



**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA**

**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO BÁSICO DEL CANTÓN DE
GARABITO, SECTOR NOR-OESTE, PROVINCIA PUNTARENAS,
COSTA RICA, AMÉRICA CENTRAL**

SENARA-DIGH-UI-INF-090-2022

**REALIZADO POR:
Geól. María Magdalena Monge Cordero
M.Sc. Michelle Marcela Arias Fernández**

Diciembre, 2022



Elaborado por:

Licda. María Magdalena Monge Cordero

Geóloga Unidad de Investigación Hidrogeológica

M.Sc. Michelle Arias Fernández

Geóloga Unidad de Investigación Hidrogeológica

Revisado por:

M.Sc. Alonso Alfaro Martínez

Coordinador Unidad de Investigación Hidrogeológica

Tabla de contenido

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Justificación	8
1.3 Objetivo general.....	8
1.4 Objetivos específicos.....	8
1.5 Ubicación administrativa-geográfica del área de estudio.....	9
1.6 Período de análisis	9
1.7 Metodología de trabajo	10
1.8 Antecedentes de Regulaciones Cantonales	10
1.8.1 Plan Regulador	10
1.8.2 Índices de Fragilidad Ambiental	11
1.9 Antecedentes Geológicos.....	11
2. GEOLOGÍA REGIONAL Y TECTÓNICA.....	14
2.1 Marco geológico regional	14
2.1.1 Complejo de Nicoya (basamento regional).....	14
2.1.2 Costa Rica Central: Herradura, Turrubares y Candelaria	16
2.1.3 Formación Tulín.....	17
2.1.4 Formación Fila de Cal	18
2.1.5 Formación Punta Carballo	18
2.1.6 Formación Grifo Alto	19
2.1.7 Formación Avalancha Ardiente o Formación Tiribí	20
2.1.8 Formación Tivives.....	20
2.1.9 Formación Orotina.....	20
2.1.10 Formación Esparta.....	20
2.1.11 Depósitos Recientes del Cuaternario	21
2.2 Tectónica Regional	22
2.2.1 La Fosa Mesoamericana	22
2.2.2 La zona Ante Arco.....	24
2.3 Sismicidad y neotectónica en el ante arco	25
2.3.1 Antearco central	25

2.3.2 Antearco sur	26
2.3.3 Las cuencas ante arco.....	28
3. HIDROLOGÍA Y ÁREAS PROTEGIDAS	29
3.1 Cuencas hidrográficas de la zona de estudio.....	29
3.2 Clima y estaciones meteorológicas.....	30
3.3 Aforos en los cauces superficiales (ríos y quebradas).....	32
3.4 Áreas protegidas en el sector Noroeste de Garabito	33
4. ELEMENTOS HIDROGEOLOGÍCOS	35
4.1 Información de pozos según la Base de datos de SENARA.....	35
4.1.1 Análisis general de los pozos	35
4.1.2 Usos y caudales.....	39
4.2 Información de pozos según la base de datos del AyA.....	40
4.3 Información de las concesiones de pozos según base de datos del SINIGIRH (DA-MINAE)	41
4.4 Información de manantiales, bases de datos del SENARA, SINIGIRH—DA y AyA.....	43
4.5 Zonas de protección de pozos y manantiales	43
5. ASPECTOS HIDROGEOLOGÍCOS	45
5.1 Insumos para el Balance Hídrico de Suelos	45
5.2 Insumos para análisis de Vulnerabilidad.....	45
5.3 Insumos para la Zonificación hidrogeológica	45
6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y PROPUESTA DE ESTUDIO HIDROGEOLOGÍCO DETALLADO	46
6.1 Información de las bases de datos	46
6.2 Geología de la zona de estudio	46
6.3 Información meteorológica.....	46
6.4 Insumos para el balance hídrico de suelos.....	47
6.5 Regulaciones locales.....	47
7. REFERENCIAS.....	56
ANEXOS.....	61

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.	9
Figura 2. Estudios básicos hidrogeológicos existentes.	13
Figura 3. Mapa geológico regional (Tomado de Denyer & Alvarado, 2007 y consulta a Denyer et al., 2003).	22
Figura 4. Marco tectónico de Costa Rica, tomado de Montero (2001).	24
Figura 5. Contexto morfotectónico de la zona de estudio. Antearco (2.4 Herradura, 2.5 Quepos), cuencas antearco (3.4 Parrita - Quepos) y paleocuenas antearco (4.4 Esparza y 4.5 Térraba), recuperado de Denyer et al., 2003.	25
Figura 6. Ubicación de las fallas Barranca (FB), Jesús MARía (FJM), Tárcoles (FTA), Quepos (FQ) y otras, parte del Cinturón Deformado del centro de Costa Rica (CDCCR). Nótese la ubicación de la Falla Longitudinal de Costa Rica (FL) (Montero, 2000b).	27
Figura 7. Cuencas hidrográficas que engloban el área de estudio.	29
Figura 8. Ubicación de estaciones meteorológicas en los alrededores al área de estudio.	31
Figura 9. Ubicación de puntos de aforo en Garabito NO.	33
Figura 10. Categorías de manejo en la zona de estudio (SINAC, 2022).	34
Figura 11. Ubicación y distribución de los pozos registrados en la base de datos de SENARA (2022).	36
Figura 12. Sobreposición de los pozos con litología y prueba de bombeo en el mapa geológico.	37
Figura 13. Distribución de las concesiones de pozos y manantiales (Fuentes AyA y SINIGIRH, 2022).	41
Figura 14. Zona de protección del pozo Los Mangos (Fuente AyA, 2022).	44

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1a. Datos de precipitación, Estación Punta Leona (86007). 1b. Datos de precipitación Estación Agropecuario de Orotina (84017).	32
Gráfico 2. Histograma con la profundidad de los pozos, Garabito NO.	38
Gráfico 3. Rangos del nivel del agua subterránea en los pozos de Garabito NO.	39
Gráfico 4. Tipos de concesiones otorgadas.	42
Gráficos 5a. Muestra el estado de cada concesión. 5b. Caudales concesionados según el tipo de uso.	42
Gráficos 6a. Estado de los expedientes de manantiales. 6b. Caudales totales de extracción según tipo de uso.	43

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estudios desarrollados en la zona de estudio.	12
Cuadro 2. Características de regiones y subregiones climáticas.	30
Cuadro 3. Estaciones meteorológicas del IMN.	30
Cuadro 4. Inventario de los pozos localizados en Garabito NO.	35

Cuadro 5. Análisis de los usos y caudales registrados en la base de datos de SENARA.....	39
Cuadro 6. Estudios e insumos propuestos.....	49

RESUMEN

La presente investigación se genera dentro de los objetivos estratégicos institucionales (POI - 2022), en atención a la importancia de los acuíferos de la Vertiente Pacífica, para conocer el estado actual del recurso hídrico y definir los vacíos existentes para investigar el recurso hídrico subterráneo, como parte del deber institucional de SENARA.

