

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS

Tesis

**Análisis de la disponibilidad hídrica en relación con los problemas de acceso al agua
para consumo humano en las comunidades de la cuenca alta del río Turrubares,
Puriscal, Costa Rica**

Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Ciencias Geográficas con énfasis en
Ordenamiento del Territorio

Presentado por:

María José Aguilar Valverde

Heredia, Costa Rica

2016

Tesis aprobada por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional para optar por el grado de Licenciatura en Ciencias Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio.

Miembros del Tribunal Examinador de tesis:

Dr. Carlos Morera Beita.

Representante del Decanato de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

M.Sc. Lilliam Quirós Arias

Directora de la Escuela de Ciencias
Geográficas

Licda. Ligia Hernando

Catedrática Universidad Nacional
Tutora de Tesis

Lic. Esteban González

Instituto Costarricense de Acueductos y
Alcantarillados

Lector de Tesis

M.Sc. Néstor Veas

Proyecto Humedales, PNUD, SINAC.

Lector de Tesis

María José Aguilar Valverde.

Postulante

Agradecimientos

Ante todo, gracias a Dios por permitirme culminar esta etapa.

Un especial agradecimiento a Ligia Hernando, por su gran aporte académico y científico, así como su apoyo y constante labor para guiar este trabajo.

A los lectores, Esteban González y Néstor Veas, por los aportes y observaciones que fueron de gran ayuda para mejores resultados.

Agradezco al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, a la Dirección de Desarrollo Físico, especialmente a Alejandro Fernández, Esteban González, Esteban Vargas y Pablo Fernández, por brindar todos los insumos y apoyo para culminar este proyecto.

Al INISEFOR por el apoyo en el trabajo de laboratorio, especialmente a Christopher Sandoval por su disposición y ayuda.

A mi familia, en especial a Marianela Valverde, Johnny Aguilar y Marco Vargas, por su apoyo incondicional en este proceso.

Índice

Capítulo I. Introducción.....	5
1.1 Planteamiento del problema.....	6
1.2 Objetivos.....	8
1.3 Justificación:	9
Capítulo II. Marco teórico	11
2.1 Recurso hídrico	11
2.2 Cuenca hidrográfica como unidad territorial en estudios hidrológicos	13
2.3 Agua para consumo humano.....	14
2.4 Abastecimiento del recurso hídrico para consumo humano	15
2.5 Disponibilidad hídrica.....	20
2.6 Demanda y oferta hídrica.....	21
2.7 Escasez del recurso hídrico.....	23
2.8 Balance hídrico en cuencas hidrográficas.....	24
2.9 Gestión integral del recurso hídrico (GIRH)	25
2.10 Áreas prioritarias.....	26
2.11 Legislación de Costa Rica: recurso hídrico	27
Capítulo III. Metodología.....	29
3.1 Tipo de investigación.....	29
3.2 Variables de la investigación	30
3.3 Etapas de la investigación.....	33
3.4 Métodos e instrumentos para análisis de datos	34
3.4.1 Instrumentos y métodos previos.....	34
3.4.2 Parámetros morfométricos de la cuenca.....	41
3.4.3 Balance hídrico.....	44
3.4.4 Clasificación de la disponibilidad hídrica	46
3.4.5 Comunidades con problemas de acceso al recurso hídrico	49
3.4.6 Áreas prioritarias	49
Capítulo IV. Descripción del área de estudio	50
4.1 Área de estudio	50
4.2 Usos del suelo	52
4.3 Suelos.....	55
4.4 Geomorfología	61
4.5 Geología.....	63

4.6 Caracterización climática de la cuenca alta del río Turrubares	66
4.7 Hidrografía:.....	71
V. Resultados.....	75
5.1 Balance hídrico de la cuenca alta del río Turrubares	75
5.2 Disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del río Turrubares	82
5.3 Comunidades con problemas de acceso al agua para consumo humano	84
5.4 Áreas prioritarias.....	88
VI. Análisis de resultados.....	90
6.1 Oferta y demanda hídrica.....	90
6.2 Comunidades con problemas de acceso al agua para consumo humano	91
6.3 Áreas prioritarias.....	91
6.4 Zonas con mejores condiciones	93
VII. Conclusiones	98
VIII. Bibliografía	100
Anexos.....	110

Índice de Tablas

Tabla 1. Demanda y oferta de agua para consumo humano en los sistemas de acueductos administrados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados	9
Tabla 2. Sistemas de acueductos.	17
Tabla 3. Estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca alta del río Turrubares.	35
Tabla 4. Isoyetas	36
Tabla 5. Grupos climáticos según índice hídrico.	38
Tabla 6. Disponibilidad hídrica según índices de escasez.....	47
Tabla 7. Tipos de suelo cuenca alta río Turrubares.....	55
Tabla 8. Cuenca alta río Turrubares, textura de suelo para cada perfil (por horizontes).....	60
Tabla 9. Parámetros morfométricos, cuenca alta río Turrubares.	71
Tabla 10. Número de orden de la cuenca alta río Turrubares.	71
Tabla 11. Resultados generales del balance hídrico para la cuenca alta del río Turrubares.	76
Tabla 12. Agua no controlada en los sistemas de acueductos del AyA.	94

Índice de Figuras

Figura 1. Agua superficial y subterránea.....	12
Figura 2. Sistema de acueductos.....	19
Figura 3: Componentes del balance hídrico.	25
Figura 4. Esquema metodología balance hídrico.	48
Figura 5. Oferta y demanda de agua en el sistema de Piedades.	86
Figura 6. Oferta y demanda sistema Barbacoas.	86
Figura 7. Oferta y demanda sistema Alto La Legua.....	87
Figura 8. Oferta y demanda sistema Mercedes Norte.	87

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Correlación a partir de los datos del índice hídrico y altitudes de las estaciones.	39
Grafico 2. Usos del suelo, Cuenca alta río Turrubares.	52
Grafico 3. Cuenca alta río Turrubares: precipitación media mensual. Período 1997-2006..	66
Gráfico 4. Cuenca alta río Turrubares: temperatura máxima, media y mínima mensual. Período 1997-2006.	68
Gráfico 5. Cuenca alta río Turrubares: evapotranspiración potencial media mensual. Período 1997-2006.	69

Capítulo I. Introducción

El planeta cuenta con la cantidad de recurso hídrico suficiente para abastecer a los 7000 millones de personas que lo habitan (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas [ONU-DAES] y The United Nations Inter-Agency Mechanism on all Freshwater Related Issues, Including Sanitation [UN WATER], 2014), sin embargo, se estima que para el año 2025, tres mil millones de personas vivirán en países afectados por la escasez de agua (CARE Internacional-Avina, 2012).

La distribución del agua en el planeta es de forma irregular, en algunos casos se desperdicia, está contaminada o se gestiona de forma insostenible, esto es lo que ha llevado a que muchos países del mundo presenten problemas asociados al faltante de agua (ONU-DAES y UN WATER, 2014).

Costa Rica presenta una oferta hídrica por persona de 24 784 m³, tres veces el promedio mundial (7000 m³) (Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones [MINAET], Dirección de Agua, Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento [SENARA] y Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados [AyA], 2013), y aproximadamente el 98% de la población tiene acceso al agua para consumo humano (Mora, Mata y Portuguez, 2012).

Sin embargo, a pesar de existir la infraestructura para abastecer a las comunidades de agua para consumo humano, ya existen problemas relacionados con el recurso hídrico, tal como se detalla a continuación.

En el país, los marcos legales referentes al recurso están desactualizados, hay una cultura de poca valoración o información sobre la situación del agua del país, existe una contaminación de las fuentes de agua, se da una ausencia de planes para una gestión integrada del recurso en las cuencas y sobre todo, se desconoce la distribución actual del agua (Segura, 2002).

El desconocimiento de la distribución hídrica y las incógnitas en cuanto a la situación actual del agua afectan a las comunidades del país y amenazan su desarrollo. Es bien conocida la importancia del agua para el ser humano y el ambiente, pero a pesar de esta

importancia, son las personas consideradas como las principales responsables de la degradación de este recurso tan vital, debido a las diferentes actividades económicas que en algunos casos se consideran altamente demandantes de agua y contaminantes (Barrantes, s.f.).

Costa Rica ha hecho esfuerzos para avanzar en este tema, buscando solucionar el faltante en datos de distribución y disponibilidad del recurso, para esto se realizó el Balance Hídrico Superficial de Costa Rica, período 1970-2002 (Programa Hidrológico Internacional [PHI], 2007), sin embargo, este estudio es de forma general y da a conocer únicamente la disponibilidad del recurso en las grandes cuencas. Existen también algunos trabajos específicos para cuencas como lo es el estudio de “Disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río Segundo” (Hernando, Ruiz y Solís, 2012).

El problema en este tipo de trabajos, es que el país presenta una deficiente distribución de la red hidrometeorológica, lo que impide que los datos de precipitación y temperatura sean precisos, dando como resultados aproximaciones (Global Water Partnership Central America [GWP], Programa de Desarrollo de Zonas Fronterizas en América Central [ZONAF], Unión Europea [UE] y Banco Centroamericano de Integración Económica [BCIE], 2001).

Se puede decir, entonces, que los problemas de acceso al agua surgen cuando se relaciona la disponibilidad y accesibilidad del recurso en relación con la distribución de las comunidades (CARE Internacional-Avina, 2012).

Ejemplo claro de esto es que en el país, aproximadamente el 70% de la población se asienta en la Vertiente Pacífica, que es considerada como la vertiente más seca; mientras que la Vertiente Caribe y Norte presentan una precipitación media real entre 2.415 y 5.720 mm y tiene una descarga superficial de 58,9 km³, la vertiente del Pacífico cuenta con precipitación media entre 1.664 y 5.282 mm, y el caudal superficial es de 44,2 km³ (GWP Centroamérica *et al.*, 2011).

1.1 Planteamiento del problema

Uno de los lugares en Costa Rica que sufre de problemas asociados con el recurso hídrico es Puriscal, ubicado en la Vertiente Pacífica. En este cantón, los recursos naturales, y

específicamente el recurso hídrico, se han visto amenazados por las actividades del ser humano (González y Sibaja, 2014).

En el cantón de Puriscal, los recursos naturales han sido impactados por las actividades del ser humano desde mitades del siglo XIX. Para esta época, el Valle Central enfrentaba la extensión del cultivo de café, fue entonces cuando esta actividad económica se desarrolló con mayor fuerza en el cantón, lo que atrajo a personas a vivir en esta zona. Los sistemas de acueductos para esa época no contemplaban en su planificación este crecimiento de la población, lo que afectó desde entonces la capacidad de los acueductos para abastecer de agua a las comunidades (Heuveldop y Espinoza, 1983; González y Sibaja, 2014).

Noticias como “12.600 vecinos de Puriscal están sin agua potable” (Rojas, 2014), “198 estudiantes de Puriscal se encuentran sin lecciones por faltante de agua” (Repretel, 2015), y recientemente a modo de solución, “Gobierno se compromete a mejorar sistemas de agua potable en Puriscal” (González, 2015), son frecuentes en el cantón.

Los problemas asociados con el recurso hídrico que viven las comunidades de Puriscal hacen referencia específicamente a problemas de acceso al agua para consumo humano, es decir, que la cantidad de agua que llega a las casas de las comunidades no es suficiente para abastecer la demanda, lo que hace que el acceso al recurso sea ineficiente e inestable. Esto se sabe a partir de los datos de demanda y oferta de los sistemas de acueductos que abastecen a la población de la cuenca, donde la oferta hídrica en los sistemas es menor a lo demandado por la población (Hidrogeotecnia Ltda., 2013).

Son muchas las comunidades en Puriscal con esta problemática; sin embargo, en esta investigación se abarcan específicamente las que se encuentran en la cuenca alta del río Turrubares.

A pesar de los problemas relacionados con el recurso hídrico en las comunidades de la cuenca, únicamente se conoce que los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano no dan abasto con la demanda (Hidrogeotecnia Ltda., 2013). Sin embargo, se desconoce si en la cuenca existe algún tipo de escasez hídrica y si estos problemas de faltante de agua se asocian con la disponibilidad hídrica.

Por esto, la presente investigación busca responder la siguiente pregunta:

¿Los problemas de acceso a agua para consumo humano en las comunidades de la cuenca alta del río Turrubares se deben a una baja disponibilidad hídrica en la zona?

1.2 Objetivos

Objetivo principal:

Analizar la influencia de la disponibilidad hídrica en relación con los problemas de acceso al agua para consumo humano en la cuenca alta del río Turrubares.

Objetivos específicos:

- Determinar la distribución espacio-temporal del recurso hídrico y la situación actual del acceso al agua para consumo humano en la cuenca alta del río Turrubares.
- Establecer la disponibilidad hídrica y su distribución en la cuenca alta del río Turrubares.
- Identificar áreas prioritarias con base en la disponibilidad hídrica y las comunidades con problemas de acceso al agua para consumo humano.

1.3 Justificación:

Del agua depende la salud y el desarrollo de las actividades cotidianas del ser humano, y el abastecimiento del recurso hídrico es considerado como un derecho humano. Es por esta razón que es de suma importancia garantizar el acceso al agua en las comunidades.

Sin embargo, a pesar de que Costa Rica cuenta con agua suficiente para abastecer la población (MINAET *et al.*, 2013), no hay una distribución uniforme del recurso y la falta de protección a lo largo del territorio ha generado que en la actualidad existan comunidades donde el acceso al agua es inestable e incapaz para abastecer la demanda de las personas.

Puriscal, específicamente las comunidades en la cuenca alta del río Turrubares, es un ejemplo claro de este problema. Las comunidades de esta cuenca presentan racionamientos de agua, donde muchas de estas sobreviven con cuatro horas de agua al día (Fornaguera, 2015).

El estudio realizado por Hidrogeotecnia Ltda. (2013), demuestra que la oferta hídrica está por debajo de la demanda. Se estima que para el año 2015, los sistemas tendrán las siguientes cifras:

Tabla 1. Demanda y oferta de agua para consumo humano en los sistemas de acueductos administrados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

Sistemas de Acueductos	Población servida	Demanda (l/s)	Oferta (l/s)
Barbacoas	1779	11	5
Alto La Legua	370	1,77	1,2
Mercedes Norte	1200	2,8	1
Piedades	785	2,66	2

Fuente: Hidrogeotecnia Ltda., 2013.

Por otra parte, las ASADAS también presentan problemas, ya que se conoce que al menos el 50% de la infraestructura que se ha dado en concesión a las ASADAS de todo el país, se encuentra entre regular y mal estado (Espinoza, Morera, Mora y Torres, 2004).

Se conoce la falta del recurso en los sistemas que abastecen a las personas y se desconoce el estado del agua en el resto de la cuenca. Es por esto que dar a conocer la distribución espacio-temporal del agua en la cuenca alta del río Turrubares es tan importante.

La presente investigación es de ámbito geográfico, lo que permitirá no solo conocer la disponibilidad del recurso en datos numéricos sino también de forma espacial. Esto significa que con este trabajo se podrán visualizar las áreas a lo largo del territorio que presentan déficit hídrico y cuáles cuentan con potencial hídrico.

Se pueden identificar las áreas prioritarias en la cuenca (áreas en que la disponibilidad del recurso es de moderada a baja y existen problemas de acceso al agua), y a la vez conocer si existen otras áreas con mejores condiciones hídricas (alta disponibilidad hídrica).

Este trabajo permitirá dar a conocer la situación actual del recurso en la cuenca; a su vez brinda insumos a las instituciones a cargo del abastecimiento de agua para consumo humano, como es el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, para conocer si existen zonas con mejores condiciones hídricas en la cuenca que no han sido tomadas en cuenta en la actualidad para el abastecimiento del recurso.

Esto implica que la presente investigación, además de estudiar la situación actual del agua en la cuenca, beneficiará a las comunidades aledañas, ya que brinda insumos para solucionar los problemas de acceso al recurso, lo que lleva a mejorar las condiciones de vida de la población.

Con este trabajo se busca primordialmente analizar los problemas de acceso al recurso hídrico a partir de la relación con la disponibilidad hídrica en la cuenca. Estudiar la disponibilidad es importante para el abastecimiento de agua actual y futura, se considera fundamental para garantizar mejores condiciones de vida y el balance hídrico es la herramienta que por excelencia se utiliza en estos casos. El balance se considera como el equilibrio entre los ingresos de agua en el sistema (precipitación) y las salidas por medio de la evapotranspiración, recarga de aguas subterráneas y del caudal (Delgado y Villegas, 2013).

Capítulo II. Marco teórico

2.1 Recurso hídrico

El agua está compuesta por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno, se encuentra en estado líquido, sólido y gaseoso, y es la sustancia que más abunda en la Tierra, cubre aproximadamente el 71% de la corteza de la Tierra (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], s.f.).

Cuando se habla de recurso se refiere a materia prima o un bien que se utiliza con un objetivo específico. Cuando el agua es utilizada para satisfacer las necesidades humanas es considerada como un recurso (FAO, s.f.).

El recurso hídrico se compone por todos los cuerpos de agua en el planeta, tanto los mares, ríos, aguas subterráneas, lagos, capas de hielo, manantiales y lagunas. Se puede encontrar de forma disponible, renovable y finita en la naturaleza, ya sea en la atmósfera, en los océanos, sobre la superficie o debajo de esta, y está a la disposición de todos los seres vivos (Fennell, 2013).

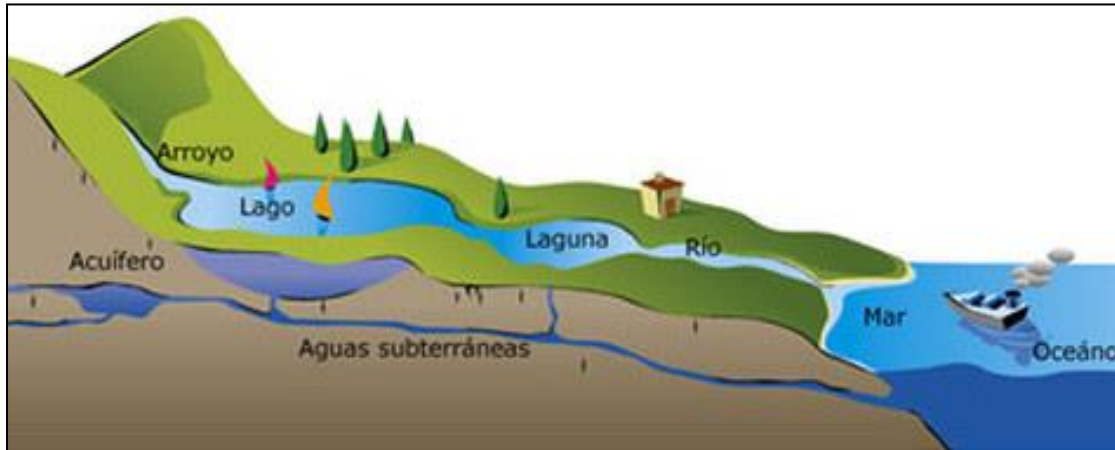
Diferentes estudios realizados por científicos e instituciones coinciden en que el agua es indispensable para el desarrollo de la vida. Según el artículo 6 de la propuesta de Ley para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, el recurso hídrico es esencial para la vida y utilizado por los seres humanos para diferentes actividades sociales, económicas y ambientales. Este mismo artículo plantea que el recurso debe ser orientado para un aprovechamiento sostenible (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 2014).

El hecho de que todos los seres vivos dependan de la existencia del agua da una idea de su vital importancia. El desarrollo histórico de las ciudades ha estado ligado con este recurso, el cual promueve el desarrollo económico y social; sin embargo, en este mismo ámbito histórico ha existido una ausencia de criterios de conservación y aprovechamiento sustentable (Almirón, s.f.).

El recurso puede dividirse en subterráneo y superficial (figura 1). El recurso superficial se puede encontrar en ríos o arroyos, es el agua que proviene en su mayoría de la precipitación y escurre de forma superficial sobre el territorio. Por otro lado, el recurso subterráneo es el

que se encuentra bajo la superficie de la tierra, se infiltra en el subsuelo y se localiza entre las partículas del suelo o entre superficies rocosas (GreenFacts, s.f.).

Figura 1. Agua superficial y subterránea.



Fuente: Acción geológica de las aguas continentales, s.f.

En fuentes superficiales se calcula que Costa Rica dispone de un volumen aproximado de 173 Km^3 que ingresa anualmente por concepto de lluvias; de este volumen, 75 Km^3 (43,3% del total) escurren de forma superficial y forman parte de los caudales de los ríos, y 37 Km^3 (21,4% del total) corresponden a la recarga de acuíferos. Una tercera parte del agua (35,3%) que se precipita vuelve a la atmósfera por procesos de evaporación y transpiración (Espinoza *et al.*, 2004).

En cuanto a fuentes subterráneas, son menos los estudios que se realizan en el país, en su mayoría se enfocan en el área central. En la cuenca del río Virilla se encuentran los acuíferos más importantes del país gracias a los afluentes del río Grande de Tárcoles. Allí se ubican lavas y tobas que dan origen a los tres acuíferos que abastecen el 65% de la población de la Gran Área Metropolitana, acuíferos Colima Superior, Colima Inferior y Barva (Espinoza *et al.*, 2004).

Las fuentes subterráneas son de gran importancia para el desarrollo futuro. Si bien es cierto, las fuentes superficiales son importantes y muy utilizadas en el país, a su vez son las menos estables, estas fuentes son más vulnerables ante la contaminación y ante cambios en el

clima, la variación de las precipitaciones a lo largo de los años hace que el agua que fluye por los cauces no sea constante (Espinoza *et al.*, 2004).

Los acuíferos presentan mejores características para abastecer las poblaciones en tanto se preserven y se vele por el cuidado de estas áreas para que se puedan recargar de forma natural.

2.2 Cuenca hidrográfica como unidad territorial en estudios hidrológicos

Según el Instituto Nacional de Ecología (2003), una cuenca hidrográfica se define como un *“territorio drenado por un único río, es una unidad natural delimitada por la existencia de la divisoria de agua; las divisorias son líneas imaginarias que unen los puntos de máximo valor de altura entre laderas adyacentes pero de exposición opuesta, desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de salida”*. (p. 6).

Para entender la cuenca hidrográfica como una unidad territorial y su importancia en los estudios de hidrología, es importante conocer la relación entre los conceptos de espacio y territorio.

La cuenca es un espacio geográfico, ya que en esta interactúan los seres humanos y el medio ambiente. El espacio es construido históricamente, se encuentra sujeto al sistema de objetos y acciones, es decir, se conforma de las relaciones entre seres humanos y medio ambiente sobre la superficie del territorio (Montañez y Delgado, 1998).

La cuenca también es considerada como un territorio, ya que es un espacio delimitado por factores naturales (divisorias de aguas). El territorio es entendido como una extensión terrestre delimitada, una construcción social, un espacio de poder, gestión y dominio de individuos, grupos, organizaciones y del Estado. Se considera como el escenario de las relaciones sociales (Montañez y Delgado, 1998).

Cuando se habla de espacio geográfico y territorio se incluye también la unidad territorial, la unidad está relacionada con la imposibilidad de división o separación. En Costa Rica existen diferentes unidades territoriales, desde los distritos, cantones, provincias o las cuencas hidrográficas. En todas las unidades territoriales interactúan las diferentes

actividades económicas y sociales del ser humano con el medio ambiente. Sin embargo, dependiendo del estudio que se realice se puede escoger una unidad específica (Sepúlveda, Castro y Rojas, 1998).

El recurso hídrico es fundamental para el desarrollo de las comunidades, es por esta razón que son indispensables los estudios asociados con la disponibilidad del agua. Para esta clase de estudios, las cuencas hidrográficas son las unidades territoriales más adecuadas, dada su naturaleza en relación con el agua, ya que son delimitadas de forma natural (Instituto Nacional de Ecología [INE], 2003).

Estas unidades territoriales son tomadas para estudios hídricos, ya que en estas ocurren de manera interconectada todos los procesos naturales asociados con el ciclo hidrológico, precipitación, acumulación, infiltración, recarga de aguas subterráneas, captura, evapotranspiración y escurrimiento de aguas superficiales (INE, 2003).

Las cuencas hidrográficas son las principales formas terrestres dentro del ciclo hidrológico que captan y almacenan el agua proveniente de las precipitaciones. En estas unidades interactúa el agua con los recursos naturales, lo que se considera un proceso permanente y dinámico (INE, 2003). Además, en estas se desarrollan diferentes actividades realizadas por el ser humano ligadas con el uso del agua.

2.3 Agua para consumo humano

Se establece que el agua para consumo humano es la que llega a la población mediante cañería intradomiciliar, fuentes públicas, nacientes o pozos. Es utilizada para el consumo diario, preparación de alimentos, higiene personal, lavado de utensilios, servicios sanitarios y otros aspectos domésticos. Se considera que esta agua puede ser potable o no potable (Espinoza *et al.*, 2004).

En el año de 1948, con el establecimiento de la Segunda República y la abolición del ejército en 1949, Costa Rica se enfrenta a cambios sociales, de salud y económicos. En estos años, dados los cambios que enfrenta el país, se da la migración de habitantes de zonas rurales hacia el Valle Central (Mora, Mata y Portuguez, 2012).

Con la migración, los accesos de agua potable y saneamiento con que contaban las comunidades colapsaron, estos sistemas de abastecimiento de agua se encontraban a cargo de los municipios y, a modo de solución se crea, mediante la Ley 2726, en el año de 1961, el Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados, que permitió mejoras en la cobertura de agua para consumo humano y agua potable (Mora *et al.*, 2012).

La cuenca alta del río Turrubares se encuentra dentro de la gran cuenca del río Tárcoles, donde se presenta el mayor aprovechamiento de agua para consumo humano (46%), esto debido a que en esta se ubican las ciudades más importantes: San José, Heredia y Alajuela (GWP *et al.*, 2011).

Se estima que el 98,7% de la población de Costa Rica tiene acceso al agua para consumo humano, de los cuales el 89,5% recibe agua potable y un 10,5 % agua de calidad no potable (Mora *et al.*, 2012).

A pesar de estas estadísticas, no son todas las comunidades del país las que cuentan con acceso de calidad a agua para consumo humano, es decir, no todas reciben de forma continua y con la cantidad suficiente para abastecer la demanda. Esto se debe a que el recurso no se encuentra distribuido de forma uniforme en todo el país y se desconoce la oferta hídrica real (Segura, 2002).

2.4 Abastecimiento del recurso hídrico para consumo humano

El abastecimiento de agua para consumo humano consiste en un sistema que permite que el agua llegue desde el lugar de captación hasta el punto de consumo, generalmente son sistemas de obras de ingeniería interconectadas que permiten llevar el recurso hídrico hasta las viviendas (Angarita y Meléndez, s.f.).

El abastecimiento de agua potable en Costa Rica se ha destacado en muchos niveles, aproximadamente un 88,9% de la población cuenta con servicio de agua por acueductos, el porcentaje en cuanto a cobertura de agua potable intradomiciliar es de los más altos en América Latina (Marín, 2011).

Costa Rica cuenta aproximadamente con 2.359 acueductos, de los cuales 191 pertenecen al AyA, 236 a municipios, 13 a la Empresa de Servicios Públicos de Heredia y 1.919 a Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados comunales (ASADAS) (Mora *et al.*, 2012).

El 98% (es decir 2.314) son acueductos que abastecen poblaciones menores a 10.000 habitantes, el 1,7% entre 10.000 a 50.000 habitantes, y solamente el 0,3% (6 acueductos) superan los 50.000 habitantes (Mora *et al.*, 2012).

Específicamente, en el caso de la cuenca alta del río Turrubares, las comunidades son abastecidas por sistemas de acueductos pertenecientes al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y por Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados comunales (ver tabla 2).

Las ASADAS según La Gaceta N° 150 (2005), se definen como Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados comunales, que asumen un convenio de delegación con el AyA para la prestación del servicio de agua potable. Son regidas por el Reglamento de Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales.

En este reglamento se especifica que el fin de las ASADAS es la construcción, operación, mantenimiento y desarrollo de los sistemas de acueductos y alcantarillados delegado por el AyA; a su vez deberán velar por la conservación y aprovechamiento racional de las aguas y la vigilancia y control de su contaminación o alteración (La Gaceta, 2005).

Tabla 2. Sistemas de acueductos.

Comunidades	Sistema de acueducto	Ente administrativo
Cortezal	Asociación Administradora del Acueducto Rural de Cortezal de Puriscal	ASADA
Cuesta Mora	Asociación Administradora del Acueducto Rural de Salitrillo de Puriscal	ASADA
Grifo Alto	Asociación Administradora del Acueducto Rural de Salitrillo de Puriscal	ASADA
Calle Salitrillos	Asociación Administradora del Acueducto Rural de Salitrillo de Puriscal	ASADA
San Juan	Asociación Administradora del Acueducto Rural de San Juan de Puriscal	ASADA
Charquillos	Asociación Administradora del Acueducto Rural de Santa Marta de Puriscal	ASADA
Jilgueral	Asociación Administradora del Acueducto y Alcantarillado Sanitario de Jilgueral de Mercedes Sur	ASADA
Víbora	Sistema alto La Legua de Puriscal	AyA
Mercedes Sur	Sistema alto La Legua de Puriscal	AyA
Alto Barbacoas	Sistema Barbacoas de Puriscal	AyA
Barbacoas	Sistema Barbacoas de Puriscal	AyA
Cerbatana	Sistema de Acueducto de Puriscal*	AyA
San Isidro	Sistema Mercedes Norte y Calle Garita de Santiago de Puriscal	AyA
Mercedes Norte	Sistema Mercedes Norte y Calle Garita de Santiago de Puriscal	AyA
Piedades	Sistema Piedades de Puriscal	AyA

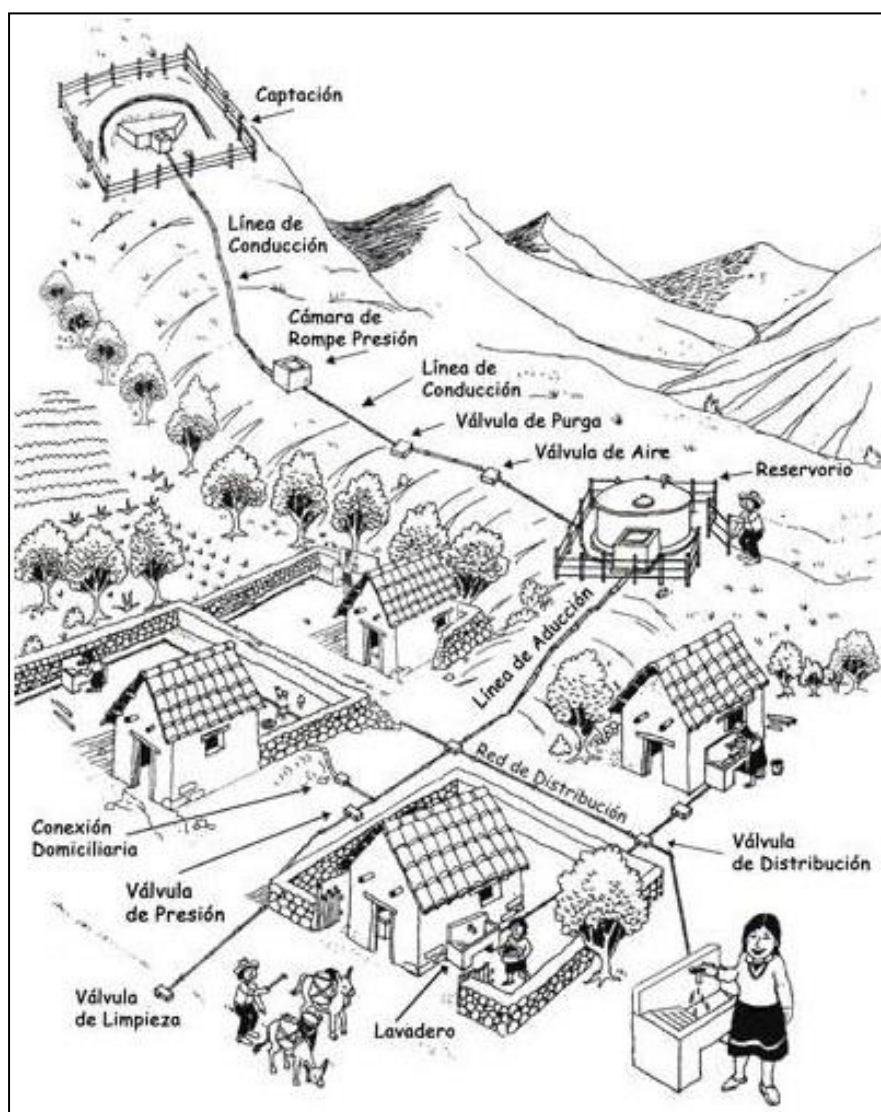
Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

Por otra parte, en la cuenca en estudio las comunidades también son abastecidas de agua mediante sistemas de acueductos administrados por el AyA, estos se definen como un conjunto de obras que tienen como fin dotar de agua apta para consumo humano a las comunidades (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN] y Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2012).

