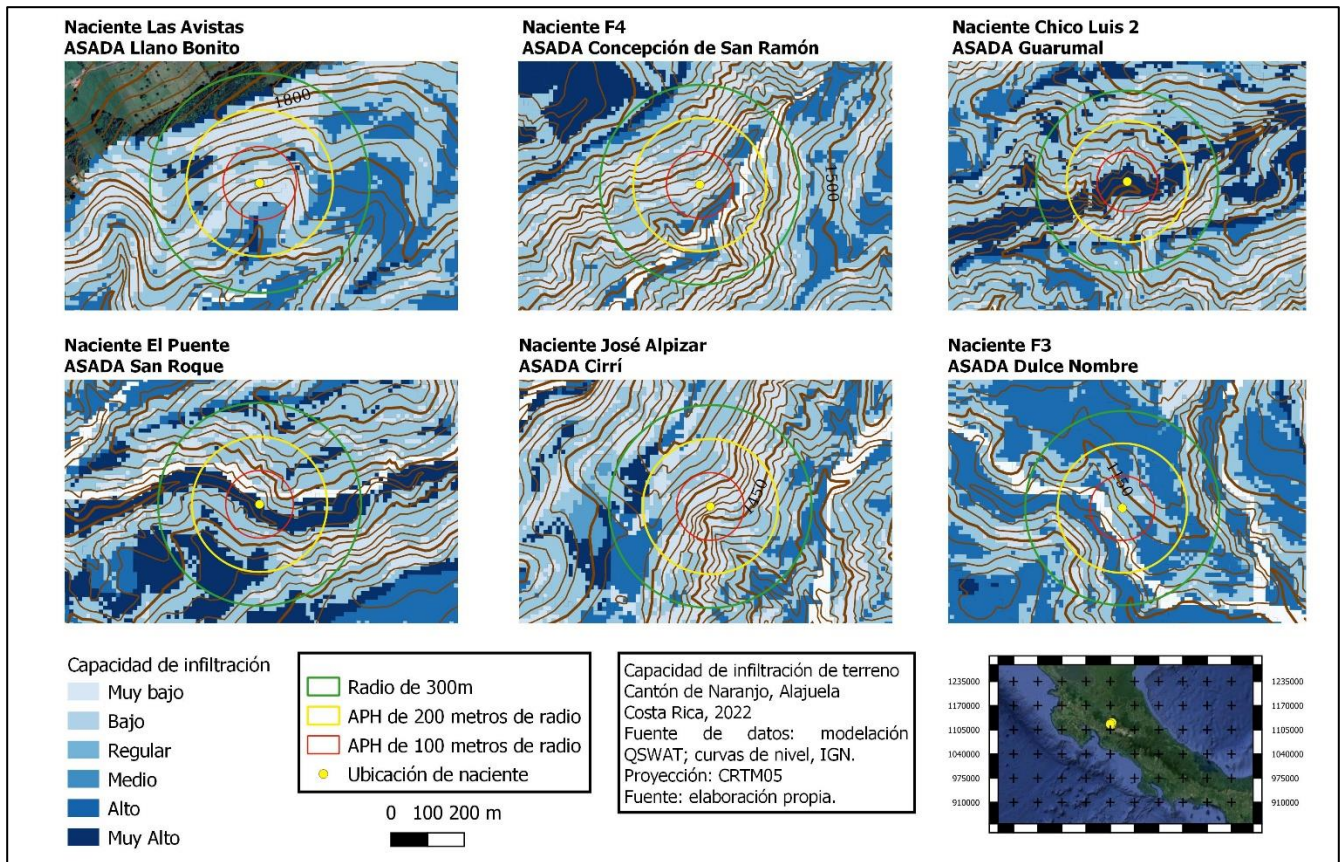


Mapa 6. Comparación de cobertura boscosa, cabeceras cuenca río Barranca y río Grande

Cabe destacar, además, que el factor pendiente también puede estar influenciando el resultado del modelo. En relación con lo expresado, sin embargo, se considera que el modelo arroja un resultado muy interesante pues dirige la atención a la necesidad de la recuperación de la cobertura boscosa en el sitio, la cual, cabe resaltar, coincide con el territorio de la ZPEC.

Si se analiza en detalle la información para cada una de las nacientes seleccionadas, se identifican varios sitios potenciales de recarga para cada fuente en lo que refiere a sus terrenos inmediatos, en el mapa 7 se pueden visualizar estos sitios. Un aspecto muy importante a resaltar es que algunos de estos están en concordancia con el APH establecida por ley, esto es, el radio de protección de 100 y 200 metros alrededor de la naciente. Este hallazgo es importante porque brinda validez para el caso específico en análisis sobre la importancia de estas áreas de protección, cuya existencia, muchas veces ha sido cuestionada como arbitraria; asimismo, permite justificar su resguardo para casos en los que no existe información más detallada de un manantial.³³

³³ Los resultados obtenidos por Monge (2020) brindan apoyo a la existencia de las APH de ley. Nótese, que la validez de las APH establecidas por ley también se puede justificar desde una perspectiva jurídica, tomando como fundamento el principio “indubio pro natura” o el “indubio pro aqua”, precisamente, por la incerteza técnico-científica existente.



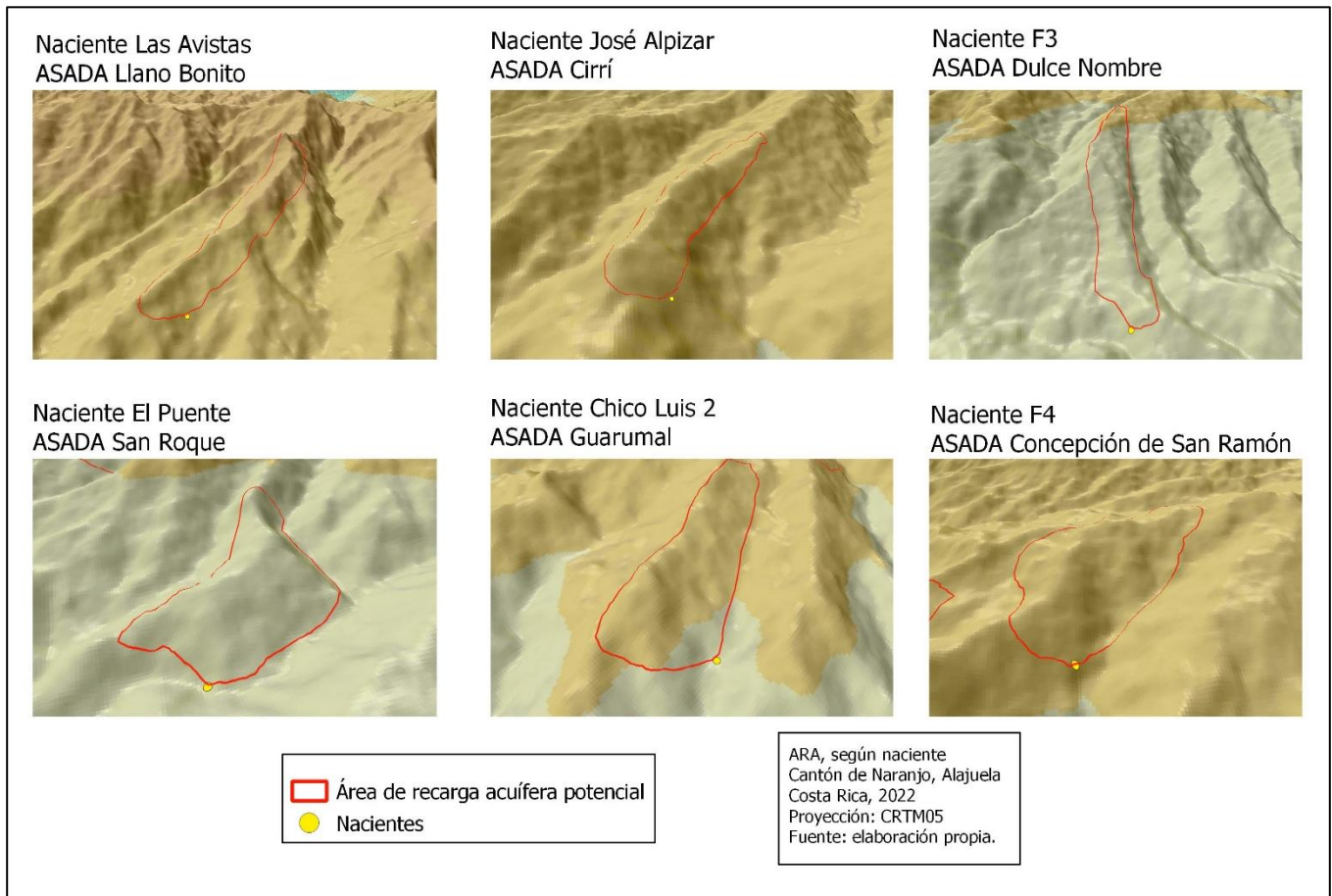
Mapa 7. Capacidad de infiltración de terreno según nacimiento

Se debe considerar, además, según refleja la simulación, que el ARA potencial en terrenos inmediatos a las nacientes no se limita a las APH de 100 y 200 de ley, por el contrario, parece que el ARA se extiende en un área mucho mayor, en terrenos “aguas arriba” del punto de afloración. Con base en este resultado, un análisis del relieve, de las características biofísicas propias del terreno, así como de las curvas de nivel donde se ubican los manantiales se demarcaron dichas zonas, esto, para visualizar el alcance de las áreas y terrenos cercanos a las nacientes que presentan una mayor relevancia desde el punto de vista de la recarga acuífera, para efectos prácticos de este trabajo, se les va denominar a estas zonas “áreas de recarga acuífera inmediata”.

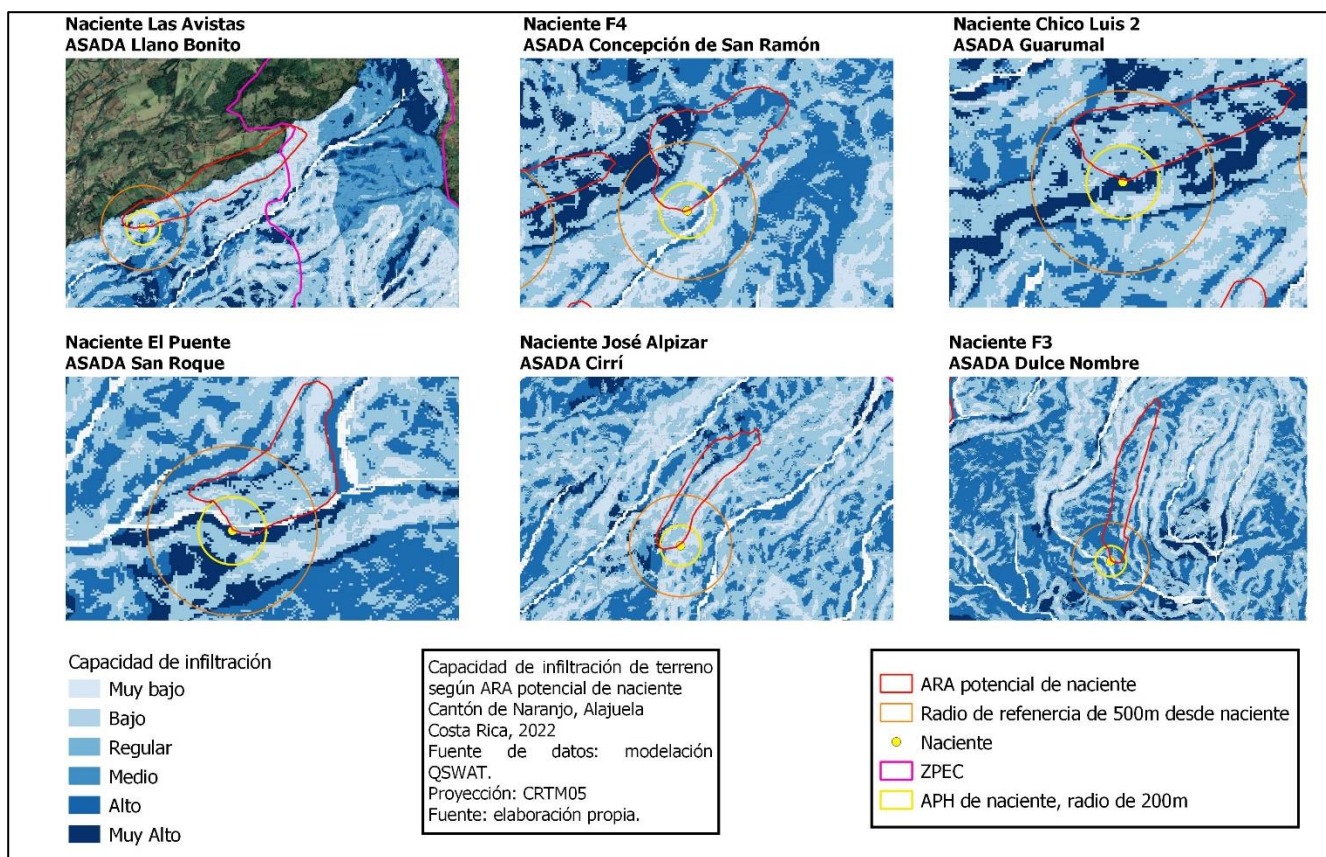
Una vez más, el trabajo de Monge (2020) sustenta lo aquí planteado, pues, según el muestreo de isótopos estables en el agua subterránea que esta autora realizó, se determina que la mayor parte de los pozos y manantiales de estas zonas reciben una recarga directa; asimismo, la autora identifica toda la zona de estudio donde se ubican las nacientes analizadas como de “alta” y “muy alta” capacidad de infiltración (ver anexo 11).

En los siguientes mapas se muestra gráficamente lo referido. En el mapa 8 es posible visualizar mediante un modelo 3D la topografía “aguas arriba” a cada nacimiento, como complemento, el mapa 9 muestra el resultado del modelo para la capacidad de infiltración de dichos terrenos; en estos mapas se demarca con un polígono rojo las “áreas de recarga acuífera inmediata” sugeridas para cada manantial. Para tener un punto visual de comparación del tamaño del terreno que comprende las “áreas de recarga

acuífera inmediata” propuestas, en el mapa 9 se muestra en amarillo el radio de protección de ley de 200 metros, así como un radio de referencia de 500 metros desde el afloramiento de cada nacimiento.



Mapa 8. Perfil de relieve de área de recarga acuífera inmediata sugerida para cada nacimiento.



Mapa 9. Capacidad de percolación de terreno según nacimiento y área de recarga acuífera inmediata

Según lo propuesto (mapa 8 y 9, supra), se puede observar que el radio de 200 metros, si bien representa una importante área de protección, es insuficiente para el adecuado resguardo del recurso hídrico de los manantiales analizados, a esta zona, como se sugiere, se debería adicionar el área de recarga inmediata aquí propuesta.³⁴ En el cuadro 14 se indica la cantidad de hectáreas que comprende cada una de estas áreas; considerando el área de 12.56 ha que representa el radio de ley de 200 metros, las áreas propuestas son entre 2.72 y 6.02 veces más grandes que lo que establece la legislación nacional.

Cuadro 14

Áreas de recarga acuífera inmediata propuestas, cantidad de hectáreas según cada nacimiento analizada

ASADA	Área de recarga acuífera inmediata propuesta (ha)	Área establecida por ley, 200 metros radio (ha)
Llano Bonito	75.55	12.56
Cirrí	37.68	12.56
Concepción de San Ramón	53.42	12.56
Dulce Nombre	56.28	12.56
Guarumal	34.14	12.56

³⁴ Se subraya que la propuesta de dichas áreas se basa en los resultados propios de la modelación realizada y se apoya en el trabajo de Monge (2020), el cual, brinda evidencia geofísica abundante sobre las propiedades de la zona de estudio.

ASADA	Área de recarga acuífera inmediata propuesta (ha)	Área establecida por ley, 200 metros radio (ha)
San Roque	37.14	12.56

Fuente: elaboración propia.

Como se puede anticipar, el establecimiento y resguardo de las “áreas de recarga acuífera inmediatas” propuestas, supone un reto significativo desde la perspectiva de la gestión de cuencas hidrográficas, planificación del territorio y el ordenamiento territorial, lo cual, se amplifica considerablemente si se toman en cuenta los 983 manantiales registrados en la DA para el cantón de Naranjo en un contexto determinado, además, por las implicaciones que impone el cambio climático.

Esto es posible ejemplificarlo revisando el uso de suelo actual dentro de los terrenos de las seis nacientes en estudio, los datos demuestran la predominancia de usos de tipo agrícola, que constituyen el 68% de estas áreas, frente a la existencia de una cobertura boscosa de tan sólo el 11% de estos territorios (cuadro 15). Y, si bien las áreas urbanas representan un 3.57%, el cantón de Naranjo experimenta un fuerte proceso de expansión de zonas construidas.

Límites al crecimiento urbano, regulación de densidades de población, tamaños de segregación de propiedades permitido, cantidades de metros cuadrados de construcción permitidos por terreno, modificación del tipo de actividades productivas, modificación de formas de producción agropecuaria, saneamiento y gestión de aguas residuales, aumento de cobertura boscosa, todas estas y muchas otras más, son medidas necesarias para la consideración de los tomadores de decisiones con el la finalidad de poder asumir el reto de resguardar el recurso hídrico del cantón.

Cuadro 15

Áreas de recarga acuífera inmediata propuestas según uso de suelo actual

Uso de suelo	Hectáreas	Relativo
Cultivos anuales	4.70	1.60%
Cultivo permanente	51.65	17.58%
Pastos	50.00	17.02%
Bosque secundario	13.23	4.50%
Plantaciones forestales	3.97	1.35%
Bosque maduro	17.58	5.98%
Áreas urbanas	10.48	3.57%
Bosque - ráster de cobertura forestal	0.57	0.19%
Café	138.39	47.11%
Ríos	1.09	0.37%
Mosaico de cultivos (<50%) y vegetación natural (>50%) -ESA	2.13	0.73%
Total	293.79	100.00%

Fuente: elaboración propia con base en SINIA, 2020.