La zona de estudio se localiza en la costa Pacífica de Costa Rica, se extiende desde el sur-oeste de Orotina y Turubares hasta la desembocadura del río Grande de Tárcoles, abarcando parte de los cantones de Garabito, Orotina y Turubares, para un área de 212 km².

A partir del análisis de la información disponible, se determina que la zona de estudio forma parte de la cuenca del río Grande de Tárcoles, así como de otras microcuencas del Golfo de Nicoya y Pacífico Central. Presenta estructuras y rasgos morfotectónicos importantes, asociados con la interacción convergente de las placas tectónicas Coco y Caribe. La zona en general está compuesta por rocas ígneas pre-Campanianas (Complejo de Nicoya) hasta el Neógeno, con los Depósitos Aluviales Recientes.

Dentro del área de interés, se localiza el Parque Nacional Carara, con una extensión de 5,8 Ha, la cual fue creada con el fin de proteger la calidad y cantidad del recurso hídrico y la vida silvestre de la zona.

El suministro de agua potable para abastecimiento poblacional es a través de pozos (perforados) de producción, administrados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y ASADAS. En la zona de estudio, Garabito Noroeste, se localizan 181 pozos, 21 manantiales, 132 concesiones de agua y un registro de 489 aforos (entre puntuales y diferenciales).

La información hidrogeológica disponible es muy escasa, prácticamente no se cuenta con los insumos básicos y necesarios para generar un estudio hidrogeológico de mayor detalle, que permita caracterizar el recurso hídrico subterráneo, y a la vez establecer los lineamientos adecuados y oportunos para un aprovechamiento racional y sostenible, por lo que se presenta una propuesta que considera la obtención de insumos básicos y la elaboración de los estudios asociados, para poder caracterizar el recurso hidrogeológico de la zona.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

El presente informe constituye el estudio base para definir la información hidrogeológica existente, con relación a los acuíferos desarrollados en el sector Noroeste del cantón de Garabito, a partir de las microcuencas de la quebrada Bonita, los ríos Carara, Camaronal y la parte baja del río Grande de Tárcos, en la provincia de Puntarenas y Alajuela. El análisis a realizar permitirá establecer la necesidad de estudios más específicos que se requieren llevar a cabo para la caracterización hidrogeológica a detalle de los acuíferos, que considere las zonas de recarga y su regulación, así como la vulnerabilidad a la contaminación, los cuales son aspectos fundamentales para garantizar el aprovechamiento sostenible a través del tiempo.

1.2 Propósito del informe

Recopilar y presentar la información existente en la zona, y realizar una evaluación de la calidad de los insumos con los que se cuenta actualmente, para definir las zonas donde se debe generar más información, y proponer los análisis y estudios que se deben llevar a cabo para poder caracterizar el recurso hídrico del sector.

1.3 Objetivo general

Realizar el estudio hidrogeológico básico del sector Noroeste del cantón de Garabito a partir de la información hidrogeológica disponible, para la posterior elaboración del estudio hidrogeológico específico de los acuíferos presentes.

1.4 Objetivos específicos

- Determinar la geología superficial regional de la zona de estudio.
- Recopilar la información hidrológica e hidrogeológica existente en la zona de estudio.
- Recabar la información existente de pruebas de infiltración y análisis de suelos.
- Compilar la información generada por las estaciones meteorológicas existentes dentro del área de estudio y alrededores.

1.5 Ubicación administrativa-geográfica del área de estudio

La zona de estudio se ubica entre las coordenadas aproximadas CRTM05 423 234 - 441 739 E y 1 072 618 - 1 095 168 N, tiene un área de 212 km² (Figura 1), abarcando parte de los cantones de Garabito, Orotina y Turrubares. Se extiende desde el oeste de Coyolar hasta Camaronal en el sector Sur, abarcando Piedras de Fuego y Tronco Negro, hasta alcanzar la línea de costa con el océano Pacífico.

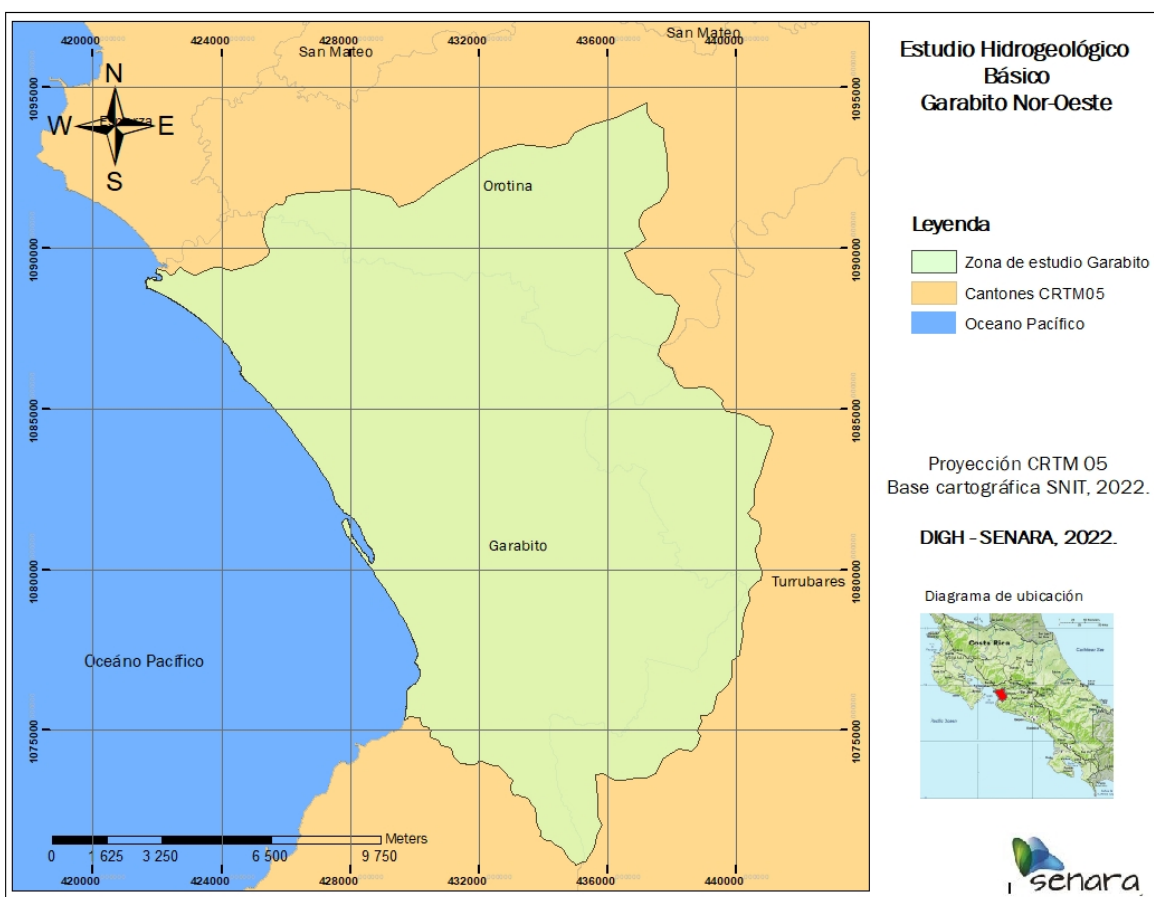


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

1.6 Período de análisis

El presente estudio básico incluye la información existente, anterior al año 2022, realizándose exclusivamente la recopilación de información de textos y mapas que involucren la zona de interés.