Según la *Guía Metodológica de Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Acueducto y Alcantarillado Sanitario en Costa Rica*, elaborada por el MIDEPLAN y CEPAL (2012), los sistemas cuentan con diferentes elementos (figura 2):

- Obras de captación: son las que captan el agua desde las fuentes.
- Obras de conducción: se encargan de conducir el agua desde su captación hasta la planta de potabilización o tanques de almacenamiento.
- Obras de potabilización: son las encargadas de que las aguas superficiales captadas sean aptas en calidad para el consumo humano.
- Obras de desinfección: son las que permiten la desinfección del agua en su recorrido por las tuberías.
- Obras de almacenamiento: permiten regular las variaciones horarias de consumo diarias, así se entrega el agua de forma constante y con la adecuada presión.
- Redes de distribución: son las tuberías primarias y secundarias que se encargan de distribuir el agua a las viviendas.
- Estaciones de bombeo, son los equipos que permiten incrementar la presión del agua, esto para abastecer zonas de diferente nivel o alimentar tanques elevados.

Figura 2. Sistema de acueductos.



Fuente: Fuquene Yate y Diana Marcela, 2013.

Los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano son primordiales en la presente investigación, ya que son estos últimos considerados como los causantes del problema de acceso al agua para consumo humano, dado que se sabe que los sistemas no cuentan con el recurso suficiente para abastecer la demanda de las comunidades.

Además de tomar en cuenta la disponibilidad hídrica como posible causante de los problemas, es importante, a nivel de los sistemas, conocer el agua no controlada.

El agua no controlada se obtiene de la diferencia entre la producción total de agua y el consumo total de agua, mediante la siguiente fórmula:

$$\%ANC = \frac{\text{Producción total} - \text{Consumo total}}{\text{Producción total}} * 100$$

(Contraloría General de la República, 2012)

El agua no controlada se traduce como las pérdidas de agua que tiene el sistema, las cuales se pueden atribuir a fugas, altas presiones en las redes, deficiencia en el mantenimiento de micromedidores, deficiencia en la estructura de la red, edad de la red o rebalse de tanques de reserva (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados [AyA] y Organización Panamericana de la Salud, 2002).

Sin embargo, en este tema Costa Rica no presenta ninguna regulación y cuenta con índices de agua no controlada muy altos. A nivel mundial se han fijado algunos porcentajes, como por ejemplo la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico de Colombia fijó el porcentaje de agua no controlada en el 30%, en Estados Unidos de América el porcentaje fijado por la Agencia de Protección Ambiental corresponde al rango de 10 al 15%, en Chile el porcentaje está en un 34%, y países como Dinamarca y Holanda plantean un 6% (Contraloría General de la República, 2012).

En la cuenca alta del río Turrubares los sistemas administrados por el AyA que abastecen las comunidades de agua para consumo humano, presentan porcentajes de agua no controlada entre 30 y 50% (Hidrogeotecnia Ltda., 2013).

2.5 Disponibilidad hídrica

La disponibilidad hídrica se puede definir como la oferta aprovechable, tanto a nivel superficial como subterráneo, en la que una porción de agua se utiliza para un fin específico y que estará disponible a largo plazo. Por oferta aprovechable se entiende el recurso hídrico que después de la precipitación y de haber cumplido con la demanda (en este caso

específico lo demandado por las plantas), queda libre para ser aprovechado por las personas para sus diferentes actividades sociales, económicas o culturales (Rodríguez, 2009).

Al ser el agua un líquido valioso para el ser humano, es importante que todos cuenten con acceso a ella. La cantidad de agua disponible en Costa Rica es capaz de abastecer a toda la población (MINAET *et al.*, 2013); sin embargo, comunidades como las de Puriscal cuentan con otra realidad, teniendo déficit en lo que respecta al acceso de agua para consumo humano.

Ante esta realidad es importante no solo saber que el agua puede abastecer a un país, si no también saber cuál es la distribución y disponibilidad del recurso. Al ser un líquido que se distribuye de forma irregular a lo largo del territorio, hace que algunas comunidades no tengan acceso a este recurso de forma continua.

Se ha demostrado que la disponibilidad hídrica está ligada de forma directa con la calidad de salud humana (PNUE, 2010), entre más alta sea la disponibilidad del recurso, mejores serán las condiciones de salud para las personas.

Conocer la disponibilidad del recurso no solo se refleja en la relación con el ser humano, sirve también como indicador para conocer la eficiencia con la que se maneja el agua, es decir, si la disponibilidad es alta se considera que el recurso se maneja de forma sustentable, mientras que se considera un mal manejo del recurso cuando la disponibilidad es baja; también permite conocer cómo se administran otros recursos naturales como la flora, fauna y suelo (CARE Internacional-Avina, 2012).

El deterioro, la vulnerabilidad y amenazas ante el recurso hídrico afectan de forma directa la disponibilidad del agua en las cuencas. La ausencia de políticas hídricas integrales, estables y de mínimo cumplimiento, ha permitido el uso ineficiente y la contaminación de los cuerpos de agua (Segura, 2002).

2.6 Demanda y oferta hídrica

La demanda y la oferta hídrica son aspectos fundamentales para la presente investigación, ya que se busca una relación entre los problemas por parte de la demanda del agua en las

comunidades y la oferta hídrica en la cuenca. Por este motivo, la demanda hídrica refleja la problemática de abastecimiento de agua para consumo humano en la cuenca, que es la cantidad de agua demandada por las comunidades medida por los diferentes sistemas de acueductos que las abastecen.

Para el método del balance hídrico, la demanda se relaciona con la profundidad de las raíces en los diferentes usos de suelo presentes en la cuenca, siendo representada la cantidad de agua demandada por las plantas, y la oferta representa la cantidad de agua que después de los procesos de infiltración y evapotranspiración queda disponible para los diferentes usos, tanto del medio ambiente como para los seres humanos (Hernando et al., 2007).

Se asume que son las áreas cubiertas por la naturaleza, los reservorios de agua de donde los seres humanos obtienen el agua para satisfacer sus necesidades; por ende, si el agua existente en la cuenca no es suficiente para abastecer lo demandado por las plantas, no existe recurso para ser utilizado por los seres humanos (Hernando et al., 2007).

Aclarado lo anterior, de forma general se puede definir la demanda de agua como la cantidad de recurso que se necesita para las diferentes actividades realizadas por el ser humano y la que requiere el medio ambiente para su ciclo natural. Por otro lado, la oferta hídrica es considerada como el recurso que satisface la demanda, tanto de la población como del ecosistema (Sibaja, 2013).

Después de la precipitación, el agua cumple con los procesos de evapotranspiración e infiltración, la porción de agua restante después de cumplir con estos procesos es lo que se conoce como oferta hídrica (Corporación Autónoma Regional de Nariño [CORPONARIÑO], s.f), es decir, el recurso que se encuentra en la superficie y de forma subterránea que queda a disposición de las personas y del medio ambiente para satisfacer sus diferentes necesidades.

La oferta hídrica está determinada por la dinámica del ciclo hidrológico, se asocia de forma directa con la disponibilidad de agua que provee el ciclo en un período y lugar determinado (SIRH-CG, s.f.). La oferta hídrica en una cuenca hidrográfica se puede obtener a partir de cuantificar la escorrentía superficial mediante un balance hídrico.

En este tema es importante destacar que la oferta se modifica a causa de agentes externos tales como la deforestación, mala planificación urbana e inadecuados usos del suelo, que ejercen presión sobre el recurso hasta el punto de escasez de este (Rodríguez, 2009).

Según la Agenda de Agua Costa Rica 2013-2030 (2013), Costa Rica cuenta con una oferta hídrica envidiable, aproximadamente 24.784 m³ por persona al año, lo que es más de tres veces el promedio mundial (7.000 m³). Esta riqueza no ha sido protegida como se debe y comienza a presentar una alta vulnerabilidad en la actualidad.

2.7 Escasez del recurso hídrico

La escasez hídrica es considerada como una disminución considerable del recurso. La escasez de agua puede ser medida a través de la relación agua-población (ONU-DAES y UN WATER, 2014).

En cuanto a escasez existen distintos tipos: escasez física, escasez económica y la falta de disponibilidad del agua de buena calidad. La escasez física es la limitación en el acceso a fuentes de agua para riego, industria y consumo humano. La escasez económica se determina por la ausencia de infraestructura para llevar el agua a las viviendas y, por último, la falta de disponibilidad de agua de buena calidad, esto debido a la contaminación, incremento en la industria o ausencia de tratamiento de aguas residuales (Mora, 2010).

Relacionado con la escasez hídrica surge el estrés hídrico, este se presenta ante la dificultad de obtener fuentes de agua dulce, esto como consecuencia del agotamiento del recurso hídrico (ONU-DAES y UN WATER, 2014).

El estrés hídrico es un fenómeno que produce deterioro en cuanto a cantidad y calidad de los recursos de agua dulce. Como consecuencia del estrés hídrico se obtienen acuíferos sobreexplotados, ríos secos, lagos contaminados, contaminación de la materia orgánica, entre otras. Se considera estrés hídrico cuando la demanda de agua es más grande que la cantidad disponible durante un periodo determinado de tiempo o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad (Ecología Verde, 2008).

Se estima a nivel mundial como cifra para satisfacer la demanda 1.700 m³ por persona. Si el suministro de agua baja de los 1.700 m³, se considera la situación como estrés hídrico, por

debajo de los 1.000 m³ por persona se habla de escasez del recurso y si llega a ser menor de 500 m³ se considera como escasez absoluta (CARE Internacional-Avina, 2012).

Según el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (2012), en general Costa Rica se encuentra entre los países con escasez económica de agua, es decir, que los problemas se asocian a deficiencias en la infraestructura de los sistemas que abastecen las comunidades.

2.8 Balance hídrico en cuencas hidrográficas

El Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) de El Salvador (2005), define el balance hídrico de la siguiente forma:

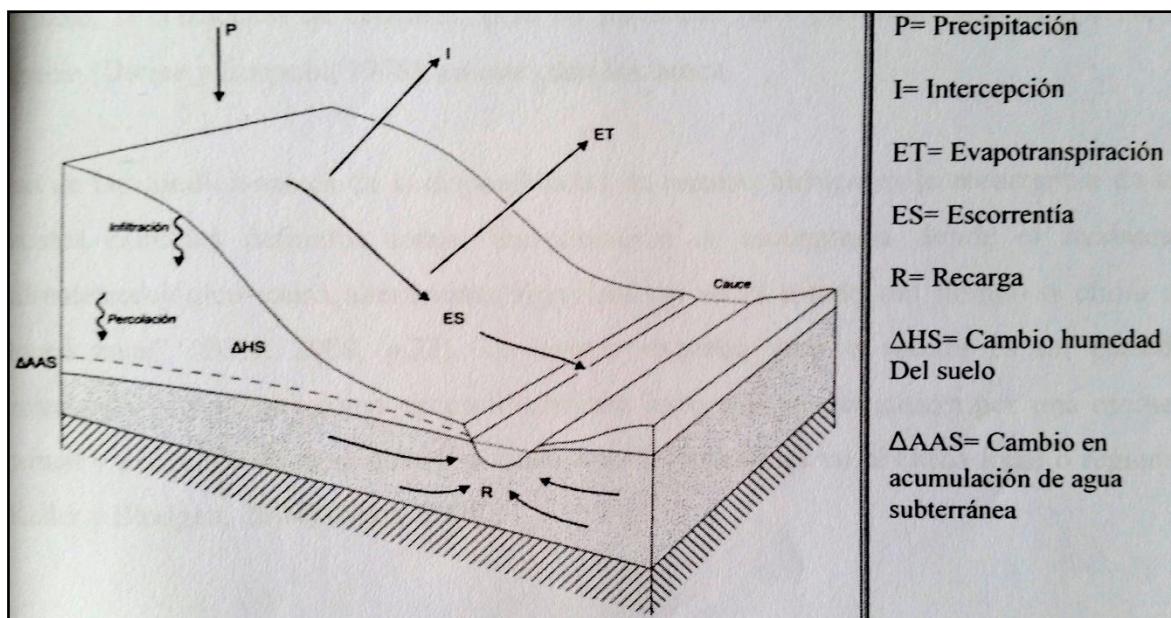
“Cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, como de los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios, en un área determinada, cuenca, y la interrelación entre ellos, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha área. Dado que el Balance Hídrico presenta un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en un área particular, permite tomar medidas y establecer lineamientos y estrategias para su protección y utilización de una manera integrada, de tal forma que se garantice su disponibilidad tanto en cantidad como calidad” (p. 9)

El balance es un elemento fundamental en la evaluación del grado de deterioro y la disponibilidad real hídrica en un determinado territorio (cuenca) y, a su vez, en la determinación de la fragilidad de las unidades hidrológicas (INE, 2003).

El método del balance hídrico se utiliza en estudios relacionados con la evaluación del recurso hídrico, ya que permite generar insumos para resolver problemas, así como es una herramienta que permite que se evalúe de forma cuantitativa el recurso hídrico, tanto a nivel temporal como espacial (Hernando, Ruiz y Solís, 2012).

Este instrumento permite la relación entre variables tanto socioeconómicas como naturales, es decir, se relacionan aspectos como usos del suelo con el tipo de suelo, temperatura, precipitación, etc. (figura 3). Además, permite el cálculo de la demanda hídrica, la humedad en el suelo, predicción de caudales, oferta y disponibilidad hídrica (Hernando, Ruiz y Solís, 2012).

Figura 3: Componentes del balance hídrico.



Fuente: Dunne y Leopold, 1978.

Las variables que se toman en cuenta para el balance hídrico se derivan del principio de la conservación del agua en el ciclo hidrológico. La totalidad del agua que proviene de la precipitación puede evaporarse desde el suelo o ser transpirada por la vegetación (evapotranspiración real). Esta misma agua puede infiltrarse en los suelos, fuera del alcance de las raíces, lo que se considera como recarga subterránea; también puede escurrir sobre la superficie hacia los cauces de ríos o ser almacenada en forma de humedad en los suelos (Delgado y Villegas, 2013).

2.9 Gestión integral del recurso hídrico (GIRH)

La gestión integral del recurso hídrico (GIRH) surge ante la realidad de que los usos que se le dan al agua son interdependientes. La importancia del agua para la supervivencia y salud

del medio ambiente y personas, lleva a pensar de qué manera debe ser administrado dicho recurso, debido a una creciente presión sobre él.

La GIRH se define como *“el proceso que promueve el manejo y aprovechamiento coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante, esto de manera equitativa y sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales”*. (CARE Internacional-Avina, 2012, p. 49).

En la GIRH se interrelacionan los ciclos hidrológico y social. El ciclo hidrológico se define como el sistema en que está inmersa el agua, donde circula en la hidrosfera, incluye diversos procesos: precipitación, evaporación, transpiración, escurrimiento superficial y subterráneo. Mientras que por ciclo hidrosocial se entiende el sistema al que es sometida el agua por el ser humano en todos los procesos productivos y reproductivos, el agua la obtienen en una calidad determinada y la retorna al sistema con otra calidad (MINAET, 2009).

Cuando se habla de gestión en temas hídricos se hace referencia a que el suministro de agua se administre de forma consciente y equilibrada, para así garantizar el uso sostenible a largo plazo (Cap-Net, 2008). La gestión debe ser integrada, ya que los diferentes usos que se le pueden dar al agua se deben considerar de manera conjunta, las decisiones relacionadas con el agua deben tomar en cuenta el impacto de cada uso sobre los demás.

Es a través de la gestión integrada de los recursos hídricos que se podrá contribuir a mejorar la confusión legal actual, la identificación y separación de los diferentes roles y la gestión del agua como recurso y como servicio (MINAET, 2009).

2.10 Áreas prioritarias

Son áreas prioritarias aquellas donde la disponibilidad hídrica es baja o moderada y a su vez existen comunidades con problemas de acceso al agua para consumo humano.

Estas áreas son importantes, ya que permiten evidenciar si los problemas de acceso al agua en las comunidades de la cuenca están ligados a una baja disponibilidad hídrica, y serían las áreas de mayor interés para las instituciones a cargo del abastecimiento del recurso, ya que son prioritarias para búsqueda de soluciones.

2.11 Legislación de Costa Rica: recurso hídrico

Para agosto de 1942 se promulga la Ley de Aguas, la cual está vigente en la actualidad, trata temas como el dominio público del agua, su aprovechamiento, las cañerías, abastecimiento para los usuarios y usos especiales.

En la Constitución Política de Costa Rica de 1949 se habla del derecho a la vida y a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, por lo que de forma implícita se alega al derecho fundamental de acceso al agua.

En 1961 se crea el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados bajo la ley número 2726, este tiene como fin dirigir y vigilar todo lo concerniente a proveer a los habitantes del país de un servicio de agua potable, recolección y evacuación de aguas negras y residuos industriales líquidos, así como de aguas pluviales en las áreas urbanas (AyA, 2010).

Con la promulgación del código de minería en 1982, las aguas se declararon de dominio público. Toda persona física o jurídica requiere de una concesión dada por el Estado para su aprovechamiento, a esto se excluye el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) (AIACC, 2003).

La rectoría y gobernabilidad del agua están a cargo del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAET) en conjunto con el Presidente de la República. El MINAET “tiene como finalidad en este campo, representar y ejercer en nombre del Estado el dominio público del recurso hídrico del país, con el fin de velar por la preservación del mismo y utilización de forma jerarquizada según la importancia de las necesidades” (GWP *et al.*, 2011, p.77).

Para el año 2002, el Poder Ejecutivo emitió el decreto 30480-MINAE, en este se establecen los principios que en la actualidad rigen las políticas nacionales de gestión del recurso hídrico. En los principios establecidos en dicho decreto se destaca el acceso al agua potable como un derecho humano inalienable y debe ser garantizado constitucionalmente (VI Foro Mundial del Agua, 2012).

Costa Rica presenta distintos problemas en cuanto a legislación del agua. La Ley de Agua con que cuenta el país no brinda un marco para que la gestión del agua sea de forma

integrada; además, no cuenta con un único cuerpo normativo que regule de forma integrada la protección, extracción y gestión de los recursos hídricos. Se estima que existen aproximadamente 120 leyes y decretos que delegan a alguna entidad para llevar a cabo diferentes tipos de funciones o actividades asociadas al recurso (GWP *et al.*, 2011).

Capítulo III. Metodología

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo explicativa, más allá de la descripción o de establecer relaciones, se busca responder a las causas de eventos, sucesos y fenómenos físicos o sociales; en este caso se busca dar a conocer la causa de los problemas de acceso al agua para consumo humano. Este tipo de investigación se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da, o por qué se relacionan dos o más variables. Para esta investigación se explica la relación entre la disponibilidad hídrica y los problemas de acceso al agua (Hernández, Fernández y Baptista, 2003).

A su vez, esta investigación emplea características de estudios descriptivos, ya que busca especificar las propiedades, características y perfiles del objeto que se investiga (Hernández, Fernández y Baptista, 2003), se describe cuál es la situación actual del recurso y del acceso al agua para consumo humano en el área de estudio.

Se relaciona de forma cuantitativa si las comunidades se encuentran en zonas de baja, media o alta disponibilidad, así como también los resultados de la investigación se muestran en forma cualitativa, se busca una relación espacial entre las comunidades y fuentes de abastecimiento de agua y la disponibilidad de agua.

3.2 Variables de la investigación

Objetivo 1: Determinar la distribución espacio-temporal actual del recurso hídrico en la cuenca alta del río Turrubares.					
Variable o categoría	Definición teórica o conceptual	Definición operacional	Fórmula o calificativo	Instrumento	Fuente
Parámetros morfométricos	Estudio cuantitativo de las características físicas de la cuenca hidrográfica (Delgadillo y Moreno, s.f.).	Mediante parámetros cuantitativos se dan a conocer las características físicas de la cuenca.	Densidad de drenaje, la pendiente media del cauce principal, profundidad de disección, coeficiente de compacidad y anchura media.	Curvas de nivel 1: 10000. Red hídrica (a partir de las curvas de nivel, SIG)	Datos del Programa de Regularización y Catastro de Costa Rica.
Demanda de agua	Cantidad de recurso que se necesita para las diferentes actividades realizadas por los seres vivos.	Se determina la demanda hídrica espacial y temporal en la cuenca de estudio a partir del método de balance hídrico. Además, se obtiene a partir de datos brindados por el AyA, la demanda de agua para consumo humano a partir de los sistemas de acueductos.	Demanda de agua.	Esta variable se mide por medio de balances hídricos y métodos de precipitación media. Además, se analizan los sistemas de abastecimiento de agua del AyA.	Método de balance hídrico propuesto por Thornthwaite y Mather (1957). Estudio de Hidrogeotecnia Ltda. (2013).
Oferta del recurso hídrico	Cantidad de agua que se puede aprovechar en las diferentes actividades sociales y económicas, es decir, el recurso hídrico que satisface la demanda de la población (Segura <i>et al.</i> , 2004, citado por Rodríguez, 2009).	Se busca analizar la oferta del recurso hídrico de forma espacial y temporal en la cuenca de estudio a partir del método de balance hídrico. Además, se obtiene a partir de datos brindados por el AyA, la oferta de agua para consumo humano a partir de los sistemas de acueductos.	Oferta hídrica en la cuenca.	Esta variable se mide por medio de balances hídricos y métodos de precipitación media. Además, se analizan los sistemas de abastecimiento de agua del AyA.	Método de balance hídrico propuesto por Thornthwaite y Mather (1957). Estudio de Hidrogeotecnia Ltda. (2013).

<p>Acceso a agua para consumo humano</p>	<p>Por ley todas las personas deben tener acceso al recurso hídrico. El agua para consumo humano es la que llega a la población mediante cañería intradomiciliar, fuentes públicas, nacientes o pozos. Es utilizada para el consumo diario, preparación de alimentos, higiene personal, lavado de utensilios, servicios sanitarios y otros aspectos domésticos. (Espinoza <i>et al.</i>, 2004).</p>	<p>Determinar las comunidades que presentan problemas de acceso al recurso hídrico.</p> <p>A partir de los mapas de demanda y oferta hídrica se analizarán las poblaciones que se encuentren en zonas donde la demanda es mayor a la oferta hídrica.</p> <p>Esto se comprobará con los datos de los sistemas de acueductos y ASADAS que abastecen las comunidades.</p>	<p>Oferta y demanda hídrica en las comunidades de la cuenca.</p>	<p>Esta variable se obtiene mediante los resultados de demanda y oferta hídrica a partir del balance hídrico y métodos de precipitación media.</p> <p>Estudios referentes al acceso al agua para consumo humano en el área de estudio.</p>	<p>Método de balance hídrico propuesto por Thornthwaite y Mather (1957). Estudio de Hidrogeotecnia Ltda. (2013).</p>
<p>Sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano</p>	<p>Sistemas de acueductos (AyA) y ASADAS que abastecen de agua para consumo humano a las comunidades de la cuenca.</p>	<p>Determinar cuáles son los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano presentes en la cuenca y cuál es la situación actual de estos (oferta y demanda de agua del acueducto).</p>	<p>Sistemas de acueductos y ASADAS.</p>	<p>Estudio de Hidrogeotecnia Ltda. (2013) (búsqueda bibliográfica).</p> <p>Plan Regulador del cantón de Puriscal.</p>	<p>Datos del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.</p>
<p>Déficit del recurso hídrico</p>	<p>Es el faltante o escasez del agua (Sibaja, 2013).</p>	<p>A partir de los datos obtenidos del balance hídrico, se determinará el déficit hídrico en la cuenca.</p>	<p>Déficit hídrico.</p>	<p>Balance hídrico.</p>	<p>Método de balance hídrico propuesto por Thornthwaite y Mather (1957)</p>

Objetivo 2: Establecer la disponibilidad hídrica y su distribución en la cuenca alta del río Turrubares.

Variable o categoría	Definición teórica o conceptual	Definición operacional	Fórmula o calificativo	Instrumento	Fuente
Disponibilidad hídrica	Oferta de agua aprovechable y que estará disponible a largo plazo (Rodríguez, 2009).	Se estima, según valores cuantitativos, si la disponibilidad hídrica es alta, media o baja (ver tabla 6).	Disponibilidad alta, media o baja.	Balance hídrico, método de precipitación media.	Método de balance hídrico propuesto por Thornthwaite y Mather (1957).
Distribución de la disponibilidad hídrica	Distribución espacial de la disponibilidad hídrica en la cuenca.	Se analiza la disponibilidad hídrica en relación con el espacio geográfico. Determinar zonas con mejores características para el aprovechamiento del recurso hídrico y conservación, para abastecimiento de la población.	Disponibilidad alta, media o baja.	Balance hídrico, sistema de información geográfica (SIG).	Resultados obtenidos del balance hídrico.

Objetivo 3: Relacionar las diferentes zonas de disponibilidad hídrica en la cuenca alta del río Turrubares con las comunidades que presentan problemas de acceso al agua para consumo humano.

Variable o categoría	Definición teórica o conceptual	Definición operacional	Fórmula o calificativo	Instrumento	Fuente
Áreas prioritarias	Son aquellas áreas en que existen comunidades con problemas de acceso al recurso hídrico y además, se categorizan como zonas de baja disponibilidad hídrica.	Se analiza si existen áreas en las que coinciden comunidades con problemas de acceso al recurso hídrico y zonas de moderada o baja disponibilidad hídrica. Estas áreas se obtienen a partir de sobreponer las capas resultantes de los mapas de distribución de la disponibilidad hídrica y de comunidades con problemas de acceso al recurso hídrico.	Áreas prioritarias.	Sistema de información geográfica (SIG): capa de zonas de disponibilidad hídrica y capa de comunidades con problemas de acceso al agua para consumo humano.	Datos obtenidos a partir del balance hídrico.

3.3 Etapas de la investigación

De forma general, la presente investigación sobre disponibilidad hídrica y su relación con los problemas hídricos en la cuenca alta del río Turrubares, cuenta con un procedimiento metodológico de cuatro etapas.

La primera etapa consiste en la recopilación de las características y datos físico-geográficos de la cuenca, que es la información base para el desarrollo de la investigación. En este punto es clave obtener las características tanto físicas como las hidrológicas, ya que el presente trabajo busca dar a conocer el comportamiento del recurso hídrico en la cuenca.

Para esta etapa es primordial la revisión bibliográfica y cartográfica del área de estudio, de donde se pueda obtener datos de precipitación, temperatura, geología, geomorfología, etc. También se requiere del cálculo de los parámetros morfométricos que permitirán conocer las características de la red hídrica, también son importante las giras de campo para evaluar los tipos de suelos y sus características, así como los usos del suelo.

En la segunda etapa se determina la distribución espacio-temporal del recurso hídrico, se conocerá a partir de la oferta y demanda del recurso en la cuenca, el comportamiento actual del agua. Para esto se utilizará el método del balance hídrico y precipitación media, se utilizarán también las herramientas del Sistema de Información Geográfica (SIG) para la representación espacial. A partir de los datos obtenidos en esta etapa se podrán determinar las comunidades que presentan problemas de acceso al agua para consumo humano, es decir, donde la oferta del recurso sea menor a la demanda.

En la tercera etapa se busca conocer la disponibilidad del recurso hídrico, así como su distribución en la cuenca. De esta manera se pretende conocer las áreas con alta, media o baja disponibilidad. Para medir esta variable se utiliza como herramienta el balance hídrico, así como métodos de precipitación media, también las herramientas del Sistema de Información Geográfica (SIG) para la representación espacial.

En la última etapa se busca identificar las áreas prioritarias, donde se relaciona la disponibilidad hídrica con las comunidades que presentan problemas de acceso al agua. De esta forma se podría dar a conocer si los problemas de acceso al agua para consumo

humano en las comunidades de la cuenca alta del río Turrubares se ven influenciados por la disponibilidad hídrica.

Esta relación se logra mediante el uso de la herramienta del Sistema de Información Geográfica (SIG), donde se sobreponen las capas de las comunidades con problemas de acceso al agua y las diferentes zonas de disponibilidad, se digitalizarán zonas prioritarias y así se obtiene una relación espacial entre las comunidades y la disponibilidad hídrica.

3.4 Métodos e instrumentos para análisis de datos

3.4.1 Instrumentos y métodos previos

Delimitación del área de estudio:

La delimitación del área de estudio se realiza a partir de las curvas a escala 1:10.000, mediante las divisorias de agua se delimitó la cuenca alta del río Turrubares. Se utilizaron los datos del Programa de Regularización y Catastro de Costa Rica (2010).

Datos meteorológicos:

Para el presente trabajo es indispensable conocer la precipitación y temperatura en la cuenca. Para esto se toman los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio.

Estos datos se obtienen de manera diaria y posteriormente se calculan los totales y promedios mensuales y anuales.

Para la cuenca alta del río Turrubares se encontraron cuatro estaciones cercanas (tabla 3); sin embargo, para la corrección de los datos de precipitación se utilizaron tres estaciones adicionales (anexo 1). Para el presente estudio se tomaron en cuenta los datos de precipitación desde el año de 1997 hasta el 2006.

Tabla 3. Estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca alta del río Turrubares.

Estación	NRO	Fuente	Elevación	Coordenadas	
				Longitud	Latitud
Bajo Laguna	84097	ICE	40	-84° 30' 53,71"	9° 50' 55,36"
Embalse La Garita	84034	ICE	484	-84° 21' 1,91"	9° 56' 8,75"
Salitrillos de Aserrí	84116	ICE	1260	-84° 4' 38,83"	9° 51' 48,56"
San Bernardo	92006	ICE	1250	-84° 17' 52,91"	9° 36' 55,29"

Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Corrección de datos de precipitación:

Dado que las estaciones cercanas a la cuenca se encuentran incompletas, es decir, que existen meses en que no se registraron los datos de precipitación, es necesario completarlas.

Para esto se utiliza el método de la razón. Para este método se requiere de tres estaciones cercanas y uniformemente espaciadas con respecto a la estación en estudio, que posean completas las series de datos que se necesitan para completar. Este método se aplica en el caso de que el promedio de precipitación de cualquiera de las estaciones completas difiera en más del 10% del promedio de la estación incompleta (Alfaro y Pacheco, 2000).

Se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B + \frac{N_x}{N_C} P_C \right)$$

Donde:

N_x =promedio de la estación incompleta.

N_{ABC} = promedio de estaciones completas.

P_{ABC} = precipitación de la estación A, B y C del mes o año que se trata.

(Aparicio, 1996).

Determinación de la precipitación media de la cuenca:

Para calcular la precipitación media de la cuenca se utiliza el método de Isoyetas, este permite calcular la precipitación media utilizando la información de las lluvias registradas en estaciones meteorológicas.

Consiste en trazar líneas que unen puntos de igual altura de precipitación. Resulta ser el más preciso, ya que toma en cuenta los efectos topográficos de la distribución de la lluvia (Aparicio, 1996).

El trazo de las Isoyetas para la presente investigación se realiza cada 150 mm (tabla 4).

Tabla 4. Isoyetas

Isoyetas	Lluvia	Área Km2	Lluvia ponderada
1800-1950	1875	2,5	4687,5
1950-2100	2025	66,73	135128,25
2100-2250	2175	11,84	25752
Totales		81,07	165567,75
Precipitación promedio:		2042,28	

Fuente: elaboración propia con datos del ICE.

Determinación de la evapotranspiración:

La evapotranspiración es la cantidad de agua que se evapora en un conjunto óptimo de condiciones, entre ellas un suministro ilimitado de agua.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial mensual, se utilizó el método de Hargreaves (1981), el cual consiste en la aplicación de la siguiente fórmula:

$$ETP = [(0.17 \times RA \times \sqrt{TD})(0.0075) \times (1.8 \times t_{med} + 32)] \times N$$

Donde:

ETP: evapotranspiración potencial del mes (mm).