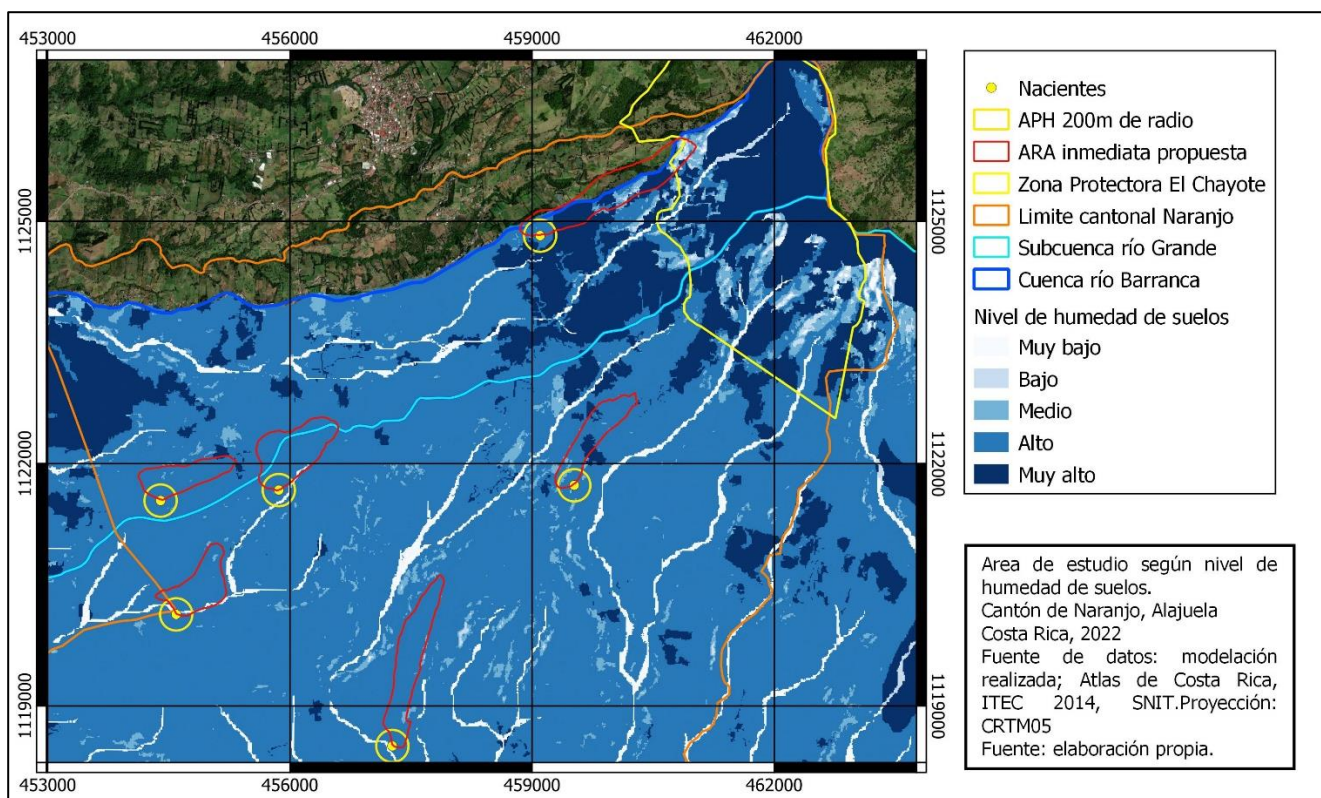
Un aspecto que llama mucho la atención del resultado de la modelación, corresponde a la identificación de sitios de alta infiltración que podrían constituir áreas de recarga potencial de manantiales que se ubican en áreas posteriores a la divisoria de aguas inmediata de las nacientes. Según características de suelo y roca, así como del perfil topográfico, esto podría ser indicativo de que los sitios de recarga de

una naciente también podrían situarse tanto en la respectiva microcuenca, delimitada por las divisorias de aguas que la encierra, como en sitios de otra microcuenca aledaña, así, el tránsito de agua se realizaría a través de todo la estructura y perfil de suelo donde se ubican las nacientes, lo anterior, según se puede visualizar de una mejor manera con base en la información de los mapas 8 y 9 (supra).

Si bien confirmar la hipótesis planteada excede los objetivos de este trabajo, se quiere dejar constancia de la misma ya que los resultados de la modelación podrían estar reflejando esto. Asimismo, según verificación en campo, y seguimiento realizado durante más de diez años en sitios de la cabecera de la ZPEC, se ha observado que el continuo e ilegal drenado de ciénagas existentes en el lugar (vertiente Atlántica, cuenca del río San Carlos) que han sido eliminadas para crear áreas de cultivos de papa y otras hortalizas, han generado una progresiva reducción de caudales de quebradas en la cara posterior (vertiente Pacífico, subcuenca río Grande).³⁵

La simulación arroja otros datos interesantes desde el punto de vista de la identificación de las ARA mencionadas arriba, esto es, la Zona Protectora El Chayote (ver mapa 5) y el área de recarga acuífera inmediata de cada naciente (ver mapas 8 y 9). Un primer aspecto a revisar es el nivel de humedad de suelo, como se puede observar en los resultados expuestos en el mapa 10, las "áreas de recarga acuífera inmediata" propuestas, así como los terrenos de la ZPEC representan valores de "Alto" y "Muy alto" nivel de humedad en suelo, lo cual, también es un importante indicativo del nivel de importancia de estos sitios en relación con la capacidad de recarga hídrica (Schosinsky, 2006).

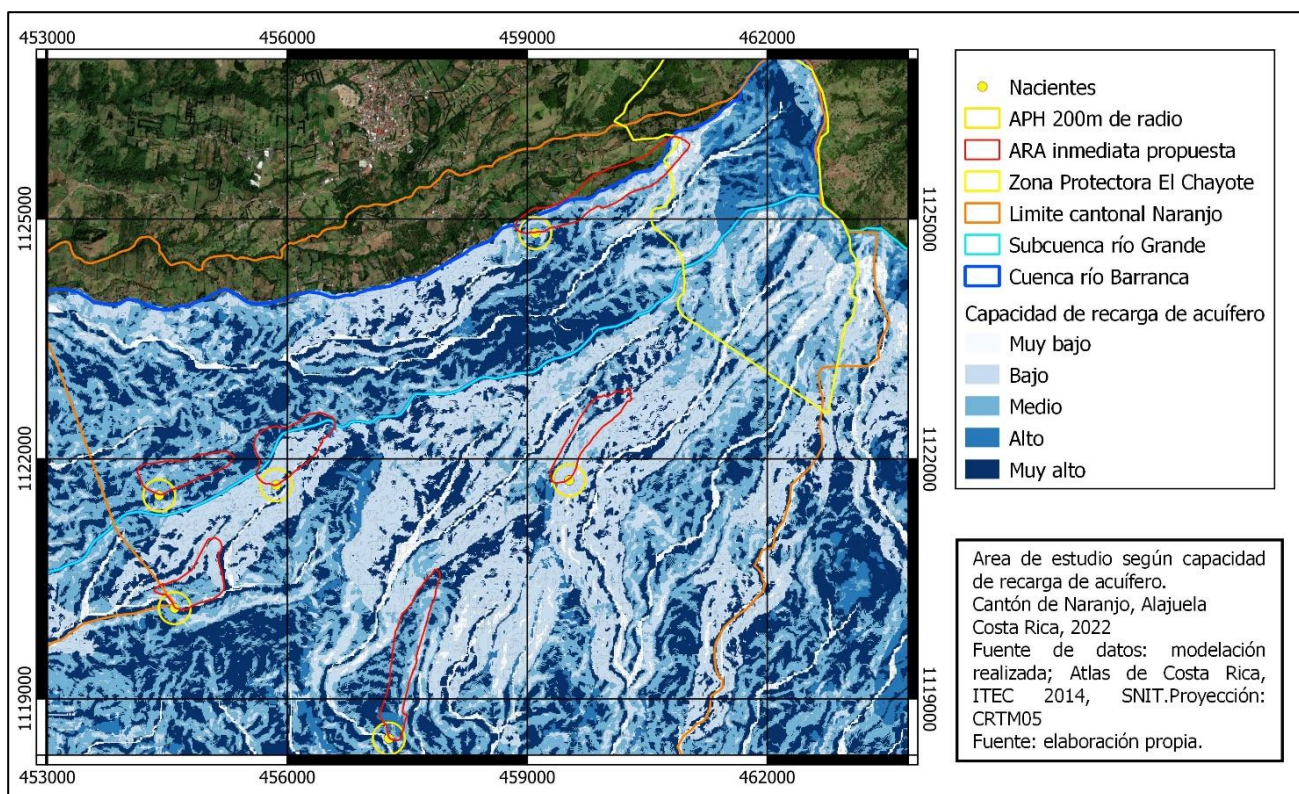
³⁵ Esto, continuamente, es expuesto por propietarios de terrenos quienes han trabajado estas zonas durante muchas décadas. Identifican el inicio de dicha problemática aproximadamente dos décadas atrás. Según expresan, durante algunos años en la estación seca se han visto con problemas para abastecer su ganado, situación que se empezó a manifestar, precisamente, después que se empezaron a drenar las ciénagas de la cuenca posterior al sitio donde afloran los cursos de agua que utilizan. En el anexo 8 se presentan fotografías de maquinaria pesada realizando estas acciones.



Mapa 10. Área de estudio según nivel de humedad de suelo

Otro aspecto importante que arroja la simulación se observa en la capacidad de recarga de acuífero que se identifica para el área de estudio. Una vez más, el resultado expuesto señala la relevancia de las áreas de recarga acuífera inmediata propuestas para cada nacimiento, así como de la Zona Protectora El Chayote (mapa 11).³⁶ Se puede ver que para cada ARA se identifican zonas con valores con "Alta" y "Muy alta" capacidad de recarga de acuífero; es notable, además, lo que el modelo arroja para los terrenos de la ZPEC, en cuanto a que se observa una más alta capacidad de recarga de acuífero para la zona perteneciente a la cuenca del río Barranca, en contraste con los terrenos de la subcuenca del río Grande (mapa 11), lo cual, como se mencionó más arriba, podría derivar de las diferencias de cobertura boscosa y relieve que capta SWAT a la hora de procesar los datos para generar los resultados.

³⁶ Contrástese con los mapas de potencial de acuíferos de 0m a 30m y 30m a 150m bajo nivel de suelo elaborados por la USGS para la DA (Dirección de Aguas, 2019; Welcher, Wayne et. al. 2019). En el anexo 11 se presenta un mapa con base en esta información.



Mapa 11. Área de estudio según capacidad de recarga de acuíferos

Derivado de la importancia que los resultados del modelo arrojan para la Zona Protectora El Chayote, cabe dejar planteada la discusión sobre si la categoría de manejo asignada actualmente, esto es, “zona protectora”, es lo suficientemente adecuada para el resguardo efectivo de esta importante área de recarga acuífera del cantón de Naranjo; asimismo, si es necesario ampliar los límites de esta hacia las cotas inferiores y otras zonas aledañas y regular más estrictamente el tipo de actividades y usos de suelo permitidos. La situación actual, caracterizada por un alto impacto antropogénico, así como los resultados obtenidos en este trabajo, parecen indicar, con gran claridad, que la categoría de manejo no es suficiente ni efectiva, que se debería considerar ampliar el tamaño de la ZPEC y aplicar mayores limitaciones a las actividades económicas dentro del sitio.³⁷

Caracterización biofísica de las áreas de recarga acuífera (ARA) potenciales identificadas con la modelación hidrológica

Según se expresó más arriba, es posible identificar ARA potenciales en terrenos inmediatos a cada nacimiento, estos coinciden con las APH y los radios de 100 y 200 metros establecidos por ley, además, según se detalla en la sección anterior, las ARA potenciales se extienden a una mayor distancia de las afloraciones de agua.

³⁷ En resolución N° 2020019856 del año 2020, la Sala Constitucional obligó al SINAC a realizar los estudios hidrogeológicos de toda la ZPEC, el recurso fue interpuesto por FEDAPRO en reclamo por el gran impacto ecológico y sobre el recurso hídrico que las actividades agropecuarias generan en este territorio (Expediente 20-016813-0007-CO). Al mes de mayo del 2022, los estudios hidrogeológicos aún no han sido realizados, pero hay una gran expectativa por la información técnico-científica que estos podrían aportar para el resguardo de la misma.

Cabe indicar que los terrenos que conforman las ARA ya fueron ampliamente caracterizados en secciones anteriores. En este caso, los resultados de las vistas de campo también pueden ser visualizados en la información recabada con el instrumento de la ficha 2 (ver anexo 2) y el archivo fotográfico presentado en el anexo 6. La información completa de la ficha 2 se puede consultar en el siguiente enlace: <https://five.epicollect.net/project/ficha-2>.

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DE LAS CAPACIDADES DE GESTIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DE LOS OPERADORES DE ACUEDUCTO

Para conformar la caracterización de las capacidades de gestión para la conservación del recurso hídrico de los operadores de acueducto se utilizó un cuestionario previamente elaborado, al igual que con los anteriores instrumentos, se utilizó la aplicación Epicollect5 para el levantamiento de información, en este caso se aplicó el instrumento de la ficha 3 (anexo 2), toda la información recabada se encuentra disponible para consulta en la siguiente dirección electrónica: <https://five.epicollect.net/project/ficha-3>.

De manera global, con fundamento en la revisión de los aspectos establecidos en el instrumento utilizado para cumplir con este objetivo de investigación, se pueden informar dos aspectos relevantes: el primero, que las ASADAS cumplen una excelente función en relación con su responsabilidad principal, esto es, la prestación del servicio de abastecimiento de agua potable; segundo, las capacidades de gestión para la conservación del recurso hídrico de los operadores de acueducto analizados no son adecuadas. Como ya se constató en la revisión de otros aspectos, el contexto está marcado, además, por una serie de vacíos relacionados con el cumplimiento efectivo de las competencias institucionales de varias entidades relacionadas con esta materia. A continuación, se exponen los principales hallazgos obtenidos con la ficha 3.

Aforos

Un rasgo muy positivo es que cinco de la seis ASADAS realizan actualmente aforos mensuales. Únicamente, la ASADA de Llano Bonito no lleva este importante registro. Si bien esta no ha sido una práctica común que los otros acueductos realicen desde su fecha de constitución (algunas de las cuales brindan el servicio desde la década de los setenta y ochenta), cuentan con rangos amplios de registro de aforos para identificar las variaciones de caudal de sus fuentes (cuadro 16).

Cuadro 16

Existencia de registros de aforos

ASADA	Realización de aforos mensuales de nacientes	¿Desde qué año se tiene registro de aforos?
San Roque	Sí	2016, no se indica mes exacto.
Dulce Nombre	Sí	2005

Cirrí	Sí	2018, octubre
Llano Bonito	No	No tiene registro de aforos
Concepción de San Ramón	Sí	2020, noviembre
Guarumal	Sí	2018, marzo

Fuente: elaboración propia.

Este aspecto, en un contexto marcado por el cambio climático, deviene fundamental para evaluar constantemente la producción de las fuentes de agua, posibles impactos de cambios en la cobertura y uso de suelo, la capacidad para brindar nuevos servicios, la necesidad de buscar nuevas nacientes de apoyo, entre otras.

Datos de consumo

Se realizó una revisión de los datos de consumo y se contrastó con la cantidad de abonados de servicios activos de cada ASADA, analizar estas cifras es importante porque puede brindar información que resulta relevante en relación con la gestión que se hace del recurso hídrico cada operador. En el cuadro 17 se muestran los cálculos indicados.

Cuadro 17

Análisis de datos de consumo según ASADA

ASADA	Cantidad de servicios activos	Máximo consumo mensual registrado (m ³)	Mínimo consumo mensual registrado (m ³)	Promedio de consumo por servicio activo, según máximo consumo registrado (m ³)	Promedio de consumo por servicio activo, según mínimo consumo registrado (m ³)	Consumo total promedio por día según máximo consumo (l/s)	Consumo promedio por día por cada servicio según máximo consumo (l/s)	Consumo promedio por día por cada servicio según máximo consumo (m ³)	Comparación con caudal teórico (relativo)
San Roque	339	9152	5868	27.00	17.31	3.53	0.01042	0.90	4.2%
Dulce Nombre	773	20680	13848	26.75	17.91	7.98	0.01032	0.89	3.2%
Cirrí	1344	36097	21790	26.86	16.21	13.93	0.01036	0.90	3.6%
Llano Bonito	165	4090	2440	24.79	14.79	1.58	0.00956	0.83	-4.4%
Concepción de San Ramón	1005	19822	15071	19.72	15.00	7.65	0.00761	0.66	-23.9%
Guarumal	311	9805	6025	31.53	19.37	3.78	0.01216	1.05	21.6%

Fuente: elaboración propia con base en instrumentos aplicados.

En relación con los datos del cuadro anterior cuadro 17, supra) hay dos aspectos que revisten especial importancia (, el primero refiere al promedio de consumo por servicio activo según máximo consumo registrado (columna 5). En este caso se observa que el mayor consumo se presenta en la ASADA Guarumal y San Roque, con 31.53m³ y 27m³.

Con base en la inspección realizada, se determinó que el dato responde a que en estas ASADAS existe una importante proporción de consumo que se dirige a abastecer granjas avícolas y otras actividades agropecuarias, dentro de las que se puede mencionar, plantas de beneficiado de café.

Para tener un punto de comparación sobre lo significativo que puede llegar a ser el consumo de agua en actividades agropecuarias como las mencionadas, una sola de estas granjas puede llegar a utilizar hasta 450m³ (cuatrocientos cincuenta mil litros) de agua en un solo mes, este consumo equivale a lo que requieren al menos treinta casas en el mismo período con una demanda promedio de 15m³.³⁸

Un aspecto que se debe considerar con respecto a esto, es que el reglamento de prestación de servicios del AYA vigente actualmente, el cual aplica directamente a la gestión de las ASADAS, excluye este tipo de actividades dentro de las que las ASADAS pueden abastecer, precisamente, para resguardar el agua potable para el consumo humano.

Específicamente, el artículo 4.7, que define lo que es agua para uso poblacional, el que define las actividades a abastecer por parte de las ASADAS, este expresa lo siguiente:

“Agua abastecida a través de los sistemas públicos para las distintas actividades directas o indirectas de los usuarios, con el fin de atender las diversas necesidades de la población, siempre que exista factibilidad técnica. Este uso comprende: consumo humano, riego ornamental domiciliar, industrial, tecnológicos, sistemas de enfriamientos y contra incendios. Se excluye de este uso las actividades de riego agropecuario, pecuario y forestal” (el resaltado no corresponde al original).

El segundo dato que se quiere resaltar corresponde a la comparación del caudal real que tiene cada ASADA y el caudal de reserva que por normativa se debe aplicar para cada servicio nuevo, el caudal según normativa es de 0.01 l/s (MINAE, 2021); claramente, según la información del cuadro 17 (supra, columna 10), se puede ver que las ASADAS de San Roque y Guarumal presentan demandas de caudales reales superiores al valor teórico previsto por la normativa, los datos para la ASADA de Guarumal son los más significativos con, aproximadamente, un 22% por encima que el caudal establecido por norma.

Este es un hallazgo importante porque, como se dijo anteriormente, es indicativo del uso que realizan del recurso hídrico captado los entes operadores de acueducto que, por ley, debe ser dirigido principalmente a consumo humano, muestra, además, el impacto que actividades económicas específicas pueden tener en la demanda de agua potable.

Un aspecto que supone un especial reto para la administración del recurso hídrico en las ASADAS estudiadas refiere a que los máximos consumos se registran, precisamente, durante los meses de verano, los cuales, a su vez, coinciden con los meses en que las nacientes disminuyen su caudal significativamente, esto hecho, en el contexto que impone el cambio climático, podría devenir en limitaciones de abastecimiento durante los años más secos que se presenten en el futuro.