1.7 Metodología de trabajo

La metodología de trabajo para realizar el presente informe se detalla en las siguientes actividades:

- Recopilación de información bibliográfica de la zona, entre ella información geológica, estructural, climática e hidrogeológica.
- Revisión de bases de datos de pozos y manantiales en el SENARA, la Dirección de Aguas del MINAET y del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), para obtener datos de los acuíferos, usos y aprovechamientos del recurso hídrico.
- Recopilación de información climatológica de la base de datos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN).
- Recopilación de la información de aforos en ríos y quebradas que se han realizado en el SENARA y otros estudios.
- Elaboración del Informe Estudio Básico Hidrogeológico.

1.8 Antecedentes de Regulaciones Cantonales

1.8.1 Plan Regulador

De acuerdo con la información disponible por parte de la Municipalidad de Garabito y el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, el Plan Regulador General del Cantón de Garabito inició desde el año 2011 y a la fecha se encuentra en proceso de elaboración. A su vez, los planes reguladores costeros de la totalidad del cantón (zonas bajo régimen de Zona Marítima Terrestre), están en proceso de elaboración.

En el caso del cantón de Orotina, PRODUS elaboró reglamentos, IFAS y documentos asociados al Plan Regulador, en el 2019, sin embargo, estos no han sido aprobados y no se consideran documentos oficiales, por lo que solo funcionan de referencia (Comunicación escrita de Juan Paulo González Calderón, 2022).

Para el cantón de Turrubares, este no cuenta con Plan Regulador cantonal ni de ningún distrito urbano y, por consiguiente, tampoco tienen IFAS. En el año 2007 se inició, con recursos no reembolsables del MIDEPLAN, la contratación de una empresa que realizó una propuesta de Plan Regulador, el cual no contenía la contratación de la variable ambiental IFAS (Comunicación escrita de David Alvarado Gamboa, 2022).

1.8.2 Índices de Fragilidad Ambiental

Los Índices de Fragilidad Ambiental de Playa Tárcoles y Playa Guacalillo, se encuentran aprobados por la Secretaría Técnica Nacional Ambiental, proceso que se desarrolló bajo el convenio con el Programa de Regularización del Catastro y Registro (www.uecatastro.org).

Actualmente, la Municipalidad está trabajando en la adaptación de las propuestas entregadas en el 2007, a los nuevos reglamentos dictados por el Instituto Costarricense de Turismo (ICT), de manera que se puedan integrar tanto las correcciones que los vecinos han indicado a la municipalidad, como también aquellas que eran necesarias, dados los nuevos reglamentos.

El proceso de evaluación ambiental correspondiente al cantón de Garabito, cuenta con el número de expediente EAE-08-2011-SETENA (EAE-PRCZMT-GARABITO) en la Secretaría Técnica Nacional Ambiental; este contiene la totalidad del Análisis Ambiental realizado para la costa de Garabito, así como el Reglamento de Desarrollo Sostenible, el cual forma parte del proceso de aprobación del Plan Regulador.

Como se mencionó anteriormente, para el cantón de Orotina se elaboraron IFAS por parte de PRODUS en el año 2017, sin embargo, estos no han sido aprobados y no son documentos oficiales, por lo que solo se toman como referencia (Comunicación escrita de Juan Paulo González Calderón, 2022).

En el cantón de Turrubares no se cuenta con IFAS.

1.9 Antecedentes Geológicos

La recopilación de información contempló estudios regionales realizados a nivel país o en parte de los cantones de Garabito, Orotina y Turrubares, así como estudios específicos desarrollados para zonas localizadas dentro de los límites de la zona de estudio, por parte de instituciones como Universidad de Costa Rica, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Universidad de Costa Rica, entre otros.

De manera muy general, para el área de estudio y alrededores, se cuenta con la información de tres mapas geológicos a diferentes escalas, con un carácter regional. A su vez, varios documentos, producto de consultorías realizadas a SENARA por Arredondo (2003) y Agudelo (2005), constituyen diagnósticos preliminares a considerar, por cuanto

caracterizan de manera general los potenciales acuíferos, así como aquellos aspectos relevantes que requieren de atención y de un mayor detalle para la caracterización hidrogeológica de los acuíferos del cantón de Garabito y alrededores.

En el cuadro 1, destacan los trabajos realizados por contenido, área de cobertura y relevancia de la información según temas.

Cuadro 1. Estudios desarrollados en la zona de estudio.

Autor(es) y año	Área de cobertura	Temas de interés
Tournon, J & Alvarado, G., 1997	Regional (todo el país)	Mapa Geológico de Costa Rica (escala 1:500 000).
SENARA, 2003.	Hojas cartográficas Barranca, Chapernal y Miramar.	Caracterización preliminar de los acuíferos desarrollados en las formaciones Punta Carballo y Depósitos Recientes. Alerta sobre la necesidad de investigar la vulnerabilidad de dichos acuíferos.
SENARA, 2005.	Hojas cartográficas Herradura, Tárcoles y Candelaria.	Caracterización preliminar de los acuíferos porosos y fisurados desarrollados en los depósitos sedimentarios y volcánicos de la hoja Tárcoles. Alerta sobre la necesidad de investigar la vulnerabilidad de dichos acuíferos.
Denyer, P & Alvarado, G., 2007.	Regional (todo el país)	Mapa Geológico de Costa Rica (escala 1:400 000).

A partir del análisis de la información, se determina que los estudios realizados por SENARA (2003) y SENARA (2005), son básicos y solo incluye la información existente en ese entonces en las bases de datos de la Dirección de Agua, AyA y SENARA. No obstante, las recomendaciones emitidas en ambos informes deben considerarse cuando se formulen los alcances de un estudio hidrogeológico detallado para la zona de Garabito Noroeste.

En la figura 2, se muestra el área de cobertura de los estudios básicos e hidrogeológicos detallados realizados por SENARA (2003 y 2005).