RA: radiación extraterrestre en el tope de la atmósfera (mm /día). Varía según la latitud y el mes.

TD: oscilación entre las temperaturas máximas y mínimas del mes.

t_{med} : temperatura del mes (°C).

N: número de días del mes.

(Delgado y Villegas, 2013).

Clasificación climática:

Para la clasificación climática de la cuenca se utiliza el índice hídrico de Thornwaithe. Este índice relaciona la precipitación y la evapotranspiración potencial de la cuenca para definir el comportamiento climatológico. Se utiliza la siguiente fórmula:

$$Im = \left(\frac{P}{ETP} - 1 \right) * 100$$

Donde:

P= precipitación media.

ETP= evapotranspiración potencial media.

Para cada estación meteorológica se aplica el índice, el cual se expresa en porcentaje.

Tabla 5. Grupos climáticos según índice hídrico.

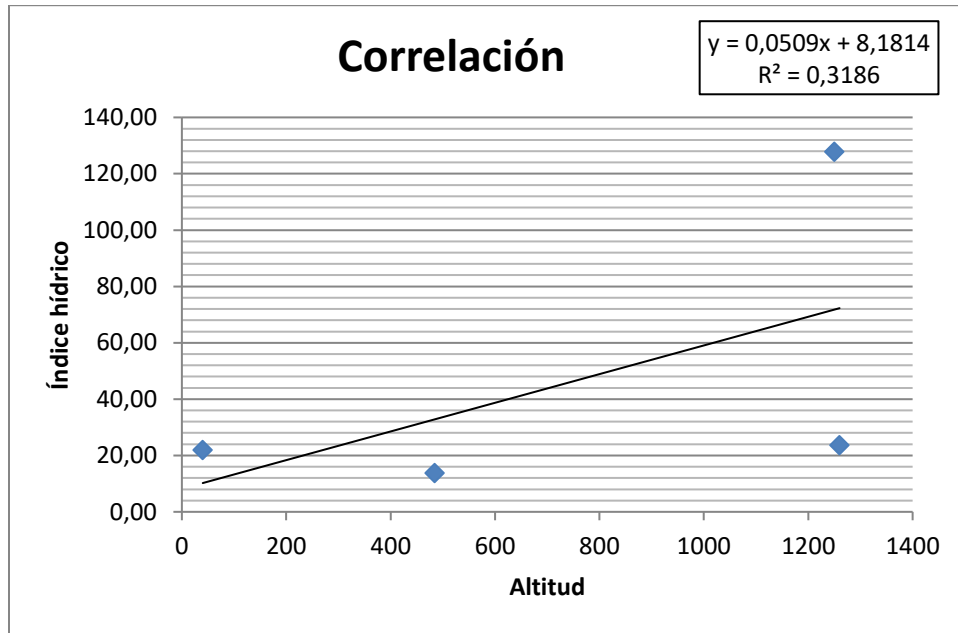
Denominación	Índice hídrico (%)	Simbología
Excesivamente húmedo (pluvial).	600-500	H3
Excesivamente húmedo (pluvial).	500-400	H2
Excesivamente húmedo (pluvial).	400-300	H1
Muy Húmedo	300-220	G6
Muy Húmedo	220-180	G5
Muy Húmedo	180-160	G4
Muy Húmedo	160-140	G3
Muy Húmedo	140-120	G2
Muy Húmedo	120-100	G1
Húmedo	100-80	F
Húmedo	80-60	E
Húmedo	60-40	D
Húmedo	40-20	C
Subhúmedo húmedo	20-0	B
Subhúmedo seco	-33.3-0	A

Fuente: Hernando, 1988.

Para crear las zonas climáticas se comprueba la correlación existente entre el índice hídrico y la altitud de cada estación para la cual se calculó, de esta forma se obtiene la fórmula de la regresión lineal (gráfico 1).

Para determinar los límites de cada zona correspondiente a la cuenca, se aplica la fórmula de regresión lineal a una serie de altitudes acordes con el relieve de la cuenca.

Gráfico 1. Correlación a partir de los datos del índice hídrico y altitudes de las estaciones.



Fuente: elaboración propia con datos del ICE.

Comportamiento del agua en el suelo:

Este procedimiento se realiza con el fin de determinar los coeficientes hídricos, capacidad de campo y el punto de marchitez permanente de los diferentes tipos de suelo.

Para este proceso, primeramente, se requiere la extracción de muestras de suelo no alteradas. Se hace un perfil por cada tipo de suelo (en este caso se utilizó el Gran Grupo de cada suelo presente en la cuenca). En cada perfil se identifican los horizontes y se extraen mínimo tres muestras de cada horizonte, en cilindros de 4,4 cm de altura y 90 cm³ de volumen.

Para el cálculo de estos coeficientes hídricos del suelo, se utiliza parte de la metodología de determinación de curvas de retención (Vahrson y Romero, 1984) para la aplicación del método de presión a las muestras de cada horizonte.

Primero se modelan las muestras, es decir, que ambos lados del cilindro queden nivelados sin que sobresalga la muestra. Luego, en la parte inferior del cilindro se le coloca un filtro, una vez hecho esto se colocan las muestras en una bandeja para saturar el suelo.

La saturación consiste en colocar en la bandeja agua en diferentes etapas, comenzando con 1cm de agua, después de aproximadamente dos minutos se llega a la mitad del cilindro y después se sobrepasa el borde del cilindro. Se dejan las muestras en reposo para que el suelo complete la saturación.

El siguiente paso es poner las muestras en platos de porcelana e introducirlos a las ollas de presión. Se dividen la cantidad de muestras del mismo horizonte, unas se colocan en una olla de 15 bares para determinar el punto de marchitez permanente y las otras a la olla de 0,5 bares para la capacidad de campo.

En las ollas, las muestras deben estar por aproximadamente 48 horas, una vez que pasa este tiempo se procede a sacar las muestras y obtener el peso húmedo. Posteriormente las muestras se colocan en un horno a 105 °C, aproximadamente 24 horas, y de esta forma se obtiene el peso seco.

A partir de los datos obtenidos se aplican las siguientes fórmulas para obtener la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente:

Capacidad de campo:

$$pv = \frac{ph - ps - af}{vc} * 100$$

Punto de marchitez permanente:

$$pg = \frac{ph - ps}{ps - pc} * 100$$

$$DA = \frac{ps - pc - pl}{vc}$$

$$pv = pg * DA$$

Donde:

pv= porcentaje volumétrico.

ph= peso húmedo, luego de la presión.

ps= peso seco, luego del horno.

af= cantidad de agua en el filtro.

vc= volumen del cilindro.

pg= porcentaje gravimétrico.

pc= peso del cilindro vacío.

pl= peso del filtro seco.

DA= densidad aparente.

Complementariamente se utiliza el método de Bouyoucos para determinar la textura de cada horizonte. Este método se encuentra definido en el *Manual del laboratorio de edafología* de Cervantes y Mojica (2003).

Estos procedimientos se realizaron en el Laboratorio de Suelos y Foliars del Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional (INISEFOR).

3.4.2 Parámetros morfométricos de la cuenca

Para el análisis hidrológico se utilizan los parámetros morfométricos, estos son de carácter cuantitativo y permiten conocer, de forma general, las características físicas de la cuenca.

Con estos se analiza la red de drenaje, las pendientes y la forma de la cuenca, todo a partir de datos numéricos (Delgadillo y Moreno, s.f.).

Para la cuenca alta del río Turrubares se contemplan parámetros sobre la densidad de drenaje, la pendiente media del cauce principal, la profundidad de disección, el coeficiente de compacidad y la anchura media. Se utilizaron los datos del Programa de Regularización y Catastro de Costa Rica, las curvas 1:10.000 y las hojas topográficas Río Grande y Candelaria.

La densidad de drenaje se deriva de la relación existente entre la longitud total de los cauces con el área de la cuenca. La profundidad de disección es la relación entre la distancia del fondo de los valles y las cumbres de las montañas, para lo cual se emplean las siguientes fórmulas (Ruiz y Campos ,1994):

$$Dd(\text{densidad de drenaje}) = \frac{\text{Longitud total de cauces}(km)}{\text{Área de la cuenca } (Km^2)}$$

$$Pd(\text{pendiente de disección}) = \frac{\text{pendiente máxima} - \text{pendiente mínima } (m)}{\text{Área de la cuenca } (Km^2)}$$

(Hernando *et al.*, 2007).

Para analizar la escorrentía y la capacidad de transporte fluvial, es necesario expresar el relieve de la cuenca mediante la determinación de la pendiente media del cauce principal (PMC), según la fórmula:

$$PMC = \frac{h1(\text{altitud máxima}) - h2(\text{altitud mínima}) (m)}{\text{Longitud del cauce principal } (m)} \times 100$$

(Hernando *et al.*, 2007).

Para conocer el aporte del caudal en la cuenca se muestran los valores coeficiente de compacidad (K) y anchura media (Am) de la cuenca, para lo cual se emplean las siguientes fórmulas:

$$K = \frac{0.28 \times \text{Perímetro}}{\sqrt{\text{Área de la cuenca}}}$$

$$Am = \frac{\text{Área de la cuenca (Km}^2\text{)}}{\text{Eje axial (Km)}}$$

(Hernando *et al.*, 2007).

Por último, se encuentra la densidad de cantidad de cauces:

$$Dcc = \frac{\text{Cantidad de cauces de orden } X}{\text{Área de la cuenca (Km}^2\text{)}}$$

(Hernando *et al.*, 2007).

El orden de los cauces permite clasificar el curso de agua según la cantidad del líquido que trasladan. Por lo general, los cauces de orden 1 y 2 son corrientes efímeras, siendo estas las que llevan agua cuando llueve e inmediatamente después. Los órdenes 3 y 4 representan corrientes intermitentes, lo que significa que llevan agua la mayor parte del tiempo, principalmente en época lluviosa, su aporte disminuye cuando el nivel freático desciende por debajo del fondo del cauce. Por último, las corrientes mayores a orden 5 se clasifican como perennes, estas contienen agua todo el tiempo, ya que el nivel freático siempre permanece por arriba del fondo del cauce (Villón, 2004).

3.4.3 Balance hídrico

El método empleado para la estimación del balance hídrico es el propuesto por Thornthwaite y Mather (1957). Este es un balance hídrico climático, utiliza valores medios de precipitación y evapotranspiración potencial, y los relaciona con valores de condiciones edáficas (capacidad de campo y punto de marchitez permanente) y uso del suelo (Hernando, 2003).

Este método es utilizado a nivel mundial por sus múltiples ventajas. Permite relacionar variables socioeconómicas (por ejemplo, el uso del suelo) con variables naturales (como la precipitación, temperatura y tipo de suelo). Además, entre sus ventajas, los valores de precipitación y temperatura se pueden obtener de forma relativamente sencilla, así como que utiliza valores exclusivamente climáticos para expresar el valor relativo de la precipitación (Hernando, Ruiz y Solís, 2012).

Para entender el balance hídrico es necesario explicar sus diversos componentes (Hernando, 2003):

- Precipitación (P): la precipitación en forma de lluvia, nieve, aguanieve, granizo, entre otros.
- La evapotranspiración potencial (ETP): cantidad de agua que se evapora en un conjunto óptimo de condiciones, entre ellas un suministro ilimitado de agua. Uno de los factores más importantes que determina la demanda de agua es la radiación solar.
- Déficit (D): un déficit de humedad del suelo se produce cuando la demanda de agua excede la cantidad que está realmente disponible, pero el déficit sólo se produce cuando el suelo está completamente seco.
- Ganancia (G): el exceso de agua que se produce cuando P excede PE y el suelo está en su capacidad de campo (saturado); es decir, se tiene más agua que la que realmente se necesita, dadas las condiciones del medio ambiente en un lugar.

Para este método se utiliza una base de precipitación media mensual (P), así como la

evapotranspiración potencial media mensual (ETP). Al método empleado por Thornthwaite y Mather se le incluyen algunos aspectos no tomados en cuenta por ellos, ya que su propuesta es muy general, tales como la humedad del suelo disponible actual (Sibaja, 2013).

El primer paso consiste en calcular $P_c - ETP$, es decir, la diferencia mensual entre la precipitación (P_c) y la evapotranspiración potencial (ETP).

Si al calcular esta fórmula los valores son positivos, la precipitación excede a la evapotranspiración potencial, por lo que esta última es totalmente cubierta; si los valores son negativos, la precipitación no satisface las necesidades meteorológicas (Sibaja, 2013).

Después se determina la pérdida potencial acumulada (PPA) de agua por mes sumando los valores negativos de $P_c - ETP$.

Seguidamente se calcula la humedad del suelo disponible actual (HSD) por mes, la cual está determinada por la lámina de agua disponible, es decir, la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y la profundidad de las raíces, esto en los casos cuando los valores de $P_c - ETP$ son positivos; en caso de ser negativos, está determinada por la lámina de agua disponible y la pérdida potencial acumulada, se calculada mediante la siguiente fórmula:

$$HSD = LAD \times e^{-(PPA \times A)}$$

Donde:

- $LAD = \frac{(CC - PMC) \times Prom}{10}$

CC=capacidad de campo (%).

PMP= humedad del suelo disponible actual (mm.).

Pro= profundidad de raíces (cm).

- PPA= pérdida potencial acumulada (mm.).

- $A = 1.02/LAD$

(Sibaja, 2013).

El cambio de humedad del suelo (ΔHSD) se obtiene de la diferencia de la humedad del suelo de un mes a otro. Los valores negativos indican la cantidad de agua cedida a las plantas, mientras que los valores positivos muestran que el suelo se recarga hasta alcanzar la cantidad máxima que puede retener (LAD).

La evapotranspiración actual (ETA) es igual a la potencial cuando los valores de Pc-ETP son positivos. Cuando son negativos, la ETA es la suma de la precipitación Pc y el ΔHSD (Sibaja, 2013).

Seguidamente se calcula el déficit de la humedad del suelo (D), es la diferencia entre la ETP y la ETA. La ganancia de humedad (G) se refiere a aquella agua que se filtra hacia capas inferiores del suelo, cuando en este la precipitación excesiva origina un aumento progresivo de humedad, la cual rebasa la humedad que el suelo puede retener. Se calcula sumando la HSD del mes anterior a la Pc-ETP del mes que interesa y restando a este producto a la HSD de este mismo mes (Hernando, 2003).

3.4.4 Clasificación de la disponibilidad hídrica

A partir del método del balance hídrico empleado anteriormente se definen las áreas de disponibilidad de recurso hídrico en conjunto con la metodología empleada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM).

Determinar la disponibilidad hídrica se trata de una cuantificación usando el índice de escasez (Ie), este relaciona la oferta con la demanda del recurso en un espacio determinado, en este caso la cuenca alta del río Turrubares. La demanda se representa por el ΔHSD (agua cedida por el suelo a las plantas) y la oferta como la humedad del suelo disponible (HSD) (Delgado y Villegas, 2013).

Este índice fue modificado por Hernando, Ruíz y Solís (2012), quedando como lo muestra la siguiente fórmula:

$$Ie = \frac{\Delta HSD (demanda)}{HSD (oferta)} \times 100$$

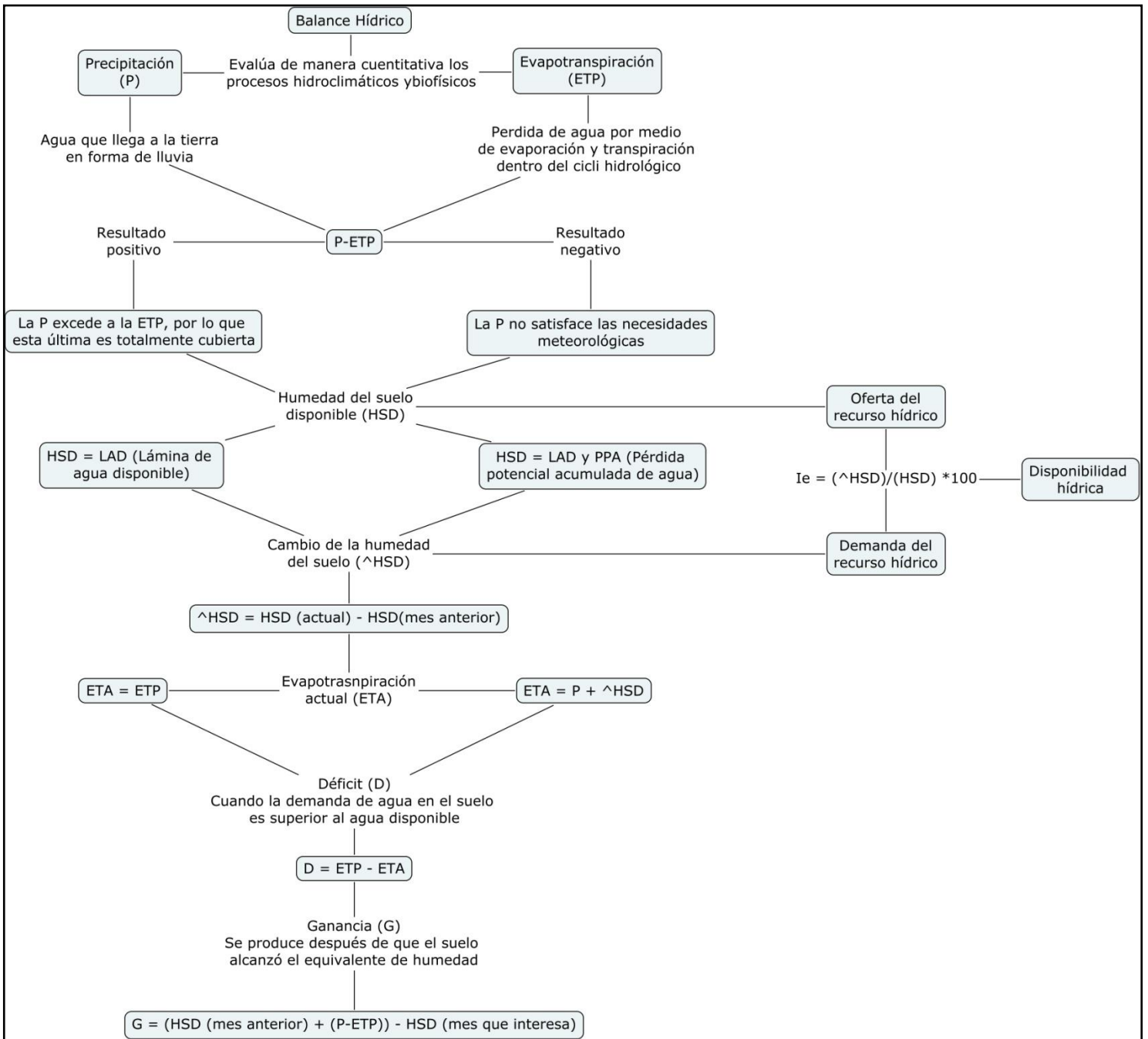
(Sibaja, 2013)

Tabla 6. Disponibilidad hídrica según índices de escasez.

Categoría del índice de escasez	Porcentaje de la oferta hídrica utilizada	Explicación	Color	Disponibilidad hídrica
Alto	> de 40%	Fuerte presión	Rojo	Baja
Medio	20-40%	Ordenamiento oferta/demanda	Naranja	Moderado
Moderado	10-20%	Factor limitador del desarrollo	Amarillo	Medio
Bajo	< de 10%	No se experimenta presiones importantes sobre el recurso hídrico	Verde	Alta

Fuente: IDEAM, 2004 y Hernando *et al.*, 2009.

Figura 4. Esquema metodología balance hídrico.



Fuente: elaboración propia

3.4.5 Comunidades con problemas de acceso al recurso hídrico

Para identificar las comunidades con problemas de acceso al recurso hídrico, se tomó en cuenta la demanda de agua de la población medida por los sistemas de acueductos que abastecen a los poblados.

De igual forma, para corroborar la información se conversa con el Técnico Pablo Fernández, funcionario del AyA en la sede de Puriscal, quien confirmó que de todas las comunidades identificadas en la cuenca, únicamente dos no presentan problemas de abastecimiento de agua para consumo humano.

Por parte de las ASADAS se contacta a la Asociación Administradora del Acueducto Rural de Cortezal de Puriscal y la Asociación Administradora del Acueducto Rural de San Juan de Puriscal. La primera no contaba con los datos de la población a la que abastece; sin embargo, informó no tener cortes en las comunidades. La segunda ASADA abastece a 1.822 personas, la señora Luzmilda Corrales, funcionaria de la ASADA, informó que no se realizan cortes de agua en las comunidades, ya que cuentan con un tanque aparte además del principal, en cuanto falta agua en el principal, activan el secundario.

3.4.6 Áreas prioritarias

Para la delimitación de áreas prioritarias se utilizaron dos variables: la disponibilidad hídrica y las comunidades con problemas de acceso al recurso hídrico.

De esta forma se toman como áreas prioritarias aquellas zonas donde la disponibilidad es baja o moderada y se encuentran comunidades con problemas de acceso al agua para consumo humano.

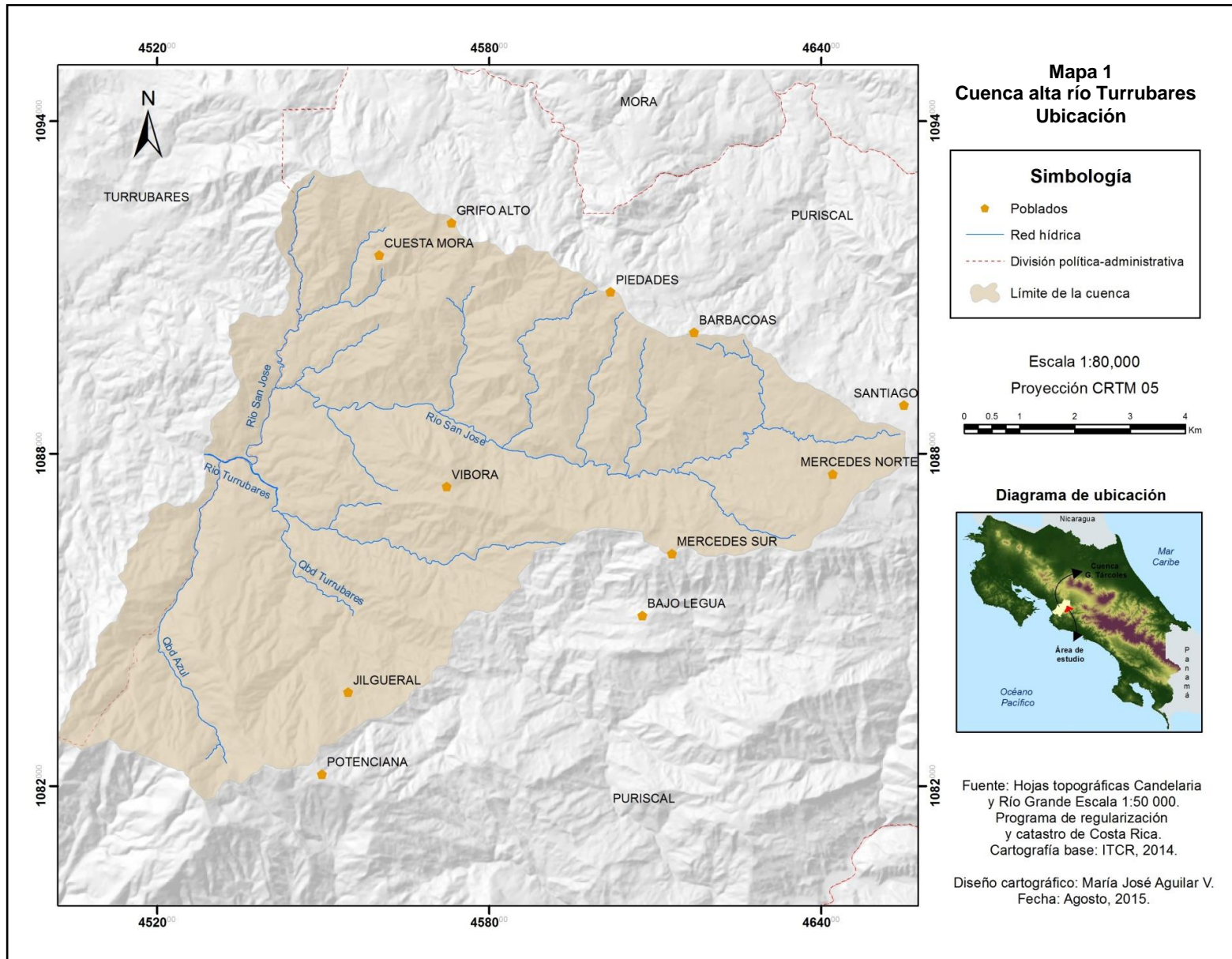
Estas áreas reflejan si existe o no relación entre la disponibilidad y los problemas asociados con el agua que sufren las comunidades de la cuenca.

Capítulo IV. Descripción del área de estudio

4.1 Área de estudio

La cuenca alta del río Turrubares tiene un área aproximada de 81,07 km². Esta se encuentra en las hojas Candelaria y Río Grande, escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Está ubicada en las coordenadas geográficas 9°47'0" norte, 84°18'45" oeste y 9°53'15" norte, 84° 27'15" oeste.

Esta cuenca pertenece a la gran cuenca del río Grande de Tárcoles y se ubica en el cantón de Puriscal, abarca los distritos Barbacoas, Grifo Alto, Mercedes Norte y Santiago (mapa 1), una pequeña parte de la cuenca se encuentra en el cantón de Turrubares; sin embargo, no abarca ningún poblado, únicamente incluye pastos y bosque secundario.

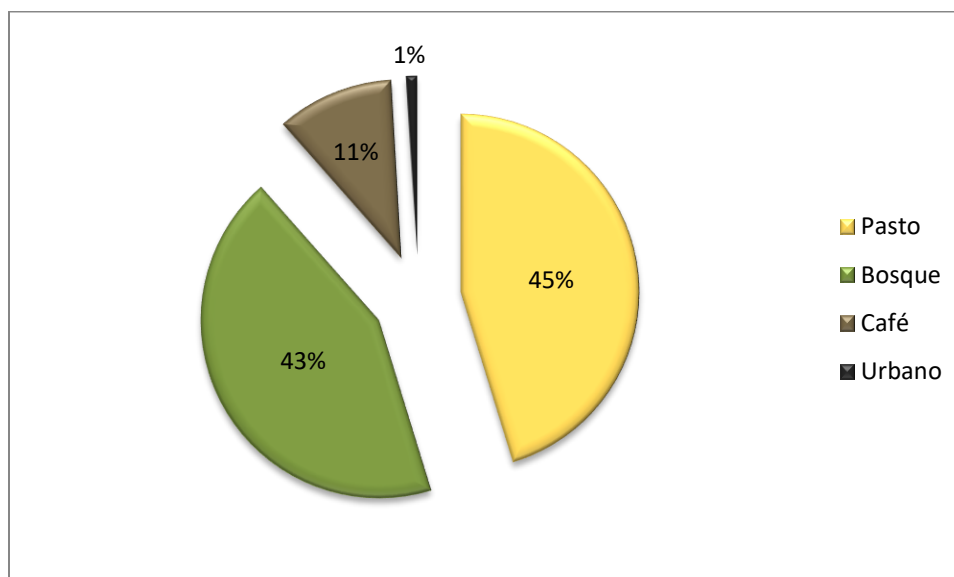


4.2 Usos del suelo

La cobertura vegetal en el presente estudio es importante, ya que modifica la intensidad de los agentes del clima y los procesos que este pone en movimiento. La vegetación funciona como una acción protectora ante la intercepción de la precipitación, gracias a esto un porcentaje de la lluvia llega al suelo a través del escurrimiento de las hojas y de los troncos. La vegetación también influye en la infiltración, ya que esta protege el suelo y retiene agua en las hojas secas que caen de los árboles (Veas, 2011).

En la cuenca alta del río Turrubares se identifican cuatro diferentes usos: bosque secundario, pastos, café y el área urbana (mapa 2).

Grafico 2. Usos del suelo, Cuenca alta río Turrubares.



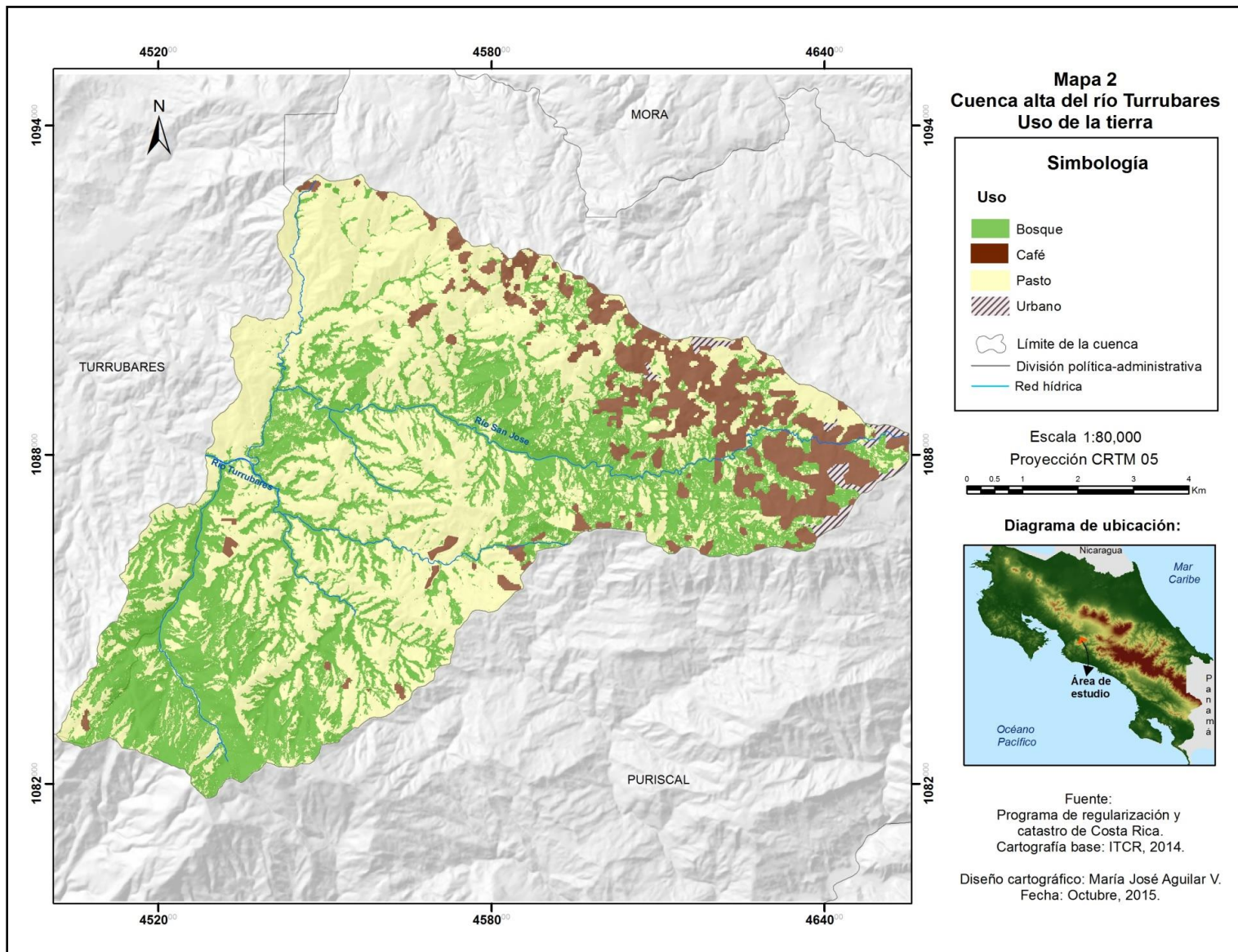
Fuente: elaboración propia, 2015.

A mediados del siglo XIX, el cultivo de café era de suma importancia para la economía del cantón; sin embargo, con el paso de los años este pierde fuerza económica a nivel nacional, por lo que en el cantón se desarrollaron actividades como la ganadería y aserraderos para el surgimiento económico de los habitantes del cantón. Estas nuevas actividades trajeron consigo una explotación maderera incontrolada que llevó a que a inicios de los años 80, el 90% del bosque del cantón estuviera deforestado (Heuveldop y Espinoza, 1983).

Por estas razones históricas, en la actualidad, la mayor área de la cuenca se encuentra

cubierta por pastos (45% del área total de la cuenca), seguido de bosques secundarios (43% del área total de la cuenca) y cultivos, en menor área se encuentran zonas urbanas (1% del área total de la cuenca) (gráfico 2).