En relación con la información de niveles de consumo, es importante revisar, además, si las ASADAS cuentan con balances hídricos actualizados presentes en un estudio integral de acueducto. Para este aspecto, se tiene que cuatro de las seis ASADAS analizadas sí cuentan con cálculo de balances hídricos, siendo la ASADA de Llano Bonito y la ASADA de Concepción de San Ramón las que carecen de este

³⁸ Los datos de consumo fueron suministrados por el representante de una de las ASADAS con las que se trabajó.

instrumento (cuadro 18). En estos casos, los acueductos corren el riesgo de brindar más servicios de los que el caudal de sus fuentes puede sostener y esto puede generar afectaciones en la prestación de los servicios existentes.

Cuadro 18

ASADAS con estudio integral de acueducto

ASADA	¿Se cuenta con estudio integral de acueducto?	¿Está aprobado por AYA?
San Roque	Sí	No
Dulce Nombre	Sí	No
Cirrí	Sí	Sí
Llano Bonito	No	No
Concepción de San Ramón	No	No
Guarumal	Sí	No

Fuente: elaboración propia con base en información recabada.

Un aspecto que llama la atención es que únicamente una ASADA cuenta con estudio aprobado por parte de AYA. Varios personeros de ASADAS entrevistados indicaron que el departamento responsable de su aprobación en el AYA (ORAC Metropolitana) presenta una gran tardanza en la aprobación de estos insumos técnicos, por mencionar de ejemplo un caso en concreto, una de estas ASADAS lleva desde diciembre del año 2018 con este trámite y aún a inicios del año 2022 no recibe resolución su caso.³⁹

En lo que respecta al control y medición del consumo y oferta de agua, se observa que el panorama es negativo en cuanto a las ASADAS que disponen de macromedición, ya que sólo dos de seis ASADAS cuentan con este tipo de dispositivos instalados en su sistema (cuadro 19). Es muy positivo, sin embargo, que todas las ASADAS cuenten con micromedición en el 100% de los servicios instalados (cuadro 19).

Cuadro 19

Implementación de macro y micro medición

ASADA	Uso de macromedición	Porcentaje de servicios con micromedición
San Roque	No	100%
Dulce Nombre	No	100%
Cirrí	Sí	100%
Llano Bonito	No	100%
Concepción de San Ramón	Sí	100%
Guarumal	No	100%

Fuente: elaboración propia con base en información recopilada.

³⁹ La normativa actual da un plazo de tres meses con posibilidad de prórroga para la revisión de estos estudios tan necesarios para las ASADAS.

La implementación de micromedición representa un mecanismo muy eficaz que reduce el desperdicio de agua de los abonados y obliga a que se haga un uso adecuado del recurso, pues, cuanto más se consume, mayor es el costo económico que deben asumir los usuarios mensualmente, lo que limita así el uso superfluo del mismo.

Por otra parte, al no existir macromedición en los sistemas de acueducto, los entes operadores no tienen alguna herramienta para determinar con la certeza necesaria si experimentan algún tipo de pérdidas de agua por conexiones ilegales, fugas o algún otro daño en su sistema o estructuras. En conjunto, la macro y micro medición, son herramientas de gran importancia con que deben contar las ASADAS para el control del recurso hídrico y la relación entre oferta y demanda.

Se investigó entre los personeros de ASADAS entrevistados sobre la utilización de herramientas SIG, otras herramientas informáticas y la existencia de planos del sistema de acueducto. Según se desprende del resultado que se presenta en el cuadro 20, ninguna de las seis ASADAS cuenta con uso de herramientas de este tipo, pero sí hay existencia de planos de acueducto, en tres ASADAS de manera completa, en dos de parte del sistema y en Llano Bonito no cuentan con registro cartográfico de su sistema.

Cuadro 20
Uso de herramientas SIG, informáticas y planos

ASADA	Uso de herramientas SIG	Otras herramientas informáticas	Cuenta con planos del sistema
San Roque	No	No	Sí
Dulce Nombre	No	No	Sí
Cirrí	No	No	Parcialmente, de línea de conducción
Llano Bonito	No	No	No
Concepción de San Ramón	No	No	Sí
Guarumal	No	No	Parcialmente, de línea de distribución

Fuente: elaboración propia con base en información recopilada.

Este tipo de herramientas son muy importantes pues podrían permitir a los responsables de las ASADAS realizar una interpretación de sus sistemas de acueducto en el contexto espacial en que se encuentra, tener conocimiento de las APH y ARA potenciales de sus nacientes, de sus ubicaciones con respecto a las comunidades abastecidas, de la cobertura y uso de suelo en torno a sus estructuras, ubicar los componentes principales para planificar mejoras, permitiría, además, tener registro gráfico del sistema

para que cualquier persona o junta directiva (las cuales cambian con frecuencia) tenga una noción general del sistema de acueducto que administran, entre otras cosas.

Demarcación de áreas de protección hídrica (APH) y áreas de recarga acuífera potenciales (ARA)

Un aspecto de gran relevancia para el presente trabajo es la verificación para cada ASADA sobre la existencia de algún tipo de demarcación del APH establecida por ley y las ARA potenciales, ya sea mediante utilización de cercas, mojones, rotulación u otra forma. Si bien todas las fuentes están inscritas ante la DA, en la inspección realizada a los sitios de cada nacimiento, se constató que ninguna de las seis ASADA tiene algún tipo de demarcación de estas áreas según los conocidos radios de protección de 100 y 200 metros (cuadro 21).

En el caso de las ARA potenciales, al no haber una definición de las mismas, existe un mayor desconocimiento -y se podría decir que también mayor vulnerabilidad-, debido a que las ASADAS no tienen ninguna certeza en relación con su identificación y ubicación. Ligado a este tema, cuando se consultó sobre la realización de algún estudio hidrogeológico a las fuentes, únicamente, la ASADA de Concepción de San Ramón, respondió que cuenta con este insumo.⁴⁰

Cuadro 21

Demarcación de áreas de protección hídrica (APH), áreas de recarga acuífera (ARA) y realización de estudios hidrogeológicos

ASADA	Están demarcadas las APH establecidas por ley (radio de 100m y 200m)	Están demarcadas las ARA	¿Cuenta la ASADA con estudio hidrogeológico de cada una de sus nacientes?
San Roque	No	No	No
Dulce Nombre	No	No	No
Cirrí	No	No	No
Llano Bonito	No	No	No
Concepción de San Ramón	No	No	Sí
Guarumal	No	No	No

Fuente: elaboración propia con base en información recopilada.

Una situación que llama la atención en relación con el caso de la ASADA de Concepción de San Ramón es que, cuando se le consulta a la representante del acueducto si fueron comunicados los resultados del estudio al municipio donde se ubican, y si se aplica alguna restricción de uso de suelo con base en

⁴⁰ Cabe mencionar que el modelo hidrogeológico realizado en este caso presenta resultados limitados pues la investigación se contextualizó a las áreas inmediatas de los manantiales de esta ASADA, se dejó de lado un análisis más amplio que contemplara una visión más integral del sector de la cuenca en la que se ubican las fuentes. Un hecho que se puede resaltar es que este estudio ratifica la importancia del APH de 100m y 200m establecido por ley.

los resultados de dicho estudio, la respuesta es negativa. Nótese, entonces, que no se aprovecha un importante insumo técnico que se podría utilizar para la protección efectiva de APH y ARA potenciales de las fuentes, según lo establecido por la legislación vigente.

En la indagatoria se incluyeron preguntas para conocer el tipo de tratamiento que hacen los acueductos rurales en aspectos relacionados con cambio climático, adaptación y gestión de riesgo que considere sus nacientes, las APH y las ARA. Según los resultados obtenidos (cuadro 22), se observa que en ninguna de las ASADAS analizadas se cuenta con algún plan o programa que realice un diagnóstico y recomendaciones sobre estas temáticas. Considerando que Centroamérica está contemplada como una de las regiones con mayor vulnerabilidad frente al cambio climático y la afectación de fenómenos climáticos extremos, este tipo insumos constituyen un aspecto central que todas las ASADAS y operadores de acueducto deberían contemplar en el corto plazo.

Cuadro 22

Existencia de plan o programa relacionado con cambio climático y gestión de riesgo

ASADA	¿Tiene la ASADA algún plan o programa que contemple aspectos relacionados con impacto y adaptación al cambio climático?	¿Cuenta la ASADA con un plan de gestión de riesgo que considere sus fuentes de agua, APH y ARA?
San Roque	No	No
Dulce Nombre	No	No
Cirrí	No	No
Llano Bonito	No	No
Concepción de San Ramón	No	No
Guarumal	No	No

Fuente: elaboración propia con base en información recopilada.

Del trabajo realizado durante más de una década con ASADAS, se ha visualizado que la atención de la gestión del acueducto recae, predominantemente, en el personal operativo (administradores, asistentes administrativos, fontaneros) y las obligaciones se tienden a concentrar en uno solo o dos integrantes de las juntas administradoras de las ASADAS, los cuales, tienden a estar más pendientes de las obligaciones de los acueductos.⁴¹ Este aspecto se indagó en relación con la participación de las juntas, personal y su conocimiento de las nacientes, captaciones y APH, los resultados se presentan en el siguiente cuadro (23) .

Como se desprende de los datos recabados (cuadro 23), en cuatro de las ASADAS la junta administradora sí tiene conocimiento del estado actual de las nacientes, las captaciones y las APH; cuando se consulta si sus integrantes realizan visitas frecuentes a las nacientes y sus alrededores, sólo en tres ASADAS se indica que se hacen visitas. En contraste, el personal de todas las ASADAS sí hace

⁴¹ La composición de las juntas administradoras de las ASADAS consta de seis personas que ocupan los siguientes puestos: presidencia, vicepresidencia, tesorería, secretaría, vocal y fiscalía.

visitas de manera frecuente, según se indicó de manera reiterada por los entrevistados, mínimo una y hasta más veces por mes.

Cuadro 23

Conocimiento de las nacientes, captaciones y áreas de protección hídrica por parte de las juntas administradoras y personal operativo

ASADA	¿Tiene la junta administradora conocimiento del estado actual de las nacientes, las captaciones y las áreas de protección?	¿Realiza la junta administradora visitas frecuentes a las nacientes y sus alrededores?	¿Realiza el personal de la ASADA visitas a las nacientes y sus áreas de protección?
San Roque	No	No	Sí
Dulce Nombre	Sí	Sí	Sí
Cirrí	Sí	Sí	Sí
Llano Bonito	Sí	Sí	Sí
Concepción de San Ramón	No	No	Sí
Guarumal	Sí	No	Sí

Fuente: elaboración propia con base en información recopilada.

Cuando se indaga más a fondo sobre la frecuencia de las visitas de los integrantes de juntas administradoras se tiene que hacen vistas con muy poca frecuencia, hay un solo integrante que es el más involucrado o, en definitiva, no hacen visitas (ver respuestas de ficha 3). En una de las ASADAS la persona entrevistada, que solicitó no ser identificada, indicó que la junta administradora no visita las nacientes y APH desde hace más de 5 años.

En relación con esto se podrían manejar tres hipótesis; una, que hay confianza de parte de los directivos en el personal operativo que diariamente atiende los diferentes componentes del sistema de acueducto, nacientes y situación del APH y confían en los reportes de este personal; dos, las labores diarias de los integrantes de las juntas limitan sus posibilidades de atender con mayor presteza la gestión de la ASADA e, igualmente, se deposita la confianza en el personal operativo; y finalmente, que existe desinterés por el manejo y estado del sistema. Es importante mencionar que los integrantes de la junta administradora son, en última instancia, los responsables del buen funcionamiento de la ASADA, tienen responsabilidad legal y penal ante cualquier situación irregular que se presente con el manejo del ente operador.

Capacitación de responsables del acueducto

La normativa nacional establece que el personal e integrantes de juntas administradoras de las ASADAS deben contar con capacitación constante en diferentes áreas temáticas que ocupan a estas entidades, la principal responsabilidad en esta materia la tiene el AYA, sin embargo, otras entidades tienen un rol fundamental en esta tarea. Este aspecto fue indagado en este apartado y, según las respuestas

obtenidas, de las seis ASADAS, sólo una indica que se ha recibido algún tipo de capacitación en materia de protección del recurso hídrico y APH de nacientes (cuadro 24).

Cuadro 24
Capacitación de responsables del acueducto según ASADA

ASADA	¿Capacitación recibida por parte de AYA, INA, SENARA, DA, MINAE o alguna otra entidad en materia de protección y gestión de recurso hídrico?	¿El personal de la ASADA ha recibido algún tipo de capacitación relacionada con protección áreas de protección de nacientes?
San Roque	No	No
Dulce Nombre	No	No
Cirrí	No	No
Llano Bonito	No	No
Concepción de San Ramón	Sí	Sí
Guarumal	No	No

Fuente: elaboración propia con base en información recopilada.

Este tipo de capacitaciones son muy importantes porque es muy común que los integrantes de junta y el mismo personal operativa no cuenten con estudios formales en estas áreas temáticas, que implican conocimiento técnico básico en manejo de recurso naturales y otras disciplinas. Según se ha observado, fue indicado por algunos de los entrevistados, muchas veces las capacitaciones se centran en cuestiones administrativas y reglamentarias y se dejan de lado este otro tipo de materias, cuya importancia, también es fundamental para la gestión de las ASADAS.

Denuncias interpuestas por las ASADAS

Se consultó a los representantes de ASADAS sobre la presentación de denuncias relacionadas con invasión de APH o por contaminación; si bien es un hecho público y notorio que hay invasiones a las APH, se observan residuos en los terrenos de las nacientes e incluso se comentó de uso indiscriminado de agroquímicos en las inmediaciones de las captaciones,⁴² únicamente, tres de los seis operadores han interpuesto acciones legales en contra de estos actos (cuadro 25).

⁴² Uno de los entrevistados indicó que tuvo conocimiento sobre una persona que aplicó en un terreno cercano a una naciente de su ASADA lo que ellos le llaman como "una molotov", lo cual, consiste en una mezcla de sobrantes o residuos de diferentes herbicidas y plaguicidas con el fin de "limpiar" de malezas los terrenos.

Cuadro 25

Interposición de denuncias por invasión o contaminación de áreas de protección hídrica

ASADA	¿La ASADA ha presentado denuncias por invasión de áreas de protección o recarga acuífera de sus nacientes?	¿La ASADA ha presentado denuncias por riesgo de contaminación de nacientes o área de recarga acuífera de sus nacientes?	Observaciones
San Roque	No	No	No
Dulce Nombre	Sí	No	Las denuncias fueron debido a siembras de tomate, quemas y deforestación. Se indica que hace como tres años, pero no se ha recibido respuesta sobre el caso.
Cirrí	No	No	No
Llano Bonito	Sí	Sí	Se han presentado dos denuncias contra propietarios de fincas aledañas a nacientes, por invasión de cultivos.
Concepción de San Ramón	No	No	
Guarumal	No	Sí	Se presentó una por riesgo de contaminación con envases de agroquímicos en una de las nacientes.

Fuente: elaboración propia con base en información recopilada.

Según se constató, el hecho de que las otras ASADAS no hayan presentado denuncias, no indica que no se hayan presentado o se estén presentando situaciones que requieran la interposición de una denuncia ya sea ante MINSA, SINAC, tribunal Ambiental Administrativo o ante alguna otra entidad competente, según comentan algunos personeros, en muchas ocasiones no se procede con una acción legal para "evitar problemas" con los propietarios de los terrenos.

También se observan casos, por ejemplo, donde un propietario que en su terreno tiene una casa vieja construida previo a la fecha de entrada en vigencia de la ley de aguas (año 1942) o la ley forestal (1996) para "saltarse la ley" y conseguir los permisos de construcción (en ciertos casos se construye sin permiso

municipal) utilizan la figura de presentar el desarrollo como una remodelación, así pueden construir una nueva estructura pese a estar en un APH de naciente donde se prohíbe esto.

En este tipo de situaciones las ASADAS están en una situación de indefensión, porque instituciones que poseen competencias claras y que deben intervenir para evitar estos hechos, no actúan con la celeridad que se requieren (MINSA, municipalidades, SINAC, MINAE, AYA), lo que da paso a que se materialicen este tipo de incumplimientos legales.

“Broqueo” de nacientes

El “broqueo” de nacientes consiste en hacer una perforación por el tubo de flujo de un manantial o en terrenos cercanos a la afloración, se utiliza una broca de acero a la cual se le van conectando tubos del mismo material para ir profundizando en la tierra y rocas, se hace de manera manual o con la utilización de maquinaria rudimentaria con motores de combustión,⁴³ es algo similar a la perforación de un pozo, pero se hace de manera horizontal.⁴⁴

Se podría decir que la aplicación de esta técnica es válida cuando debido a condiciones naturales como deslizamientos, terremotos, entre otros eventos, se dispersa el flujo de una naciente, se desplaza su sitio de afloramiento o cuando se deben hacer mantenimientos a las captaciones. De las entrevistas realizadas, se tiene conocimiento que en tres de las seis ASADAS se ha aplicado al menos una vez el método por las razones arriba mencionadas (cuadro 26).

Cuadro 26

“Broqueo” de nacientes de las ASADAS

ASADA	¿La ASADA ha "broqueado" alguna de las nacientes?
San Roque	Sí
Dulce Nombre	No
Cirrí	Sí
Llano Bonito	Sí
Concepción de San Ramón	No
Guarumal	No

Fuente: elaboración propia con base en información recopilada.

Recientemente, la problemática que se ha identificado, es que algunas ASADAS han venido utilizando este método como una forma de obtener mayores caudales de sus nacientes, sin la necesidad de cumplir con el procedimiento que establece la legislación nacional para poder captar fuentes nuevas o ampliar el caudal,⁴⁵ el cual, implica la asignación de un caudal específico, su registro, y la posibilidad de que las

⁴³ Nótese el riesgo de contaminación con lubricantes y combustibles en el sitio inmediato de las nacientes.

⁴⁴ En anexo 9 se presentan fotografías sobre esta técnica.

⁴⁵ En el caso de las ASADAS el procedimiento es el que sigue: se solicita el registro de la fuente (esto requiere un trámite ante la DA, se debe constatar que la naciente sea permanente); se debe presentar la solicitud de registro ante AYA, se debe justificar mediante un estudio costado por la ASADA la necesidad de caudal adicional; se deben realizar análisis microbiológicos

instituciones respectivas, puedan controlar y contabilizar el uso del recurso hídrico asignado dentro de sus estadísticas y balances hídricos de cada cuenca hidrográfica.

Para tener una idea del impacto que la “broquea” de nacientes puede tener, según la indagación realizada, personeros de ASADAS comentaron que a una naciente cuyo caudal histórico promedio es de 1 l/s, con una perforación de este tipo se pueden llegar a obtener caudales que hasta triplican el caudal original, es decir, de la naciente que inicialmente se obtiene 1 l/s, se pueden extraer hasta 3 l/s mediante esta técnica.