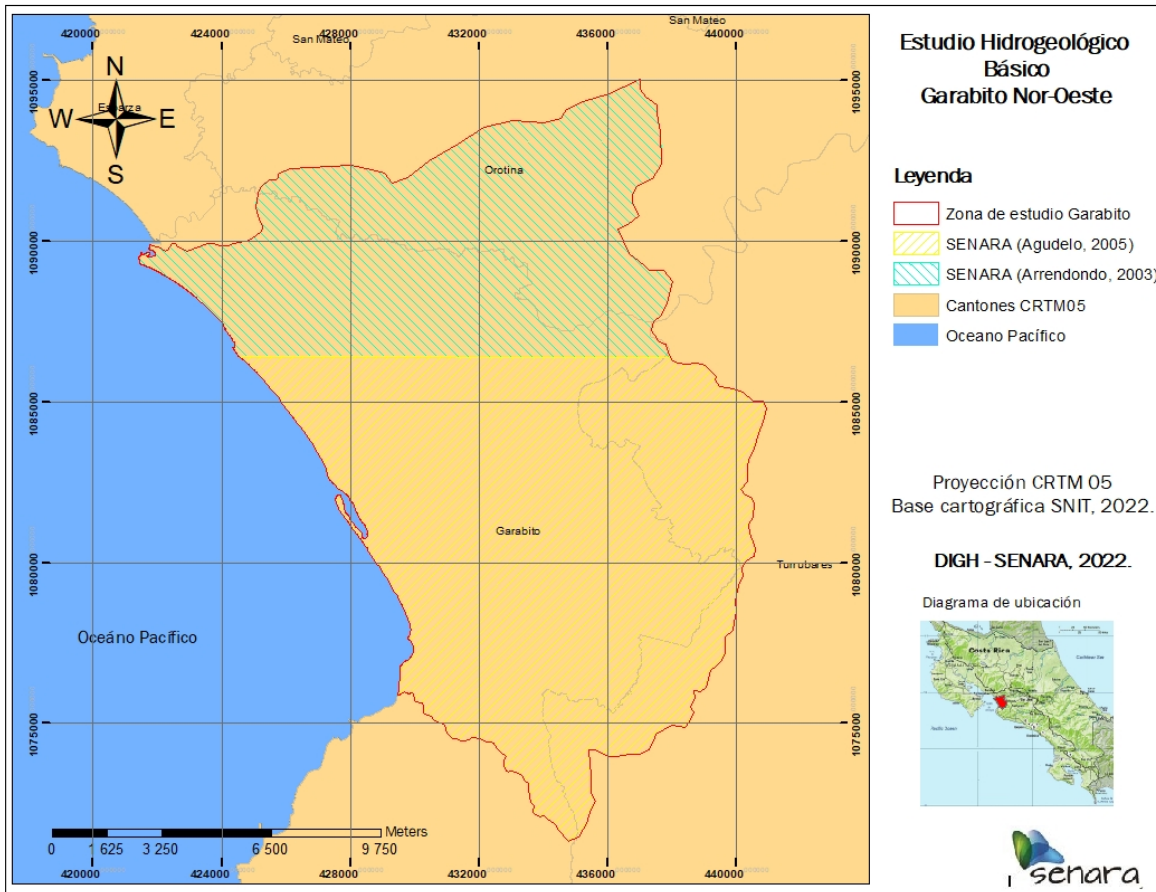


Figura 2. Estudios básicos hidrogeológicos existentes.

2. GEOLOGÍA REGIONAL Y TECTÓNICA

2.1 Marco geológico regional

La zona de estudio se localiza en la zona Ante-arco de Costa Rica, en las cuencas sedimentarias de Caldera - Parrita, donde las formaciones geológicas sedimentarias y volcánicas comprenden desde el Cretácico, para las rocas más antiguas del Complejo de Nicoya, hasta el Holoceno, con la acumulación de los Depósitos Cuaternarios Aluviales y la formación de los Manglares y Esteros con toda su dinámica marina - fluvial reciente.

Las formaciones geológicas regionales se basaron principalmente en el Mapa Geológico de Costa Rica a escala 1:400 000 (Denyer & Alvarado, 2007). A continuación, se describen las formaciones de roca regionales y en la figura 3 se muestra su distribución espacial.

2.1.1 Complejo de Nicoya (basamento regional)

Kussmaul (2000), menciona que típicamente se trata de rocas de fondos marinos, que posteriormente fueron cortadas por rocas ígneas relacionadas con puntos calientes, y levantadas hacia la superficie mediante procesos de origen tectónico. Entre los materiales ígneos predominan los basaltos toleíticos en forma de coladas masivas y almohadillas. Se incluyen dentro de esta unidad, sedimentos silíceos de origen pelágico (radiolaritas) con alto contenido de hematita. Kussmaul (2000) señala que los basaltos hacia el sur del país disminuyen en edad con respecto a los localizados en la Península de Nicoya, siendo así que una muestra en Jacó fue datada en 84 Ma (Santoniano) y otra en Quepos en 64 Ma (Paleoceno).

Como parte del Bloque Herradura, se encuentran lavas de plataforma oceánica (Plateau Oceánico Caribe) asociados al Complejo de Nicoya, así como sedimentos pelágicos silíceos, fuertemente tectonizados o incluidos dentro de los basaltos, con pobre contenido microfossilífero (Arias, 2003).

En los alrededores de la zona de estudio (Quepos y Golfo Dulce), Tournon & Alvarado (1997) señalan la presencia de basaltos toleíticos en almohadilla o masivos, que anteriormente fueron atribuidos al Complejo de Nicoya pero que, mediante datos

paleontológicos, se ha determinado que presentan edades más recientes. Estos mismos autores mencionan la presencia de calizas pelágicas intercaladas con las almohadillas basálticas, aunque en general son más escasas hacia las zonas de Golfito. Dataciones K/Ar sugieren edades del Cretácico Tardío, Paleoceno y del Eoceno (Berrangé et al., 1989).

Denyer & Alvarado (2007) mantienen la misma cartografía de basaltos toleíticos en los alrededores de Sierpe y Golfito. Sin embargo, para la zona de Golfito se ubican en un rango temporal más antiguo (140 – 88 Ma), mientras que en las cercanías de Sierpe el rango temporal se ubica entre los 70 – 40 Ma, asociado a islas oceánicas acrecionadas (Fm. Tulín y Bloque Rincón).

Alvarado & Gans (2012) resumen la estratigrafía ígnea de Costa Rica en 5 grandes grupos, ubicando hacia las zonas de Quepos y la Península de Osa, Complejos ígneos básicos / ultrabásicos oceánicos (ofiolitas) con un rango de edad del Campaniano – Eoceno (83 – 41 Ma).