- Pastos: está dedicado a la ganadería extensiva en la mayoría en terrenos de laderas de fuerte pendiente, lo que degrada el suelo, asimismo se presentan potreros con vegetación baja, como malezas.
- Bosque: dada la alta deforestación en los años 80 y los intentos de reforestar el cantón, en la actualidad en la cuenca se observan bosques secundarios y bosques de galería, mayormente este uso se encuentra cerca de los ríos y quebradas.
- Café: el 11% del total de la cuenca está cubierto por cafetales (gráfico 2). En las giras de campo se corrobora que este es el cultivo que se presenta con mayor fuerza a lo largo del territorio en estudio.
- Urbano: este uso es el de menor extensión, ya que la cuenca se encuentra en una zona rural, por lo que se encuentran caseríos dispersos. En las cercanías al principal centro urbano del cantón (Santiago de Puriscal) se encuentra la mayor parte urbana de la cuenca. Comprende los poblados de Barbacoas, Cortezal, San Isidro, Mercedes Norte y Cerbatana. Los demás poblados presentes en la cuenca no se incluyen bajo este uso, ya que son caseríos dispersos.



4.3 Suelos

Los suelos presentes en el área de estudio se clasifican por gran grupo, según su origen y características taxonómicas, en: ultisoles, inceptisoles y entisoles (tabla 6).

Tabla 7. Tipos de suelo cuenca alta río Turrubares.

Suelos cuenca alta del río Turrubares					
Perfil	Orden	Gran Grupo	Uso del suelo	Altura total	N° horizontes
1	Ultisol	Haplohumult	Pasto	2,9 m	3
2	Ultisol	Rhodustult	Pasto	3,10 m	2
3	Inceptisol	Eutropept	Pasto	3 m	3
4	Entisol	Ustorthent	Pasto	3.30 m	2

Fuente: elaboración propia.

Ultisoles

Este tipo de suelo es el que cubre la mayor parte de la cuenca, se localizan los poblados de Grifo Alto, Cuesta de Mora, Alto Barbacoas, Víbora, San Juan, Mercedes Norte, Cerbatana, entre otros (mapa 3). Son suelos muy viejos y meteorizados, de tal forma que presentan acumulación de arcilla en el subsuelo y baja saturación de bases. Por lo general, los ultisoles poseen un nivel muy bajo de fertilidad, lo que crea problemas nutricionales, por esta razón se utilizan más que todo para el uso de bosques secundarios y pastizales.

Para el área de estudio existen tres unidades taxonómicas: Ustic Haplohumult, Aquic Haplohumult y Typic Rhodustult.

- Los suelos Ustic Haplohumult son los que se encuentran en la mayor parte de la cuenca (ver mapa 3). Se encuentran en relieves entre fuertemente ondulados y fuertemente escarpados. Son profundos con una textura fina, los colores pueden ser entre pardo oscuro a pardo rojizo. Estos suelos se caracterizan por ser bien drenados, de poco permeables a moderadamente permeables, y en relación con la fertilidad, se considera de moderada a media.
- En relación con los suelos Aquic Haplohumult, se relacionan con relieves fuertemente escarpados, profundos y con una textura fina. Sus colores varían entre

pardo rojizo a rojo amarillento. Cuentan con un drenaje moderado, poco permeable y de moderada fertilidad

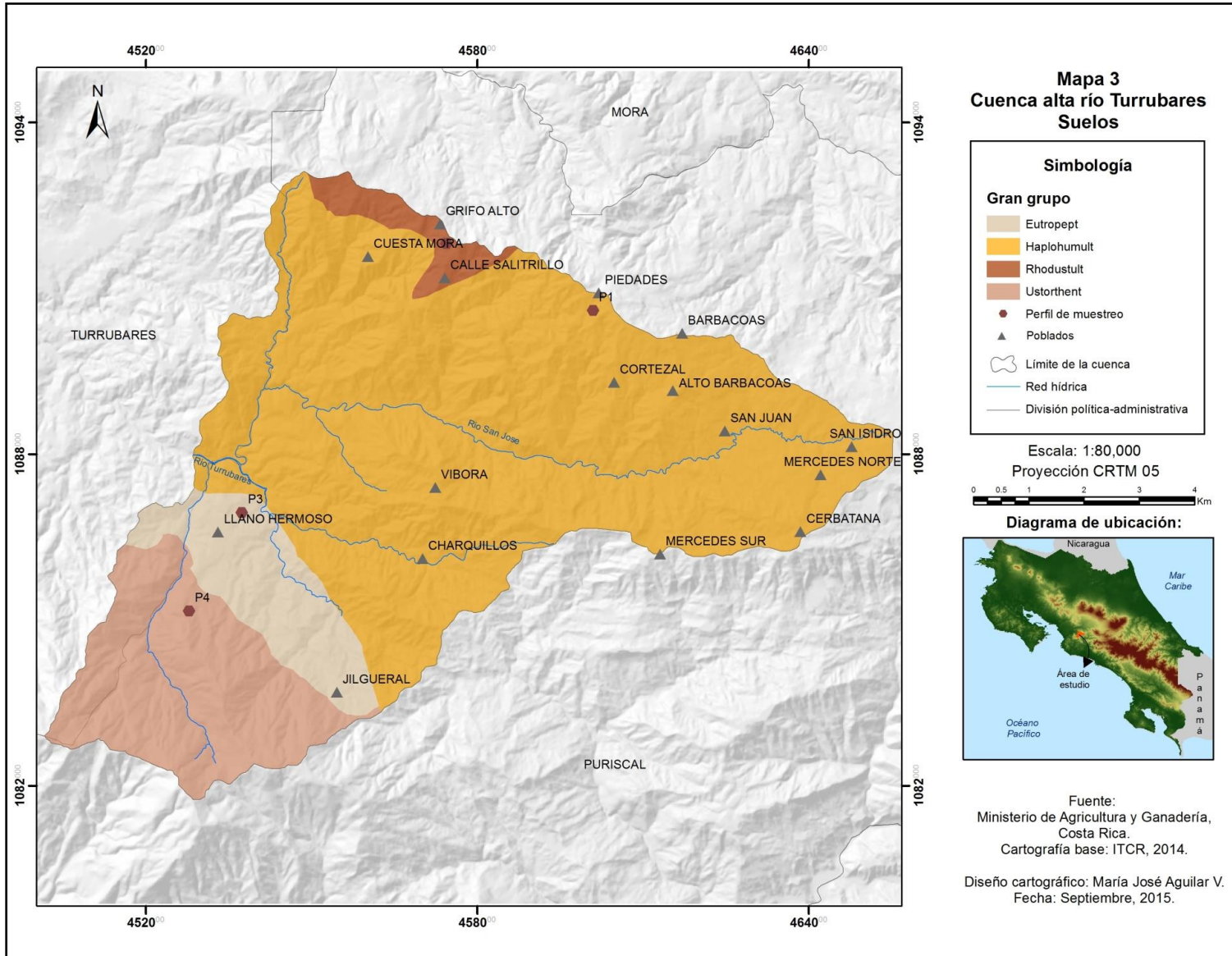
(Acón y Asociados S.A., 1991).



Perfil 1: Haplohumult

Ubicación del perfil: comunidad de Piedades, Puriscal, 2015.

- Los suelos Typic Rhodustult, estos se encuentran en relieves escarpados a fuertemente escarpados, son profundos y de textura fina. Los colores varían entre pardo oscuro a rojo amarillento. Estos suelos se caracterizan por ser bien drenados, de poco a moderadamente permeables y con una fertilidad moderada (Acón y Asociados S.A., 1991).





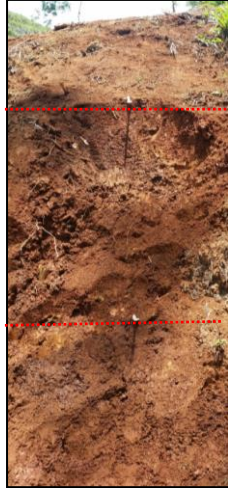
Perfil 2: Rhodustult

Ubicación del perfil: comunidad de Grifo Alto, Puriscal, 2015.

Inceptisoles

Se presentan en áreas ligeramente onduladas y planas, poseen un gran potencial agrícola, en ellos se encuentran mezclas de varios tipos de arcillas y minerales primarios, lo que permite distinguir la secuencia de horizontes. Este tipo de suelo se encuentra en las comunidades de Llano Hermoso y Jigüeral.

- En el área de estudio se encuentra la unidad taxonómica Fluventic Eutropept, los suelos se encuentran en relieve plano, se caracterizan por ser profundos y de texturas de media a moderadamente finas en el subsuelo. El color de los suelos es pardo oscuro y pardo amarillento. Se caracterizan a su vez por poseer un drenaje y permeabilidad moderada, y una fertilidad aparentemente alta (Acón y Asociados S.A., 1991).



Perfil 3: Eutropept

Ubicación del perfil: comunidad de Llano Hermoso, Puriscal, 2015.

Entisoles

Son suelos con menor desarrollo, por lo que no deberían usarse para usos agropecuarios, ya que presentan poca profundidad y exceso de humedad. Este tipo de suelo se encuentra en la parte sur de la cuenca, esta es el área más boscosa (mapa 2), por lo que no se encuentran poblados.

- Dentro de esta clase de suelo se encuentra la unidad taxonómica Lithic Ustorthent, estos suelos se localizan en un relieve fuertemente escarpado y se consideran superficiales (20 a 40 cms). La textura de estos suelos es de moderadamente fina a fina, con un color pardo grisáceo muy oscuro a pardo amarillento. Se consideran suelos de fertilidad baja, ya que el drenaje es excesivo y moderadamente permeable (Acón y Asociados S.A., 1991).



Perfil 4: Ustorthent

Ubicación del perfil: zona sur de la cuenca alta del río Turrubares, Puriscal, 2015.

Tabla 8. Cuenca alta río Turrubares, textura de suelo para cada perfil (por horizontes).

Gran Grupo	Perfil	Horizonte	%Arcilla	%Limo	%Arena	Nombre Textural
Haplohumult	1	1	20	14,8	65,2	Franco Arcillo Arenoso
		2	11,4	16,8	71,8	Franco Arenoso
		3	16	8,8	75,2	Franco Arenoso
Rhodustult	2	1	13,4	20,8	65,8	Franco Arenoso
		2	10,8	24,8	64,4	Franco Arenoso
Eutropept	3	1	28,2	17,4	54,4	Franco Arcillo Arenoso
		2	20,2	24,8	55	Franco Arcillo Arenoso
		3	28,8	22,8	48,4	Franco Arcillo Arenoso
Ustorthent	4	1	22,2	15,4	62,4	Franco Arcillo Arenoso
		2	16,8	22,8	60,4	Franco Arenoso

Fuente: Datos obtenidos a partir del trabajo en el Laboratorio de Suelos y Foliar del Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional (INISEFOR).

De manera general se puede decir que los suelos presentes en la cuenca son de moderada permeabilidad; además, como se observa en la tabla 7, los horizontes superiores de los suelos Haplohumult, Eutropept y Ustorthent, que son los que se encuentran en mayor cantidad en la cuenca, son de textura Franco Arcillo Arenoso (tabla 7), estas características impiden que se infiltre el agua a los mantos acuíferos.

4.4 Geomorfología

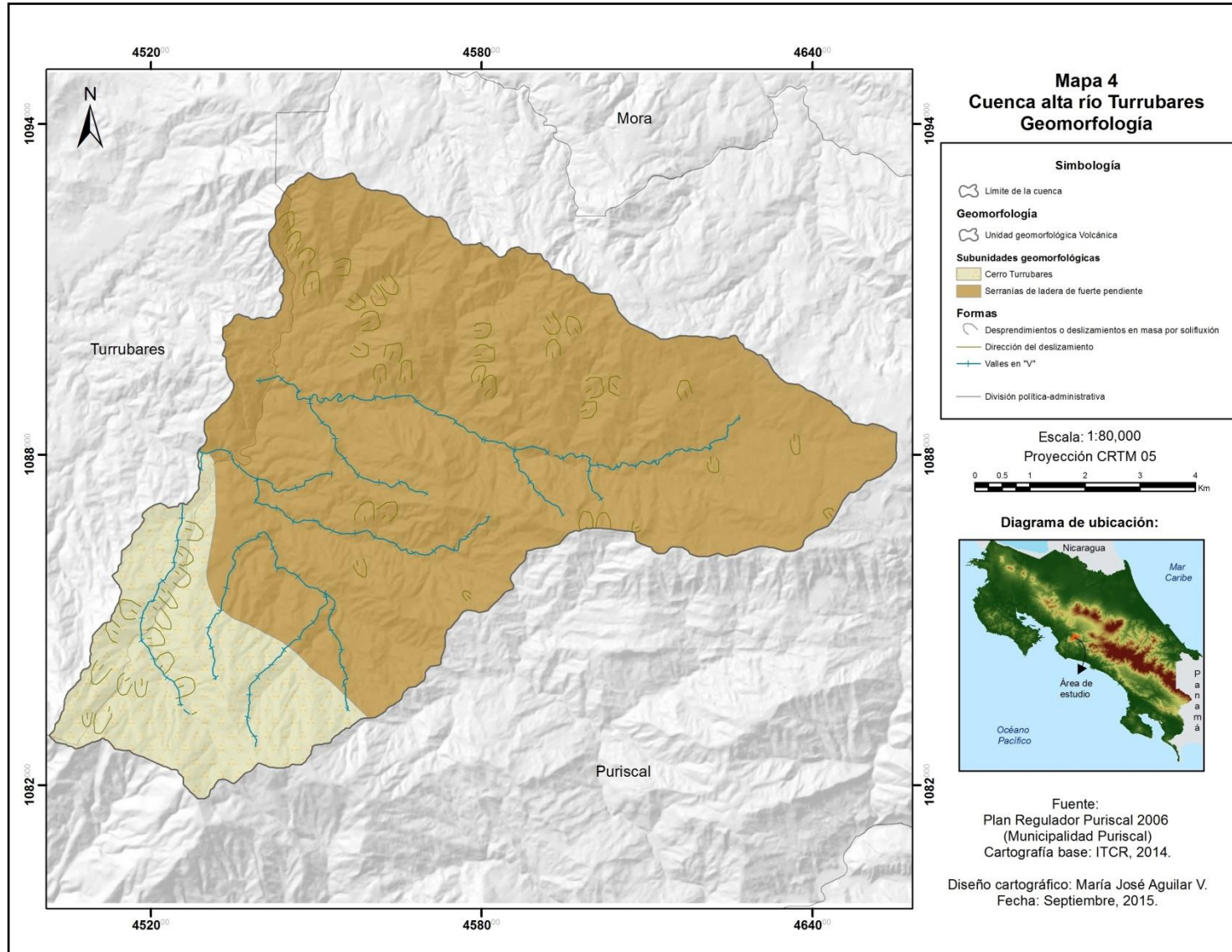
La cuenca alta del río Turrubares forma parte de la unidad geomorfológica de origen volcánico, la cual integra dos subunidades: serranías de ladera de fuerte pendiente y cerro Turrubares (mapa 4).

La subunidad serranía de laderas de fuerte pendiente presenta fuertes pendientes donde existe erosión del suelo y, a su vez, causan divisorias de aguas no muy anchas. Esta subunidad se compone de rocas ígneas, intrusivas, rocas volcánicas profundamente meteorizadas y rocas sedimentarias (Bergoeing, 2007).

En la cuenca alta del río Turrubares, esta subunidad se caracteriza por la facilidad de sus terrenos a originar deslizamientos. Se compone principalmente por rocas volcánicas y sedimentarias. Las rocas volcánicas, en su gran mayoría, están profundamente meteorizadas, lo cual favorece los deslizamientos. El origen de esta subunidad se debe a la erosión de las anteriores rocas (Hidrogeotecnia Ltda., 2013).

La subunidad Cerros Turrubares se caracteriza por los principales ríos y quebradas, ya que originan una topografía de fuertes pendientes, con interfluvios no muy anchos, menos de 100 metros, las pendientes más frecuentes son de 20°; está compuesta por rocas del tipo ígneo, encontrándose lavas y otras rocas volcánicas; así como rocas intrusivas. Su forma actual se debe a la erosión fluvio denudativa (Bergoeing, 2007).

La vocación de las tierras pertenecientes a esta subunidad es pastizales; sin embargo, las fuertes pendientes hacen aparecer profundas trazas de soliflucción (deslizamientos de arcillas y otros materiales debido a aportes masivos de agua) (Bergoeing, 2007).



4.5 Geología

Las condiciones geológicas en la cuenca influirán en el comportamiento de la circulación del agua. Existen formaciones que permiten una mayor permeabilidad del agua, como las lavas cavernosas, las gravas, los conglomerados, las areniscas y las calizas. Por otro lado, formaciones como las pizarras, el granito, los gneiss y las arcillas, son más impermeables (Veas, 2011).

La cuenca alta del río Turrubares presenta las siguientes formaciones geológicas (mapa 5):

- La Cruz (Tm-Ic): pertenece a la edad del Mioceno superior, proviene de basaltos, andesitas y tobas, con un espesor de 1500 m.
- Peña Negra (Tm-pn): comprende la edad del Mioceno medio, se presentan litológicamente areniscas y lutitas negras con un espesor de 1200 m.
- Complejo de Nicoya (K-cn): es de la edad Jurásico inferior, por poseer masas líticas basálticas y sedimentos pelágicos con un espesor de 2500 m.
- Pacacua (Tm-p): es de la edad del Mioceno inferior, caracterizada por estratificaciones vulcano clásticas rojizas, se presentan diques y sills de diabasa.
- Depósitos Aluviales y Coluviales (Qal): los depósitos aluviales se componen de bloques de lavas andesíticas y por coluvios formados por materiales sedimentarios. (Echandi, 1981).
- Grifo Alto (TQ-ga): la edad propuesta es del Plioceno, se compone de andesitas porfíricas y flujos piroclásticos, el espesor puede sobrepasar los 1000 m.
- Depósitos Paralicos (Tm-Ic_j)-Fm. La Cruz: compuestos de Conglomerados de origen arenosa y areniscas vulcano clásticas pardas con intercalaciones de tobas y carbón.

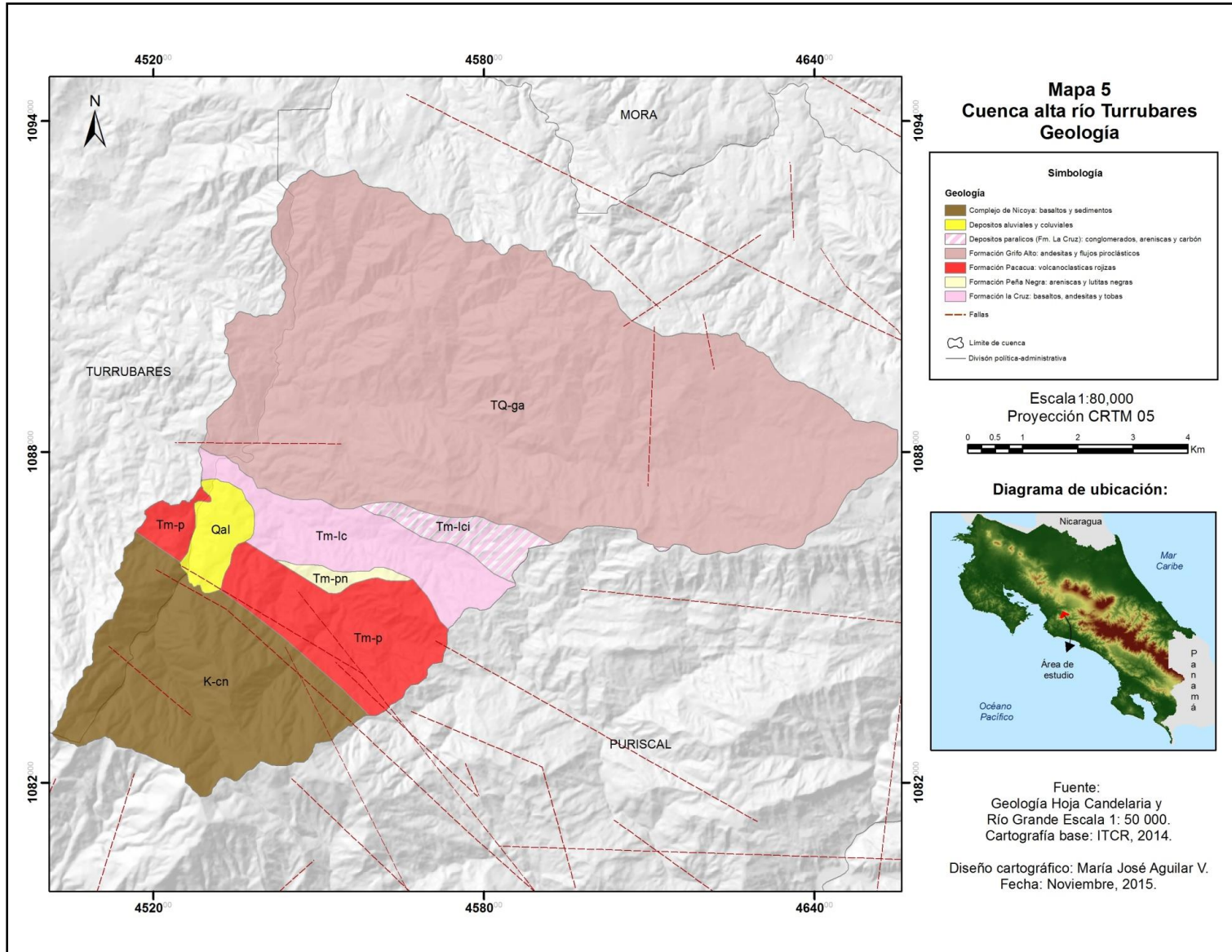
En la mayor parte de la cuenca se encuentra la formación Grifo Alto, esta se ubica en las localidades de Piedades, Barbacoas y Grifo Alto. Formada por lavas andesíticas, estas son el medio por el cual fluye y descarga el agua subterránea (Denyer y Kussmaul, 2000).

Los afloramientos se encuentran muy fracturados y con meteorización esferoidal, algunas de las fracturas se rellenaron de zeolita. Algunos de los sitios son muy masivos y brechosos,

los espesores de estos van de menos de un metro hasta unos 9 metros (Denyer y Kussmaul, 2000).

La alteración hidrotermal ha sido muy alta en algunos sectores, produciendo que la roca pierda la mayoría de sus características primarias, generando suelos residuales de color rojizo con espesores de hasta 10 metros (Denyer y Kussmaul, 2000).

A pesar de que las formaciones geológicas en gran parte se consideren de materiales permeables, los tipos y usos del suelo hacen que el agua escurra por la superficie y no se infiltre el agua hasta los mantos acuíferos. Ya que la mayor parte de los suelos son arcillosos, la mayor parte de la cuenca está cubierta por Haplohumult, estos en el primer horizonte según los resultados son Franco Arcillo Arenosos (tabla 7), y según las características específicas de sus suelos, en general son poco permeables. A esto se le suma que el mayor uso del suelo en la cuenca corresponde a pastos, siendo estos los que presentan mayor escorrentía en relación con los otros usos (Hernández, Ruiz, Barrantes y Díaz, 1995).



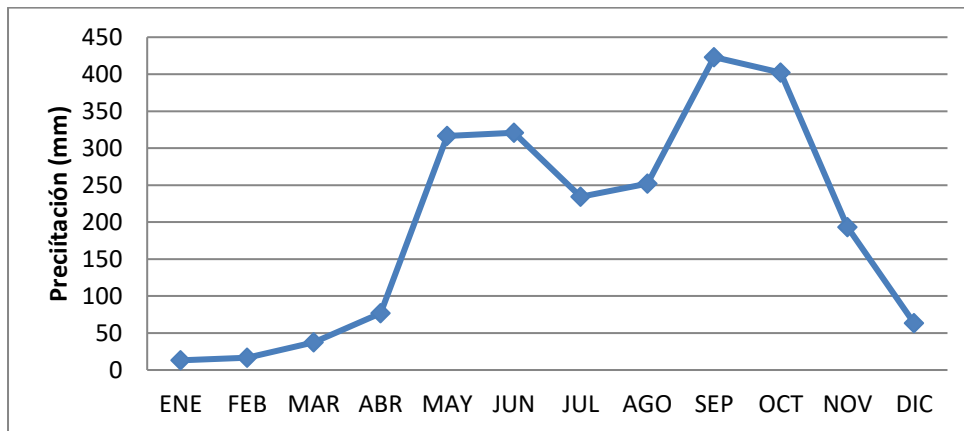
4.6 Caracterización climática de la cuenca alta del río Turrubares

Precipitación, temperatura y evapotranspiración (ETP)

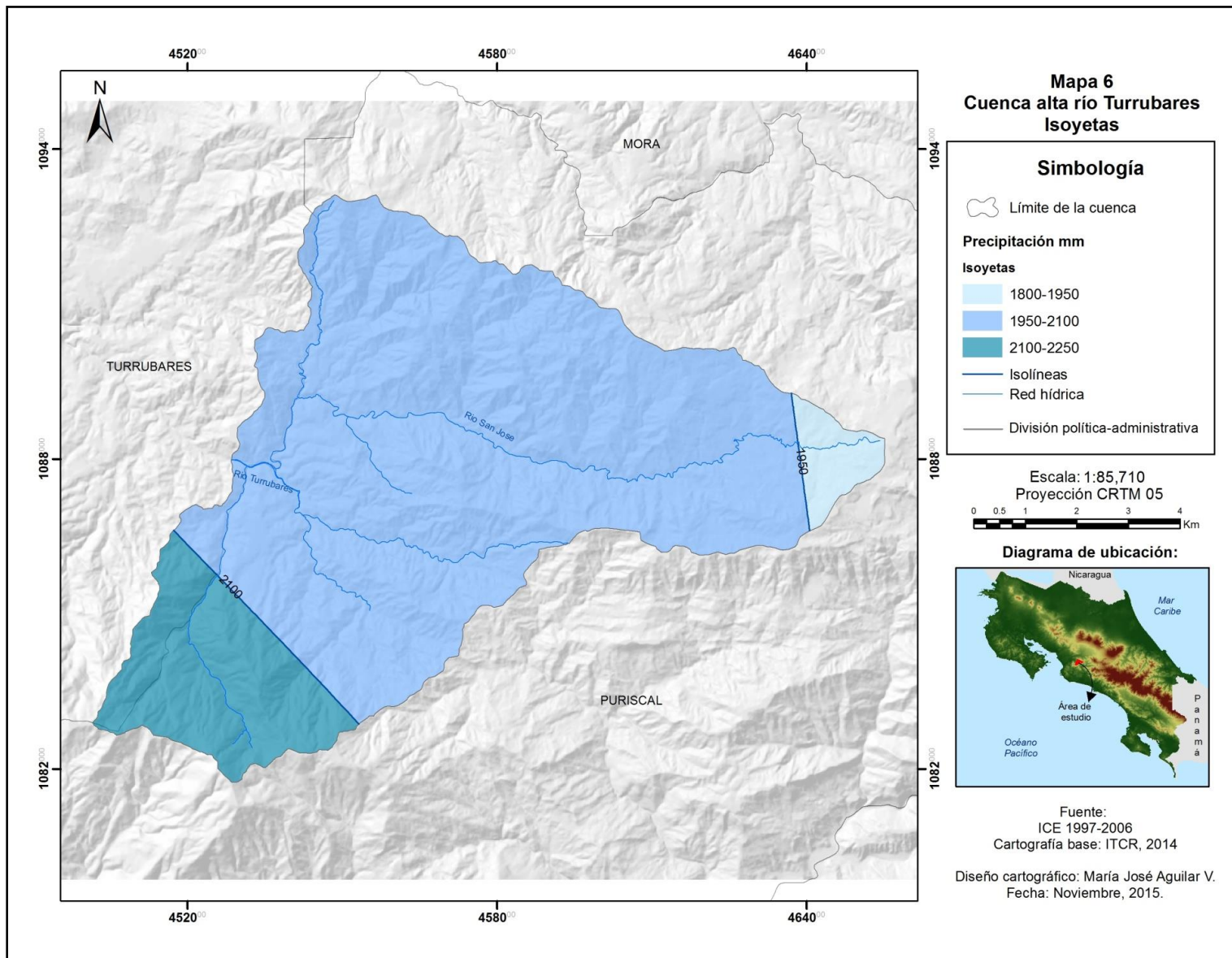
La precipitación media de la cuenca es de 2042,28 mm según la metodología de Isoyetas (tabla 4). En el mapa 6 se observa que la mayor parte de la cuenca se ve influenciada por una precipitación mayor a los 1950 mm anuales.

La época seca en la cuenca se extiende de diciembre a marzo, siendo estos los meses de menor precipitación, como se observa en el gráfico 3. Se observa un incremento considerable de precipitación en los meses de abril y mayo, siendo esta la época de transición a la época lluviosa. La época lluviosa se extiende de abril a noviembre, siendo septiembre y octubre los meses de mayor precipitación.

Gráfico 3. Cuenca alta río Turrubares: precipitación media mensual. Período 1997-2006.



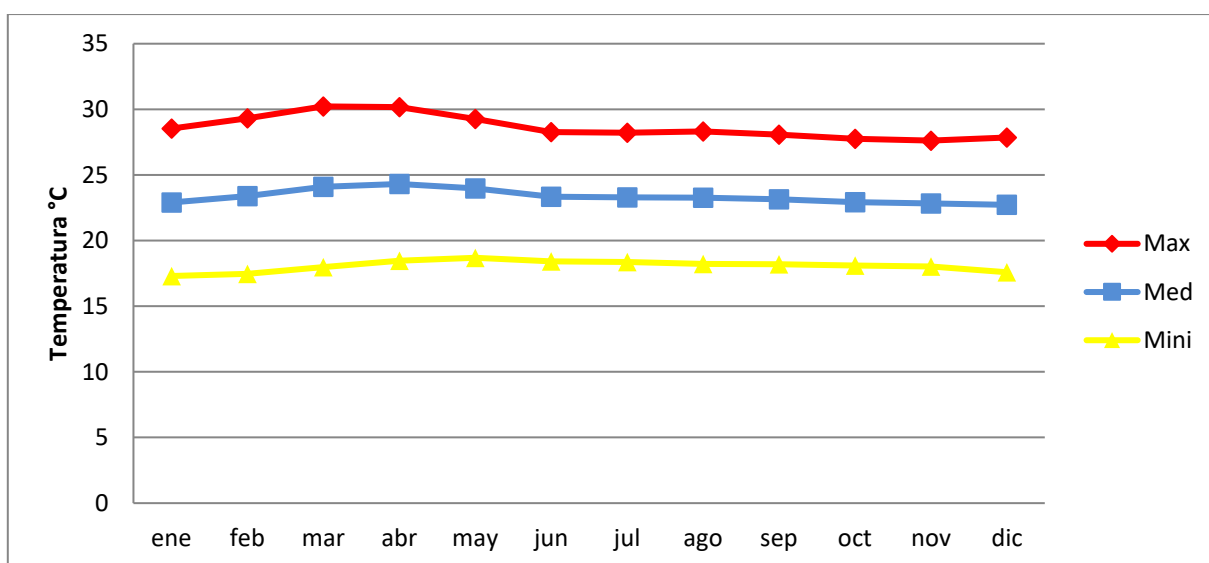
Fuente: ICE.



En cuanto a la temperatura de la cuenca, se obtiene que la máxima media es de 28,64 °C, la media de 23,35°C y la mínima media es de 18,07 °C. Los meses de noviembre a enero son los que presentan las menores temperaturas y las mayores se presentan de marzo a mayo (gráfico 4).