Como ya se mencionó, esto se hace al margen de las instituciones de control en materia de recurso hídrico, como por ejemplo SENARA, MINAE, DA, AYA; lo más grave de la situación, es que ya se identifican problemas entre ASADAS por variaciones de caudales de nacientes aledañas. Como se puede anticipar, estas perforaciones realizadas de manera indiscriminada y sin control, podrían tener repercusiones en la dinámica hidrogeológica. Cuando se utilizan nacientes que comparten las mismas áreas potenciales de recarga, agua almacenada en los mismos acuíferos y zonas de afloramiento, claramente, el caudal adicional que una ASADA extrae de una fuente con esta técnica, es un caudal que le va hacer falta a otra ASADAS cuyas nacientes se ubiquen aguas abajo.

ASADAS e infraestructura de saneamiento

Un aspecto muy importante que se consideró en el análisis, es la indagatoria sobre si las ASADAS cuentan con infraestructura de saneamiento de aguas residuales. En relación con el tema, según las respuestas de las entrevistas, se tiene que ninguna de las ASADAS cuenta con este tipo de infraestructura (cuadro 27).

Esta situación, lamentablemente, concuerda con el escenario a nivel país donde el tratamiento de aguas no alcanza ni un 16% del total de aguas residuales generadas (AYA, 2021), siendo una deuda histórica con el ambiente y los ríos que arrastra Costa Rica y de la cual las ASADAS tienen una cuota muy significativa de responsabilidad.

Cuando se preguntó si en la ASADA se contempla el saneamiento dentro de los proyectos futuros, sólo dos de las seis ASADAS respondieron afirmativamente (cuadro 27); sobresale aquí la respuesta del administrador de la ASADA de San Roque quien ha analizado el tema con especial detalle contextualizando la implementación del saneamiento al sistema de acueducto con el que cuentan, en este caso, incluso se tiene identificado un terreno donde, tentativamente, se podría construir un planta de tratamiento de aguas residuales que capte toda el agua residual generada por las comunidades servidas.

(preferiblemente hacer N4); el AYA realiza la solicitud en nombre de la ASADA, DA autoriza la concesión del caudal determinado, se procede a la captación.

Cuadro 27

ASADAS con infraestructura de saneamiento de aguas residuales

ASADA	Posee infraestructura de saneamiento de aguas residuales	¿Contempla la ASADA el saneamiento dentro de sus proyectos futuros?
San Roque	No	Sí
Dulce Nombre	No	Sí
Cirrí	No	No
Llano Bonito	No	No
Concepción de San Ramón	No	No
Guarumal	No	No

Fuente: elaboración propia con base en información recopilada.

El tema del saneamiento reviste una alta complejidad para entes operadores con recursos limitados como las ASADAS, no obstante, es necesaria su consideración para avanzar en la búsqueda de soluciones que se tornan urgentes. Las ASADAS requieren de financiamiento, personal especializado en esta área, coordinación interinstitucional, acompañamiento técnico y la adecuación tarifaria para poder solventar esta gran necesidad. El tema, sin embargo, está muy lejos de ser una preocupación real para los responsables de ASADAS.

Propiedad de terrenos donde se ubican nacientes

Como ya se ha expresado, la legislación nacional establece un radio de 100 metros y otro de 200 metros de APH para las nacientes, en el caso de nacientes captadas para consumo humano aplica el radio de 200 metros. En un escenario ideal, las ASADAS deberían buscar la adquisición de estos terrenos con el fin de que sean destinados a la protección de sus fuentes de agua. La realidad, sin embargo, dista mucho de lo afirmado.

Cuando se preguntó a los responsables de las ASADAS si la totalidad de los terrenos donde se ubican las nacientes son propiedad de la ASADA la respuesta, en los seis casos fue negativa (cuadro 28); se encontró, sin embargo, que todas las ASADAS han adquirido aunque sea una pequeña parte de estos terrenos (cuadro 28).

Según se pudo identificar, las principales limitaciones para la adquisición de terrenos están relacionadas con los siguientes factores: limitados recursos económicos; los propietarios actuales de los terrenos no quieren vender, no hay voluntad de comunidad y junta directiva para comprar terrenos, también se mencionó que hay limitaciones para poder contar con estudios para definir estas áreas (cuadro 28).

Cuadro 28

Propiedad de terrenos de nacientes según ASADA

ASADA	¿Los terrenos donde se ubican las nacientes son en su totalidad propiedad de la ASADA?	Posesión total o parcial de terrenos nacientes	Limitaciones para compra de terrenos
San Roque	No	Parcial	-Limitados recursos económicos
Dulce Nombre	No	Parcial	-Propietarios actuales no quieren vender.
Cirrí	No	Parcial	-Limitados recursos económicos. -Propietarios actuales no quieren vender.
Llano Bonito	No	Parcial	-Limitados recursos económicos. -No hay voluntad de comunidad y junta directiva para comprar terrenos.
Concepción de San Ramón	No	Parcial	-Limitados recursos económicos. -Propietarios actuales no quieren vender.
Guarumal	No	Parcial	-Limitados recursos económicos. -Contar con estudios para definir estas áreas.

Fuente: elaboración propia con base en información recopilada.

Nótese que el hecho de que las ASADAS no puedan ser propietarias de los terrenos de sus nacientes conlleva una serie de dificultades asociadas, pues, por ejemplo, se elimina la posibilidad de regenerar las APH y ARA, conlleva riesgos de contaminación, se genera la posibilidad de seguir experimentando la invasión de áreas de recarga y de protección y su consecuente impermeabilización con estructuras de concreto, entre otras.

Asociado a este tema, se debe mencionar que desde el año 2018 ARESEP aprobó una metodología para establecer una tarifa de protección de recurso hídrico,⁴⁶ con esta tarifa se buscaba dotar de recursos a las ASADAS para cubrir el vacío existente en esta materia, sin embargo, dada la enorme complejidad de esta metodología, la cual no consideró en su elaboración las muy limitadas capacidades y recursos de las ASADAS, la posibilidad de implementación de dicha metodología ha sido muy limitada, tanto, que al año 2022, únicamente una locación de las tantas que opera AYA en el país, ESPH y una ASADA (de las 1500 existentes en el país) ha podido elaborar una propuesta que sea sujeta de aprobación.⁴⁷

⁴⁶ La metodología fue creada por la ONG denominada "Centro de Derecho Ambiental y de los Recursos Naturales" para ARESEP.

⁴⁷ Como una referencia, para tener cifras para valorar la eficacia de la tarifa de protección de recurso hídrico en las ASADAS, donde una sola de las 1500 existentes ha podido implementar esta tarifa, este escenario refleja que, en 4 años de vigencia, únicamente, el 0.066% de estos operadores cuentan con este instrumento tarifario; suponiendo un promedio de que cada 4 años una ASADA pueda lograr implementar la tarifa, se tardarían 6000 años para que las 1500 puedan lograr la tarifa.

En relación con esto, en múltiples foros y de manera escrita, FEDAPRO ha solicitado a la ARESEP sustituir dicha metodología por un mecanismo similar a la tarifa vigente de hidrantes, la cual consiste en un simple pliego tarifario con el cual las ASADAS pueden implementar de manera inmediata e ir recaudando fondos para la mejora de sus redes de hidrantes.

Este mecanismo es simple, ha sido muy efectivo, y lo más importante, se adecúa a la realidad de las ASADAS y sus grandes limitaciones de personal y recursos, con respecto a esto, sin embargo, salvo modificaciones superficiales, e intentos estériles de facilitar el mecanismo, la compleja metodología actual se mantiene, lo que resulta en un bloqueo para poder enfrentar con la inmediatez que se requiere la enorme tarea que representa la posibilidad efectiva de proteger las fuentes de agua de los entes operadores del país.

Frente a todo este panorama, algunas ASADAS han optado por establecer un cobro mensual voluntario adicional en cada uno de los servicios que abastecen con el cual financian la compra de terrenos. La ASADA de Cirrí y Dulce Nombre han establecido este "aporte comunal", la ASADA de Guarumal lo va plantear para consideración en su próxima asamblea general. Se debe mencionar que esta fuente de ingresos es vulnerable a cualquier apelación que un abonado descontento pueda interponer pues no está autorizada por la normativa nacional.

Educación ambiental en las ASADAS

Un hallazgo muy importante dentro de las ASADAS estudiadas es que todas realizan actividades de educación ambiental con sus comunidades (cuadro 29), el impacto de estas es significativo pues cuatro de estas organizaciones lo realizan al menos dos veces al año, una indica realizarlo una vez al año, y otra refiere que lo realiza como una actividad constante a lo largo de todo el año.

Dentro de las actividades que se realizan sobresalen las campañas de reforestación en sus nacientes y en los terrenos adquiridos por FEDAPRO en la ZPEC, también se identifica la realización de visitas a las nacientes y la recolecta de basura en la comunidad (cuadro 29). Cabe destacar que el involucramiento de vecinos y vecinas en estas acciones es un rasgo muy positivo y necesario para la concienciación en torno a la conservación y gestión del recurso hídrico.

Cuadro 29
Actividades de educación ambiental

ASADA	¿Realiza la ASADA actividades de educación ambiental con su comunidad?	Frecuencia	Tipo de actividades realizadas
San Roque	Sí	Al menos una vez al año	Reforestación en la ZPEC.

ASADA	¿Realiza la ASADA actividades de educación ambiental con su comunidad?	Frecuencia	Tipo de actividades realizadas
Dulce Nombre	Sí	Dos veces al año	Reforestación en la ZPEC y terrenos de nacientes.
Cirrí	Sí	Dos veces al año	Reforestación (en nacientes y ZPEC), se tiene un programa llamado "pequeños guardianes del agua", se trabaja con estudiantes de escuelas, se realizan caminatas educativas a las nacientes.
Llano Bonito	Sí	Dos veces al año	Reforestación en la ZPEC y terrenos de nacientes.
Concepción de San Ramón	Sí	Dos veces al año	Recoger basura en comunidad, reforestación en ZPEC, limpieza de terrenos.
Guarumal	Sí	Actividad constante durante todo el año	Reforestación (en nacientes y ZPEC), visitas a las nacientes, mantenimiento de zonas reforestadas.

Fuente: elaboración propia con base en información recopilada.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ha quedado plasmado a lo largo de este informe que la situación del estado de las áreas de protección hídrica establecidas por la legislación nacional, así como las áreas de recarga acuífera potenciales identificadas para cada una de las nacientes en estudio, está caracterizada por una alta vulnerabilidad. Esta vulnerabilidad está determinada por una multiplicidad de amenazas dentro de las que se pueden mencionar: la existencia de actividades agropecuarias en sitios aledaños a los manantiales, aspecto agravado debido a la utilización de métodos convencionales de producción intensivos en uso de agroquímicos; alta invasión de usos de suelo contrarios a la protección del recurso hídrico; deficientes coberturas boscosas; demarcaciones de APH y ARA inadecuadas o inexistentes; inexistencia de tratamiento de aguas residuales y saneamiento, siendo que la utilización masiva de tanques sépticos que impera en el país y la zona de estudio tampoco es una garantía para evitar la contaminación de las fuentes de agua; fácil acceso por parte de terceros a la infraestructura de captación; existencia de residuos en terrenos cercanos a manantiales; entre otras más que fueron detalladas.

Sumadas a las graves vulnerabilidades referidas, se constató, además, que las ASADAS, sus personeros y juntas administradoras, no tienen las herramientas necesarias para velar adecuadamente por la conservación del recurso hídrico que gestionan; en relación con la prestación del servicio de abastecimiento de agua potable, sin duda, cumplen una labor encomiable; no obstante, el margen de

mejora para velar por la conservación del recurso hídrico aún es muy amplio. Es abrumadora la cantidad de aspectos por los cuales debe velar una ASADA para poder cumplir con el abastecimiento de agua potable en cantidad, calidad, continuidad y seguridad, por ejemplo, según datos de AYA, las ASADAS deben acatar lo establecido en al menos 50 textos legales,⁴⁸ que van desde aspectos constitucionales, jurisprudencia relacionada, leyes, reglamentos y otras normativas de menor jerarquía, además, deben responder al control de un amplio rango de instituciones que van desde el AYA, MINAE, SENARA, MINSA, Ministerio de Hacienda, ARESEP, DA, entre otras; sin embargo, no se tiene la capacitación, los recursos, la información técnico-científica, el personal, instrumentos legales, entre otros aspectos, necesarios para asegurar la conservación del recurso hídrico.

Adicionalmente, en este contexto, quedó en evidencia que no es suficiente contar con legislación clara sobre áreas de protección hídrica y áreas de recarga acuífera y, en general, sobre conservación de recurso hídrico, se requiere, además, que las instituciones con competencias legales establecidas en esta materia se aboquen al cumplimiento efectivo de sus mandatos legales, evidencia de esto es el grado de invasión de las APH de las nacientes y la incerteza sobre la identificación de ARA que predomina; asimismo, para esto se requieren datos sólidos y registros fidedignos accesibles para para la toma de decisiones certera.

Es apremiante e impostergable la necesidad de una revisión y corrección de los registros de nacientes del cantón de Naranjo y, en general, del país. Es imperativo que la información de la Dirección de Aguas refleje con certeza el tipo de fuente que se registra y la ubicación exacta de estas para que se cumpla efectivamente el resguardo de las áreas de protección establecidas por ley. De no realizarse esta actualización, las municipalidades del país seguirán autorizando construcciones en sitios que por ley están vedados, con las consecuencias que puede traer esto para la conservación del recurso hídrico.

En relación con un componente central de todo el trabajado aquí desarrollado, esto es, la modelación hidrológica para identificar las ARA potenciales de cada naciente, con base en los resultados de los estadísticos arriba presentados, se puede afirmar que se logró conformar una simulación precisa, cuyos datos de salida, brindan una fundamentación robusta para los aspectos aquí presentados.

Un aspecto muy relevante que se quiere subrayar, es uno de los resultados que mostró la modelación realizada, esto es, la identificación de la ZPEC como una importante área de recarga acuífera de las nacientes y microcuencas del cantón de Naranjo que se ubican tanto dentro de la cuenca alta del río Barranca y parte de la subcuenca del río Grande. En relación con lo anterior, se visualiza la importancia de continuar con las acciones concretas en la recuperación de la cobertura boscosa del sitio.

Asimismo, esto es un llamado para que desde el gobierno local y otras instituciones involucradas (MAG, SINAC, SENARA, AYA, INVU, DA, otros) se implementen acciones concretas y coordinadas para el resguardo de la ZPEC, acá, sin duda, se debe resaltar el papel de liderazgo que ha tomado FEDAPRO en la protección y restauración de esta área silvestre protegida. Cabe destacar, dentro de las acciones a implementar, se visualiza la necesidad de establecer medidas de ordenamiento territorial que regulen

⁴⁸ En el anexo 7 se presentan algunos de los textos legales mencionados.

aspectos como densidad poblacional, tipo de actividades económicas, tamaños de fraccionamientos de terrenos, uso de suelo; entre otros.

Se vislumbra, además, la necesidad urgente de modificar las prácticas agropecuarias de producción, se requiere la implementación de procesos más activos de capacitación y seguimiento técnico a los productores en áreas relacionadas con agricultura orgánica y regenerativa, sistemas agrosilvopastoriles; en este aspecto, es necesaria enfocar las actividades de extensión agrícola del MAG a este tipo de formas alternativas y ecológicas de producción.

Nótese, además, el gigantesco potencial que tendría la restauración de las APH de 200 metros de radio de cada nacimiento, esto, desde el punto de vista de los beneficios ecosistémicos que estos parches de bosque podrían generar. Por ejemplo, si únicamente se consideran las seis nacientes analizadas, se podría lograr alcanzar la regeneración de 75.36 hectáreas de bosques, sin lugar a duda, los beneficios podrían ser exponenciales en una amplia gama de aspectos, que van desde la captura de carbono, conservación de suelos, mitigación de cambio climático, conservación de biodiversidad (flora y fauna), conectividad ecosistémica, conservación de polinizadores, mejora de calidad de aire, desde luego, conservación de recurso hídrico, conservación de patrimonio fitogenético, entre muchos otros campos. ¿Y si se restauran las APH de las 983 nacientes de Naranjo? ¿O las APH de nacientes en todo el país? Y, en relación con esto, hay que mencionar, que, lamentablemente, aún no se visualiza la dinamización de los alcances e impacto de la denominada "Política nacional de áreas de protección".

Es necesario que los representantes de las ASADAS realicen una delimitación de las APH de las nacientes, que se generen procesos de diálogo con propietarios de terrenos para poder implementar algún tipo de medidas de conservación en las ARA identificadas en este trabajo. De ser posible llegar a algún acuerdo con propietarios de terrenos, se podría demarcar con métodos no tan invasivos como lo son las cercas, para dar paso al uso de mojones o rotulación.

Es urgente implementar algún mecanismo de financiamiento efectivo para compra de terrenos de APH y ARA, para apoyar la completa regeneración de la cobertura boscosa, aquí resulta muy importante continuar con la incidencia en las instituciones competentes para modificar y adecuar la tarifa de protección de recurso hídrico vigente a la realidad operacional y de recursos de las ASADAS, pues, como fue mencionado, más que apoyar en la protección del recurso hídrico, dada la complejidad de su metodología, representa un obstáculo para que las ASADAS puedan obtener fondos para este tipo de proyectos.

Se sugiere a FEDAPRO realizar las gestiones necesarias para que las ASADAS del cantón puedan contar con una estación meteorológica en la cabecera de las microcuencas del cantón y algunas estaciones hidrológicas en diferentes ríos y quebradas, para contar con información certera de las variaciones en las precipitaciones y poder realizar modelaciones como las realizadas en este trabajo y otros estudios más detallados con datos más precisos. En este sentido, se reitera la gran dificultad para acceder a datos meteorológicos del ICE, el IMN e ICAFE, esta debería ser información de acceso público para facilitar la investigación y la toma de decisiones en materia hídrica.