Alvarado & Gans (2012) señalan que la historia geológica es compleja en el caso de las rocas máficas de origen submarino, localizadas en la zona del Complejo ígneo Golfito - Osa – Burica. Denyer et al. (2006) interpretan estas litologías como fragmentos acrecionales de un plateau o parte del CLIP, pero que son diferentes al Complejo de Nicoya, ya que presentan cuerpos básicos intruyendo o intercalados, deformando sedimentos del Campaniano Tardío hasta por lo menos el Eoceno (Berrangé & Thorpe, 1988; Berrangé et al, 1989; Di Marco, 1994), además de la presencia de basaltos vesiculares, picritas y gabros pegmatíticos (Berrangé & Thorpe, 1988; Berrangé et al, 1989), y abundantes vetillas de cuarzo en contraposición con Nicoya, enriquecidas en Au (Berrangé & Thorpe, 1988).

Según Alvarado & Gans (2012), aunque Berrangé & Thorpe (1988) concluyen que en general estas rocas ígneas se formaron en un ambiente de cuenca tras-arco, sí dejan en claro su cercanía o afinidad con una zona de subducción. Más estudios de detalles son requeridos, pero en términos generales se interpretan como fragmentos de montes submarinos, posiblemente parte de una cordillera asísmica del CLIP, también con presencia de rocas con afinidad N-MORB, E-MORB y OIB (Berrangé & Thorpe, 1998; Hauff et al., 2000; Hoernle et al., 2002; Buchs et al., 2009; Denyer & Gazel, 2009; Tournon & Bellon, 2009).

Según dataciones radiométricas y paleontológicas, la ubicación y el contexto geológico (Tournon, 1984; Di Marco et al., 1995; Hauff et al., 2000; Hoernle et al., 2002; Tournon & Bellon, 2009; Buchs et al., 2009, 2010), la cronología se puede resumir en:

- a. Un magmatismo tipo CLIP pre-Campaniano, en equivalencia con el Complejo de Nicoya, que conformaría el basamento.
- b. Posiblemente un magmatismo de arco de islas incipiente sobre este basamento, de edad del Campaniano Tardío a Maastrichtiano (75-70 Ma).
- c. Un magmatismo de dorsal oceánica con montes submarinos aislados (tipo CLIP, MORB, N-MORB, E-MORB y OIB), del Campaniano al Eoceno Medio (80-76; 64-60; 56,7-54,7 y 47,5-43,5 Ma), que son paulatinamente acrecionados al margen convergente, e incluso desmembrados (mélange) junto con secuencias sedimentarias entre el Paleoceno y el Mioceno.

2.1.2 Costa Rica Central: Herradura, Turrubares y Candelaria

Para el sector del Pacífico Central de Costa Rica, coladas masivas, en almohadillas y brechas afloran desde el nivel del mar (Herradura) hasta alturas de unos 1500 metros (Cerro Turrubares). El espesor de este conjunto basáltico es entonces considerable pero no se conoce con precisión por falta de datos estructurales. Es conocida desde hace tiempo la importancia de este volcanismo submarino (Dóndoli et al., 1998; en Tournon y Alvarado, 1997), pero los datos geoquímicos conciernen solamente a unos afloramientos costeros en la zona de Herradura.

Los basaltos tienen textura micro-ofítica o microlítica con olivino siempre pseudomorfizado, clinopiroxeno, plagioclasa y titanomagnetita. Se destacan basaltos picríticos y basaltos hialoporfíricos con fenocristales de plagioclasa y olivino, y escasos microgabros hasta gabros, intruyendo lavas almohadilladas (Tournon y Alvarado, 1997).

Las alternancias de coladas masivas y en almohadillas tienen generalmente buzamientos débiles, pero se han notado buzamientos subverticales. Las formaciones piroclásticas comprenden hialoclastitas. Delgadas intercalaciones sedimentarias entre las coladas y sedimentos inter-almohadillas son bastante frecuentes. Se trata de radiolaritas y más a menudo, calizas pelágicas (Tournon y Alvarado, 1997).

En la zona de Herradura, Jacó y hasta unos 5 km al noreste de Parrita, Arias (1998) propone que el Complejo de Nicoya sea dividido en dos unidades: los basaltos POC y la formación Tulín, la cual está constituida por brechas hialoclásticas, sedimentos epiclásticos, basaltos, piroclastos, gabros y cumulitas de olivino.

2.1.3 Formación Tulín

Está constituida por brechas hialoclásticas, sedimentos epiclásticos, basaltos, piroclastos, gabros y cumulitas de olivino (Arias, 2003).

Alfaro y Barrantes (2002) cartografiaron al sur del Bloque Herradura, una unidad ígnea constituida por basaltos (masivos, columnares y en almohadillas vesiculares), dioritas y gabros. Asociados con esta unidad, se encuentran pequeñas intrusiones de monzodioritas y depósitos epiclásticos y piroclásticos (ignimbritas) del Paleógeno, las cuales están sobreyacentes e intercaladas con los basaltos.

Los basaltos representan más del 95% de la litología de la Formación Tulín, presentándose como coladas en almohadillas muy bien preservadas, vesiculares, con matriz microcristalina, constituidos por plagioclasas, clinopiroxenos, opacos y olivinos (Arias, 2003).

Los gabros presentan textura porfirítica y dolerítica, se encuentra una mayor concentración en el Cerro San Jerónimo. También se identifican intrusivos de ortocumulados de olivino, gabrocumulados de olivino, siendo rocas oscuras y resistentes, y se presentan en forma de bloques redondeados o subredondeados, consecuencia de la meteorización esferoidal, con diámetros inferiores al metro (Arias, 2003).

En todo el bloque Herradura se encuentran depósitos piroclásticos, intercalados con los basaltos superiores de la formación y se consideran asociados con las últimas manifestaciones volcánicas de esta. Corresponden a brechas basálticas, principalmente monomícticas, bien consolidadas, constituidas por clastos centimétricos, angulares a subangulares, flotando en una matriz de cenizas finas. Algunas brechas del sur contienen clastos de basaltos vesiculares y xenolitos de calizas de la Formación Golfito, recrystalizadas térmicamente por metamorfismo de contacto (Arias, 2003).

El POC (Plateau Oceánico Caribe), en este caso el Complejo de Nicoya, corresponde con las rocas más antiguas y constituyen el basamento de la Formación Tulín. El contacto entre los sedimentos silíceos y el POC es de tipo tectónico, mientras que con las calizas no fue posible observar ningún contacto (Arias, 2003).

2.1.4 Formación Fila de Cal

Constituida principalmente por calizas con macroforaminíferos, cuya depositación ocurrió durante el Eoceno Medio - Superior, en condiciones ambientales estables, con aguas turbulentas, pero sin turbidez, cálidas y oxigenadas, debido a una disminución en la actividad volcánica durante la época. Los foraminíferos (especialmente Nummulites) y las algas fueron los principales constructores, no obstante, se presentan otros grupos ecológicos funcionales como corales, hidrozoos y gasterópodos (Linkimer & Aguilar, 2000).