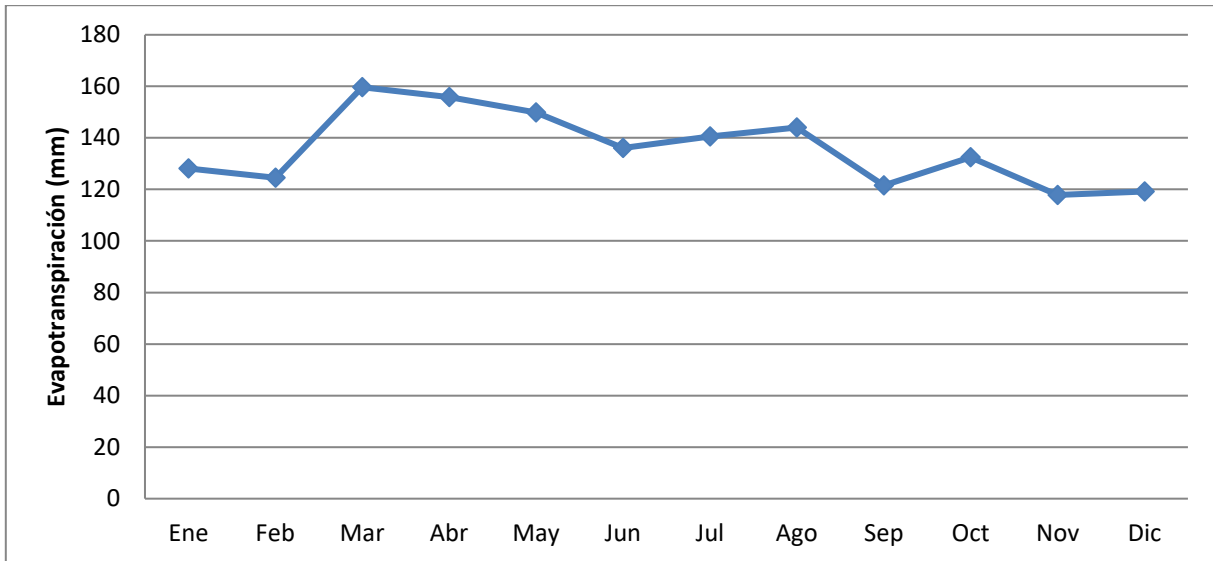
En relación con la evapotranspiración potencial, la cuenca presenta un promedio anual de 1629,8 mm. Los meses con menor ETP son de noviembre a febrero, siendo estos los que presentan menor precipitación y temperatura. El mes con la mayor ETP es marzo, siendo este mes el que presenta la mayor temperatura y una alta precipitación (gráfico 5).

Gráfico 4. Cuenca alta río Turrubares: temperatura máxima, media y mínima mensual. Período 1997-2006.



Fuente: elaboración propia.

Gráfico 5. Cuenca alta río Turrubares: evapotranspiración potencial media mensual. Período 1997-2006.



Fuente: elaboración propia.

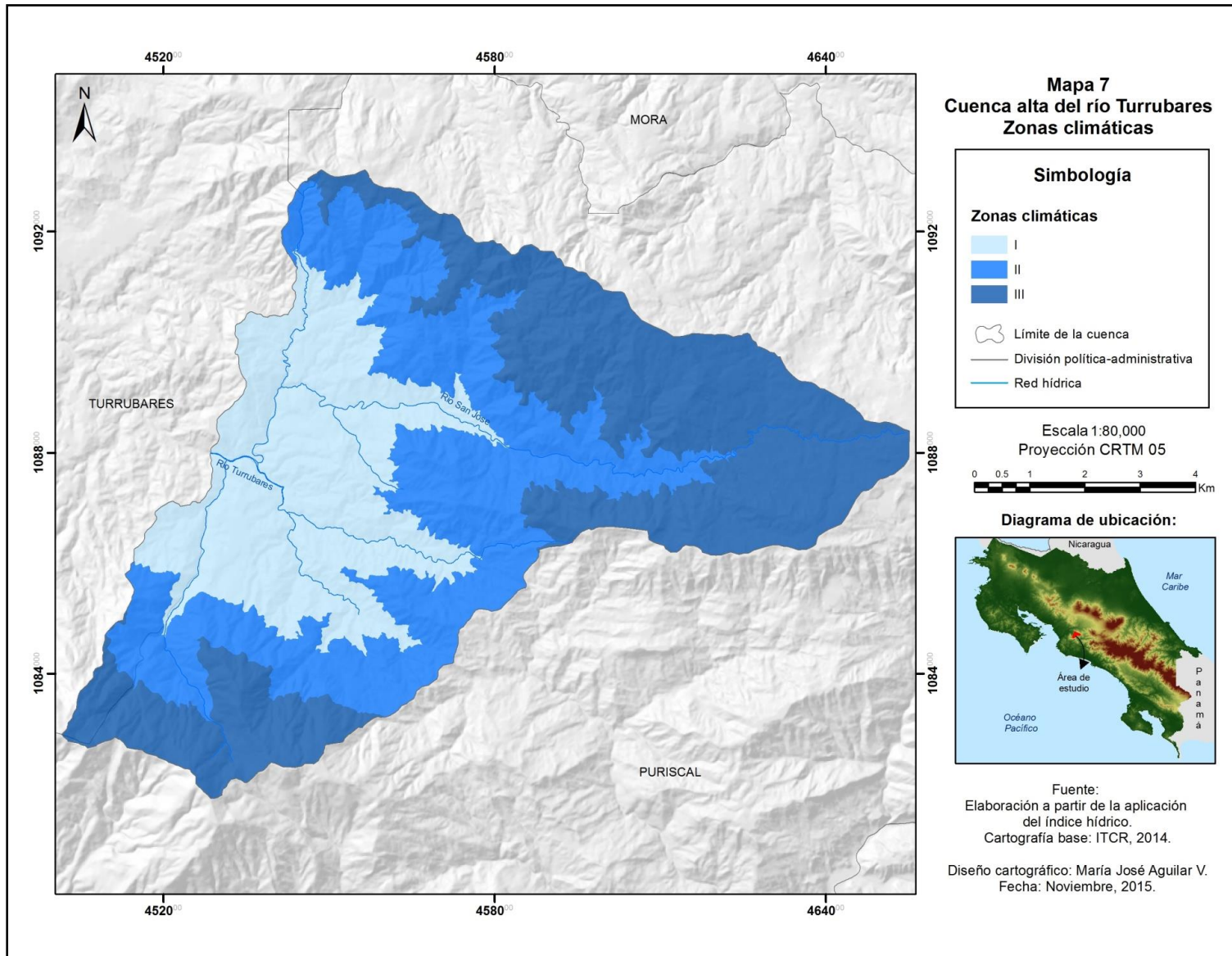
Zonas climáticas

Para el área de estudio se obtienen tres zonas con índices hídricos que rondan entre 20% y 85% (mapa 7).

La zona I corresponde a las menores altitudes de la cuenca (altitudes inferiores a los 600 msnm), el índice hídrico es menos del 40%, por lo que se ubica en el grupo climático C, considerado como húmedo. Abarca 22,26 km² de la cuenca, presenta una precipitación media de 2056,9 mm y la ETP anual es de 1744,85 mm.

La zona II se encuentra en altitudes entre los 600 y 900 msnm. El índice hídrico corresponde a 52%, lo que la ubica en grupo climático D, considerado como húmedo. Abarca 27,11 km² de la cuenca, presenta una precipitación media anual de 1870,7 mm y la ETP anual es de 1512,9 mm.

Por último, la zona III corresponde a las mayores alturas de la cuenca (mayores a 900 msnm). El índice hídrico corresponde a 86%, por lo que se ubica en el grupo climático F, considerado como húmedo. Esta zona abarca la mayor área de la cuenca 31,69 km², presenta una precipitación media anual de 3455,0 mm y la ETP anual es de 1516,6 mm.



4.7 Hidrografía:

El sistema fluvial de la cuenca pertenece a la Vertiente del Pacífico, está drenada por los ríos San José y Turrubares, y por las quebradas San Joaquín, Víbora, Turrubares, Azul, Grande, Pital, Cortezal, Máquina.

Para un mejor análisis físico de la cuenca alta del río Turrubares, se calculan diferentes parámetros morfométricos (tabla 9). Al área de estudio se le denomina cuenca, ya que el número de orden es 6 (tabla 10).

Tabla 9. Parámetros morfométricos, cuenca alta río Turrubares.

Densidad de drenaje (Dd)	Profundidad de disección (Pd)	Pendiente media del cauce principal (PCM)	Coefficiente de compacidad (K)	Anchura media (Am)
$3,15 \frac{Km}{Km^2}$	$16,78 \frac{m}{Km^2}$	44,35%	1,46	6,40 km

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Número de orden de la cuenca alta río Turrubares.

Número de orden	Cantidad de cauces	Densidad de cantidad de cauces
1	477	5,88
2	94	1,16
3	23	0,28
4	6	0,07
5	3	0,04
6	1	0,01

Fuente: elaboración propia.

El área de la cuenca alta del río Turrubares es de 81,07 km², los parámetros de forma de la cuenca se muestran mediante la anchura media de la cuenca 6,40 km, con un coeficiente de compacidad de 1,46. Este último dato manifiesta que la cuenca posee una forma que se acerca a circular, ya que la compacidad se acerca a 1 (tabla 9).

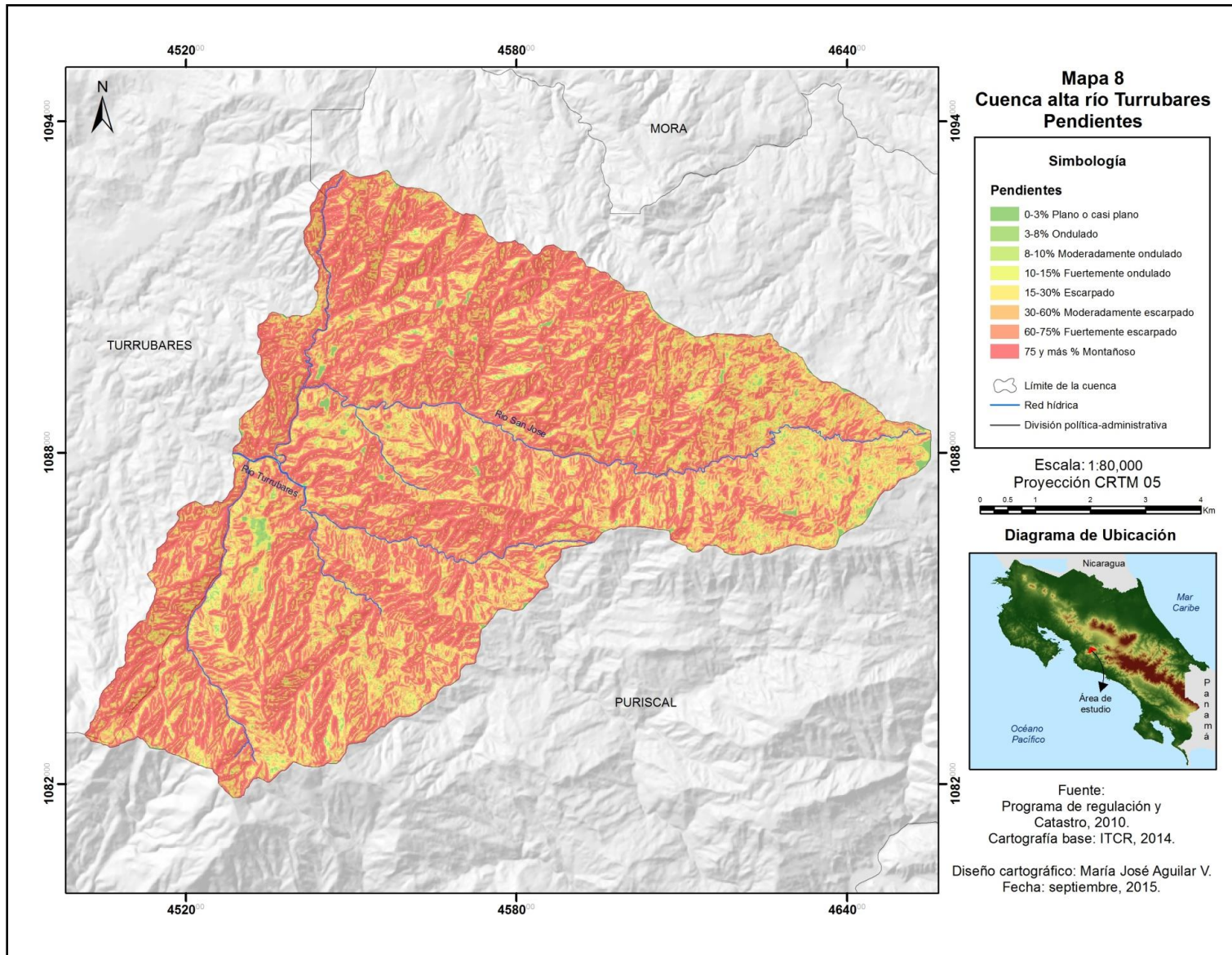
La densidad de drenaje para esta cuenca tiene un valor de 3,15 km/km², esto indica la cantidad de ríos y quebradas que tributan el río principal por kilómetro cuadrado.

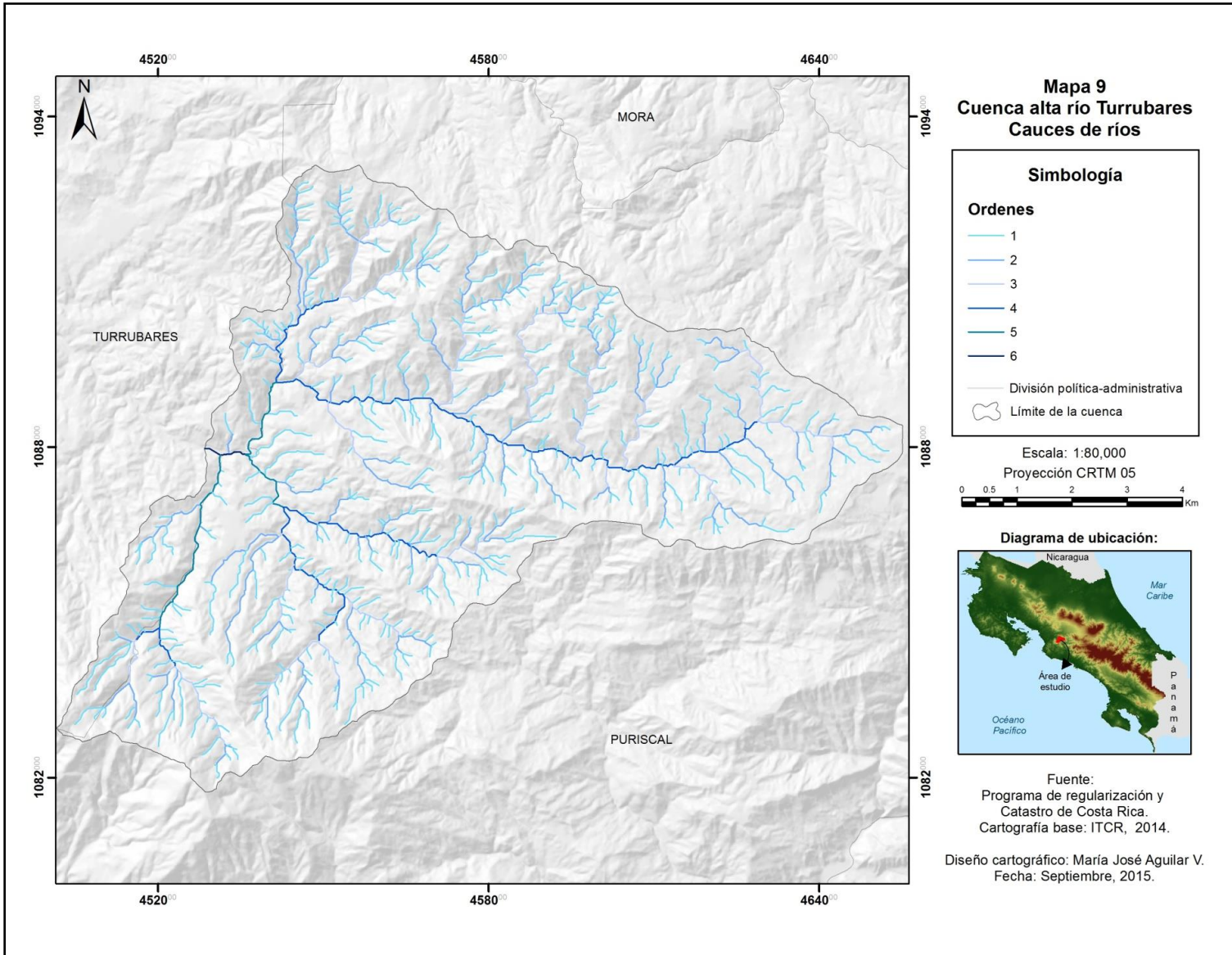
Entre los factores asociados con la densidad de drenaje está el clima, ya que las altas precipitaciones que se presentan en la cuenca hacen que el agua escurra con mayor fuerza y las fuertes pendientes favorecen el escurrimiento de esta. Además, la densidad de drenaje está estrictamente relacionada con los tipos de suelo presentes en la cuenca, los suelos predominantes son los ultisoles (Haplohumult), estos suelen ser Franco Arcillo Arenosos (tabla 7), estos suelos se caracterizan por tener una baja permeabilidad y alta retención de agua y nutrientes (Henríquez, Cabalceta, Bertsch y Alvarado, s.f.).

La cuenca tiene gran cantidad de cauces de orden 1, presenta 5,88 cauces por km², lo que demuestra la existencia de gran cantidad de quebradas con recorridos cortos y la presencia de nacientes. Le siguen los de orden 2, con 1,16 cauces por km², de orden 3 hay 0,28 cauces por km², orden 4 con 0,07 cauces por km², de orden 5 se presentan 0,03 cauces por km² y por último, de orden 6 hay 0,01 cauces por km² (Tabla 10).

La pendiente media del cauce principal es de 44,35%, lo que indica que el río tiene un fuerte potencial para erosionar, y una mayor velocidad de flujo de agua por ser de fuertemente ondulado a moderadamente ondulado en varias partes de la cuenca (mapa 8).

Por otro lado, la profundidad de disección permite valorar el trabajo por la acción fluvial, cuantificando la profundidad de corte vertical que han alcanzado las corrientes en la búsqueda de su nivel base. A mayor profundidad, las laderas serán más susceptibles a procesos de remoción en masa. En el caso de la cuenca alta del río Turrubares, la profundidad de disección corresponde a $16,78 \frac{m}{km^2}$, lo cual no representa mayor profundidad, esto se debe a la geología correspondiente a la cuenca, ya que esta cuenta con materiales permeables (como lavas andesíticas) que permiten la infiltración del agua en los cauces de los ríos.





V. Resultados

5.1 Balance hídrico de la cuenca alta del río Turrubares

Con el balance hídrico se determina que existe un equilibrio en la cuenca entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen de él (balance hídrico), a través de la siguiente fórmula:

$$P = \Sigma ETA + \Sigma G$$

$$22011,96 \text{ mm} = 10478,99 \text{ mm} + 11532,99 \text{ mm}$$

$$22011,96 \text{ mm} = 22011,96 \text{ mm}$$

El balance destaca el equilibrio entre la cantidad de agua que entra al sistema microcuenca, este es igual a la cantidad del recurso que sale de él. Como se observa en la fórmula anterior, las entradas y salidas de la cuenca alta del río Turrubares son las mismas (22011,96 mm).

Aspectos hídricos generales

A partir del balance hídrico (anexo 2) se determinan diferencias climáticas más minuciosas para cada zona climática. En la cuenca, las dos estaciones están muy diferenciadas, se determina la época seca cuando la precipitación no satisface las necesidades meteorológicas, para la totalidad de la cuenca esta época se extiende de diciembre a abril. Por lo tanto, de mayo a noviembre se dan los aportes mayores de agua.

En la época seca, la humedad del suelo disponible está por debajo de la lámina de agua disponible, lo que afecta directamente a las plantas; además, no se llega al potencial de evapotranspiración. Esta situación implica que se produzca un déficit, es decir, no hay suficiente agua en el suelo para que se filtre a los mantos acuíferos.

Tabla 11. Resultados generales del balance hídrico para la cuenca alta del río Turrubares.

Zona climática	Unidad geomorfológica	Uso	P	ETP	ETA	Déficit	Ganancia
I	Volcánica	Pasto	2056,91	1744,84	1176,86	567,98	880,05
I	Volcánica	Bosque	2057,91	1744,84	1229,38	515,46	827,53
I	Volcánica	Café	2058,91	1744,84	1183,98	560,86	872,95
II	Volcánica	Pasto	1870,99	1513,00	1025,98	487,02	845,01
II	Volcánica	Bosque	1871,99	1513,00	1081,04	431,96	789,95
II	Volcánica	Café	1872,99	1513,00	1029,83	483,17	841,16
III	Volcánica	Pasto	3409,42	1516,50	1230,87	285,63	2178,55
III	Volcánica	Bosque	3410,42	1516,50	1283,08	233,42	2126,34
III	Volcánica	Café	3411,42	1516,50	1237,97	278,53	2171,45

Fuente: elaboración propia.

Comportamiento hídrico por zonas climáticas

En la zona climática I prevalecen los pastos, seguido de bosques y cultivos de café. Esta zona se encuentra en la unidad geomorfológica volcánica entre las subunidades Serranías de ladera de fuerte pendiente y Cerros Turrubares. Esta zona presenta la mayor ETP, 1744,84 mm (tabla 11).

En esta zona, la LAD es mayor en las áreas boscosas; sin embargo, las áreas cubiertas por este uso presentan la menor ganancia en comparación a los otros usos, 827,53 mm, y a la vez presenta el menor déficit, 515,46 mm. Por otro lado, las áreas con pastos presentan una menor LAD y la mayor ganancia, 880,05 mm, a la vez son estos los que cuentan con el mayor déficit, 567, 98mm. El hecho de que sea la zona climática con la mayor ETP se refleja en que es esta zona la que presenta también el mayor déficit en comparación con las tres zonas climáticas.

La zona climática II se encuentra en la unidad geomorfológica volcánica, entre las subunidades Serranías de ladera de fuerte pendiente y Cerros Turrubares. Al igual que la zona anterior prevalecen los pastos, seguido de bosques y cultivos de café.

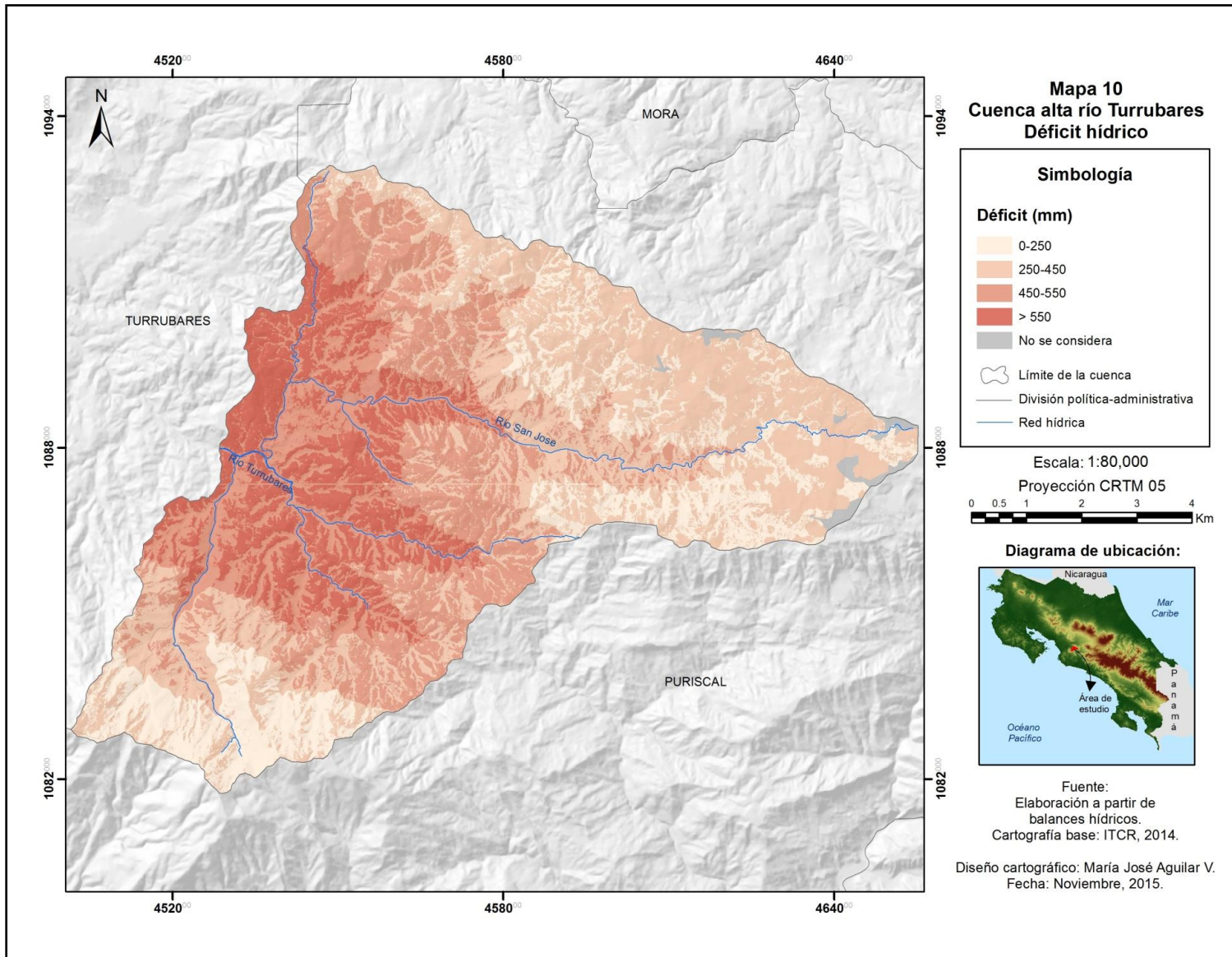
Esta zona climática presenta la menor precipitación de las tres zonas, 1870,99 mm y a la vez la menor ETP, 1513 mm (tabla 11).

La LAD en esta zona es mayor en zonas con bosques, al igual que la zona anterior presenta la menor ganancia, 789,95 mm y el menor déficit, 431,96 mm; y las áreas cubiertas por pastos presentan la menor LAD, con la mayor ganancia, 845,01 mm y mayor déficit, 487,02 mm.

En la zona climática III prevalecen los bosques, seguido de pastos y cultivos de café. Esta zona se encuentra en la unidad geomorfológica volcánica, entre las subunidades Serranías de ladera de fuerte pendiente y Cerros Turrubares.

Al igual que las zonas anteriores, la mayor LAD está asociada con el área cubierta por bosque, presentando este uso la menor ganancia, 2126,34 mm y el menor déficit, 233,42 mm. De igual forma, los pastos presentan la mayor ganancia, 2178,55 mm y el mayor déficit, 285,63 mm (tabla 11).

En esta zona se presenta el menor déficit en comparación con las tres zonas climáticas (mapa 10), y a la vez presenta la mayor ganancia, esto se debe a que esta zona es la que presenta una mayor precipitación, 3409,42 mm, y una alta evapotranspiración, 1516,50 mm.



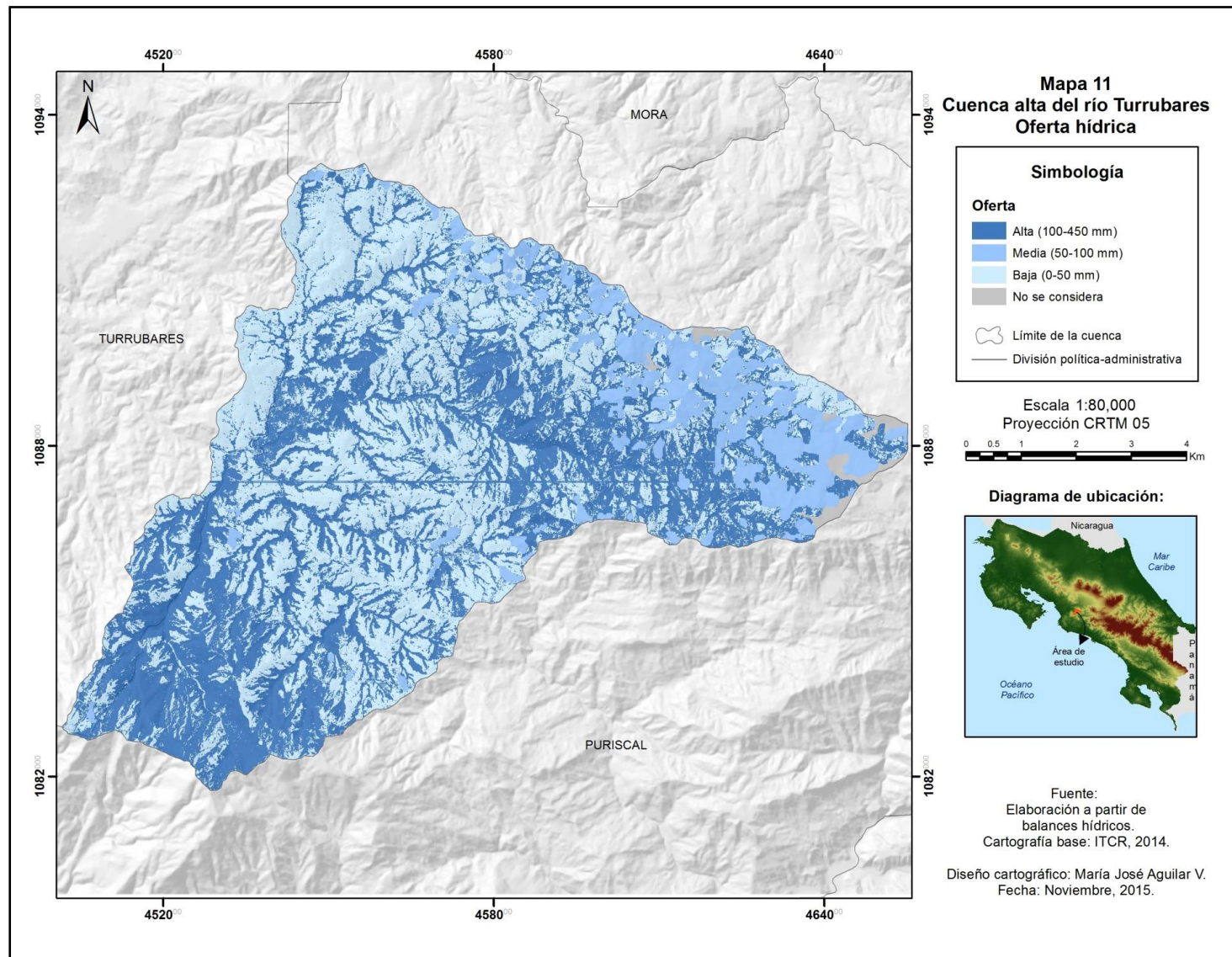
Oferta y demanda hídrica

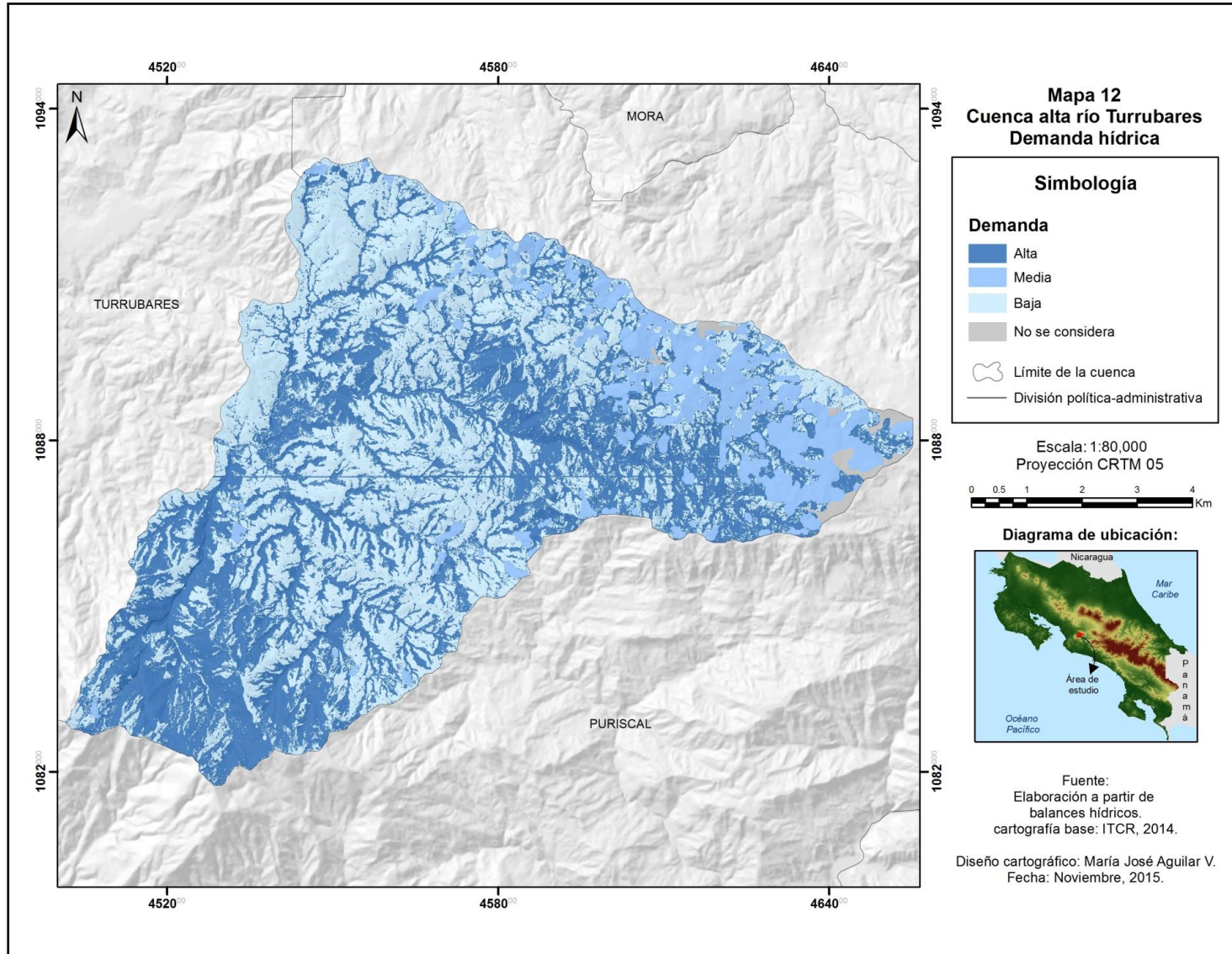
Para analizar la oferta hídrica se divide en tres categorías: alta, media y baja. La baja oferta corresponde al rango entre 0 a 50 mm, media oferta entre 50 a 100 mm y la oferta alta se encuentra entre los 100 y 450 mm (mapa 11).