Se requiere que las ASADAS lleven un control más estricto de aforos mensuales de sus nacientes para aprehender el comportamiento y variaciones de los caudales, así como para poder contar con registros históricos de su comportamiento. Finalmente, es necesario contemplar las nacientes captadas para consumo humano como objeto de resguardo de caudales ambientales, esto, para asegurar la salud de los cuerpos de agua en los que afloran y la biodiversidad que alberga cada microcuenca.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, Alfredo et. al. (2014). Arcillas identificadas en suelos de Costa Rica a nivel generalizado durante el período 1931-2014: I. historia, metodología de análisis y mineralogía de arcillas en suelos derivados de cenizas volcánicas. En Revista Agronomía Costarricense 38 (1): 75-106, 2014.
- _____ (2001). Suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) de Costa Rica. Editorial Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.
- Arellano, Federico et. al. (2020). Informe final de consultoría "Levantamiento, procesamiento y análisis de datos en Organizaciones Comunes Prestadoras de Servicios de Agua Potable y Saneamiento. Centro de Documentación e Información, Subgerencia de Gestión de Sistemas Delegados, AyA.
- _____ (2015). Estudio integral del recurso hídrico subterráneo de la parte alta de la cuenca del Río Barranca y la subcuenca del Río La Paz, Alajuela. Centro de Documentación e Información, UEN de Investigación y Desarrollo, AyA.
- Arias, Mario (2018). Estudio de las zonas de protección de las fuentes de abastecimiento público utilizadas por las ASADAS en el sector de Piedades Sur de San Ramón, Costa Rica. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas (CICG), UCR, PNUD.
- Asensios, Henry (2020). Servicio de consultoría para la elaboración del estudio "actualización hidroclimática y modelación hidrológica en la vertiente del lago Titicaca, Perú". Proyecto "Gestión integrada de los recursos hídricos en el sistema Titicaca – Desaguadero – Poopó – Salar de Coipasa (TDPS)". Senamhi, PNUD, Ministerio del Ambiente, Lima.
- Aparicio, Francisco (1992). Fundamentos de hidrología de superficie. Editorial Limusa S.A., México, 1992.
- AyA (2021). Agua para consumo humano y saneamiento en Costa Rica al 2020: brechas en tiempos de pandemia. Unidad Técnica de los Servicios de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento (UTSAPS), San José, Costa Rica. AyA.
- _____ (2020a). Memoria Institucional del periodo 2010-2020 del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica: AyA.
- _____ (2020b). Manual de Procedimientos de la Categoría de Entes Operadores. Programa Sello de Calidad Sanitaria del Laboratorio Nacional de Aguas, Junio, 2020.
- _____ (2019). Aspectos básicos para la gestión de las nuevas Juntas Directivas de las ASADAS. Subgerencia Gestión de Sistemas Comunes, AYA.
- _____ (2016). Política Nacional de Agua Potable de Costa Rica 2017-2030. Comisión Interinstitucional. San José, Costa Rica. AyA: 2016.

- Badilla y Solórzano (2021). El agua en la región de Occidente de Costa Rica: un balance de la situación. Editorial de la UCR, San José, CR.
- Ballesteros, M. y Zeledón, J. (2016). Canon de aprovechamiento de agua: 10 años invirtiendo en el recurso hídrico. San José, Costa Rica: MINAE.
- Benegas, L et. al. (2021). Positive Effects of Scattered Trees on Soil Water Dynamics in a Pasture Landscape in the Tropics. *Front. Water* 3:736824.
- Blanco, Harold (2010). Áreas de recarga hídrica de la parte media-alta de las microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito, San Carlos, Costa Rica. Cuadernos de Investigación UNED (Edición en Línea, ISSN: 1659-441X) Vol. 2(2): 181-204, Diciembre, 2010.
- Bruijnzeel, L.A. y Hamilton, L.S. (2000). Decision time for cloud forests. IHP Humid Tropics Programme Series No. 13. París, UNESCO.
- Cavelier y Vargas (2002). Procesos hidrológicos. En Guariguata, M; Kattan, G (eds.) (2002). Ecología y conservación de bosques neotropicales. Cartago, Costa Rica, Libro Universitario Regional.
- Cabrera, J. (2015). Modelos hidrológicos. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil, IMEFEN, Lima-Perú.
- CIA (2016). Mapa digital de suelos de Costa Rica. Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica. Disponible en: http://www.cia.ucr.ac.cr/?page_id=139.
- CIAMA (1992). Declaración de Dublín Sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible. Informe de la Conferencia El desarrollo en la perspectiva del Siglo XXI 26-31 de enero de 1992, Dublín, Irlanda.
- CGR (2014). Informe de la Auditoría de carácter especial acerca del cumplimiento de las obligaciones establecidas en la normativa para el resguardo de las Áreas de Protección de los ríos ubicados en la Gran Área Metropolitana, Área de Fiscalización de Servicios Ambientales y Energía. Informe No. DFOE-AE-IF-14-2014, 10 de diciembre 2014.
- _____ (2013). Informe acerca de la eficacia del estado para garantizar la calidad del agua en sus diferentes usos. Área de Fiscalización de Servicios Ambientales y Energía. Informe No. DFOE-AE-IF-01-2013, 15 de febrero, 2013.
- Davie, Tim (2008). *Fundamentals of hydrology*. Taylor & Francis e-Library, New York, second edition.
- De la Torre, T. y Rodríguez, A. (2000). C. T. Energía S. A. Análisis de la conservación de bosques en la generación hidroeléctrica. Proyecto Eco- Mercados, pp.72-81.
- Dirección de Aguas (2021). Guía de selección de metodologías para la estimación del caudal ambiental en Costa Rica. Comisión de Caudal Ambiental, San José Costa Rica.
- _____ (2019). Mapas de potencial de acuíferos. Proyecto "Exploración y evaluación de las aguas subterráneas en la República de Costa Rica". DA y Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, siglas en inglés). Disponibles en: <https://da.go.cr/proyecto-usgs/>.
- Dourojeanni, A. (2009). Los desafíos de la gestión integrada de cuencas y recursos hídricos en América Latina y el Caribe. *Revista Desarrollo Local Sostenible*. Volumen 3, Número 8. Santiago, Chile.
- Dourojeanni, A. et al. (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Serie recursos naturales e infraestructura, CEPAL-ONU. Santiago, Chile.
- ECOPLAN (2011). Estudio de plan regulador del cantón de Naranjo. Capítulo II, diagnóstico. Municipalidad de Naranjo, junio 2011.
- Fallas, Agustín (2010). Pago por servicios ambientales en las cuencas Sarapiquí y Toro: implicaciones teóricas y técnicas de un análisis de factibilidad. *Revista de Ciencias Ambientales (TropJ EnvironSci)*. Vol. 40 (2): 3-18, diciembre 2010.

- FAO (2009). Los bosques y el agua. Estudio FAO Montes 155. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Italia.
- Fundecooperación (2021). Consultoría para la integración efectiva de estrategias de adaptación al cambio climático en procesos de planificación de los cantones de Naranjo, Turrialba, Belén y Acosta. NAP Readiness Costa Rica – ONU Medio Ambiente, junio 2021.
- González, Walker (2011). Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la subcuenca del río Zaratí, Panamá. Tesis sometida a consideración como requisito para optar por el grado de Magister Scientiae en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. CATIE, Turrialba.
- Guariguata, M; Kattan, G (eds.) (2002). Ecología y conservación de bosques neotropicales. Cartago, Costa Rica, Libro Universitario Regional.
- Hamilton, L.S. (1991). Bosques tropicales: Mitos y realidades. *Unasylya*, 166 (42): 19-27.
- IMN (2014). Manual Técnico del Departamento de Aguas del Instituto Meteorológico Nacional. La Gaceta No. 98.10 Circular 01-PPP-2020, 20 de mayo del 2004.
- INEC (2021). Precipitación anual, según estación (en milímetros) 2019-2020, IMN. Anuarios Estadísticos, Medio Ambiente. San José, Costa Rica.
- _____ (2011). Censo nacional de población. Instituto Nacional de Estadística y Censos, San José, Costa Rica.
- ITEC (2014). Atlas Digital de Costa Rica 2014. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- García, José (2011). Sistemas de captaciones de agua en manantiales y pequeñas quebradas de la región. Primera edición. Yuto: Ediciones INTA, 2011.
- Kammerbauer, Hans et. al. (2010). Modelo de cogestión adaptativa de cuencas hidrográficas. Propuesta conceptual basada en la revisión crítica de las experiencias en Honduras y Nicaragua. *Recursos Naturales y Ambiente/no. 56-57: 117-122.*
- Jiménez, Francisco (2021). Bases conceptuales del manejo, gestión y cogestión de cuencas hidrográficas. Documento base del curso Manejo y gestión integral de cuencas hidrográficas I, CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Martines, Cecilia (2021). Informe de Gestión 2020. Subgerencia Sistemas Delegados, AYA, Enero, 2021.
- Matus, Oscar et. al. (2009). Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica. Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. Serie técnica. Boletín técnico N° 38. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Matus, Oscar (2007). Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. Tesis sometida a consideración como requisito para optar por el grado de Magister Scientiae en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. CATIE, Turrialba.
- MIDEPLAN (2022). Municipalidades se comprometen con el desarrollo sostenible. Disponible en: <https://www.mideplan.go.cr/municipalidades-se-comprometen-con-el-desarrollo-sostenible>.
- MINAE (2021). Manual Técnico de Dotaciones de Agua. Resolución R-0327-2021-MINAE del 29 de setiembre del 2021.
- MINAE (2020). Política Nacional de Áreas de Protección de Ríos, Quebradas, Arroyos y Nacientes, 2020-2040. San José, Costa Rica.

- MINAE (2017). Guía interna de apoyo para elaborar el dictamen de un cuerpo de agua. Dirección de Aguas, DA-GRH-0013.
- MINAE-IMAT-BID (2008). Elaboración de balances hídricos por cuencas hidrográficas y propuesta de modernización de las redes de medición en Costa Rica. BID, San José, Costa Rica, Mayo 2008. II.3-10
- Monge, María (2020). Estudio Hidrogeológico para la cuenca del río Grande, Alajuela, Costa Rica. N° SENARA-DIGH-UI-INF-004-2020. Dirección de Investigación y Gestión Hídrica, Unidad de Investigación, SENARA.
- Mora y Portuguez (2017). Agua para consumo humano y saneamiento en Costa Rica al 2016 - Metas al 2022 y 2030. Laboratorio Nacional de Aguas, AyA.
- Neitsch, S.L. et. al. (2015). Herramienta de Evaluación de Suelo y Agua. Documentación teórica. Agricultural Research Service, Temple, Texas.
- OMM (2011). Guía de prácticas hidrológicas. Volumen II. Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas. OMM-N° 168, sexta edición.
- Pascual, Juan y Días, Mario (2016). Guía práctica sobre la modelización hidrológica y el modelo HEC-HMS. Serie Cuadernos de geomática. Centro para el conocimiento del paisaje, Alcalá de Henares, Madrid.
- PEN (2022). El agua como derecho humano: reconocimientos y disputas en Costa Rica. Programa Estado de la Nación. Villarreal, E. Fernández y Bruce M. Wilson editores. San José, C.R.: CONARE - PEN, 2022.
- PGR (2020). Dictamen 083 del 13 de marzo del año 2020. Consultado del Sistema Nacional de Legislación Vigente (SINALEVI).
- _____ (2002). Opinión Jurídica: 064 – J, del 30 de abril del año 2002. Consultado del Sistema Nacional de Legislación Vigente (SINALEVI).
- PNUD-Costa Rica (2022a). Uso aparente de plaguicidas en la agricultura de Costa Rica. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. San José, Costa Rica. Disponible en: <https://impactoplaguicidas.cr>.
- _____ (2022b). Impacto potencial de los plaguicidas sobre el capital natural y sus servicios ecosistémicos en Costa Rica. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. San José, Costa Rica. Disponible en: <https://impactoplaguicidas.cr>.
- _____ (2022c). Diagnóstico de afectación a la salud por uso de plaguicidas en Costa Rica. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. San José, Costa Rica. Disponible en: <https://impactoplaguicidas.cr>.
- _____ (2022d). Costo económico y fiscal del uso de plaguicidas en Costa Rica. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. San José, Costa Rica. Disponible en: <https://impactoplaguicidas.cr>.
- República de Costa Rica (1996). Ley Forestal, N° 7575. Diario oficial La Gaceta, 16 de abril de 1996.
- _____ (1961). Ley Constitutiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado, No. 2726. Diario oficial La Gaceta, 27 de Agosto de 1961.
- _____ (1942). Ley de Aguas, N° 276. Diario oficial La Gaceta, 27 de agosto de 1942.
- Ríos, Ney (2021). Generación de parámetros estadísticos de clima vía macro WGN-Excel. Documento de trabajo sin publicar.

- Ríos, Ney et. al. (2008). Evaluación de la recarga hídrica en sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos. *Zootecnia Tropical*, 26 (3): 183-186.
- SETENA (2013). Resolución N°0958-2013-SETENA sobre Plan Regulador del Cantón de Naranjo, expediente administrativo EAE-02-2012-SETENA.
- SINAC (2015). Plan de manejo integral para la cuenca del Río Barranca. Producto No. 2. San José-Costa Rica, julio del 2015. Borrador de trabajo facilitado por el profesor William Watler del CATIE.
- SINIA (2020). Mapa de cobertura de usos del suelo de Costa Rica (escala 10 metros). Proyecto de Capital Natural, Universidad Stanford: Disponible en: https://storage.cloud.google.com/ecoshardroot/nasa_geobon_costarica/LULC_CR_SINIA.zip
- SINIA (2018). Informe del Estado del Ambiente Costa Rica 2017. Concejo Nacional Ambiental: Costa Rica, San José.
- Schosinsky, Gunter (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. *Revista Geológica de América Central*, 34-35: 13-30. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.
- Vásquez, Narciso (2008). Plan de ordenamiento territorial participativo para la gestión de zonas potenciales de recarga hídrica en la micro región hidrográfica Balalaica, Turrialba, Costa Rica. Tesis sometida a consideración como requisito para optar por el grado de Magister Scientiae en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. CATIE, Turrialba.
- Valverde, Ricardo (2016). La problemática del agua en Costa Rica. San José: Editorial UCR.
- Weber y Baigorri (2019). Calibración del modelo hidrológico SWAT para una cuenca de la región serrana de Córdoba (Argentina). *Aqua-LAC Volumen 11 (1) Setiembre 2018 – Marzo 2019*, UNESCO, PHI.
- Welcher, Wayne et. al. (2019). Groundwater Exploration and Assessment in the Republic of Costa Rica. United States Geological Survey (USGS), Reston, Virginia: 2019. Disponible en: <https://da.go.cr/proyecto-usgs/>.

ANEXOS

ANEXO 1

Cronograma

Cronograma de actividades del TFG 2021 – 2022																												
Fases	Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo							
Elaboración del proyecto de trabajo de graduación	■	■	■	■																								
Aprobación de proyecto por el profesor asesor y la coordinación de la maestría					■	■	■	■																				
Presentación del seminario de proyecto de trabajo de graduación								■																				
Organización y análisis de la información									■	■	■	■																
Elaboración de resultados										■	■	■	■	■	■													
Redacción de informe final													■	■	■	■	■	■	■									
Presentación del seminario final de proyecto de trabajo de graduación																							■	■				
Incorporación de correcciones																							■	■	■	■		
Reproducción y distribución del documento																											■	■

ANEXO 2

Instrumentos utilizados

Ficha 1

Inspección de áreas de protección hídrica (APH) de nacientes

Fecha de inspección: _____

ASADA:

Nombre de fuente:

Caudal máximo aforado _____

Indicar mes y año de registro del caudal máximo aforado

Caudal mínimo aforado _____

Indicar mes y año de registro del caudal mínimo aforado

Caudal promedio año 2021 _____

Caudal promedio año 2020 _____

Caudal promedio año 2019 _____

Caudal promedio total de registros _____

¿Están las fuentes inscritas ante MINAE?

No

Sí

¿La información del registro en MINAE coincide con los datos de campo? (verificar principalmente ubicación y tipo de fuente)

Sí

No. Indicar tipo de datos erróneos: _____

Está la naciente ubicada aguas abajo de caseríos, sitios de actividades agropecuarias, industrias o algún otro tipo de actividad económica
 No
 Sí. Indicar actividades: _____

¿Los terrenos del AP son propiedad de la ASADA?
 No
 Sí. Indicar cantidad de metros cuadrados adquiridos: _____

Estado de infraestructura de captación: (realizar registro fotográfico)
 Excelente
 Muy buena
 Buena
 Regular
 Mala
Indicar tipo de captación (realizar registro fotográfico): _____

La captación de la naciente cuenta con cerramiento de malla u otro tipo para impedir el ingreso o manipulación de personas y paso de animales a la naciente (realizar registro fotográfico).
 No
 Sí

Estado de cerramiento de captación de naciente de malla u otro tipo (realizar registro fotográfico)
 Excelente
 Muy buena
 Buena
 Regular
 Mala

¿Está demarcada y delimitada el APH de la naciente en un radio de 100 metros desde la captación? (realizar registro fotográfico)
 No
 Sí. Indicar tipo de demarcación () Cerca () Mojones () Otro _____

¿Está demarcada el APH de la naciente en un radio de 200 metros desde la captación? (realizar registro fotográfico)
 No
 Sí. Indicar tipo de demarcación () Cerca () Mojones () Otro _____

¿Cuenta la ASADA con información cartográfica del APH de nacientes?
 No
 Sí Indicar tipo de documentación: _____

¿Tiene la naciente un área de protección hídrica mayor a la establecida por ley fundamentada en un estudio hidrogeológico debidamente aprobado por SENARA?

No ()

Sí ()

¿Cuenta la ASADA con estudios hidrogeológicos, de canal de flujo, isótopos estables, pruebas de infiltración, otros?

No ()

Sí () Indicar tipo de estudio: _____

Existe dentro del AP de la naciente rotulación con información preventiva

No ()

Sí () (Realizar registro fotográfico)

Se respeta el caudal ambiental en la fuente

Sí ()

No ()

Se observa alguna especie de residuos, escombros, basura, otro, en el AP de la naciente

() No

() Sí (Realizar registro fotográfico)

Indicar tipo de residuo: _____

Existe cobertura boscosa en el AP de la naciente

() No

() Sí

Estado de cobertura boscosa en el AP de la naciente (realizar registro fotográfico)

() Excelente

() Muy buena

() Buena

() Regular

() Mala

() Inexistente

La cobertura boscosa en el AP de la naciente corresponde a especies nativas

() No

() Sí

Se observan especies exóticas de árboles en el AP de la naciente

() No

() Sí

Indicar especies: _____

¿La ASADA realiza alguna actividad para aumentar la cobertura forestal dentro del AP?

() No

() Sí Describir actividades: _____

Presencia de cultivos dentro de AP de 100 metros

() No

Sí Indicar tipos de cultivos: _____

Presencia de infraestructuras en APH de 100m:

No

Sí

Tipo de infraestructura: _____

¿Se observa algún otro riesgo de contaminación de la naciente?

No

Sí

Descripción del tipo de riesgo: _____

Caracterizar el uso de suelo dentro del área de protección del radio de 100 metros

Caracterizar el uso de suelo dentro del área de protección del radio de 200 metros

Caracterizar el uso de suelo dentro del área aledaña a la naciente en un radio de 300 metros

Ficha 2

Inspección de áreas de recarga acuífera (ARA) de nacientes

Fecha de inspección: _____

ASADA:

Nombre de fuente:

Está el ARA de la naciente ubicada aguas abajo de caseríos, sitios de actividades agropecuarias, industrias o algún otro tipo de actividad económica

No

Sí. Indicar y caracterizar actividades: _____

¿Los terrenos del ARA son propiedad de la ASADA?

No

Sí. Indicar cantidad de metros cuadrados adquiridos: _____

El ARA de la naciente cuenta con cerramiento de malla u otro tipo para resguardar los terrenos (realizar registro fotográfico).