Tournon & Alvarado (1997) señalan que la extensión de plataformas carbonatadas durante el Eoceno Superior es un rasgo importante en la historia geológica de Costa Rica, sobreyaciendo en discordancia a la sedimentación detrítica del Paleoceno - Eoceno Medio o directamente sobre el basamento basáltico. Mencionan, además, que en la Fila Costeña aparece en una sucesión de escamas tectónicas, sin que se conozca su basamento. Mora (1979) indica que estas calizas presentan un espesor que varía de 100 a 300 metros.

2.1.5 Formación Punta Carballo

Denominada por Mac Donald (1920) como “serie de arenisca caliza de Punta Carballo”, aflorante en el acantilado de Roca Carballo, en la costa oriental del golfo de Nicoya, y entre Esparza y Barranca. Madrigal (1970) divide la formación en dos miembros: el inferior denominado Mata de Limón y el superior Roca Carballo. Fischer (1981) cambia la posición de los miembros indicando que el Miembro Roca Carballo subyace al Miembro Mata de Limón. Posteriormente se define el Miembro Caletas (Campaña Geológica, 1985; Laurito, 1988) y Sprechmann et al. (1994), proponen elevar el Miembro de Mata de Limón al rango de formación. Recientes trabajos realizados en la Escuela de Geología han encontrado que esta formación está compuesta por más

miembros (Paires e Icacó) y que las relaciones estratigráficas entre las rocas depositadas en ambiente marino y continental son complejas.

Esta formación está compuesta principalmente por rocas siliciclásticas (areniscas finas, medias y gruesas, lutitas, conglomerados y brechas). Con base en los moluscos y foraminíferos se ha determinado una edad Mioceno (Inferior - Medio y Superior) (Linkimer & Aguilar, 2000).

En la zona se identifican los siguientes miembros:

- Miembro Mata de Limón: corresponde con rocas volcaniclásticas: brechas conglomerádicas (*debris flows* y *pumice flows*), areniscas y limolitas con un típico color rojo y/o morado, a veces verdoso, cuando está enriquecido en vidrio volcánico pumíceo con intercalaciones de tobetas blancuzcas y algunos conglomerados verdosos. Afloramientos aislados de ignimbritas (algunas con estructuras prismáticas aún reconocibles) y tobas con lapilli acrecional también están presentes, así como xilópalos (Denyer et al, 2003).
- Miembro Roca Carballo: Una secuencia de lutitas, areniscas, conglomerados, brechas y tobas. Las lutitas son gris verdosas, silíceas y con laminación paralela. Las areniscas son gris azuladas con estratificación centimétrica. Los conglomerados son verdosos, con una estratificación decimétrica a métrica, constituido por fragmentos de lava centimétricos (Campo II, 1997). Kuijpers (1979) indica que existe laminación paralela, estratificación cruzada y ondulada, así como bioturbación.

2.1.6 Formación Grifo Alto

Denyer y Arias (1991) dan este nombre a rocas volcánicas andesíticas y piroclásticas que cubrieron las secuencias sedimentarias y volcánicas post-basculamiento. Corresponden con lavas andesíticas, a veces con augita y/o hipersteno, de color gris y en ocasiones rojizas. También se pueden encontrar basaltos y dacitas.

Se describen también flujos piroclásticos con bloques lávicos y escoriáceos decimétricos, angulares, con matriz lodosa y depositada en caliente (“cocinada”)

(Denyer y Arias, 1991). Según Marshall e Idleman (1999), su edad varía entre 5,5 y 1,9 Ma.

2.1.7 Formación Avalancha Ardiente o Formación Tiribí

Kussmaul (1988) describe una capa de pómez de 3 m de espesor máximo, seguido por depósitos de flujos piroclásticos de 45 m de espesor en promedio, que corresponden a diferentes facies de un solo flujo. Estos depósitos se originan por una gran explosión volcánica.

La parte inferior presenta fiames de vidrio negro dentro de una matriz cinerítica gris claro, y que por lo general está soldada. La parte central del flujo se compone de bombas negras escoriáceas y pocos fragmentos líticos en una matriz cinerítica gris, poco soldada. En la parte superior se encuentra una capa de ceniza gris pardusco (Kussmaul, 2000).

2.1.8 Formación Tivives

Consiste en una mesobrecha volcánica de clastos andesíticos e ignimbríticos (30% de clastos), métricos a centimétricos, flotando en una matriz lítica cristalina (70% de matriz) compuesta por detrito volcánico con plagioclasas, piríboles, cuarzo, micas, clastos lávicos, fiames y pómez. El 60% de los clastos son de lava andesítica sin deformación, y el otro 40% se conforma de tobas, brechas de lapilli pumícea y acrecional, brechas líticas y lavas, todas con deformación (Campo II, 1997). Su edad es de entre 1,7 y 1,12 Ma, según Marshall et al (2003).

2.1.9 Formación Orotina

Según Pérez (2000), corresponden a ignimbritas color gris celeste con fiames de obsidiana, bombas escoriáceas negras centimétricas, pómez amarillentas alargadas, con matriz tobácea fina, que contiene plagioclasa y piroxenos. Marshall (2000) determina una edad de alrededor de 400 000 años.

2.1.10 Formación Esparta

Se compone de clastos (30%) centimétricos, angulosos a subredondeados, con un máximo de 50 cm, compuestos por lavas andesíticas porfiríticas con megacristales

de plagioclasa, o bien con gran cantidad de piroxenos, lavas vesiculares, cuarzo lechoso y tobas. Algunos de los clastos presentan alteración hidrotermal. Los clastos flotan en una matriz arcillosa (70%) de color café rojizo (Denyer et al, 2003).

Según Madrigal (1970), se distinguen 2 niveles de terrazas, una de 200 m de altura y la otra, el nivel 2, con alrededor de 100 m de altura. Las edades pueden estar entre 100 000 y 200 000 años para el nivel 1, y entre 60 000 y 125 000 años para el nivel 2 (Marshall, 2000).

2.1.11 Depósitos Recientes del Cuaternario

Constituidos principalmente por aluviones, coluvios y arenas de playa. En general se localizan en zonas deprimidas y planas, de disminución de gradiente y de baja elevación cerca de la costa Pacífica. Son materiales inconsolidados con presencia de gravas, arenas o arcillas que han sido generadas a partir de la erosión de materiales preexistentes. Los aluviones acarreados por ríos o quebradas progresivamente van rellenando diversos sectores del área, y a su vez, las corrientes marinas se encargan de transportar y depositar en las playas los materiales que logran llegar al mar. Al pie de los acantilados costeros o cerros del área, es posible localizar coluvios generados a partir de la caída y acumulación de materiales erosionados.