En su mayoría, el área de estudio se encuentra entre los rangos de oferta hídrica baja, de los 80,07 km² del total de la cuenca, 36,6 km² pertenecen oferta baja, mientras que 35,2 km² pertenecen a una oferta alta y únicamente 8,6 km² corresponden a una oferta hídrica media.

El área que se encuentra en la categoría de alta oferta hídrica está cubierta por los bosques de la cuenca, mientras que las categorías de media y baja oferta corresponden a los pastos y áreas de cultivos.

Por otro lado, se analiza también la demanda, de igual forma que la oferta se categoriza en alta, media y baja (mapa 12). La alta demanda se encuentra en los rangos de 40 mm a 150 mm, estas áreas corresponden a los bosques, mientras que la baja se encuentra entre los 0 y 20 mm, y media entre los 20 y 40 mm, estas últimas categorías corresponde a pastos y cultivos, siendo los pastos los que en mayormente se ubican en la categoría de demanda baja.





5.2 Disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del río Turrubares

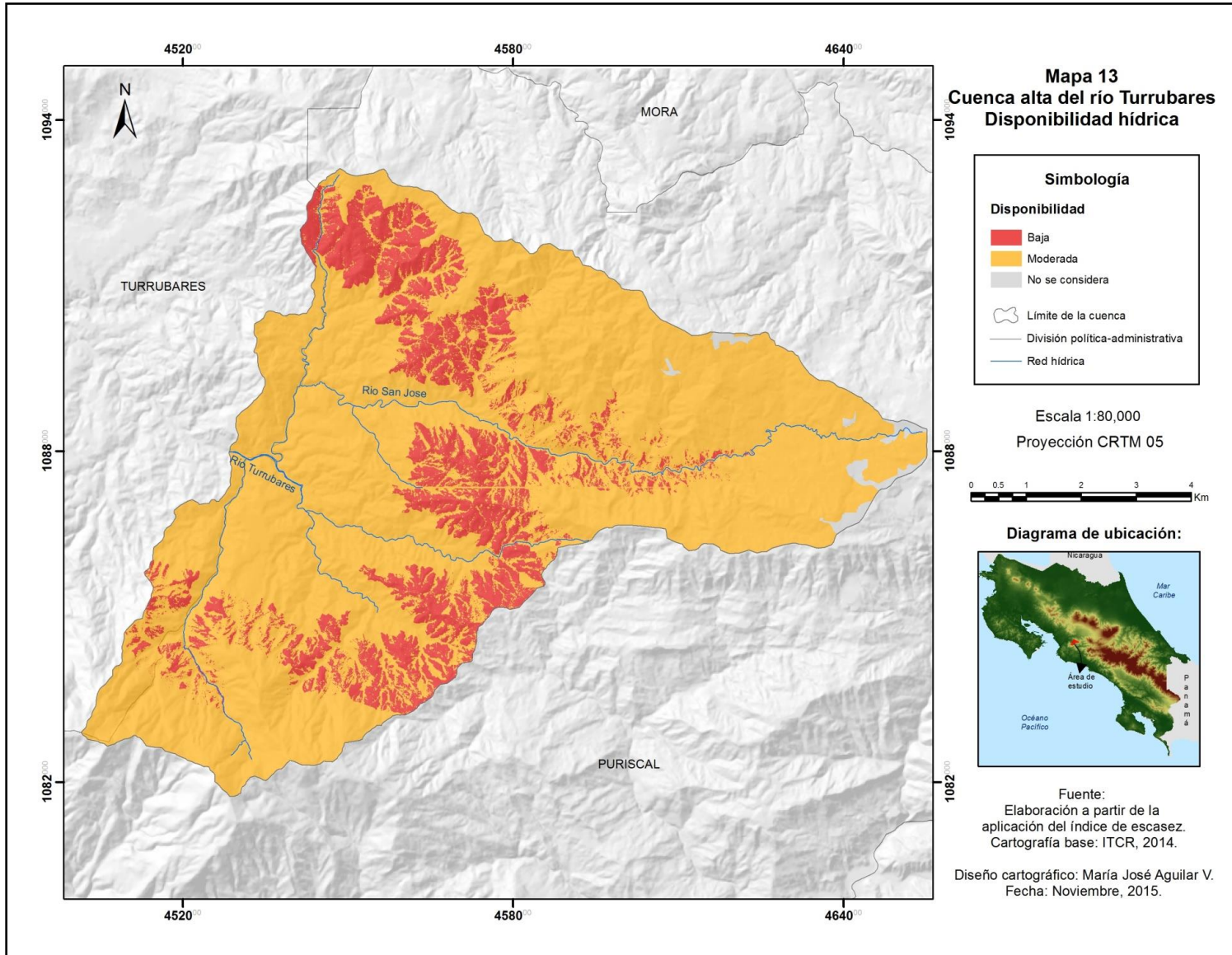
La disponibilidad hídrica en la cuenca está determinada por la oferta y la demanda del recurso; en términos del balance hídrico, están dados por la humedad disponible del suelo total y el cambio de la humedad del suelo, respectivamente.

Se obtiene que el 81,4% del área de la cuenca tiene una disponibilidad moderada (mapa 13), que abarca valores entre los 20 y 40% de oferta hídrica utilizada. Esto quiere decir que de los 81,07 km² de la cuenca, 66,02 km² poseen moderada disponibilidad hídrica. Esta zona se ubica en la unidad geomorfológica volcánica, entre las subunidades Serranías de ladera de fuerte pendiente y Cerros Turrubares, en las zonas climáticas I, II y III.

En esta zona debe existir un ordenamiento de la oferta y la demanda (IDEAM, 2004), deben ejecutarse planes, políticas y proyectos que permitan velar por el uso sostenible de los recursos naturales, y dar una correcta aplicación a las prácticas legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento.

Por otro lado, el 17,67%, es decir que del total de la cuenca, 14,33 km², tiene una disponibilidad baja (mapa 13), con valores mayores al 40% de oferta hídrica utilizada. Esta zona se ubica en la unidad geomorfológica volcánica, entre las subunidades Serranías de ladera de fuerte pendiente y Cerros Turrubares, en la zona climática II, siendo esta la que presenta una menor precipitación y ocupadas en su totalidad por pastos.

En esta zona existe una fuerte presión sobre el recurso (IDEAM, 2004): por lo tanto, con mayor urgencia se deben aplicar medidas para la protección de los recursos naturales. Además, se debe restringir el crecimiento de la población en esta zona, ya que el recurso hídrico es insuficiente para las plantas; por ende, no se puede captar para abastecer a la población.



5.3 Comunidades con problemas de acceso al agua para consumo humano

En la cuenca alta del río Turrubares se encuentran 16 poblados, de los cuales siete son abastecidos de agua por ASADAS y ocho por acueductos administrados por el AyA (ver tabla 2). El poblado de Llano Hermoso no se considera para esta investigación, ya que este pertenece a una familia, la cual tiene su propia naciente.

Según las conversaciones realizadas con funcionarios del AyA y las ASADAS, del total de los poblados únicamente dos no presentan problemas de acceso al recurso hídrico (mapa 14).

Los problemas de acceso al agua para consumo humano que enfrentan las comunidades de la cuenca alta del río Turrubares se deben a que los sistemas de acueductos que las abastecen no cuentan con el recurso hídrico suficiente, lo que implica que se den racionamientos de agua, inclusive algunas comunidades viven únicamente con cuatro horas de agua al día (Fornaguera, 2015).

Los ocho poblados abastecidos por acueductos administrados por el AyA presentan problemas de acceso a agua para consumo humano, los cuatro sistemas no cuentan con el recurso suficiente para abastecer la demanda (figuras 5, 6, 7 y 8).

Por parte de las comunidades que se abastecen por medio de ASADAS, se encontró según funcionarios del AyA y de las mismas ASADAS, que presentan faltante del recurso en las comunidades.

Del total de acueductos y ASADAS en la cuenca, únicamente se constata que la Asociación Administradora del Acueducto Rural de San Juan de Puriscal no realiza cortes de agua en las comunidades, ya que cuentan con un tanque aparte del principal, en cuanto falta agua en el principal, activan el secundario. Además, según datos del AyA, esta ASADA es la que cuenta con mayor cantidad de fuentes de aprovechamiento de agua potable para abastecer su respectivo sistema (AyA, s.f.).

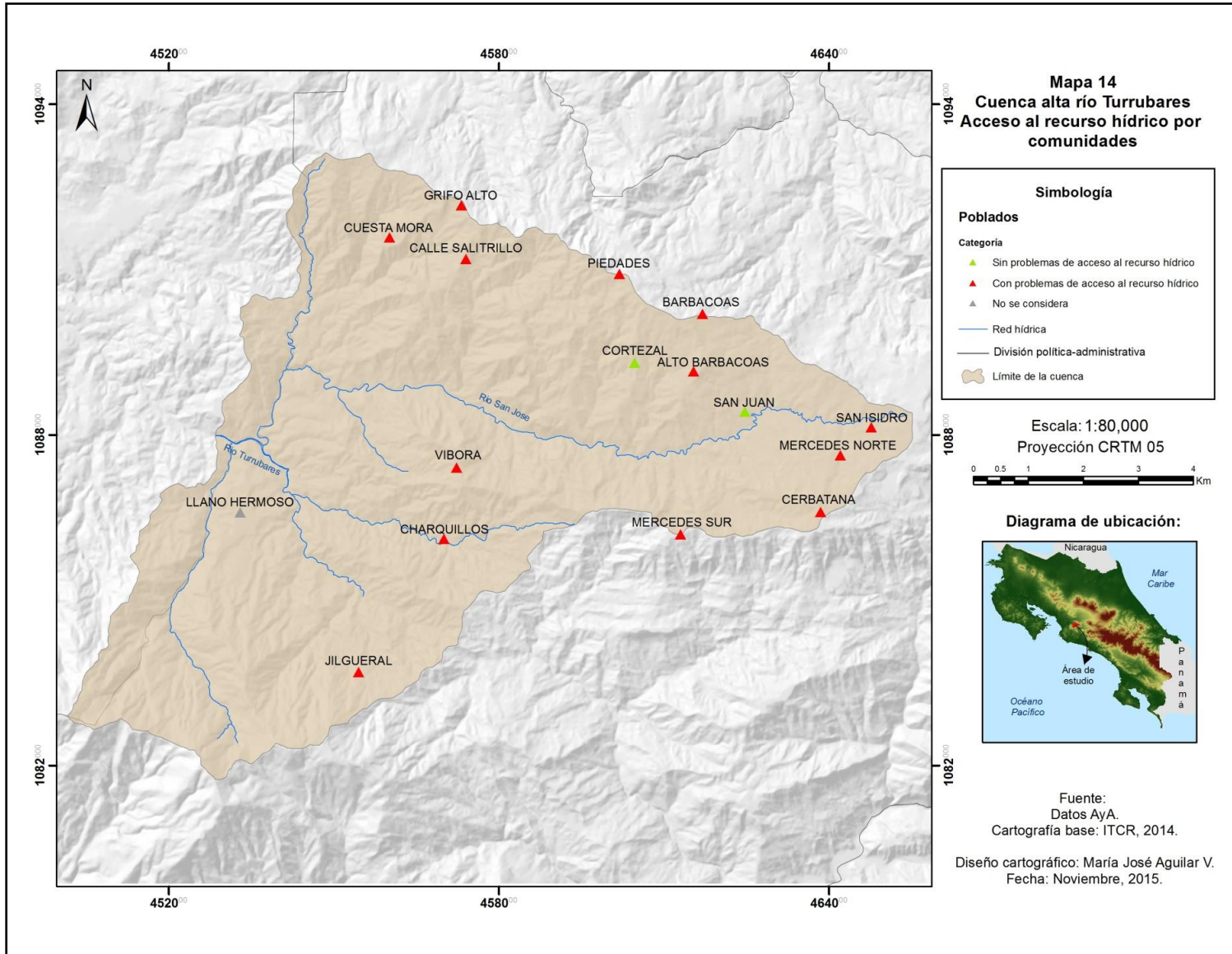
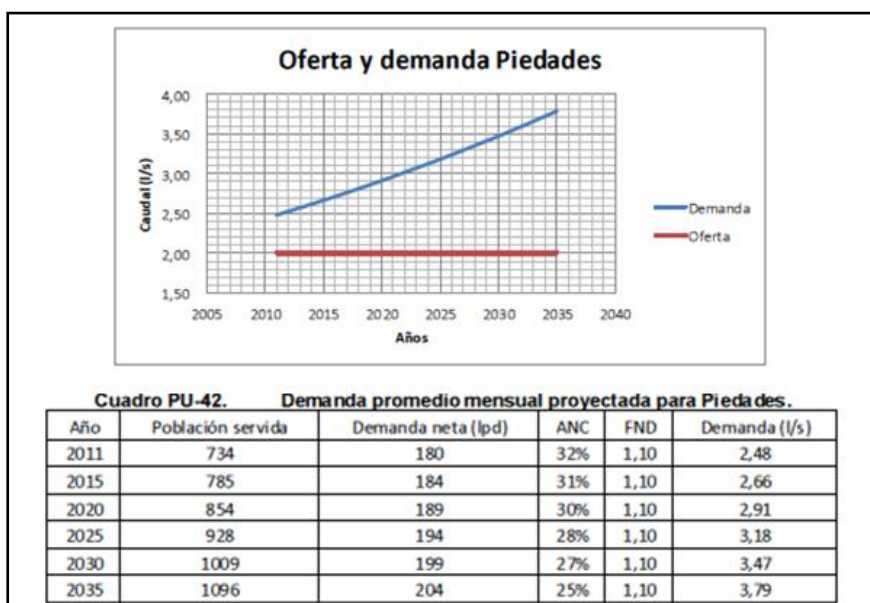
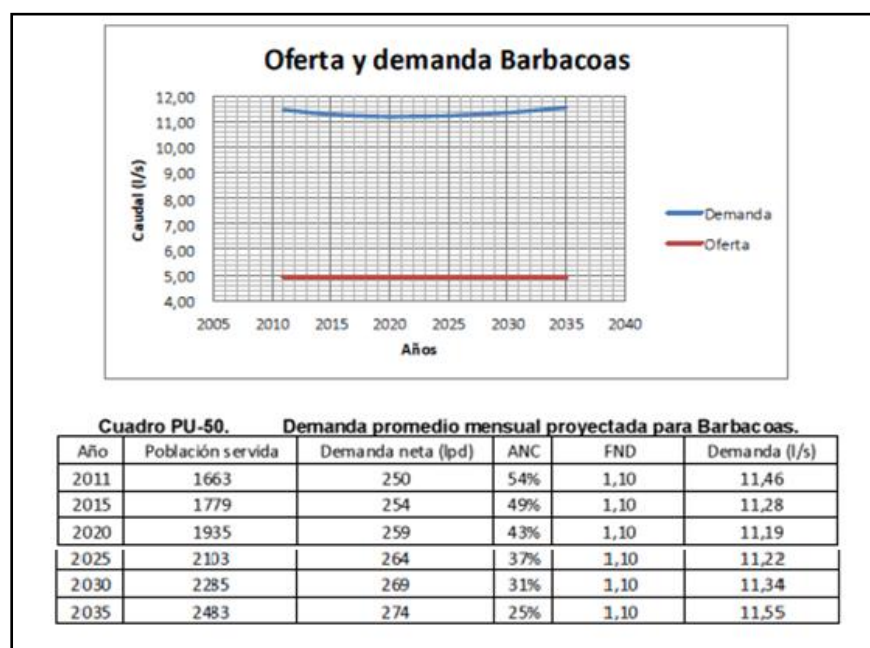


Figura 5. Oferta y demanda de agua en el sistema de Piedades.



Fuente: Hidrogeotecnia Ltda., 2013.

Figura 6. Oferta y demanda sistema Barbacoas.



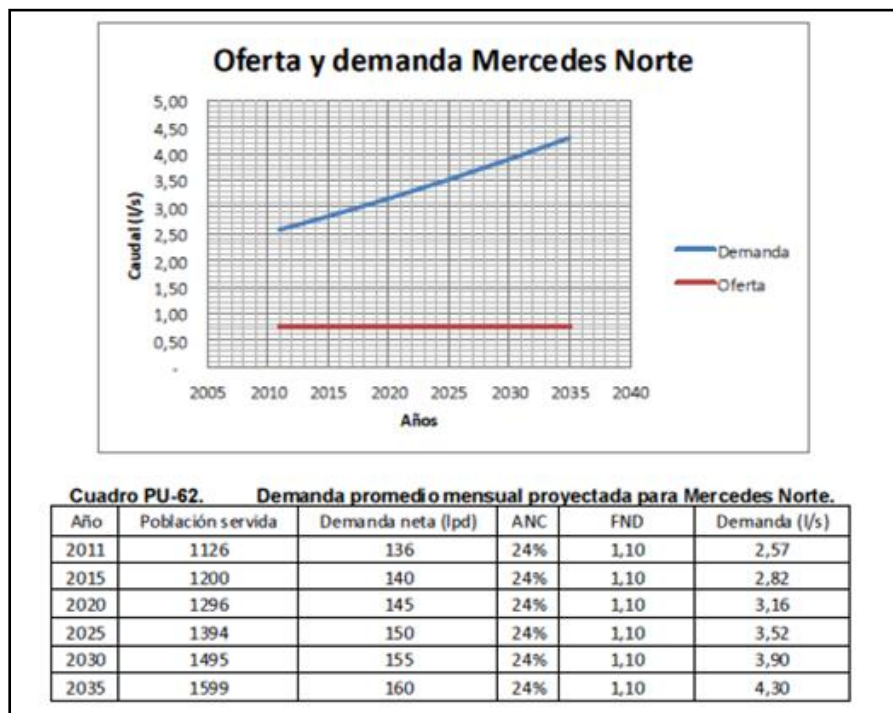
Fuente: Hidrogeotecnia Ltda., 2013.

Figura 7. Oferta y demanda sistema Alto La Legua.



Fuente: Hidrogeotecnia Ltda., 2013.

Figura 8. Oferta y demanda sistema Mercedes Norte.



Fuente: Hidrogeotecnia Ltda., 2013.

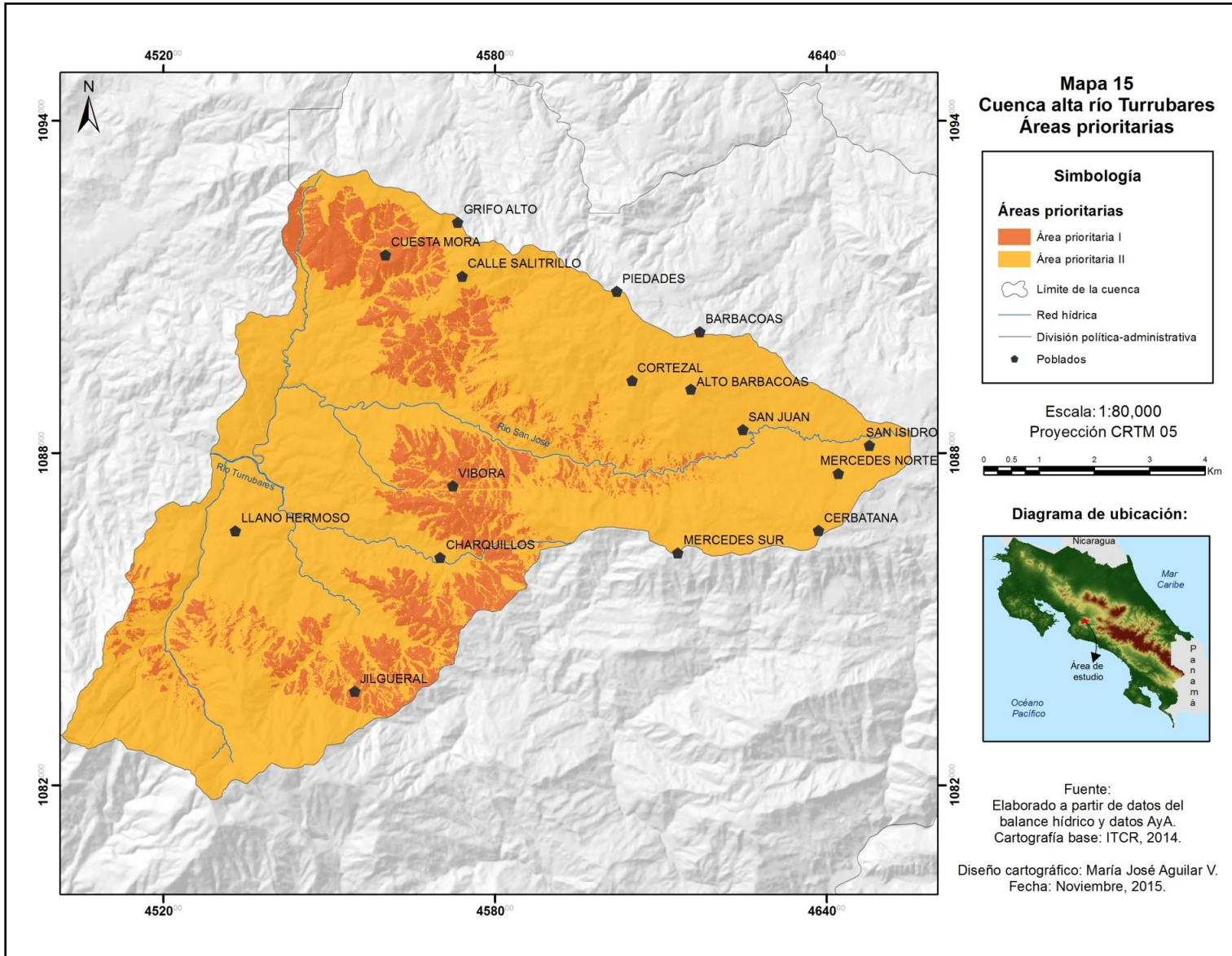
5.4 Áreas prioritarias

Según los resultados obtenidos a partir del balance hídrico, se considera a la totalidad de la cuenca como área prioritaria, esto ya que el área total se encuentra en zonas de baja y moderada disponibilidad, y en estas están las comunidades con problemas de acceso al agua para consumo humano.

Para un mejor análisis se divide el área prioritaria en dos, área prioritaria I y área prioritaria II (mapa 15).

El área prioritaria I se considera de baja condición crítica, siendo esta la que representa una mayor problemática asociada con el recurso hídrico, ya que es el área donde se encuentra baja disponibilidad hídrica y hay comunidades con problemas de abastecimiento del recurso.

Por otro lado, el área prioritaria II corresponde a las áreas de moderada disponibilidad hídrica y que, de igual forma que el área prioritaria I, se ubican comunidades con problemas de abastecimiento del recurso.



VI. Análisis de resultados

6.1 Oferta y demanda hídrica

La mayor oferta hídrica (450 mm) se encuentra en la zona climática III (mapa 11) siendo los meses asociados a la época lluviosa (de mayo a noviembre) los que presentan los mayores valores de humedad (anexo 2).

Además, estas áreas se encuentran cubiertas por bosques, lo que refleja la importancia de preservar los bosques en la cuenca, por lo que la aplicación de leyes que velen por el manejo sostenible de los recursos naturales, así como la elaboración de planes para el ordenamiento territorial y para conservar el medio ambiente, benefician de forma directa al recurso hídrico. Sin embargo, los pastos son el uso que predomina en la cuenca, lo que se refleja en la oferta, siendo estos considerados bajo la categoría de oferta hídrica baja.

Que la oferta sea alta, media o baja se debe a las características específicas de la cuenca, lo que implica que el rango de la oferta varía según la cuenca en estudio.

Para explicar mejor lo anterior, se comparan los datos de la cuenca alta del río Turrubares con la microcuenca del río Segundo, la cual se encuentra, al igual que el área de estudio, en la gran cuenca del río Tárcoles, y ambas cuencas presentan características similares.

La microcuenca del río Segundo, al igual que la cuenca alta del río Turrubares, se encuentran sobre la unidad geomorfológica volcánica. Además, en comparación con las zonas climáticas de ambas cuencas, las precipitaciones son similares, la microcuenca del río Segundo cuenta con una precipitación media anual entre los 1957 mm y 3751 mm, mientras que la cuenca alta del río Turrubares presenta una precipitación media anual entre los 1870 mm y 3455 mm (Hernando *et al.*, 2012).

Conociendo la compatibilidad en cuanto a ubicación y precipitaciones, se comparan las ofertas. Para la cuenca del río Segundo, una alta oferta la representa datos superiores a los 3000 mm (Hernando *et al.*, 2012) mientras que para la cuenca alta del río Turrubares, una oferta alta se ve reflejada en datos entre los 100 y 450 mm.

Los datos anteriores reflejan las diferencias que se pueden presentar para una misma categoría de oferta hídrica, esto se debe a que la metodología utilizada para obtener estos

datos toma en cuenta muchos aspectos, y aunque hay cuencas con características similares, los usos de los suelos, así como los tipos de suelo, van a influir en la infiltración y escurrimiento del recurso en el territorio.

En relación con la demanda, se determina que los bosques de la cuenca son los que se califican en el rango de mayor demanda, esto indica que es en estas zonas donde se mantienen altos niveles de humedad relativa. En la cuenca existe gran cantidad de bosque alrededor de los ríos y quebradas, lo que permite que estos actúen como filtro de los agentes contaminantes. El uso de los bosques demanda más recurso hídrico porque ofrece una gran cantidad de recurso, ya que estos influyen los entornos microclimáticos, y regulan los flujos hídricos y la disponibilidad de agua río abajo (Sibaja, 2013).

6.2 Comunidades con problemas de acceso al agua para consumo humano

A pesar de la situación que viven estas comunidades, no existe ningún plan que regule el crecimiento de la población. La Municipalidad de Puriscal tiene una propuesta de plan regulador; sin embargo, además de no ser aprobada aún, esta incluye únicamente la parte urbana del cantón (anexo 3), lo que refleja también que no existen planes que velen por la protección de los recursos naturales, siendo estos de suma importancia para mejorar la situación del recurso hídrico en la cuenca.

Mediante el presente estudio se determina que la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca es un factor importante dentro de los problemas que viven estas comunidades, ya que la mayor parte de la cuenca corresponde a moderada disponibilidad hídrica. Estos resultados permiten a instituciones como el AyA, tomar decisiones para mejorar la situación de las comunidades y buscar alternativas para mejorar la cantidad de recurso que reciben las comunidades.

6.3 Áreas prioritarias

El área prioritaria I se encuentra cubierta por pastos y la mayor parte de esta área se encuentra en los suelos Haplohúmul, siendo estos poco permeables y arcillosos, lo que impide la infiltración del agua a capas subterráneas (mapa 3).

En esta área se encuentran tres poblados: Cuesta Mora, Víbora y Jigüeral. Sin embargo, las fuentes que abastecen de agua a estas comunidades se encuentran en el área prioritaria II;

mientras que la ASADA de Santa Marta, que abastece a la comunidad de Charquillos, sí se encuentra dentro del área prioritaria I.

Por otro lado, el área prioritaria II, como se observa en el mapa 15, es la que abarca la mayor parte de la cuenca. Comprende desde áreas boscosas, pastos y cultivos de café. Al igual que el área anterior, la mayor parte se encuentra cubierta por pastos y por suelos Haplohumult.

La mayor parte de las fuentes de los sistemas que abastecen de agua para consumo humano a las comunidades de la cuenca se encuentran en esta área.

La situación actual del recurso hídrico en la cuenca es crítica, ya que como se obtiene a partir de los resultados de esta investigación, el total del área de la cuenca está bajo la categoría de área prioritaria.

A futuro, según los escenarios de cambio climático realizados por el Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) y por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en el año 2012; entre 1950 y el 2000 para el área en que se ubica la cuenca la precipitación media anual ronda los 2000 y 3000 mm; sin embargo, ante el cambio climático y la vulnerabilidad del área en que se encuentra esta, en años futuros se pronostican disminuciones en las precipitaciones, en las proyecciones para los años del 2071 al 2100, el área de estudio ronda la precipitación media anual entre 1500 y 2500 mm (anexo 4).

Las temperaturas, al contrario de las precipitaciones, tienden a aumentar ante los cambios en el clima. En el área específica de la cuenca entre los años de 1950 y el 2000 se presentaban temperaturas medias anuales de 18 a 26 °C, mientras que en las proyecciones para los años del 2071 al 2100 se prevén temperaturas medias anuales entre los 24 y 30 °C (anexo 5).

Si estos escenarios se cumplen en el futuro, significaría que el área en que se encuentra la cuenca alta del río Turrubares contaría con menor recurso hídrico, ya que entraría menos

cantidad de agua al sistema y al aumentar las temperaturas, existiría mayor evapotranspiración.

Esto refleja la importancia que se le debe dar en la actualidad a preservar los recursos naturales, como son los bosques en la cuenca, ya que la cubierta vegetal, fundamentalmente el bosque, representa un factor primordial para garantizar la disponibilidad del agua; esto debido a que contribuyen a incrementar la infiltración, ya que la vegetación aumenta la porosidad del suelo; también ayudan a disminuir la velocidad de la lámina de agua que escurre en la superficie, pues incrementa la rugosidad de la superficie por la que circula (Mintegui y Robredo, 1994).

6.4 Zonas con mejores condiciones

Dada la situación crítica que viven las comunidades de la cuenca ante la falta de agua para sus necesidades cotidianas, se determinan qué zonas de la cuenca presentan mejores condiciones hídricas, esto con base en las características específicas del área que se estudia y considerando que estas zonas serían las más aptas para ubicar las fuentes para obtener agua para abastecer a las comunidades de agua para consumo humano.

Se definen las zonas con mejores condiciones hídricas como aquellas que presentan áreas de alta oferta hídrica y que se encuentran en zonas de moderada disponibilidad hídrica (mapa 16).

Sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos, todas las fuentes que abastecen de agua a los habitantes de la cuenca se encuentran en estas zonas (mapa 17 y 18), y aun así presentan problemas.

En este punto es importante tener en cuenta que a la poca disponibilidad hídrica en la cuenca se le asocia también a la infraestructura de los sistemas. Se conoce que los sistemas administrados por el AyA presentan un porcentaje de agua no controlada de hasta un 49% (tabla 12).