No

Sí

Estado de cerramiento de ARA (realizar registro fotográfico)

Excelente

Muy bueno

Buena

Regular

Mala

No aplica

¿Está demarcada y delimitada el ARA? (realizar registro fotográfico)

No

Sí. Indicar tipo de demarcación o delimitación () Cerca () Mojones () Otro _____

¿Cuenta la ASADA con información cartográfica del ARA de nacientes?

No

Sí Indicar tipo de documentación cartográfica: _____

Existe dentro del ARA de la naciente rotulación con información preventiva (Realizar registro fotográfico)

No ()

Sí ()

Se observa alguna especie de residuos, escombros, basura, otro, en el ARA de la naciente (Realizar registro fotográfico)

No

Sí

Indicar tipo de residuo: _____

Existe cobertura boscosa en el ARA de la naciente

- No
- Sí

Estado de cobertura boscosa en el ARA de la naciente (realizar registro fotográfico)

- Excelente
- Muy buena
- Buena
- Regular
- Mala
- Inexistente

La cobertura boscosa en el ARA de la naciente corresponde a especies nativas

- No
- Sí

Se observan especies exóticas de árboles en el ARA de la naciente

- No
- Sí

Indicar especies: _____

¿La ASADA realiza alguna actividad para aumentar la cobertura forestal dentro del ARA?

- No
 - Sí Describir actividades: _____
-

Existe presencia de cultivos dentro del ARA

- No
 - Sí Tipos de cultivos: _____
-

Existe presencia de infraestructuras dentro del ARA

- No
 - Sí
- Tipo de infraestructura: _____
-

¿Se observa algún otro riesgo de contaminación del ARA de la naciente?

- No
 - Sí
- Descripción del tipo de riesgo: _____
-
-
-

Caracterizar el uso de suelo dentro del ARA de la naciente (realizar registro fotográfico)

Ficha 3

Análisis de capacidades de gestión de las ASADAS para la conservación del recurso hídrico

Nombre de ASADA:

Nombre de la persona a que se aplica el cuestionario:

Puesto que ocupa:

Datos de la ASADA:

Cantidad de nacientes captadas y en uso actualmente: _____

Cantidad de nacientes en proyecto para captar: _____

Realiza la ASADA aforos mensuales: Sí () No () Otra frecuencia _____

¿Desde qué año se tienen registros de aforos?

¿En qué formato se respalda el registro de aforos?

() Impreso en papel

() Digital

() Otro formato. Indicar _____

Cantidad total de servicios activos a diciembre del año 2021: _____

Máximo consumo registrado (m³) _____

Mínimo consumo registrado (m³) _____

Cantidad de servicios domiciliarios _____

Cantidad de servicios empresariales/comerciales _____

¿Cuenta la ASADA con estudio técnico integral de acueducto?

Sí ()

No ()

¿El estudio está revisado y aprobado por el AYA?

Sí () Indicar año de aprobación

No ()

¿Cuenta la ASADA un balance hídrico actualizado?

- Sí
- No

¿Cuenta la ASADA con caudal para nuevos servicios en los próximos años?

¿Cuenta la ASADA con macromedición en las fuentes y otros sitios del acueducto?

- Sí Indicar sitios del sistema con macromedición
- No

¿Cuenta la ASADA con micromedición en sus servicios?

- En el 100%
- Entre un 75% y 99%
- Entre un 50% y 74%
- Entre un 25% y 49%
- Entre un 0% y 24%

¿Cuenta la ASADA con planos de toda su red de acueducto? (Sí, no, de manera parcial)

- Sí
- No

¿Tiene la ASADA acceso a uso de herramientas informáticas tales como SIG para identificación de infraestructura?

- Sí Indicar tipo de herramientas informáticas
- No

¿Ha aplicado la ASADA la herramienta denominada Plan de Mejora y Eficiencia?

- Sí. Indicar calificación obtenida y categoría de ente operador _____
- No

En caso de estar demarcadas las APH, la ASADA:

- Lo realizó con sus propios recursos y personal
- La ASADA contrató a una empresa o consultor para realizar esta actividad
- Lo realizó el AYA por solicitud de la ASADA

En caso de estar demarcadas las ARA, la ASADA:

- Lo realizó con sus propios recursos y personal
- La ASADA contrató a una empresa o consultor para realizar esta actividad
- Lo realizó el AYA por solicitud de la ASADA

¿Cuenta la ASADA con estudio hidrogeológico de cada una de sus nacientes? Sí No

¿Está el estudio hidrogeológico aprobado por SENARA? Sí No

¿Fueron comunicados los resultados del estudio hidrogeológico al municipio donde se ubican?

- Sí
- No

¿Se aplica alguna restricción de uso de suelo emitidas por el estudio hidrogeológico? Sí No

¿Tiene la ASADA algún plan o programa que contemple aspectos relacionados con impacto y adaptación al cambio climático?

- Sí
- No

¿Cuenta la ASADA con un plan de gestión de riesgo que considere sus fuentes de agua, APH y ARA?

- Sí
 No

¿Tiene la junta directiva conocimiento del estado actual de las nacientes, las captaciones y las áreas de protección?

¿Están todas las nacientes de la ASADA debidamente registradas en la Dirección de Aguas de MINAE?

¿Ha realizado la ASADA inscripción de nacientes adicionales en los últimos 5 años?

¿Realiza la junta directiva visitas frecuentes a las nacientes y sus alrededores?

- Sí
 No

¿Con qué frecuencia realiza la junta directiva visitas? _____

¿Realiza el personal de la ASADA visitas a las nacientes y sus áreas de protección?

- Sí
 No

¿Con qué frecuencia el personal de la ASADA realiza visitas?

¿Capacitación recibida por parte de AYA, INA, SENARA, DA, MINAE o alguna otra entidad en materia de protección y gestión de recurso hídrico? Detallar

¿El personal de la ASADA ha recibido algún tipo de capacitación relacionada con protección áreas de protección de nacientes? Sí No

¿La ASADA ha presentado denuncias por invasión de áreas de protección o recarga acuífera de sus nacientes?

¿La ASADA ha presentado denuncias por riesgo de contaminación de nacientes o área de recarga acuífera de sus nacientes?

¿En su opinión cuál es el estado de la cobertura boscosa de las nacientes de la ASADA?

- Excelente Muy bueno Bueno Regular Malo Muy malo

¿La ASADA ha "broqueado" alguna de las nacientes?

- Sí
 No
 No conoce esta técnica

¿Tiene la ASADA algún tipo de infraestructura de saneamiento de aguas residuales?

- Sí No ¿Por qué?

¿Contempla la ASADA el saneamiento dentro de sus proyectos futuros?

- Sí No ¿Por qué?

¿Visualiza la ASADA algún proyecto de PTAR en un plazo a cinco años?

- Sí No ¿Por qué?

¿Los terrenos donde se ubican las nacientes son propiedad de la ASADA?

- Sí No

Indicar si los terrenos donde se ubican las nacientes son propiedad de la ASADA en su totalidad, de manera parcial, en algunas de las nacientes otros.

¿Contempla la ASADA la compra de los terrenos dentro de sus proyectos futuros?

() Sí () No

¿Podría usted mencionar limitaciones existentes de la ASADA para la compra de terrenos de APH y ARA?

¿Realiza la ASADA actividades de educación ambiental con su comunidad?

() No

() Sí Frecuencia con las que la realiza: _____

Tipo de actividades que realiza: _____

ANEXO 3

Coordenadas de nacientes analizadas

ASADA	Nombre de naciente	Coordenadas (CRTM05)	
Cirrí	José Alpizar	459521.991	1121731.712
Concepción de San Ramón	Naciente F4	455826.591	1121659.66
Dulce Nombre	Naciente F3	457268.31	1118503.409
Guarumal	Chico Luis 2	454396.561	1121542.112
Llano Bonito	Naciente 1 Las Avispas	459099.008	1124822.99
San Roque	El Puente	454590.127	1120133.004

Fuente: elaboración propia.

ANEXO 4

Revisión de datos de la capa "DA_CONCESIONES" de la DA, nacientes del cantón de Naranjo registradas e identificadas erróneamente como "río" o "quebrada".

ID	ESTE_CRTM0	NORTE_CRTM	TIPO FUENTE SEGÚN DA (DATO INCORRECTO)	TIPO DE FUENTE CORRECTA	Nº DE EXPEDIENTE EN DA	RAZÓN SOCIAL
21789	454710.6017	1117632.042	RIO	NACIENTE	1497	PALMITOS DE NARANJO, ALAJUELA
21790	454710.6017	1117632.042	RIO	NACIENTE	1497	PALMITOS DE NARANJO, ALAJUELA
21681	454710.6017	1117632.042	RIO	NACIENTE	1497	PALMITOS DE NARANJO, ALAJUELA
15063	459643.7601	1122069.767	RIO	NACIENTE	888	ASADA CIRRI SUR, NARANJO
15064	459524.4334	1121739.91	RIO	NACIENTE	888	ASADA CIRRI SUR, NARANJO
15065	459244.2961	1120599.27	RIO	NACIENTE	888	ASADA CIRRI SUR, NARANJO
15066	459243.3103	1120613.27	RIO	NACIENTE	888	ASADA CIRRI SUR, NARANJO
15067	458898.2335	1120514.627	RIO	NACIENTE	888	ASADA CIRRI SUR, NARANJO
15068	460376.5199	1119909.17	RIO	NACIENTE	888	ASADA CIRRI SUR, NARANJO
15076	456797.5932	1118752.867	RIO	NACIENTE	251	ASADA DULCE NOMBRE DE NARANJO
15077	458779.9154	1119203.835	RIO	NACIENTE	251	ASADA DULCE NOMBRE DE NARANJO
15078	458706.4838	1118771.938	RIO	NACIENTE	251	ASADA DULCE NOMBRE DE NARANJO
15122	460046.1509	1125431.139	RIO	NACIENTE	174	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
15126	461089.9695	1126300.02	RIO	NACIENTE	174	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
15127	460241.3979	1125685.924	RIO	NACIENTE	174	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

ID	ESTE_CRTM0	NORTE_CRTM	TIPO FUENTE SEGÚN DA (DATO INCORRECTO)	TIPO DE FUENTE CORRECTA	Nº DE EXPEDIENTE EN DA	RAZÓN SOCIAL
21264	459793.0724	1124355.466	RIO	NACIENTE	935	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO RURAL DE LLANO BONITO SUR ESTE DE NARANJO
21265	455103.8397	1116899.695	RIO	NACIENTE	944	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
21289	454710.6017	1117632.042	RIO	NACIENTE	1497	PALMITOS DE NARANJO, ALAJUELA
21377	457014.0755	1121224.487	RIO	NACIENTE	951	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
21392	454710.6017	1117632.042	RIO	NACIENTE	1497	PALMITOS DE NARANJO, ALAJUELA
21393	454710.6017	1117632.042	RIO	NACIENTE	1497	PALMITOS DE NARANJO, ALAJUELA
17986	458765.6	1118890.871	RIO	NACIENTE	251	ASADA DULCE NOMBRE DE NARANJO
17998	458414.3166	1122538.984	RIO	NACIENTE	901	ASADA SAN JUAN, NARANJO
18115	458771.3144	1122559.62	RIO	NACIENTE	919	ASADA SAN ANTONIO DE LA CUEVA
18131	454590.1273	1120133.004	RIO	NACIENTE	930	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
18377	456374.37	1119495.245	RIO	NACIENTE	929	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
18750	461736.5707	1121037.713	RIO	NACIENTE	270	ASADA LOS ROBLES DE NARANJO
6210	458935.5976	1120876.564	QUEBRADA	NACIENTE	259	ASADA CONCEPCION DE PILAS, BUENOS AIRES
7111	455279.7256	1114805.66	QUEBRADA	NACIENTE	41	ASADA SAN MIGUEL DE NARANJO
12896	459101.5892	1124820.139	RIO	NACIENTE	935	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO RURAL DE LLANO BONITO SUR ESTE DE NARANJO
12897	459354.465	1124713.889	RIO	NACIENTE	935	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO RURAL DE LLANO BONITO SUR ESTE DE NARANJO
12898	459297.4433	1124688.949	RIO	NACIENTE	935	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO RURAL DE LLANO BONITO SUR ESTE DE NARANJO
12899	459544.0246	1124292.723	RIO	NACIENTE	935	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO RURAL DE LLANO BONITO SUR ESTE DE NARANJO
12900	459626.064	1124336.637	RIO	NACIENTE	935	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO RURAL DE LLANO BONITO SUR ESTE DE NARANJO
12901	459696.0767	1124353.565	RIO	NACIENTE	935	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO RURAL DE LLANO BONITO SUR ESTE DE NARANJO
12902	460408.5405	1123871.871	RIO	NACIENTE	935	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO RURAL DE LLANO BONITO SUR ESTE DE NARANJO
12903	460408.5558	1123886.87	RIO	NACIENTE	935	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO RURAL DE LLANO BONITO SUR ESTE DE NARANJO
12911	455011.8228	1116876.789	RIO	NACIENTE	944	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
12912	455038.83	1116885.762	RIO	NACIENTE	944	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
12913	455081.8312	1116889.718	RIO	NACIENTE	944	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
12227	460104.9242	1119302.487	RIO	NACIENTE	932	ASOCIACION ADMINISTRADORA DE ACUEDUCTO RURAL SAN MIGUEL
12228	457078.1442	1121296.417	RIO	NACIENTE	927	AyA SAN JOSE DE NARANJO, SAN JUANILLO
12229	460410.2648	1123600.887	RIO	NACIENTE	927	AyA SAN JOSE DE NARANJO, SAN JUANILLO
12230	460086.9407	1119317.505	RIO	NACIENTE	932	ASOCIACION ADMINISTRADORA DE ACUEDUCTO RURAL SAN MIGUEL
12714	453790.1822	1119144.871	RIO	NACIENTE	919	ASADA SAN ANTONIO DE LA CUEVA
12333	460507.9758	1119381.074	RIO	NACIENTE	932	ASOCIACION ADMINISTRADORA DE ACUEDUCTO RURAL SAN MIGUEL
12334	460076.9272	1119303.516	RIO	NACIENTE	932	ASOCIACION ADMINISTRADORA DE ACUEDUCTO RURAL SAN MIGUEL
12335	460511.9796	1119385.07	RIO	NACIENTE	932	ASOCIACION ADMINISTRADORA DE ACUEDUCTO RURAL SAN MIGUEL
12339	460018.0538	1119424.567	RIO	NACIENTE	932	ASOCIACION ADMINISTRADORA DE ACUEDUCTO RURAL SAN MIGUEL
12347	460019.0639	1119434.565	RIO	NACIENTE	932	ASOCIACION ADMINISTRADORA DE ACUEDUCTO RURAL SAN MIGUEL
12348	458734.4542	1124664.523	RIO	NACIENTE	933	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
12349	458447.2305	1123441.892	RIO	NACIENTE	933	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
12350	458646.2521	1123475.688	RIO	NACIENTE	933	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
12351	455002.7511	1121767.486	RIO	NACIENTE	933	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

ID	ESTE_CRTM0	NORTE_CRTM	TIPO FUENTE SEGÚN DA (DATO INCORRECTO)	TIPO DE FUENTE CORRECTA	Nº DE EXPEDIENTE EN DA	RAZÓN SOCIAL
13396	462428.0019	1123474.843	RIO	NACIENTE	270	ASADA LOS ROBLES DE NARANJO
12952	462424.9827	1123455.847	RIO	NACIENTE	270	ASADA LOS ROBLES DE NARANJO
13448	454590.7223	1121713.905	RIO	NACIENTE	950	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
13449	456696.9203	1121050.818	RIO	NACIENTE	950	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
13450	456159.8346	1121921.306	RIO	NACIENTE	950	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
13451	457011.0879	1121236.489	RIO	NACIENTE	951	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
13452	457017.0915	1121240.483	RIO	NACIENTE	951	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
14427	457315.746	1121906.138	RIO	NACIENTE	30	ASADA CONCEPCION DE NARANJO
14428	457299.7582	1121917.153	RIO	NACIENTE	30	ASADA CONCEPCION DE NARANJO
14429	457353.8002	1121962.095	RIO	NACIENTE	30	ASADA CONCEPCION DE NARANJO
14430	457339.8001	1121961.11	RIO	NACIENTE	30	ASADA CONCEPCION DE NARANJO
14431	457350.8034	1121965.098	RIO	NACIENTE	30	ASADA CONCEPCION DE NARANJO
14432	457348.7945	1121956.101	RIO	NACIENTE	30	ASADA CONCEPCION DE NARANJO
13453	457030.0795	1121229.47	RIO	NACIENTE	951	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
13454	457065.0692	1121221.435	RIO	NACIENTE	951	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
14484	456578.8986	1113074.479	ACUIFERO	NACIENTE	912	ASADA LINDA VISTA DE SAN MIGUEL
13021	454887.7129	1121722.605	RIO	NACIENTE	950	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
14599	458894.1395	1123380.442	RIO	NACIENTE	919	ASADA SAN ANTONIO DE LA CUEVA
14600	459179.4578	1122727.195	RIO	NACIENTE	919	ASADA SAN ANTONIO DE LA CUEVA
14601	459169.4138	1122683.208	RIO	NACIENTE	919	ASADA SAN ANTONIO DE LA CUEVA
14602	457601.9681	1121155.896	RIO	NACIENTE	919	ASADA SAN ANTONIO DE LA CUEVA
14603	459276.4879	1122763.094	RIO	NACIENTE	919	ASADA SAN ANTONIO DE LA CUEVA
14604	459254.4955	1122769.116	RIO	NACIENTE	919	ASADA SAN ANTONIO DE LA CUEVA
14605	459237.5047	1122777.133	RIO	NACIENTE	919	ASADA SAN ANTONIO DE LA CUEVA
14606	459230.5022	1122774.14	RIO	NACIENTE	919	ASADA SAN ANTONIO DE LA CUEVA
22937	457104.1698	1121323.389	RIO	NACIENTE	927	AyA SAN JOSE DE NARANJO, SAN JUANILLO
22016	459073.3258	1122590.312	RIO	NACIENTE	888	ASADA CIRRI SUR, NARANJO
22018	457227.2533	1117452.521	RIO	NACIENTE	251	ASADA DULCE NOMBRE DE NARANJO
18991	456279.3907	1120500.276	RIO	NACIENTE	919	ASADA SAN ANTONIO DE LA CUEVA
19639	456159.8346	1121921.306	RIO	NACIENTE	1264	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO SANITARIO DE GUARUMAL Y RIO GRANDE DISTRITO SAN JUAN CANTON NARANJO
19150	457621.7098	1121889.829	RIO	NACIENTE	901	ASADA SAN JUAN, NARANJO
20849	460511.9452	1119351.072	RIO	NACIENTE	932	ASOCIACION ADMINISTRADORA DE ACUEDUCTO RURAL SAN MIGUEL
20852	459429.4998	1124752.81	RIO	NACIENTE	933	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
19878	457460.7465	1123888.865	RIO	NACIENTE	421	ASADA SAN ANTONIO DE BARRANCA DE NARANJO ALAJUELA
19880	458101.1536	1122358.313	RIO	NACIENTE	901	ASADA SAN JUAN, NARANJO
20933	454560.6458	1117666.191	RIO	NACIENTE	1497	PALMITOS DE NARANJO, ALAJUELA
20934	454655.525	1117552.103	RIO	NACIENTE	1497	PALMITOS DE NARANJO, ALAJUELA
20935	454710.6017	1117632.042	RIO	NACIENTE	1497	PALMITOS DE NARANJO, ALAJUELA
15982	462618.2088	1123690.634	RIO	NACIENTE	270	ASADA LOS ROBLES DE NARANJO
15983	461633.7353	1121192.807	RIO	NACIENTE	270	ASADA LOS ROBLES DE NARANJO
15989	456698.9252	1121055.816	RIO	NACIENTE	30	ASADA CONCEPCION DE NARANJO
15990	455800.6662	1120742.744	RIO	NACIENTE	30	ASADA CONCEPCION DE NARANJO
15991	455771.6983	1120772.771	RIO	NACIENTE	30	ASADA CONCEPCION DE NARANJO
16085	455800.6662	1120742.744	RIO	NACIENTE	30	ASADA CONCEPCION DE NARANJO