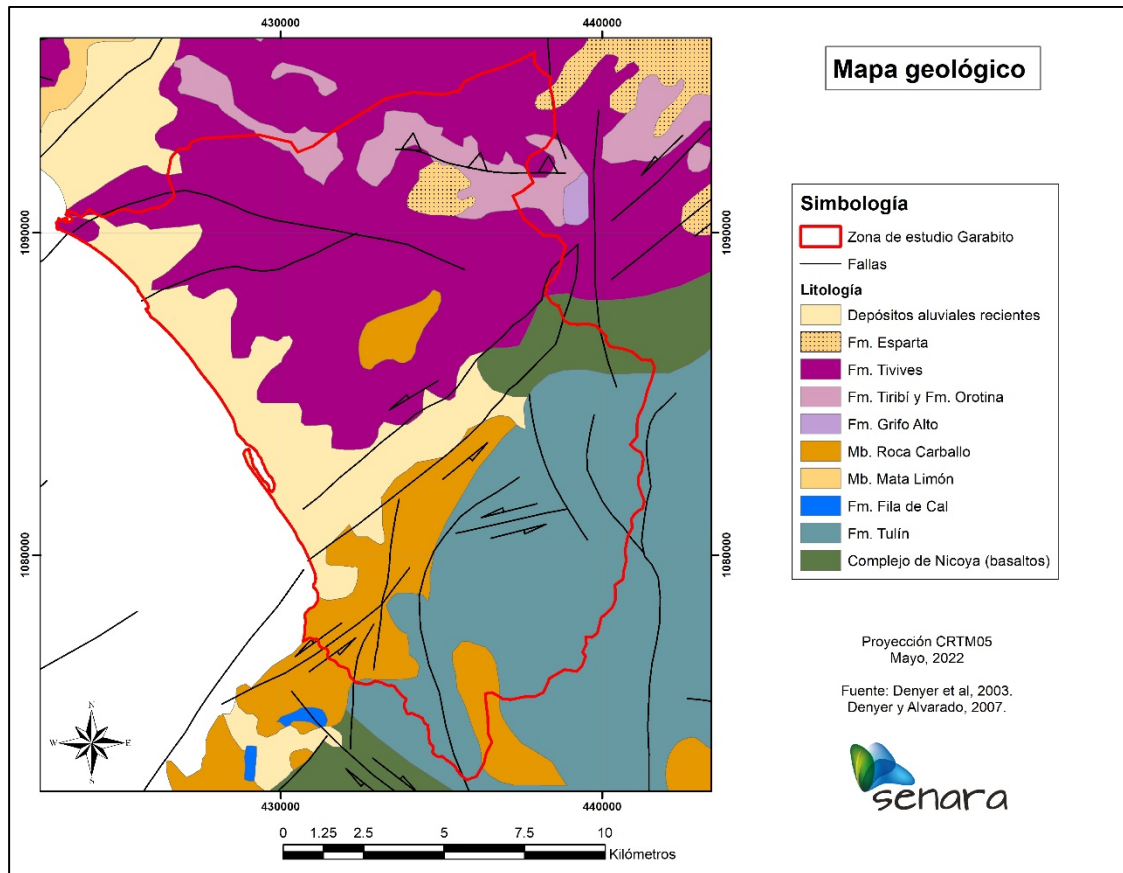


Figura 3. Mapa geológico regional (Tomado de Denyer & Alvarado, 2007 y consulta a Denyer et al., 2003).

2.2 Tectónica Regional

La zona de estudio se localiza en el litoral pacífico de Costa Rica, en el cual destaca la presencia de varias estructuras y rasgos morfotectónicos importantes asociados con la interacción convergente de las placas tectónicas Coco y Caribe. A continuación, se presentan los principales rasgos morfotectónicos asociados con el área de estudio.

2.2.1 La Fosa Mesoamericana

Corresponde con una depresión alargada de rumbo NW que va paralela a la costa Pacífica y marca el inicio de la zona de subducción en la que la placa de Coco, que se mueve a una velocidad absoluta de 6,5 cm/año, se dobla para iniciar su proceso de subducción bajo la placa Caribe. En Costa Rica la profundidad del piso de esta fosa es cercana a 4,5 km bajo el nivel de mar frente a la península de Papagayo y va

disminuyendo hacia el SE hasta ubicarse a unos 2 km de profundidad en la zona de Osa y Burica (Montero, 2000 a).

Montero (2000 a) menciona que la placa de Coco acarrea varios levantamientos submarinos que eventualmente colisionan y se subducen en la Fosa Mesoamericana, tal es el caso de los levantamientos de Fisher al SE de la Península de Nicoya y el "Plateau de Quepos", ambos se subducen frente a Herradura y Quepos respectivamente. Adicionalmente, el levantamiento oceánico del Coco representa uno de los rasgos más importantes y corresponde con una serie de montañas submarinas que se levantan entre 1 y 2 km por encima del nivel del fondo oceánico, subduciéndose frente a las costas de la península de Osa al sur de Costa Rica (Figura 4).

La subducción del levantamiento oceánico del Coco origina un proceso tectónico, tipo colisión, caracterizado por una fuerte interacción con el sector continental, que tiene importantes implicaciones neotectónicas y sismológicas (Montero, 2000 b). Collins, Coates, Jackson & Obando (1995) consideran que la colisión del levantamiento del Coco, con en el sur del país, se originó hace unos 3,6 Ma, lo cual provocó la terminación del vulcanismo en la actual Cordillera de Talamanca hace unos 2 Ma, aspecto que ha generado fuertes levantamientos en la zona, así como el incremento en la erosión, procesos que continúan hasta el día de hoy.

Montero (2000a) menciona que, como consecuencia de la colisión del levantamiento del Coco con el sur del país y la colisión de Panamá con la Placa Suramericana, hace unos 4 a 5 Ma, generó la formación de la microplaca Panamá como un bloque tectónico que se desprendió de la placa Caribe y que tiene un movimiento relativo al este-noreste con respecto a esta última (Figura 4).