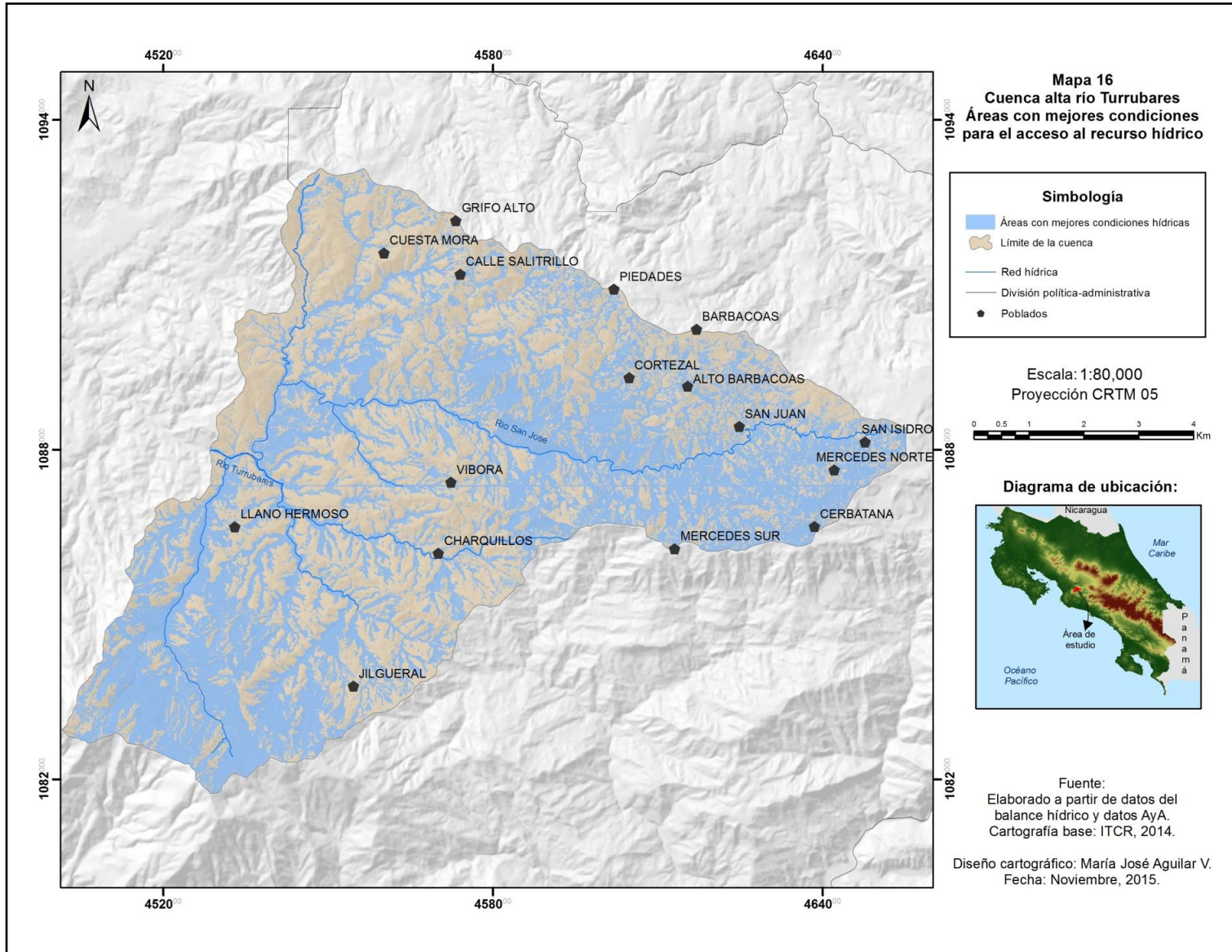
Tabla 12. Agua no controlada en los sistemas de acueductos del AyA.

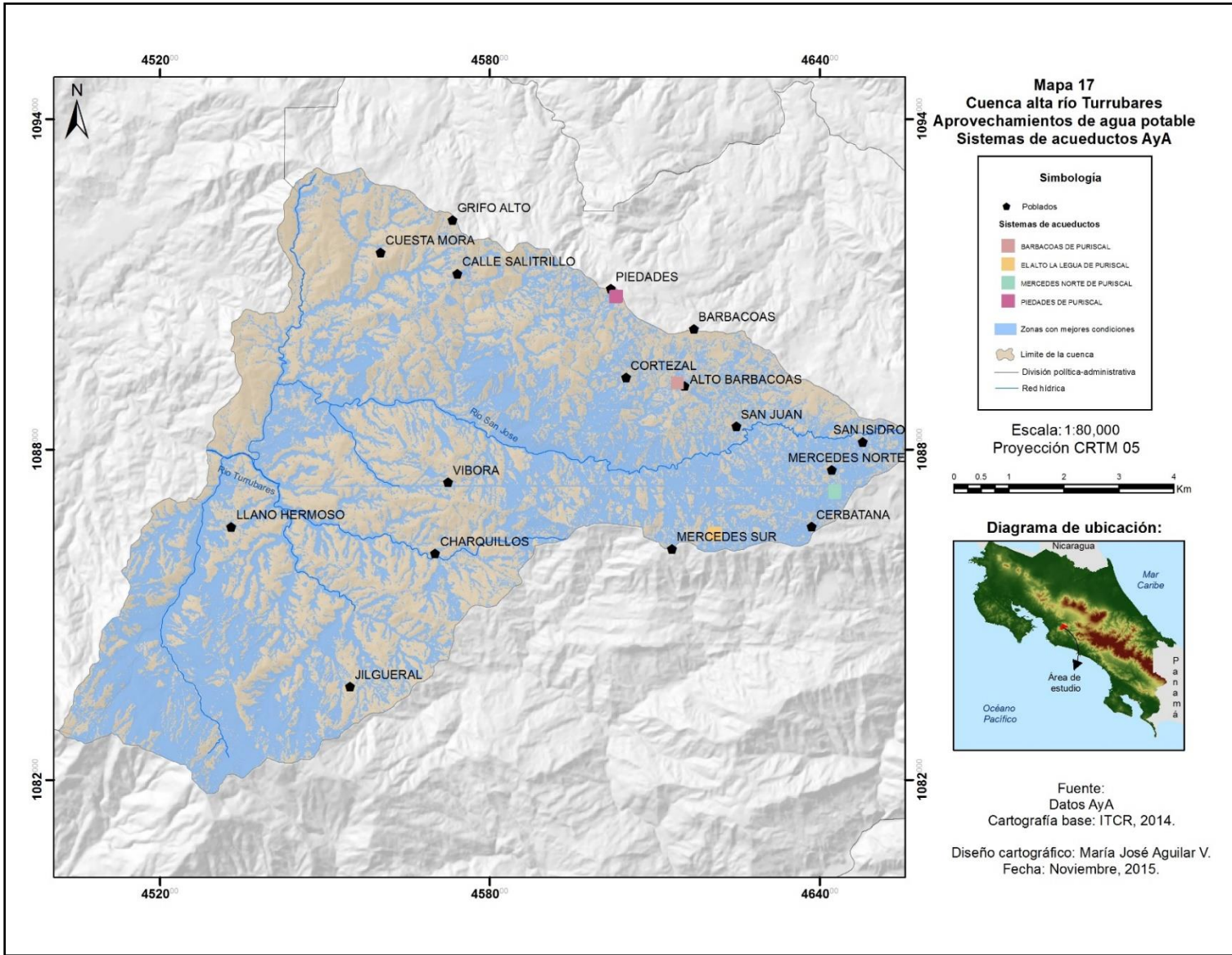
Sistemas administrados por el AyA	% Agua no controlada
Sistema Mercedes Norte	24,00%
Sistema Piedades	31,00%
Sistema Alto La Legua	38,00%
Sistema Barbacoas	49,00%

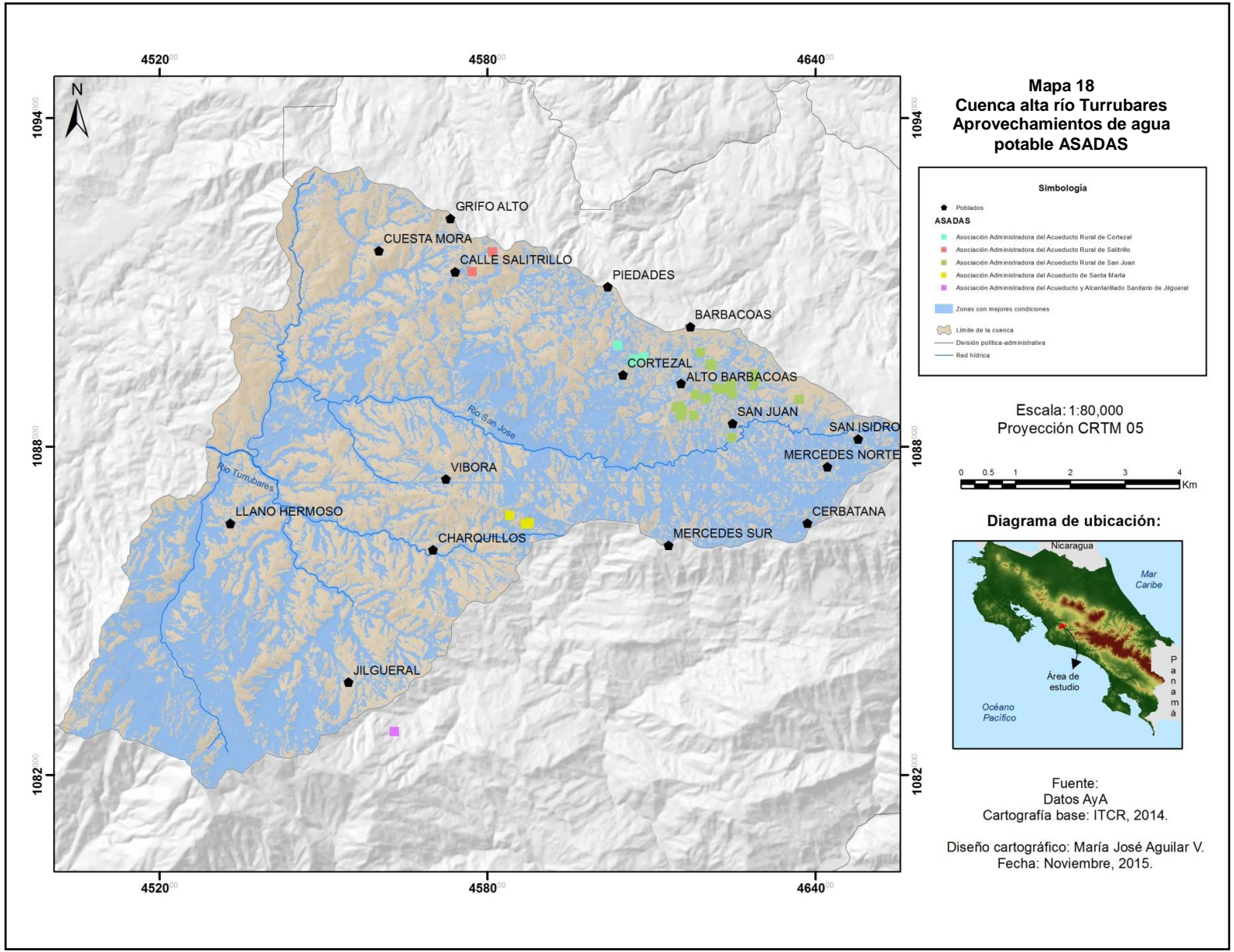
Fuente: Hidrogeotecnia Ltda., 2013.

El hecho de que la cuenca se encuentra sobre rocas volcánicas y sedimentarias, en su gran mayoría profundamente meteorizadas (Hidrogeotecnia Ltda., 2013), y sobre un terreno de fuertes pendientes, así como en suelos arcillosos y poco permeables (Acón y Asociados S.A., 1991); favorecen a que se desarrolle gran cantidad de deslizamientos.

Estas características influyen en los sistemas de acueductos, ya que la infraestructura de estos se ve afectada por el movimiento de las tierras, generando fugas en los sistemas, lo cual se ve reflejado en los altos porcentajes de agua no controlada (tabla 11).







VII. Conclusiones

Con la investigación realizada, se logra tener una visión más clara de las condiciones físico-geográficas que presenta la cuenca alta del río Turrubares en cuanto a recursos hídricos y sus características territoriales principales, que notablemente inciden sobre el posible abastecimiento de agua potable a la población humana.

En este caso el área de estudio presenta actualmente severos problemas hídricos, la cantidad de agua disponible en la cuenca es de moderada a baja, lo que implica que exista poco recurso para abastecer lo demandado por las plantas y esto provoca que el recurso disponible para abastecer a las comunidades sea aún menor.

La cantidad de agua para consumo humano no es suficiente para abastecer la demanda de las comunidades de la cuenca, a pesar de esta situación no existen planes que regulen el crecimiento de los asentamientos humanos y zonas agrícolas.

A esta situación se le suman las características físicas de la cuenca, ya que debido a sus características geomorfológicas, edáficas y fuertes pendientes, se ve afectada la infraestructura de los sistemas que están a cargo del abastecimiento de agua para consumo humano, esto quiere decir que además de la poca cantidad de agua disponible se pierde recurso dentro de los sistemas, lo que se refleja en los altos porcentajes de agua no controlada de los sistemas dentro de la cuenca.

Al analizar los escenarios de cambio climático realizados por MINAET y por IMN, para el área de la cuenca se visualiza un negativo panorama a futuro. La cuenca presentará variaciones en la precipitación y temperatura, lo que afectará la calidad y cantidad de disponibilidad de recurso hídrico, esta se verá disminuida por las menores cantidades de precipitación y mayor evapotranspiración debido al aumento de las temperaturas en toda la zona.

Ante la escasez del recurso hídrico en la cuenca y las características físico-geográficas, el tema de la planificación es esencial, ya que permitirá que la problemática no se extienda a más comunidades.

Es por esto que para el caso de la cuenca del río Turrubares es importante crear un plan de manejo de cuenca, donde se planifique el desarrollo de los asentamientos humanos, de esta forma evitar que la problemática se extienda a más comunidades.

Además regular el crecimiento de las zonas agrícola, buscando el usos sostenible de los recursos naturales es esencial, se le debe dar prioridad a preservar los bosques como cobertura del suelo, ya que en estos se encuentra una mayor disponibilidad del recurso hídrico, lo que implicaría que a mayor cantidad de área protegida, mejores resultados se verán en la cantidad y calidad del recurso hídrico.

VIII. Bibliografía

- Acón y Asociados S.A. (1991). *Manual descriptivo de la leyenda del Mapa de Capacidad de Uso de la Tierra de Costa Rica, Escala 1: 200.000*. Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).
- Alfaro, R. y Pacheco, R. (2000). *Aplicación de algunos métodos de relleno a series anuales de lluvia de diferentes regiones de Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional y Ministerio del Ambiente y Energía. *Top Meteor Oceanogr*, 7: 1-20.
- Almirón, E. (s.f). *El agua como elemento vital en el desarrollo del hombre*. Recuperado en marzo del 2015, desde: http://www.observatoriomercosur.org.uy/libro/el_agua_como_elemento_vital_en_el_desarrollo_del_hombre_17.php
- Angarita, R. y Meléndez, M. (s.f.). *Fuentes de Abastecimiento*. Venezuela: Universidad Santa María Núcleo Barinas, Facultad de Ingeniería Acueductos y Cloacas.
- Aparicio, F. (1996). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Editorial Limusa, México.
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (2014). *Ley para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Costa Rica.
- Astorga, Y. (s.f.). *Situación del recurso hídrico*. Recuperado en abril 2015, desde: http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/014/Recurso-hidrico-Astorga.pdf
- Avina y Care. (2012). *Gestión Integrada del Recurso Hídrico*. Recuperado en agosto del 2014, desde: <http://www.avina.net/esp/wp-content/uploads/2013/03/MODULO-8-OK.pdf>
- Barrantes, G. (s.f.). *Disponibilidad del recurso hídrico y sus implicaciones para el desarrollo en Costa Rica*. Estado de la Nación, Costa Rica.

Barrios, E. (s.f.). *¿Qué es una unidad territorial y una entidad territorial?* Recuperado en mayo del 2015, desde: <http://www.doctoraedilicia.com/first2.php?idd=1&id=2>

Borge J. y Mora, J. (2013). *Determinación de la amenaza por deslizamiento en la infraestructura del sistema de acueductos administrados por el AyA, en los cantones Puriscal y Mora, Costa Rica*. Memoria práctica dirigida para optar por el grado de Licenciatura en Geografía, UCR. Costa Rica.

Cap-Net. (2008). *Gestión integrada de los recursos hídricos para organizaciones de cuencas fluviales*. Recuperado en enero del 2015, desde: http://www.cap-net-esp.org/document/document/262/RBO_Manual_sp.pdf

CARE Internacional-Avina. (2012). Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades. Módulo 8: Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Cuenca, Ecuador.

Cervantes, C. y Mojica, F. (2003). Manual de laboratorio de edafología. Heredia: EUNA.

Chow, V. (1994) *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill.

Comité Nacional de Hidrología y Meteorología (CONAPHI-COSTA RICA). (2002). *Capital hídrico y usos del agua Costa Rica*. Recuperado en febrero del 2015, desde: http://www.webdelambiente.com/pdf/agua/Capital_hidrico_en_Costa_Rica.pdf

Contraloría General de la República. (2012). *Informe sobre la auditoría operativa acerca de la eficacia y eficiencia del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado para garantizar la prestación del servicio de abastecimiento de agua potable*. Recuperado en noviembre del 2015, desde: http://www.asamblea.go.cr/Informes_de_la_Contraloria/Informes%202012/k-%20informes_noviembre_2012/DFOE-AE-IF-08-2012.pdf

Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO). (s.f.). *Plan de*

ordenamiento del recurso hídrico Quebrada Miraflores. Recuperado en Agosto del 2015, desde: <http://www.corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhmirafloresp3.pdf>

Costa, C., Domínguez, E., Gonzalo, H. y Vanegas, R. (2005). *El índice de escasez de agua ¿Un indicador de crisis o una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico?* Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Colombia.

Delgadillo, A. y Moreno, A. (s.f.). *Hidrología: Morfometría de las cuencas*. Recuperado en julio del 2015, desde: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoreno/HIDRO/MORFOMETR%20DA%20DE%20CUENCAS.pdf>

Delgado, V. y Villegas, M. (2013). *Evaluación Territorial sobre la Disponibilidad del Recurso Hídrico y Recurrencia de Eventos Extremos Secos en la Subcuenca del Río Sabogal, Costa Rica*.

Denyer, P. y Kussmaul, S. 2000. *Geología de Costa Rica*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica.

Dunne, T. y Leopold, L. (1978). *Water in enviromental planing*. London.

Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas [ONU-DAES] y The United Nations Inter-Agency Mechanism on all Freshwater Related Issues, Including Sanitation [UN WATER]. (2014). Decenio Internacional para la Acción “El agua fuente de vida” 2005-2015. Recuperado en enero 2015, desde: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>

Ecología Verde. (2008). *Estrés Hídrico: Agua en peligro*. Recuperado en junio del 2015, desde: <http://www.ecologiaverde.com/estres-hidrico-agua-en-peligro/>

Espinoza, A., Morera, A., Mora, D. y Torres, R. (2004). *Calidad de agua potable en Costa Rica: Situación actual y perspectivas*. Recuperado el 26 de septiembre del 2013, desde: <http://www.bvs.sa.cr/php/situacion/agua.pdf>

- Fallas, R. y Quesada, F. (2013). “El desarrollo regional y sus limitantes: El caso del cantón de Puriscal (Costa Rica)”. *Revista Nacional de Administración*, 4, 71-84.
- FAO. (2013). *Afrontar la escasez de agua*. Recuperado en octubre del 2014, desde: <http://www.fao.org/docrep/018/i3015s/i3015s.pdf>
- Fennell, M. (2013). *Las concesiones de la prestación del servicio de agua potable por parte de sujetos privados desde la perspectiva del derecho ambiental: El caso Sardinal Carrillo, Guanacaste*. Tesis para optar por el grado de Licenciado en Derecho. Universidad de Costa Rica.
- Fornaguera, I. (2015). “En Puriscal sufren por cortes de agua de 20 horas diarias”. *La Nación*. Costa Rica
- Fuquene Yate, Diana Marcela (2013). *Sistemas de Abastecimiento de Agua. Módulo didáctico*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.
- Global Water Partnership Central America (GWP Centroamérica), Programa de desarrollo de Zonas Fronterizas en América Central (ZONAF), Unión Europea (UE) y Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE). (2001). *Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica*. Tegucigalpa, M.D.C., Honduras
- González, E. y Sibaja, M. (2014). *Estudio físico geográfico para desarrollo de infraestructura de acueductos para el abastecimiento del área urbana de Puriscal*. San José, Costa Rica. Manuscrito no publicado.
- González, M. (2015). “Gobierno se compromete a mejorar sistemas de agua potable en Puriscal”. *La Prensa Libre*, Costa Rica.
- GreenFacts. (s.f.). *Resumen del 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*.
- Henríquez, C., Cabalceta, G., Bertsch, F. y Alvarado, A. (SF). *Principales suelos de Costa Rica*. Recuperado en noviembre del 2015, desde:

http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html

- Hernández, G., Ruiz, A., Barrantes, G. y Díaz, J. (1995). “Erosión del suelo en Cerbatanas de Puriscal 1990-1995”. *Revista Geográfica de América Central*. 31, 97-123. Costa Rica.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (1991). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana de México.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2003). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill/ Interamericana Editores S.A.
- Hernando, L. (1988). *Balance hídrico de la cuenca del río Poás*. Tesis para optar el grado de Licenciatura en Geografía. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Hernando, L. (2003). “Recarga de aguas subterráneas en la Cuenca del río Poás”. *Revista Geográfica de América Central* N° 27. Pág. 137-151. Heredia. Costa Rica.
- Hernando, L., Ruiz, A. y Solís, K. (2012). “Disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río Segundo. Región central de Costa Rica”. *Revista geográfica de América Central*. 48, 117-132.
- Hernando, L., Ruiz, A., Solís, K., Vega, H., Solís, O. y Azofeifa, J. (2009). *Proyecto: Balance hídrico de la región central de Costa Rica, El caso de la microcuenca del río Segundo*. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Hernando, L., Ruiz, A., Achio, H., Rodríguez, P., Barrantes, N., Masís, K. (2007). *Balance hídrico de la Región Central de Costa Rica. El caso de la microcuenca del río Ciruelas*. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Heredia, Costa Rica.
- Heuveltop, J. y Espinoza, L. (1983). *El componente arbóreo en Acosta y Puriscal, Costa Rica*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.

Hidrogeotecnia Ltda. (2013). Cantonal Puriscal. Departamento Gestión Ambiental, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2002). *Análisis sectorial de agua potable y saneamiento en Costa Rica*. Recuperado noviembre del 2015, desde: <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/fulltext/analisis/costarica/costarica.pdf>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2002). *Análisis sectorial agua potable y saneamiento de Costa Rica*. Recuperado en septiembre del 2014, desde: http://www.paho.org/cor/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=30&Itemid=

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2011). *Subgerencia gestión de sistemas comunales: Evaluación y mejoramiento de la gestión*.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AYA). (2010). *Reseña histórica del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados*. Recuperado en agosto del 2015, desde: <https://www.aya.go.cr/Administracion/DocumentosBoletines/Docs/230910011929RESENAHISTORICADEAYA.pdf>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (s.f.) *Sistemas de aprovechamiento de agua*. Costa Rica: Departamento de Cuencas del AYA.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2004). *Metodología para el cálculo de Índice de Escasez de Agua Superficial*. Bogotá, D.C.

Instituto Nacional de Ecología (INE). (2003). *Paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma Chapala. Escala 1: 250000*. México.

Marín, R. (2011). *El Acueducto Comunitario Óptimo. Condiciones para la Gestión Efectiva de los Servicios de Agua. El Caso de Costa Rica*. AVINA.

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN] y Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2012). Guía metodológica de identificación, formulación y evaluación de proyectos de acueductos y alcantarillados sanitarios en Costa Rica. Costa Rica.

Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones [MINAET], Dirección de Agua, Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento [SENARA] y Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados [AyA]. (2013). “Agenda del Agua” Costa Rica 2013-2030. Recuperado en octubre del 2014, desde: http://www.gwp.org/Global/GWP-CAm_Files/Documento_de_Posicionamiento_Agenda_del_Agua_nov_2012%5B1%5D.pdf

MINAET. (2009). Política Hídrica Nacional. San José, Costa Rica.

Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET); Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2012). *Escenarios de cambio climático regionalizados para Costa Rica*. San José, Costa Rica.

Montañez, G. y Delgado, O. (1998). *Espacio, Territorio y Región: conceptos básicos para un proyecto nacional. Cuadernos de Geografía* Vol. VII.

Mora, D. (s.f.). “Agua para consumo humano y disposición de excretas en Costa Rica: situación actual y expectativas”. *Revista Tecnología en Marcha*, Vol.16 N°3.

Mora, D. 2010. “Agua: tipos de escasez”. *La Nación*. Recuperado en enero del 2015, desde: http://www.nacion.com/opinion/foros/Agua-tipos-escasez_0_1164083651.html

Mora, D., Mata, A. y Portuguese, C. (2012). *Agua para consumo y saneamiento: Situación de Costa Rica en el contexto de la Américas: 1961-2011*. Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

- Mora, D., Mata, A. y Portuguez, C. (2012). *Agua para consumo y saneamiento: situación de Costa Rica en el contexto de las Américas: 1961-2011*. Recuperado en junio, 2015, desde: http://www.paho.org/cor/index.php?gid=219&option=com_docman&task=doc_view
- Morales, D. (2010). *Recursos hídricos, Costa Rica 2010. Centro del Agua para América Latina y el Caribe*. Recuperado en marzo del 2015, desde: http://www.academia.edu/412042/Recursos_H%C3%ADdricos_en_Costa_Rica
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (s.f.). *Ecología y enseñanzas rurales (Tema 4: El Agua)*. Recuperado en junio del 2015, desde: <http://www.fao.org/docrep/006/w1309s/w1309s06.htm>
- PNUE. (2010). *El enverdecimiento del derecho de aguas: La gestión de los recursos hídricos para los seres humanos y el medioambiente*. Recuperado en marzo del 2015, desde: http://www.unep.org/delc/Portals/119/UNEP_Greening_water_law_spanish.pdf
- Programa Hidrológico Internacional (PHI). (2007). *Balance hídrico superficial de Costa Rica: 1970-2002*. Costa Rica: UNESCO.
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). (2012). *Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Recuperado en enero del 2015, desde: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>
- Repretel. (2015). *198 estudiantes de Puriscal se encuentran sin lecciones por falta de agua*.
- Rodríguez, P. (2009). *Zonificación de la disponibilidad del recurso hídrico de la microcuenca del río Ciruelas*. Proyecto de Graduación, Universidad Nacional, Heredia Costa Rica.
- Rodríguez, R. (s.f.). *¿Por qué estudiar el agua?* Recuperado en enero del 2015,

desde: <http://ciencias.jornada.com.mx/investigacion/ciencias-de-la-tierra/investigacion/bfpor-que-estudiar-el-agua>

Rojas, L. (2014). “12.600 vecinos de Puriscal están sin agua potable”. *CRHOY*, Costa Rica

Ruiz, A. y Campos N. (1994). “Análisis geomorfométrico aplicado al ordenamiento territorial: Caso Santo Domingo”. *Revista Geográfica de América Central N°30* Pág. 64-81. Escuela de Ciencias Geográficas. Universidad Nacional.

Sancho Elizondo, G. (2011). *El derecho fundamental de acceso al agua: El caso de Sardinal*. Tesis de grado para optar al título de Licenciado en Derecho. Universidad de Costa Rica.

Segura, O. (2002). “Agenda ambiental del Agua en Costa Rica”. *Revista Geográfica*. 40, 39-49.

Segura, O. Miranda, M. Astorga, Y. Solano J., Salas, F. Gutiérrez, M. Dierckxsens M. y Céspedes, M. (2004). *Agenda ambiental del agua en Costa Rica*. Heredia: EFUNA.

Sepúlveda, S., Castro, A. y Rojas, P. (1998). *Estimación del nivel de desarrollo sostenible: El caso de Costa Rica*. San José, Costa Rica: IICA.

Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SNET. (2005). *Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador. Componente Evaluación de Recursos Hídricos*. El Salvador.

Sibaja, M. (2013). *El crecimiento urbano y la producción hídrica en la cuenca del río Porrosatí, Provincia de Heredia, Costa Rica*. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Geografía. Universidad Nacional.

SIRH-CG. (SF). *Análisis de Oferta Hídrica*. Recuperado en octubre del 2014, desde: <http://www.infoagua-guayllabamba.ec/sirhcg/index.php/disponibilidad-de-agua/analisis-de-oferta-hidrica>

- Vahrson, W. y Romero, M. (1984). "Determinación de curvas de retención, densidad aparente, porosidad, distribución aproximada de los poros y agua disponible". *Avances en Geografía* 9, 125-136.
- Veas, N. (2011). *Gestión del agua para consumo humano en la microcuenca del río Purires, Costa Rica*. Tesis para optar por el grado de Magister Scientiae en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- VI Foro Mundial del Agua. (2012). *Derecho humano al agua y al saneamiento*. Foro del Agua de las Américas Grupo temático de Agua Potable y Saneamiento. Recuperado en agosto del 2015, desde: http://www.unesco.org.uy/phi/fileadmin/phi/infocus/Foro_Mundial_del_Agua_2012/12_DERECHO_HUMANO_AL_AGUA_Y_AL_SANEAMIENTO.pdf
- Villón M. (2004) *Hidrología*. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- WWAP, DHI Water Policy, PNUMA-DHI Centro para el Agua y el Medio Ambiente. (2009). *Integrated Water Resources Management in Action*. Recuperado en enero del 2015, desde: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>

Anexos

Anexo 1: Estaciones meteorológicas.