ID	ESTE_CRTM0	NORTE_CRTM	TIPO FUENTE SEGÚN DA (DATO INCORRECTO)	TIPO DE FUENTE CORRECTA	Nº DE EXPEDIENTE EN DA	RAZÓN SOCIAL
15605	457495.7605	1123904.828	RIO	NACIENTE	421	ASADA SAN ANTONIO DE BARRANCA DE NARANJO ALAJUELA
15606	457462.4846	1123630.879	RIO	NACIENTE	421	ASADA SAN ANTONIO DE BARRANCA DE NARANJO ALAJUELA
15607	455314.854	1123865.042	RIO	NACIENTE	421	ASADA SAN ANTONIO DE BARRANCA DE NARANJO ALAJUELA
15608	455304.8556	1123866.052	RIO	NACIENTE	421	ASADA SAN ANTONIO DE BARRANCA DE NARANJO ALAJUELA
15609	457480.7401	1123883.845	RIO	NACIENTE	421	ASADA SAN ANTONIO DE BARRANCA DE NARANJO ALAJUELA
15610	457478.7494	1123892.846	RIO	NACIENTE	421	ASADA SAN ANTONIO DE BARRANCA DE NARANJO ALAJUELA
15612	457053.8737	1123989.272	RIO	NACIENTE	421	ASADA SAN ANTONIO DE BARRANCA DE NARANJO ALAJUELA
15613	457542.4153	1124552.741	RIO	NACIENTE	421	ASADA SAN ANTONIO DE BARRANCA DE NARANJO ALAJUELA
16103	457329.7451	1121906.123	RIO	NACIENTE	30	ASADA CONCEPCION DE NARANJO
15624	460326.1293	1122478.047	RIO	NACIENTE	901	ASADA SAN JUAN, NARANJO
15625	456282.0837	1121186.229	RIO	NACIENTE	901	ASADA SAN JUAN, NARANJO
15626	456112.6904	1120786.426	RIO	NACIENTE	901	ASADA SAN JUAN, NARANJO
15627	458345.2714	1122490.057	RIO	NACIENTE	901	ASADA SAN JUAN, NARANJO
15628	458313.1944	1122412.094	RIO	NACIENTE	901	ASADA SAN JUAN, NARANJO
15629	457652.7129	1121894.797	RIO	NACIENTE	901	ASADA SAN JUAN, NARANJO
16141	457616.7254	1121904.833	RIO	NACIENTE	901	ASADA SAN JUAN, NARANJO
16142	456069.5404	1119644.543	RIO	NACIENTE	901	ASADA SAN JUAN, NARANJO
15793	454570.1487	1120153.023	RIO	NACIENTE	930	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
16313	456696.9203	1121050.818	RIO	NACIENTE	1264	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO SANITARIO DE GUARUMAL Y RIO GRANDE DISTRITO SAN JUAN CANTON NARANJO
16314	454989.2642	1121284.529	RIO	NACIENTE	1264	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO SANITARIO DE GUARUMAL Y RIO GRANDE DISTRITO SAN JUAN CANTON NARANJO
16315	454638.1288	1121128.893	RIO	NACIENTE	1264	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO SANITARIO DE GUARUMAL Y RIO GRANDE DISTRITO SAN JUAN CANTON NARANJO
16316	454396.5608	1121542.112	RIO	NACIENTE	1264	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO SANITARIO DE GUARUMAL Y RIO GRANDE DISTRITO SAN JUAN CANTON NARANJO
16317	454887.7129	1121722.605	RIO	NACIENTE	1264	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO SANITARIO DE GUARUMAL Y RIO GRANDE DISTRITO SAN JUAN CANTON NARANJO
16318	454590.7223	1121713.905	RIO	NACIENTE	1264	ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO SANITARIO DE GUARUMAL Y RIO GRANDE DISTRITO SAN JUAN CANTON NARANJO

Fuente: elaboración propia con base en registro de nacientes de la DA.

ANEXO 5

Datos de identificación de estaciones hidrológicas del AYA

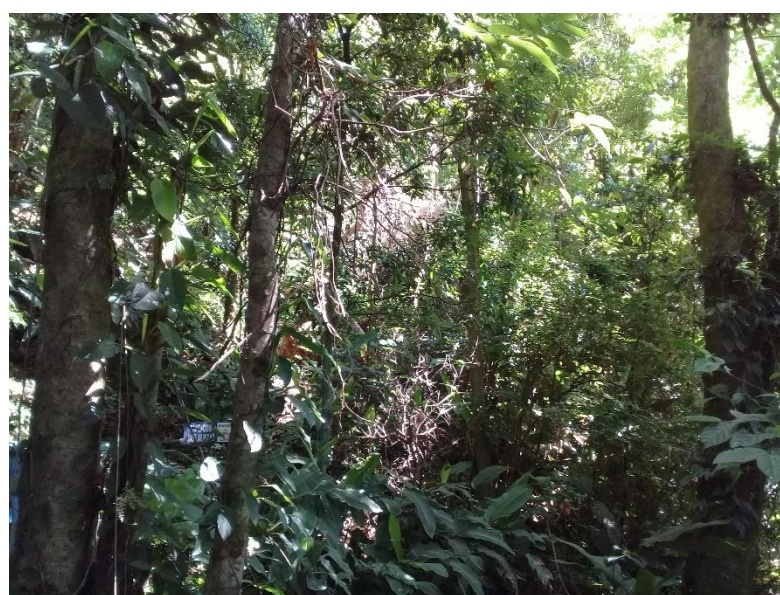
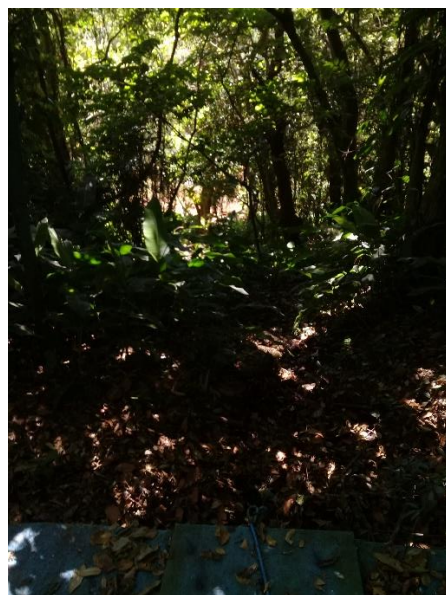
Nombre de estación	Coordenadas (CRTM05)		Código de AYA	Cuenca
Estación 1	447371.42	1118971.36	22-0-17	Barranca
Estación 2	447221.53	1119071.51	22-0-21	Barranca
Estación 3	423659.34	1105694.29	24-3-4	Río Grande
Estación 4	458521.01	1119210.08	24-3-6	Río Grande
Estación 5	457370.98	1119111.25	24-3-7	Río Grande
Estación 6	456972.28	1120361.66	24-3-22	Río Grande

Fuente: elaboración propia con base en datos de AYA.

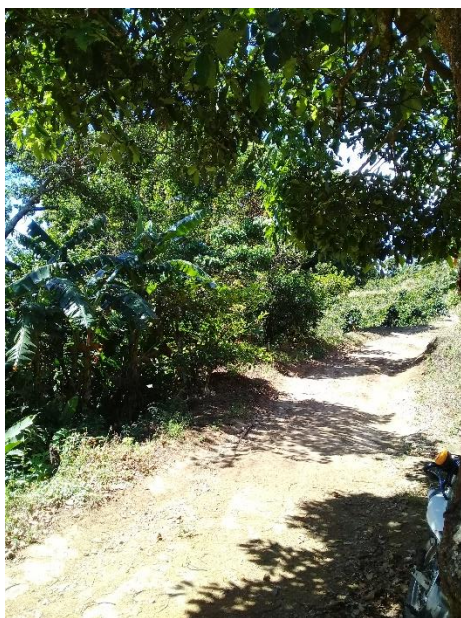
ANEXO 6
Registro fotográfico de sitios de nacientes, APH y ARA

ASADA Cirrí, naciente José Alpizar

Tanque de captación y área inmediata de la naciente



Tipo de uso suelo en área de protección hídrica de 100 y 200 metros de radio y área de recarga acuífera potencial



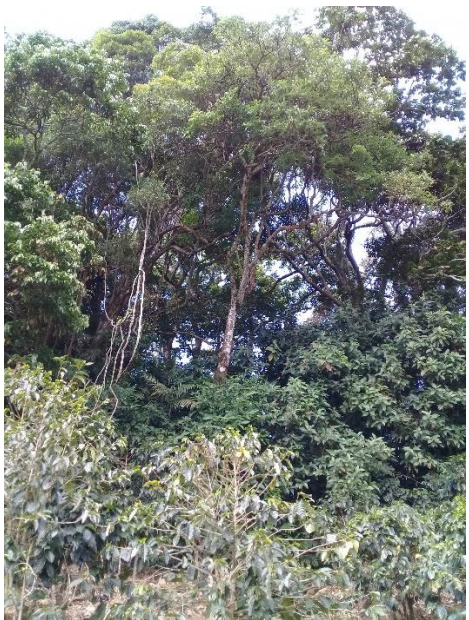


Desfogue de aguas residuales sin tratamiento desde planta de beneficiado de café ubicada aguas arriba de la naciente en el APH de 200m de radio, el vertido ilegal se hace a 15m aguas abajo de la naciente con una tubería desde el beneficio. Los personeros de la ASADAS no tenían conocimiento de la situación, la cual fue dada a conocer después de la inspección. En todo el sitio de la naciente se percibía un olor a aguas fermentadas de mieles de café. La planta de beneficiado exhibe una bandera del Programa Bandera Azul Ecológica en su entrada.



ASADA Concepción de San Ramón, nacimiento F4

Tanque de captación y área inmediata de la naciente





Tipo de uso suelo en área de protección hídrica de 100 y 200 metros de radio y área de recarga acuífera potencial



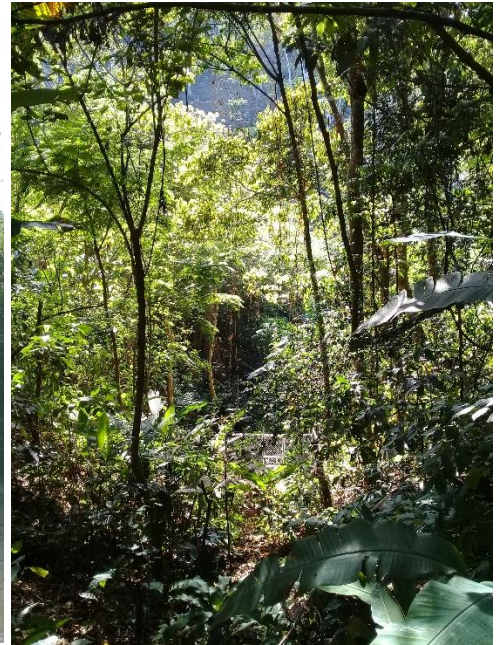




ASADA Dulce Nombre, naciente F3

Tanque de captación y área inmediata de la naciente





Tipo de uso suelo en área de protección hídrica de 100 y 200 metros de radio y área de recarga acuífera potencial



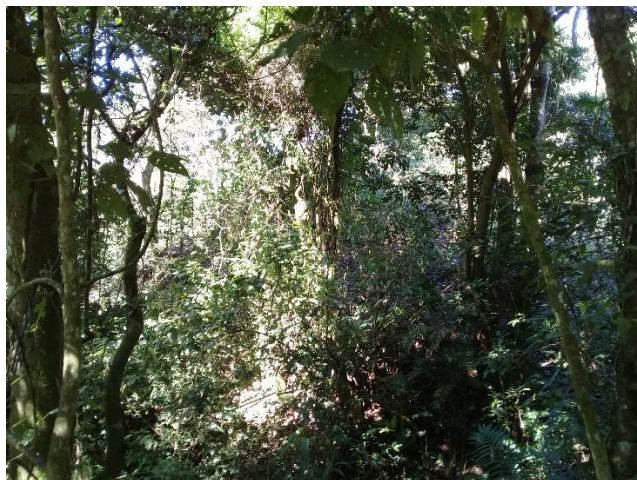


ASADA Guarumal, naciente Chico Luis 2

Tanque de captación y área inmediata de la naciente

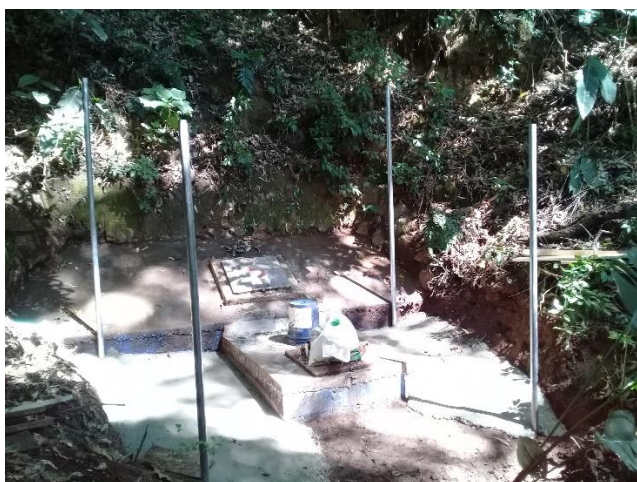


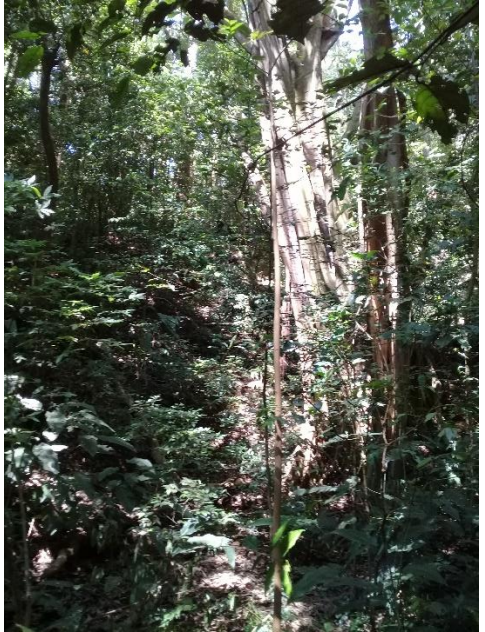
Tipo de uso suelo en área de protección hídrica de 100 y 200 metros de radio y área de recarga acuífera potencial



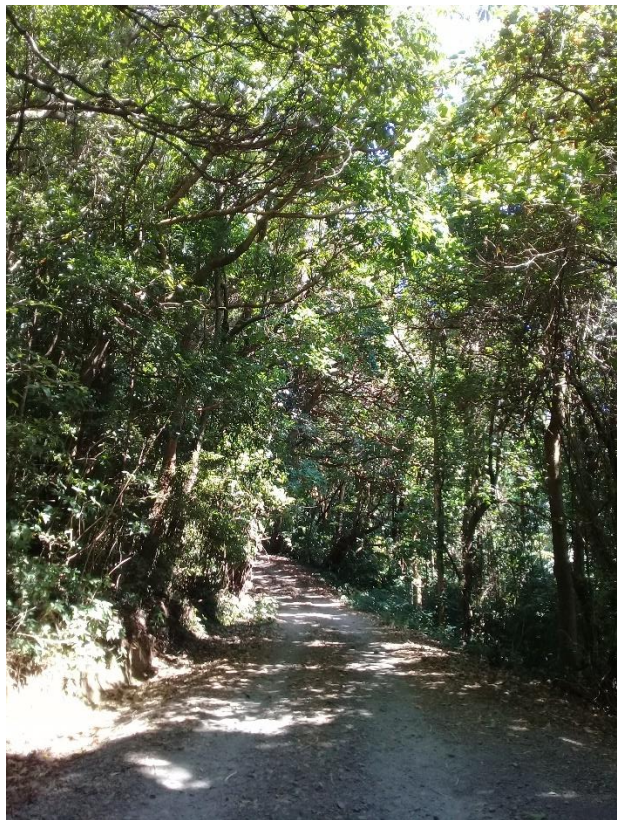
ASADA Llano Bonito, naciente Las Avispas

Tanque de captación y área inmediata de la naciente





Tipo de uso suelo en área de protección hídrica de 100 y 200 metros de radio y área de recarga acuífera potencial







ASADA San Roque, nacimiento El Puente

Tanque de captación y área inmediata de la naciente





Tipo de uso suelo en área de protección hídrica de 100 y 200 metros de radio y área de recarga acuífera potencial









ANEXO 7

Listado de legislación aplicable a la gestión de las ASADAS

- 1 Constitución política de Costa Rica
- 2 Ley General de Administración Pública
- 3 Ley de Fortalecimiento de las Finanzas Públicas
- 4 Ley contra la corrupción y el enriquecimiento ilícito en la función pública
- 5 Ley de Control Interno 8292 y sus normas N-2-2009-CO(DFOE)
- 6 Normas Internacionales de Información Financiera (NIC-NIFF ´S)
- 7 Ley de Contratación Administrativa (Las ASADAS solamente están obligadas a cumplir con los Principios de Contratación Administrativa)
- 8 Ley 8220 de Protección al Ciudadano del exceso de requisitos y trámites administrativos
- 9 Reforma al Reglamento a la Ley de protección al ciudadano del exceso de requisitos y trámites administrativos, decreto ejecutivo N° 37045-MP-MEIC del 22 febrero de 2012.
- 10 Directriz N20MP-MEIC, alcance 168, Gaceta 175 sobre Acciones Inmediatas para la simplificación de trámites en el gobierno del Bicentenario.
- 11 Ley 7600 de Igualdad de Oportunidades para las personas con discapacidad.
- 12 Ley 276 de Aguas
- 13 Ley Forestal
- 14 Ley 1634 General de Agua Potable
- 15 Ley 2726 Constitutiva del AyA
- 16 Ley 8776 Exoneración de ASADAS
- 17 Reglamento de exoneraciones para ASADAS