Precipitación (mm) Embalse la Garita											
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Promed.
ENE	6,9	1,3	22,5	21,5	2	8,1	0,3	1,6	1,8	6,77	7,277
FEB	2,4	20,6	84,6	4,6	1,1	3,84	33,2	0	3,3	44,52	19,816
MAR	60,3	56,07	2,7	5,6	29,7	3,1	50,2	2,3	117,6	4,31	33,188
ABR	66,9	36,8	201,1	109,5	26,8	46,8	158,2	22,6	21,3	56,07	74,607
MAY	204,7	123,9	358,2	59,9	251,9	287,3	385,2	437	313	297,35	271,845
JUN	256,8	234,5	418,2	204	198,1	107,2	413	227,3	385	252,42	269,652
JUL	141,8	420,9	119,3	140,4	145,5	224,5	119,1	190,5	132,7	338,64	197,334
AGO	243,4	269,6	288,5	190,3	125,8	223,7	169,4	223,8	252,7	178,41	216,561
SEP	448,9	342,7	278,2	326,9	284	322,9	473,3	228,3	352,8	314,09	337,209
OCT	269,9	431,7	287,5	213,2	411,7	401,8	226,3	157	453,5	182,73	303,533
NOV	362,5	181,9	120,5	53	93,2	99,9	121,3	127,3	68,4	166,54	139,454
DIC	3,2	59,6	22,3	18,4	32,4	10,9	270,7	250,3	12,2	109,61	78,961
Total	2067,7	2179,57	2203,6	1347,3	1602,2	1740,04	2420,2	1868	2114,3	1951,46	1949,44

Precipitación (mm) Salitrillos de Aserri											
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Promed.
ENE	14	2	5,7	5,5	17,5	23,4	1,8	1,2	34,5	9,82	11,542
FEB	17	4	32,1	15,1	1,5	7,5	0,8	10,9	0,5	23,96	11,336
MAR	14	13	14,1	0,6	5,3	0	25,1	16,5	28,2	1,65	11,845
ABR	169,5	2	143,1	63,1	3,9	1,4	100	14,6	9,8	41,23	54,863
MAY	192,1	196,3	409,3	292,342	146	180,7	334,9	414,9	104,5	273,39	254,4432
JUN	386,7	297,1	281,9	271,79	151,2	166,5	417,1	151,2	345,8	255,32	272,461
JUL	46	236,8	45,7	84	119,9	113,8	150,1	125	109,2	213,47	124,397
AGO	152,2	90,6	422,1	90,1	176,7	221,2	74,5	128,6	212,6	140,83	170,943
SEP	397,9	424,9	591	466,9	321,4	302	363,6	377,7	210,4	354,95	381,075
OCT	371	486,5	470	246,9	233,5	323,8	439,6	274,6	427,4	209,68	348,298
NOV	390	222,7	91,7	129,7	136,6	145,3	157,5	175,27	120,5	212,68	178,195
DIC	16	145,3	75,4	32,9	21,6	3,8	67,9	51	27,7	71,18	51,278
Total	2166,4	2121,2	2582,1	1698,932	1335,1	1489,4	2132,9	1741,47	1631,1	1808,16	1870,68

Precipitación (mm) Bajo Laguna											
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Promed.
ENE	25,5	1,63	1,6	3,92	8,84	5,2	0,6	0,3	4,1	33,7	8,539
FEB	4,1	0,5	0	3,56	0,68	4,1	8,7	0,6	0,62	32,6	5,546
MAR	18,7	62,34	69,7	1,76	4,6	6,8	6,1	18,01	120,6	37,6	34,621
ABR	58,5	21,6	150	40,56	25,9	42,6	56,7	68,3	16,4	40	52,056
MAY	140,4	133,7	293,8	311,63	234,7	223,2	347,2	454,4	307	238,5	268,453
JUN	284,3	180,3	406,4	303,31	181,8	234	362,9	264,4	503,7	341,1	306,221
JUL	92	630	194,3	143,4	278,4	126,9	270,4	193,9	209,4	314,5	245,32
AGO	118,2	277,6	283,8	448,2	189,3	210,77	312,5	268,1	226,4	174,1	250,897
SEP	209	435,7	677,6	563,1	255,3	71,9	464,1	348,9	491,5	353,4	387,05
OCT	496	683,2	274,6	225,3	519,8	383,4	301	461,9	512	426,2	428,34
NOV	249,4	183	85,8	165,2	105,6	71,9	228,4	84,8	67,6	235,5	147,72
DIC	3,1	72,1	0,3	39,9	14,8	2,5	66,2	6,4	15,3	75,4	29,6
Total	1699,2	2681,67	2437,9	2249,84	1819,72	1383,27	2424,8	2170,01	2474,62	2302,6	2164,36

Precipitación (mm) San Bernardo											
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Promed.
ENE	45,4	3,95	14,5	16,9	6,7	19,6	15,8	44,5	64,8	17,5	24,965
FEB	26,2	48,9	54,2	35,4	9,2	29,7	11,2	13,6	2	63,5	29,39
MAR	57,1	5	55,1	43,5	119	32,6	117,9	18,2	166,3	77,1	69,18
ABR	171,8	190,8	201,5	128,6	86,7	39	135,6	69,62	123	101,1	124,772
MAY	470,2	222,9	548,1	591,8	501,2	399,5	471,1	585,29	359,4	554	470,349
JUN	486,4	479,5	514,5	518,9	378,7	344,5	577,3	201,94	408,6	433,7	434,404
JUL	133,7	664,6	303,5	347	341	393,9	272,1	350,5	427,6	471,4	370,53
AGO	197,3	393,7	552,6	420,6	255,78	264,7	449,4	356,3	457,3	354,7	370,238
SEP	480,7	632	655,2	618,1	516,2	511,5	789,3	848,9	347,5	470	586,94
OCT	556	665,19	736,8	341,8	536,8	356,75	340,7	452	498,7	795,7	528,044
NOV	559	419,3	309,8	328,3	269	178,35	256,2	175,5	214,4	367,24	307,709
DIC	7,7	240,4	93,5	97,8	161,5	53,4	116,1	16,7	24,2	117,69	92,899
Total	3191,5	3966,24	4039,3	3488,7	3181,78	2623,5	3552,7	3133,05	3093,8	3823,63	3409,42

Aeropuerto Juan Santa María											
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Promed.
ENE	26,2	2,19	0,5	3,7	11,4	26,5	41,13	30,5	46,5	15,3	20,39
FEB	1,2	7	78,3	2	1,25	2,8	11	2,2	0,2	14,3	12,03
MAR	5,6	20,2	1,3	1,6	11,8	4,5	41,8	7,5	87,8	4,8	18,69
ABR	135,5	24,2	156,1	20,9	20	15	163	43,7	64,2	68,8	71,14
MAY	261,8	109,3	312,2	303,9	295,3	195,9	246,3	449,5	231,1	284,7	269
JUN	236,3	302	291,8	287,3	133,8	138,9	369,4	108,9	424,5	211,4	250,43
JUL	59,7	323	66,4	104	138,6	161,9	132	226,7	216,2	332,8	176,13
AGO	75	282,4	321,7	116,5	122,8	126,4	222,6	242,9	254,6	201,7	196,66
SEP	459,9	456,9	356,2	297,9	171,7	347,7	354,5	610,4	370,4	286,8	371,24
OCT	213,8	513,3	236,3	200,7	293	305,7	431,8	478,1	481,2	186,4	334,03
NOV	346,6	90,1	82,8	136	76,3	153,5	285,2	312,1	161,5	287,4	193,15
DIC	5,8	84,5	53,2	31,4	37,6	40,92	70,5	4,9	35,2	84,1	44,81
Total	1827,4	2215,09	1956,8	1505,9	1313,55	1519,72	2369,23	2517,4	2373,4	1978,5	1957,7

Alajuela											
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Promed.
ENE	127,88	4,41	0,7	2,3	11,9	13,4	59,78	28,4	10,7	25	28,45
FEB	77,95	32,78	24,1	2	1,33	2,8	5,6	3	0	30,9	18,05
MAR	106,4	134,6	4,5	0,5	2,1	1	52,9	12,5	54,3	1,8	37,06
ABR	353,62	44,11	221,2	51,8	11,1	20	157,1	24,8	42,4	75,8	100,19
MAY	472,11	106,5	344,1	286	239,4	173,7	428,1	346,5	170,3	358,2	292,49
JUN	547,29	341,3	240,9	249,1	84,7	103,3	472,2	80,7	223,2	221	256,37
JUL	337,49	257,8	159,1	107,8	66,4	106	227,3	166,3	143,7	358,8	193,07
AGO	456,07	278,1	269	137,8	124,4	138,7	172,2	172,9	179,4	154,1	208,27
SEP	841,23	492,6	340,7	278,5	219	256,3	470,4	279,4	429,5	269,9	387,75
OCT	587,53	578,2	242,9	226	310,5	249	373,2	211,6	388,8	243,5	341,12
NOV	772,31	370,9	120,4	86,7	58,4	113,6	188	131	125,4	301,1	226,78
DIC	119,51	94,8	46	27,4	55,9	22,3	91,7	2,8	37,8	62,6	56,08
Total	4799,39	2736,1	2013,6	1455,9	1185,13	1200,1	2698,48	1459,9	1805,5	2102,7	2145,68

Santo Domingo del Roble											
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Promed.
ENE	43,2	4,44	23,5	18,1	33	7,8	0,7	14,1	39	17,8	20,16
FEB	2	21	47,7	26,5	2,3	6,7	12,3	1,4	5,3	95,8	22,1
MAR	73,4	12	4,1	2	55	5,87	125,9	34,1	175,4	3,7	49,15
ABR	301,8	16	368,7	181,3	37,1	6,1	39,9	112,3	111,4	58	123,26
MAY	261,2	250,6	491,1	593,4	530,7	333,3	366,3	580,9	291,9	426,2	412,56
JUN	251,8	405,8	609,3	360,9	279,2	246,6	676	302,9	656,1	459,8	424,84
JUL	133,3	441,6	203,1	174,4	255,3	264	192,2	301,5	242,9	499,7	270,8
AGO	156,2	431,7	584,7	268,1	333,2	387,2	298,6	270,8	367,7	218,4	331,66
SEP	579,1	659,3	629,8	645,2	471,1	606,2	571,5	609,8	374,7	772,2	591,89
OCT	416,1	792,5	574,5	455,7	560,6	473	635,4	563	728,6	249,4	544,88
NOV	651,8	490,2	186,7	222,9	168,8	250,8	344,7	252,7	238,4	259,4	306,64
DIC	45,9	227,3	101,5	0,4	94	31,3	142,1	6,6	61,1	111,7	82,19
Total	2915,8	3752,44	3824,7	2948,9	2820,3	2618,87	3405,6	3050,1	3292,5	3172,1	3180,13

Anexo 2: Cuadros del balance hídrico.

Balance hídrico 1

Unidad Geomorfológica	Volcánica	Profundidad de raíces	15 cm
Zona climática	I-C	Agua disponible	0.0284
Uso del suelo	Pasto	LAD	4.26

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	7.91	12.68	33.90	63.33	270.15	287.94	221.33	233.73	362.13	365.94	143.59	54.28	2056.91
ETP	139.24	135.29	172.82	167.87	161.27	146.09	150.40	155.57	117.67	142.40	127.10	129.12	1744.84
P-ETP	-131.33	-122.61	-138.92	-104.54	108.88	141.85	70.93	78.16	244.46	223.54	16.49	-74.84	
PPA	-206.17	-328.78	-467.70	-572.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-74.84	
HSD	0.00	0.00	0.00	0.00	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	0.00	29.82
^HSD	0.00	0.00	0.00	0.00	4.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.26	8.52
ETA	7.91	12.68	33.90	63.33	161.27	146.09	150.40	155.57	117.67	142.40	127.10	58.54	1176.86
D	131.33	122.61	138.92	104.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	70.58	567.98
G	0.00	0.00	0.00	0.00	104.62	141.85	70.93	78.16	244.46	223.54	16.49	0.00	880.05

Balance hídrico 2

Unidad Geomorfológica	Volcánica	Profundidad de raíces	200 cm
Zona climática	I-C	Agua disponible	0.0284
Uso del suelo	Bosque	LAD	56.78

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	7.91	12.68	33.90	63.33	270.15	287.94	221.33	233.73	362.13	365.94	143.59	54.28	2056.91
ETP	139.24	135.29	172.82	167.87	161.27	146.09	150.40	155.57	117.67	142.40	127.10	129.12	1744.84
P-ETP	-131.33	-122.61	-138.92	-104.54	108.88	141.85	70.93	78.16	244.46	223.54	16.49	-74.84	
PPA	-206.17	-328.78	-467.70	-572.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-74.84	
HSD	1.40	0.15	0.01	0.00	56.78	56.78	56.78	56.78	56.78	56.78	56.78	14.80	413.83
~HSD	-13.40	-1.24	-0.14	-0.01	56.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-41.98	113.55
ETA	21.31	13.92	34.04	63.34	161.27	146.09	150.40	155.57	117.67	142.40	127.10	96.26	1229.38
D	117.93	121.37	138.78	104.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.86	515.46
G	0.00	0.00	0.00	0.00	52.10	141.85	70.93	78.16	244.46	223.54	16.49	0.00	827.53

Balance hídrico 3

Unidad Geomorfológica Volcánica Profundidad de raíces 40 cm
 Zona climática I-C Agua disponible 0.0284
 Uso del suelo Cultivo LAD 11.36

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	7.91	12.68	33.90	63.33	270.15	287.94	221.33	233.73	362.13	365.94	143.59	54.28	2056.91
ETP	139.24	135.29	172.82	167.87	161.27	146.09	150.40	155.57	117.67	142.40	127.10	129.12	1744.84
P-ETP	-131.33	-122.61	-138.92	-104.54	108.88	141.85	70.93	78.16	244.46	223.54	16.49	-74.84	
PPA	-206.17	-328.78	-467.70	-572.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-74.84	
HSD	0.00	0.00	0.01	0.00	11.36	11.36	11.36	11.36	11.36	11.36	11.36	0.00	79.53
~HSD	0.00	0.00	0.01	-0.01	11.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-11.36	22.74
ETA	7.91	12.68	33.91	63.34	161.27	146.09	150.40	155.57	117.67	142.40	127.10	65.64	1183.98
D	131.33	122.61	138.91	104.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	63.48	560.86
G	0.00	0.00	0.00	0.00	97.52	141.85	70.93	78.16	244.46	223.54	16.49	0.00	872.95

Balance hídrico 4

Unidad Geomorfológica Volcánica Profundidad de raíces 15 cm
 Zona climática II-D Agua disponible 0.0284
 Uso del suelo Pasto LAD 4.26

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	11.54	11.64	11.85	54.86	254.44	272.46	124.40	170.94	381.08	348.30	178.20	51.28	1870.99
ETP	116.90	113.60	146.40	143.60	138.50	126.00	130.40	132.40	125.20	122.30	108.50	109.20	1513.00
P-ETP	-105.36	-101.96	-134.55	-88.74	115.94	146.46	-6.00	38.54	255.88	226.00	69.70	-57.92	
PPA	-163.28	-265.24	-399.79	-488.53	0.00	0.00	-6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-57.92	
HSD	0.00	0.00	0.00	0.00	4.26	4.26	1.01	4.26	4.26	4.26	4.26	0.00	26.57
~HSD	0.00	0.00	0.00	0.00	4.26	0.00	-3.25	3.25	0.00	0.00	0.00	-4.26	15.02
ETA	11.54	11.64	11.85	54.86	138.50	126.00	127.65	132.40	125.20	122.30	108.50	55.54	1025.98
D	105.36	101.96	134.55	88.74	0.00	0.00	2.75	0.00	0.00	0.00	0.00	53.66	487.02
G	0.00	0.00	0.00	0.00	111.68	146.46	0.00	35.29	255.88	226.00	69.70	0.00	845.01

Balance hídrico 5

Unidad Geomorfológica Volcánica Profundidad de raíces 200 cm
 Zona climática II-D Agua disponible 0.0284
 Uso del suelo Bosque LAD 56.78

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	11.54	11.64	11.85	54.86	254.44	272.46	124.40	170.94	381.08	348.30	178.20	51.28	1870.99
ETP	116.90	113.60	146.40	143.60	138.50	126.00	130.40	132.40	125.20	122.30	108.50	109.20	1513.00
P-ETP	-105.36	-101.96	-134.55	-88.74	115.94	146.46	-6.00	38.54	255.88	226.00	69.70	-57.92	
PPA	-163.28	-265.24	-399.79	-488.53	0.00	0.00	-6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-57.92	
HSD	3.02	0.48	0.04	0.01	56.78	56.78	50.98	56.78	56.78	56.78	56.78	20.06	415.28
^HSD	-17.04	-2.54	-0.44	-0.03	56.77	0.00	-5.80	5.80	0.00	0.00	0.00	-36.72	125.14
ETA	28.58	14.18	12.29	54.89	138.50	126.00	130.20	132.40	125.20	122.30	108.50	88.00	1081.04
D	88.32	99.42	134.11	88.71	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	21.20	431.96
G	0.00	0.00	0.00	0.00	59.17	146.46	0.00	32.74	255.88	226.00	69.70	0.00	789.95

Balance hídrico 6

Unidad Geomorfológica Volcánica Profundidad de raíces 40 cm
 Zona climática II-D Agua disponible 0.0284
 Uso del suelo Cultivo LAD 11.36

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	11.54	11.64	11.85	54.86	254.44	272.46	124.40	170.94	381.08	348.30	178.20	51.28	1870.99
ETP	116.90	113.60	146.40	143.60	138.50	126.00	130.40	132.40	125.20	122.30	108.50	109.20	1513.00
P-ETP	-105.36	-101.96	-134.55	-88.74	115.94	146.46	-6.00	38.54	255.88	226.00	69.70	-57.92	
PPA	-163.28	-265.24	-399.79	-488.53	0.00	0.00	-6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-57.92	
HSD	0.00	0.00	0.00	0.00	11.36	11.36	11.36	11.36	11.36	11.36	11.36	0.06	79.58
~HSD	-0.06	0.00	0.00	0.00	11.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-11.30	22.72
ETA	11.60	11.64	11.85	54.86	138.50	126.00	124.40	132.40	125.20	122.30	108.50	62.58	1029.83
D	105.30	101.96	134.55	88.74	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.62	483.17
G	0.00	0.00	0.00	0.00	104.58	146.46	0.00	38.54	255.88	226.00	69.70	0.00	841.16

Balance hídrico 7

Unidad Geomorfológica Volcánica Profundidad de raíces 15 cm
 Zona climática III-F Agua disponible 0.0284
 Uso del suelo Pasto LAD 4.26

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	24.97	29.39	69.18	124.77	470.35	434.40	370.53	370.24	586.94	528.04	307.71	92.90	3409.42
ETP	117.10	113.80	146.60	144.20	138.60	126.20	130.80	132.80	125.60	122.70	108.70	109.40	1516.50
P-ETP	-92.13	-84.41	-77.42	-19.43	331.75	308.20	239.73	237.44	461.34	405.34	199.01	-16.50	
PPA	-108.63	-193.04	-270.46	-289.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-16.50	
HSD	0.00	0.00	0.00	0.00	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	0.08	29.90
^HSD	-0.08	0.00	0.00	0.00	4.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.18	8.52
ETA	25.05	29.39	69.18	124.77	138.60	126.20	130.80	132.80	125.60	122.70	108.70	97.08	1230.87
D	92.05	84.41	77.42	19.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.32	285.63
G	0.00	0.00	0.00	0.00	327.49	308.20	239.73	237.44	461.34	405.34	199.01	0.00	2178.55

Balance hídrico 8

Unidad Geomorfológica	Volcánica	Profundidad de raíces	200 cm
Zona climática	III-F	Agua disponible	0.0284
Uso del suelo	Bosque	LAD	56.78

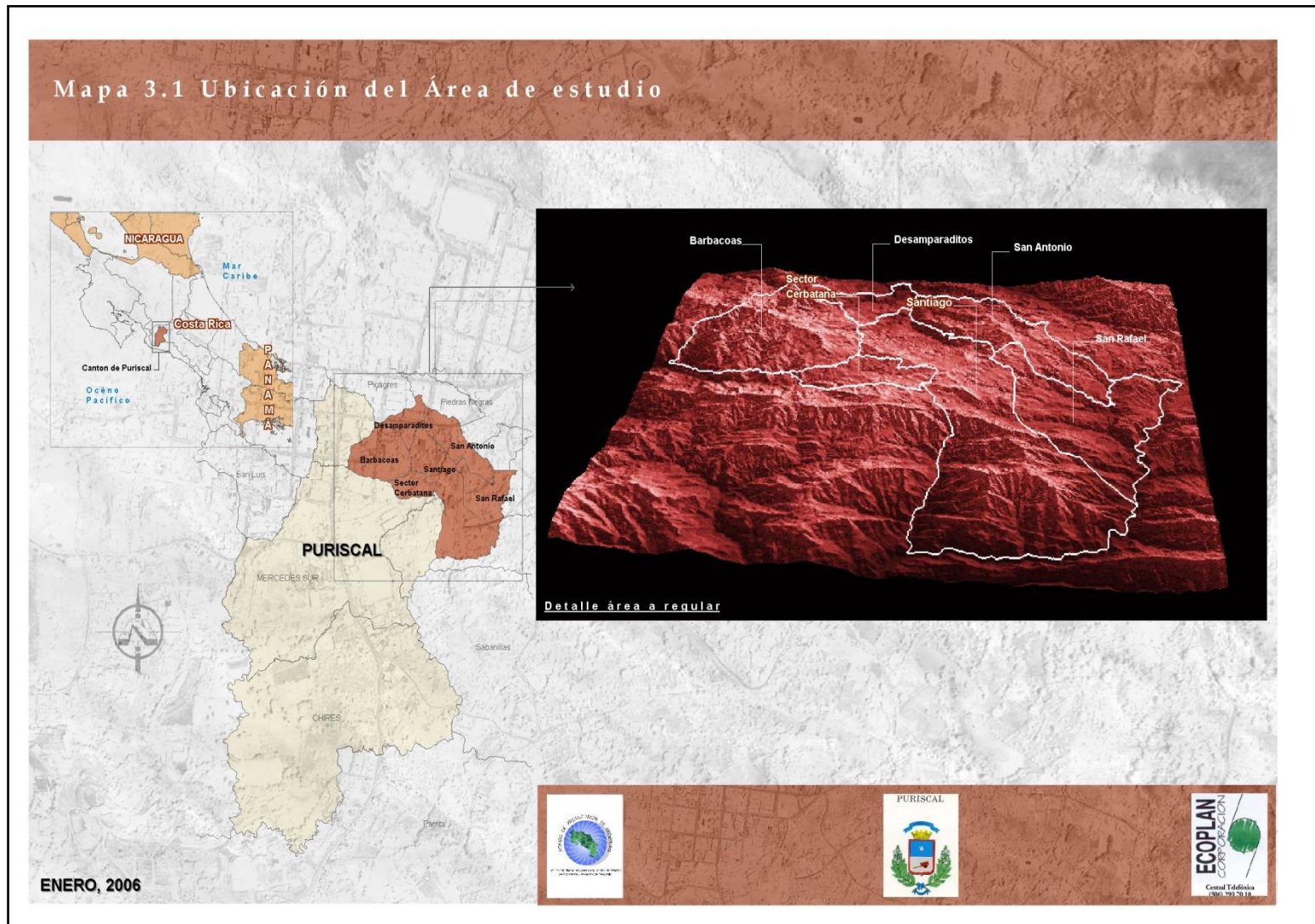
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	24.97	29.39	69.18	124.77	470.35	434.40	370.53	370.24	586.94	528.04	307.71	92.90	3409.42
ETP	117.10	113.80	146.60	144.20	138.60	126.20	130.80	132.80	125.60	122.70	108.70	109.40	1516.50
P-ETP	-92.13	-84.41	-77.42	-19.43	331.75	308.20	239.73	237.44	461.34	405.34	199.01	-16.50	
PPA	-108.63	-193.04	-270.46	-289.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-16.50	
HSD	8.07	1.77	0.44	0.31	56.78	56.78	56.78	56.78	56.78	56.78	56.78	42.22	450.26
^HSD	-34.15	-6.30	-1.33	-0.13	56.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-14.56	112.94
ETA	59.12	35.69	70.51	124.90	138.60	126.20	130.80	132.80	125.60	122.70	108.70	107.46	1283.08
D	57.98	78.11	76.09	19.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.94	233.42
G	0.00	0.00	0.00	0.00	275.28	308.20	239.73	237.44	461.34	405.34	199.01	0.00	2126.34

Balance hídrico 9

Unidad Geomorfológica Volcánica Profundidad de raíces 40 cm
 Zona climática III-F Agua disponible 0.0284
 Uso del suelo Cultivo LAD 11.36

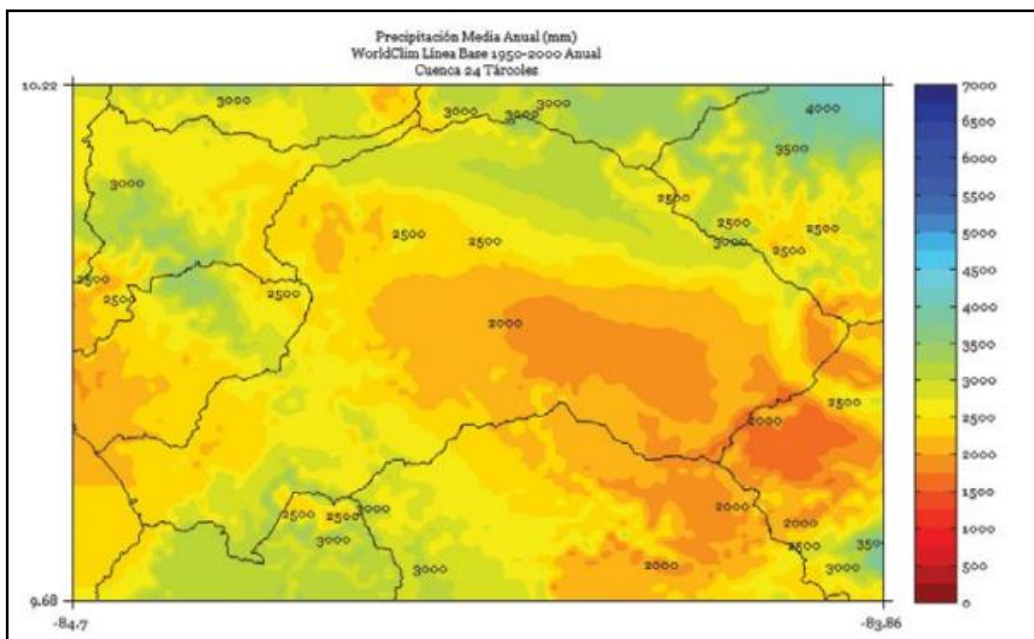
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	24.97	29.39	69.18	124.77	470.35	434.40	370.53	370.24	586.94	528.04	307.71	92.90	3409.42
ETP	117.10	113.80	146.60	144.20	138.60	126.20	130.80	132.80	125.60	122.70	108.70	109.40	1516.50
P-ETP	-92.13	-84.41	-77.42	-19.43	331.75	308.20	239.73	237.44	461.34	405.34	199.01	-16.50	
PPA	-108.63	-193.04	-270.46	-289.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-16.50	
HSD	0.00	0.00	0.00	0.00	11.36	11.36	11.36	11.36	11.36	11.36	11.36	2.58	82.10
^HSD	-2.58	0.00	0.00	0.00	11.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-8.78	22.72
ETA	27.55	29.39	69.18	124.77	138.60	126.20	130.80	132.80	125.60	122.70	108.70	101.68	1237.97
D	89.55	84.41	77.42	19.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.72	278.53
G	0.00	0.00	0.00	0.00	320.39	308.20	239.73	237.44	461.34	405.34	199.01	0.00	2171.45

Anexo 3: Mapa. Propuesta Plan Regulador Municipalidad de Puriscal.



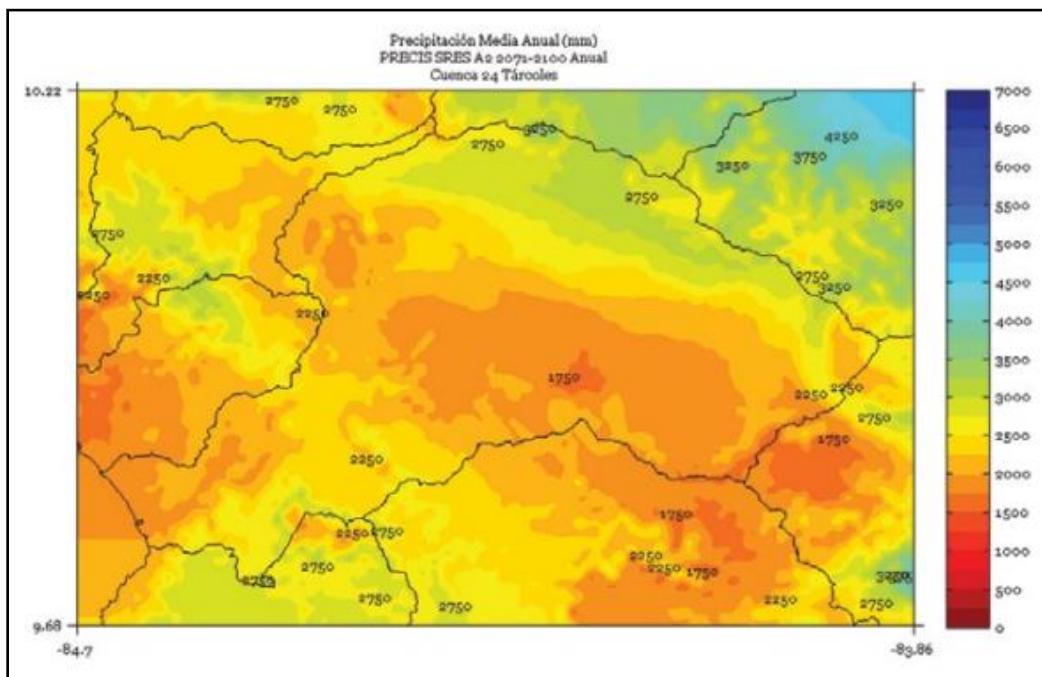
Anexo 4: Escenarios de cambio climático.

Cuenca Tárcoles: Precipitación media anual (mm), período 1950-2000.



Fuente: MINAET, IMN y PNUD. 2012.

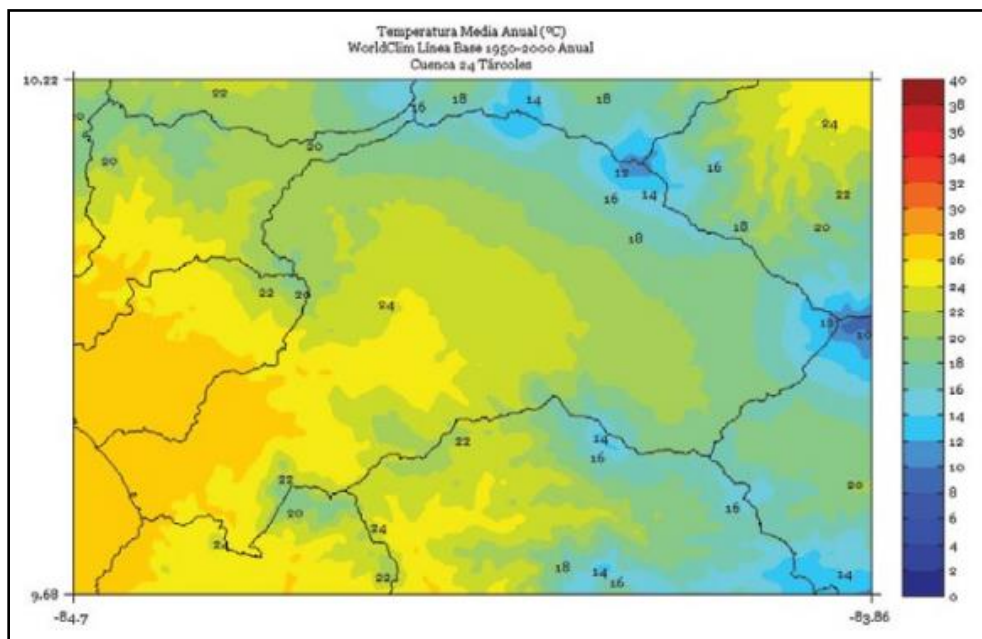
Cuenca Tárcoles: Precipitación media anual (mm), período 2071-2100. Simulado por modelo PRECIS.



Fuente: MINAET, IMN y PNUD. 2012.

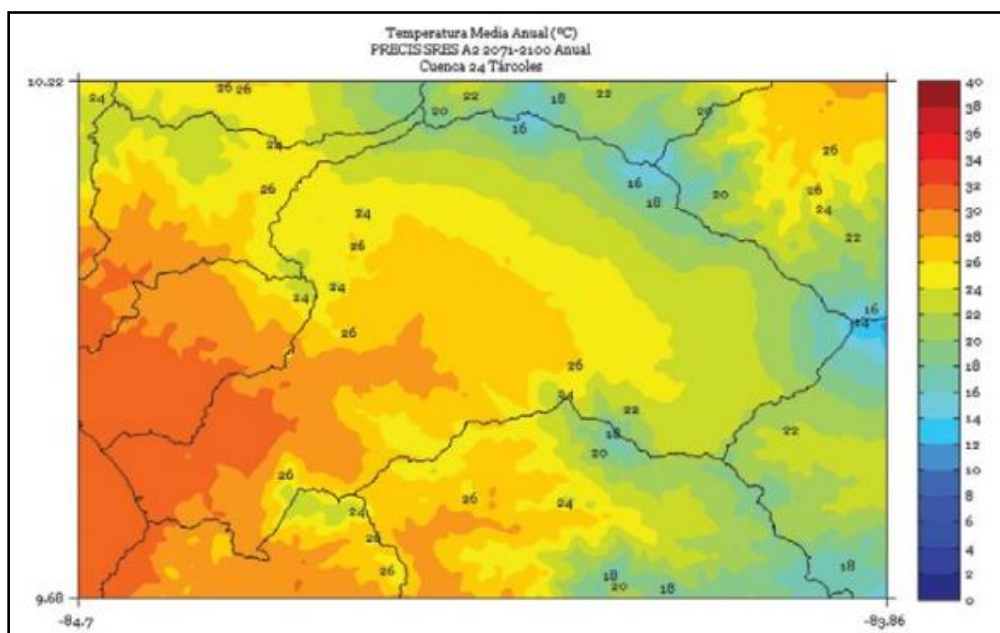
Anexo 5: Escenarios de cambio climático.

Cuenca Tárcoles: Temperatura media anual (°C), período 1950-2000.



Fuente: MINAET, IMN y PNUD. 2012.

Cuenca Tárcoles: Temperatura media anual (°C), período 2071-2100. Simulado por modelo PRECIS.



Fuente: MINAET, IMN y PNUD. 2012.