- 18 Reglamento de caución 2010-479 del 17 agosto de 2010: Gaceta 159 del 17 agosto de 2010.
- 19 Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales
- 20 Reglamento de aprobación y recepción de Sistemas de Saneamiento por arte del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
- 21 Código de Instalaciones Hidráulicas y sanitarias en edificaciones, edición 2017
- 22 Reglamento del canon ambiental por vertidos
- 23 Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas
- 24 Ley de planificación urbana
- 25 Reglamento de construcciones del INVU
- 26 Reglamento de ASADAS
- 27 Reforma de los artículos 5 y 21 inciso 15) del decreto Ejecutivo N° 32529 del 05 de agosto de 2005 "Reglamento de las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunes"
- 28 Reglamento para la calidad del agua y su reforma. (Decreto de Agua Potable 38924-s – 2015 y Decreto Ejecutivo N°41499-S. Reforma y Adición al Decreto Ejecutivo N°38924-S. Reglamento Calidad del Agua. 22-01-2019)
- 29 Reglamento técnico de ARESEP: Prestación Servicios de Acueducto, Alcantarillado Sanitario e Hidrantes
- 30 Modificación Integral al Reglamento para la Prestación de los Servicios de AyA, publicado en La Gaceta N° 243, Alcance N° 285 del viernes 20 de diciembre de 2019, la modificación al Reglamento de Prestación de Servicios de AyA.
- 31 Reglamento de Normas Técnicas y procedimientos para el mantenimiento preventivo para sistemas de abastecimiento agua. La Gaceta N° 154 del 13 de agosto de 2001
- 32 Norma Técnica de Hidrómetros para el servicio de acueductos
- 33 Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, saneamiento y pluvial 2017
- 34 Ley de hidrantes
- 35 Reglamento a la Ley de Declaratoria del Servicio de Hidrantes
- 36 Reglamento para el Permiso de Perforación y Concesión de Agua para el Auto abastecimiento en Condominios
- 37 Reglamento para la aplicación del artículo 38 de la Ley de Planificación Urbana (Ley N° 4240) en obras de acueductos y alcantarillados de AyA
- 38 Reglamentación técnica para diseño y construcción de urbanizaciones, condominios y fraccionamientos. Publicado en Alcance N° 8 de La Gaceta del lunes 19 marzo de 2007.
- 39 Ley 218 de Asociaciones.
- 40 Reglamento a la ley de Asociaciones N° 29496-J-21 mayo 2001
- 41 Estatutos de las ASADAS
- 42 Resolución RIA 006 2017 sobre ajuste tarifario para el servicio público de acueducto y para los servicios conexos prestados por las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Comunes (ASADAS)
- 43 Lineamientos generales Diseño y Construcción de tanques de almacenamiento de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV)
- 44 Reglamento agentes recaudadores 2007

- 45 Ley de inquilinato
- 46 Modificación del Reglamento para la Prestación de Servicios de Agentes Recaudadores. La Gaceta N° 149, lunes 06 de agosto de 2007.
- 47 Reglamento de avalúos y adquisición de bienes destinados al dominio público de AyA. Acuerdo N° 2018-54
- 48 Reforma integral Reglamento para Regular la Prestación de Servicios en Materia de Aguas Subterráneas. Reglamento para Regular la Prestación de Servicios en materia de aguas Subterráneas.
- 49 Decreto N° 42240MGP Reglamento de Servidumbres de Acueductos 14 mayo de 2020. La Gaceta 110, del jueves 14 mayo de 2020.
- 50 Reglamento a la Ley del Impuesto sobre el Valor Agregado N° 41779. Alcance 129, La Gaceta 11 junio 2019.

ANEXO 8

Fotografías de maquinaria pesada eliminando ciénagas dentro de APH de nacientes en la ZPEC

La situación observada en las siguientes fotografías fue atendida por el SINAC en respuesta a una denuncia de FEDAPRO, se emitió el informe de inspección OG-1170-2017 en el que se determina afectación a nacientes permanentes.



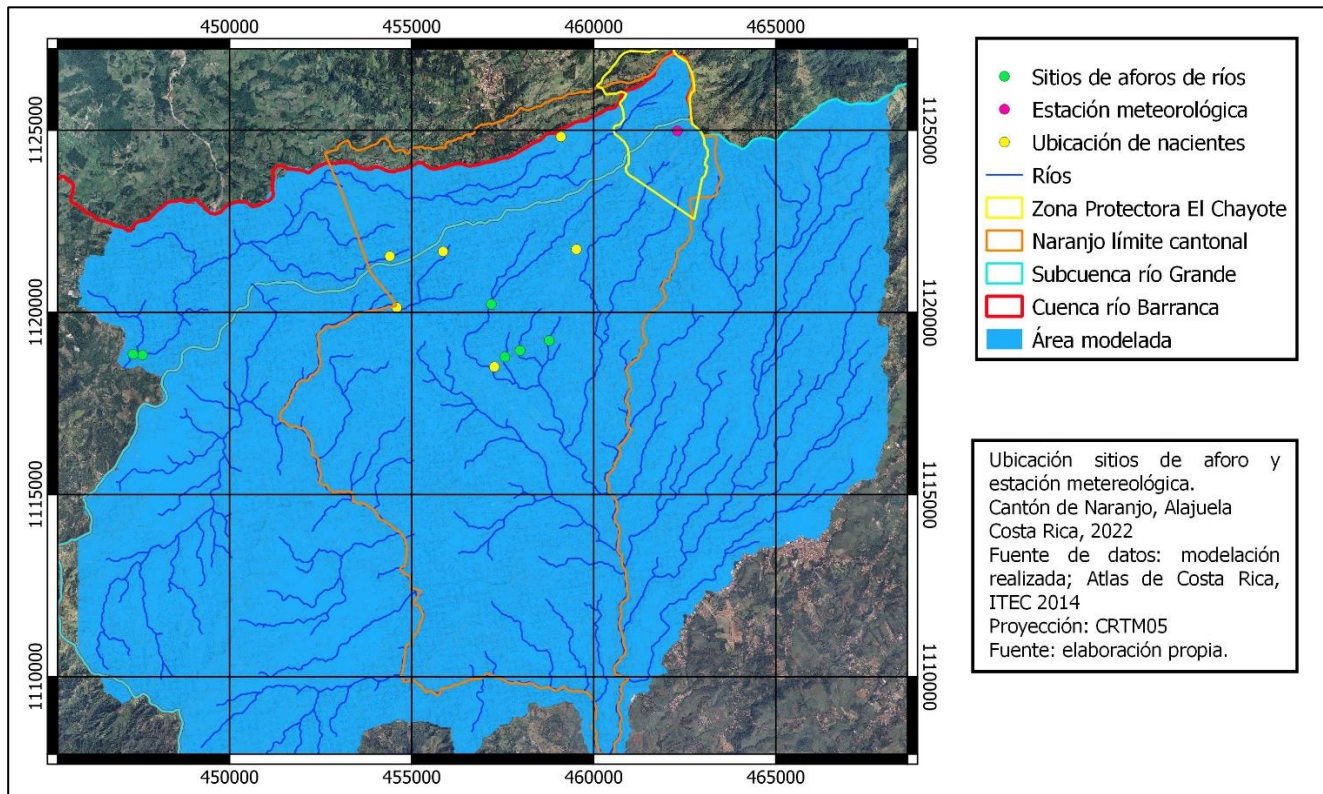


ANEXO 9
Fotografías sobre técnica de "broqueo" de nacientes



Anexo 10

Mapa de ubicación de sitios de aforo y estación meteorológica.

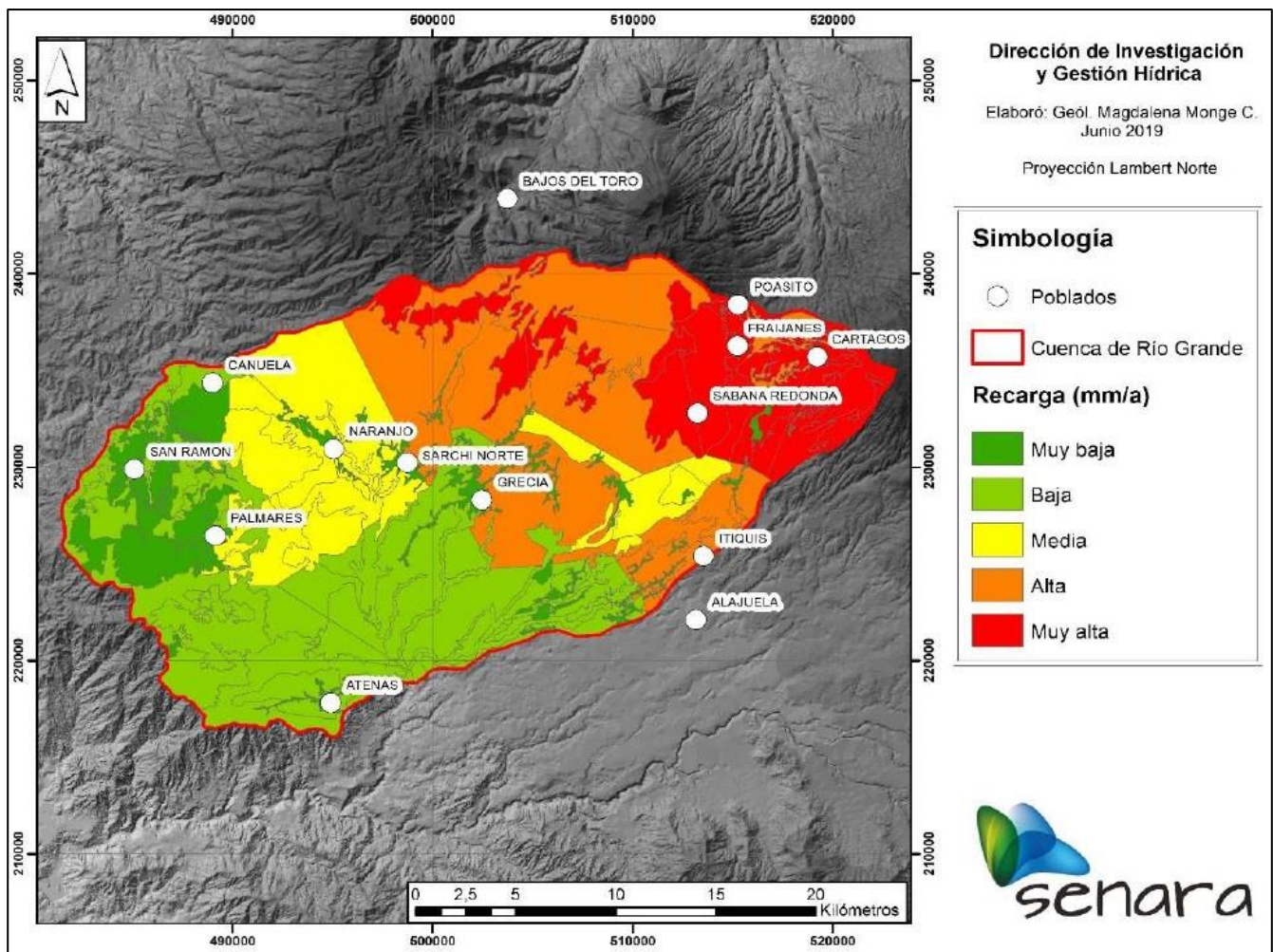


Mapa 12. Ubicación de sitios de aforo y estación meteorológica

Anexo 11

Mapa de clasificación de la recarga potencial, subcuenca Río Grande.

Mapa elaborado por la geóloga Magdalena Monge.

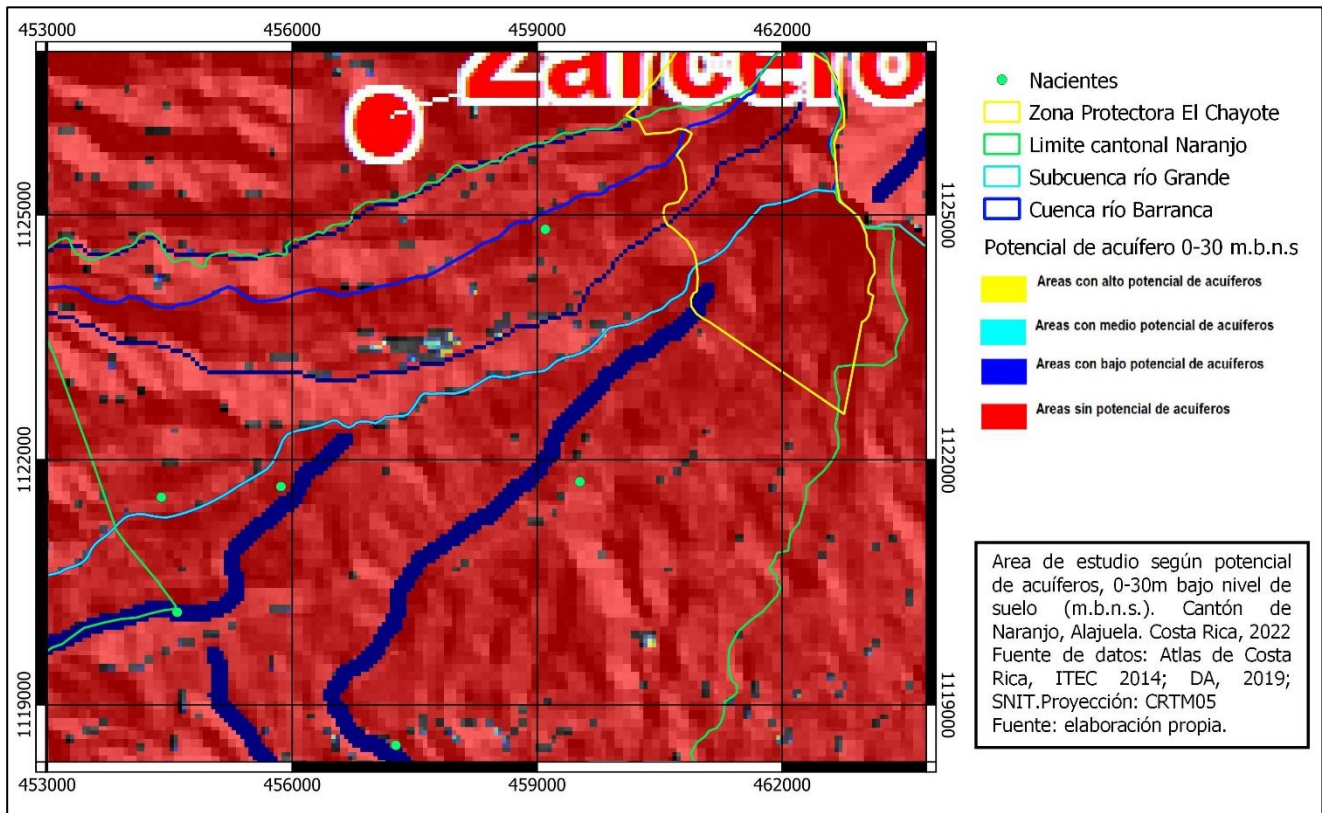


Mapa 13. Clasificación de la recarga potencial, subcuenca Río Grande.

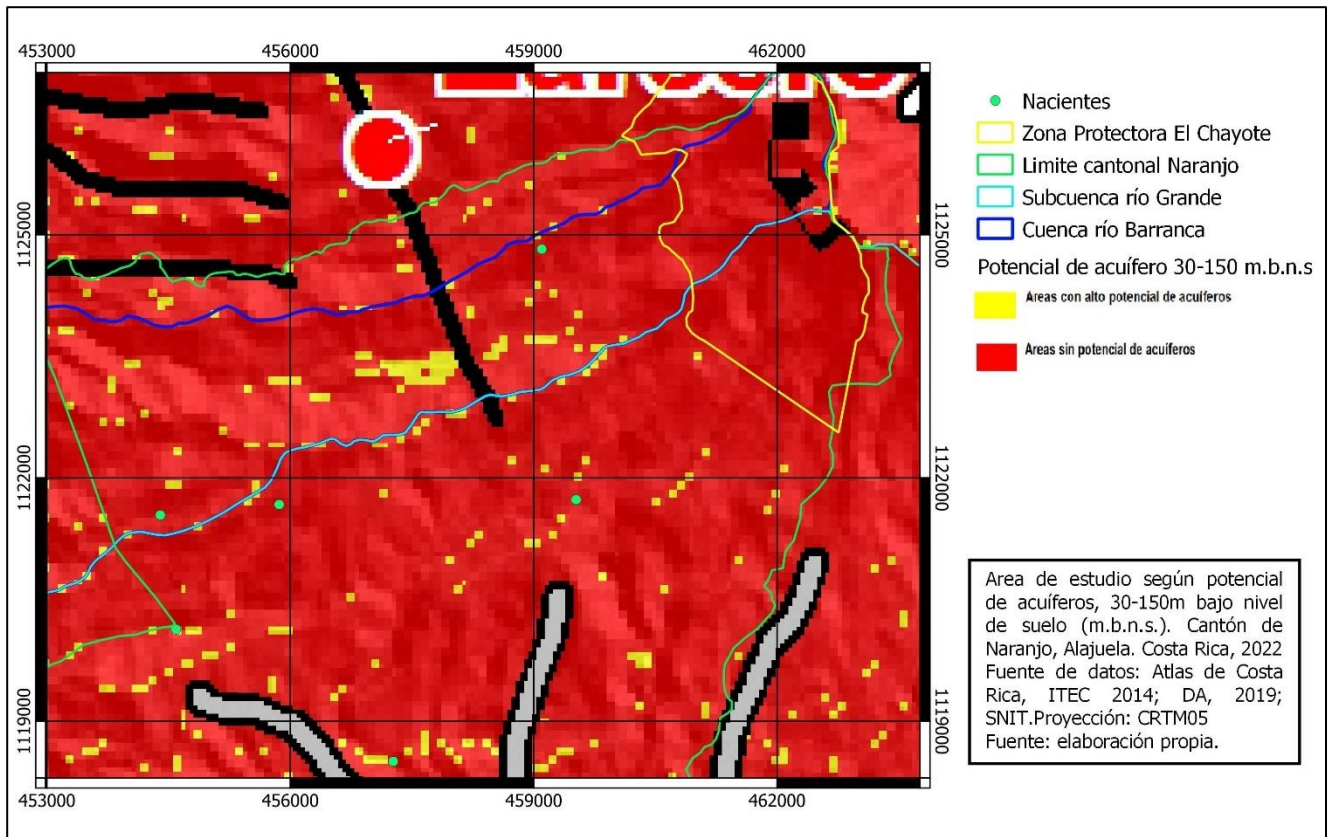
Fuente: Monge, 2020.

Anexo 12

Mapas de potencial de acuíferos de la Dirección de Aguas



Mapa 14. Área de estudio según potencial de acuíferos, 0-30 m.b.n.s.



Mapa 15. Área de estudio según potencial de acuíferos, 30-150 m.b.n.s.