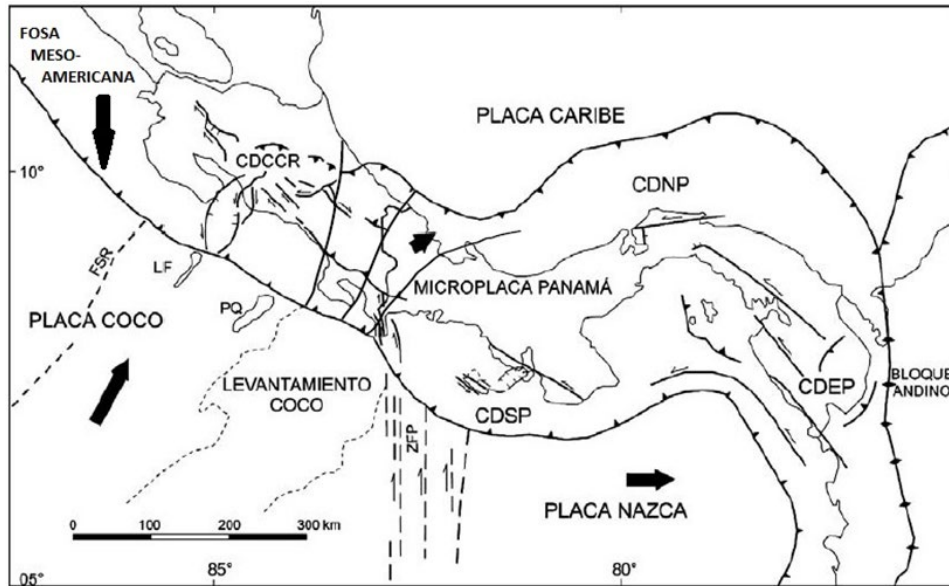


Figura 4. Marco tectónico de Costa Rica, tomado de Montero (2001).

2.2.2 La zona Ante Arco

Corresponde con la porción intermedia entre la fosa y el arco, se encuentra constituido por rocas ígneas cubiertas por sedimentos (Denyer, Montero y Alvarado, 2003). En esta zona, a partir de la fosa, el piso oceánico se comienza a levantar hacia el continente con una inclinación de 4 a 5 grados en lo que se denomina la ladera interna de la fosa, hasta alcanzar una altura máxima conocida como el quiebre de la ladera interna (Montero, 2000 a).

Entre el extremo SE de la Península de Nicoya y el borde NW de la de Osa, correspondiendo precisamente con el área de estudio (Figura 5), Montero (2000 a) menciona que esta zona de quiebre se ubica debajo del nivel del mar.

El antearco, en las zonas de Herradura y Quepos, incluye las rocas ígneas más antiguas de Costa Rica, Montero (2000 a) indica que en apariencia corresponden con el mismo Complejo de Nicoya y que fueron transportadas tectónicamente a su ubicación actual (Figura 5). Además, menciona que, actualmente ciertos sectores del antearco están levantándose, incluso sobre el nivel del mar, como es el caso de Herradura, proponiéndose como principales mecanismos para explicar este ascenso, los procesos de acreción o erosión tectónica en la zona de subducción.

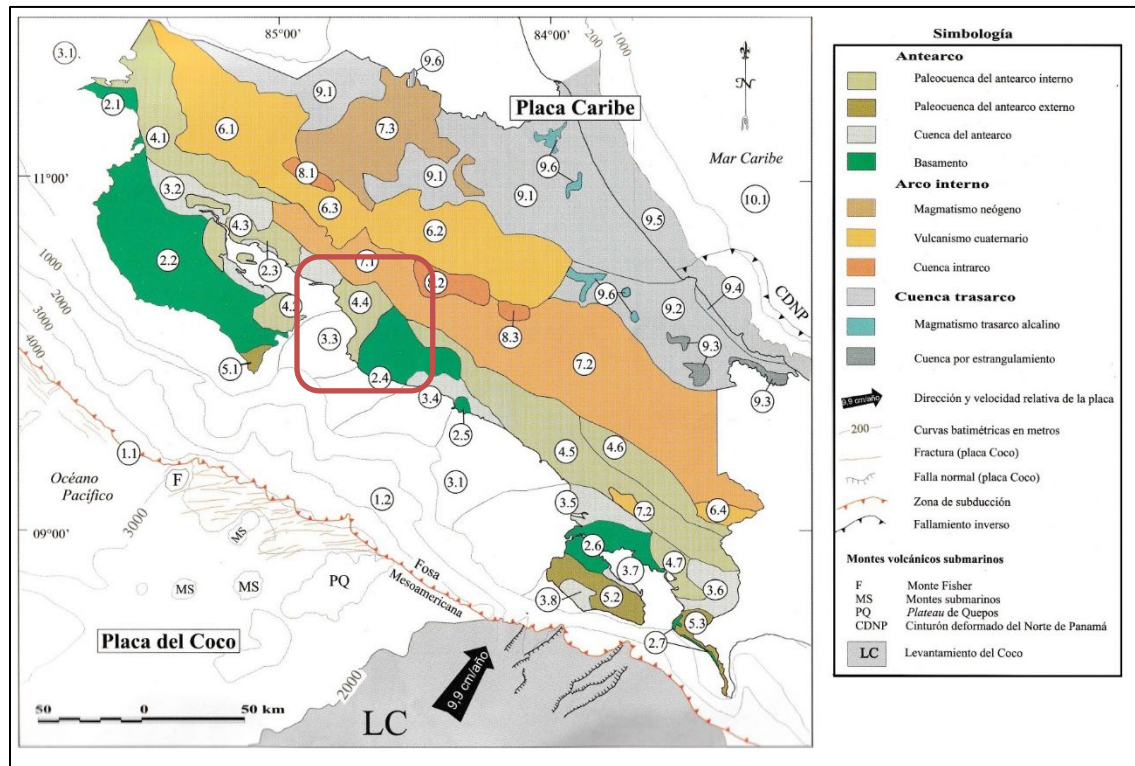


Figura 5. Contexto morfotectónico de la zona de estudio. Antearco (2.4 Herradura, 2.5 Quepos), cuencas antearco (3.4 Parrita - Quepos) y paleocuenas antearco (4.4 Esparza y 4.5 Térraba), recuperado de Denyer et al., 2003.

2.3 Sismicidad y neotectónica en el ante arco

2.3.1 Antearco central

Entre Barranca y Dominical existe una serie de fallas neotectónicas de rumbo noreste a norte, que suelen ser transversales a la costa y que limitan una serie de bloques con diferentes tasas de levantamiento. Destacan fallas como Barranca (FB), Jesús María (FJM), Tárcoles (FTA), Herradura (FHE), Delicias (FDE), Tulín (FTU), Parrita (FPAR), Paquita (FPQ) y Quepos (FQ) (Montero, 2000 b) (Figura 5).

Montero (2001), considera que estas fallas forman parte del Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR), que constituye un sistema de fallas corticales que actúan como el límite oeste de la microplaca de Panamá con la placa Caribe y que atraviesa la región central del país. Incorpora fallas de diversos desplazamientos, pero en general son predominantemente de desplazamiento normal en el antearco (sector pacífico). De igual forma, Montero (2001) considera que la deformación neotectónica

que ocurre en el CDCCR se debe a los esfuerzos generados a partir de la colisión del levantamiento del Coco con el sureste de Costa Rica (Figura 5).

Otras fallas de rumbo noroeste, como la Candelaria y la Longitudinal, han generado levantamientos recientes en la Fila Costeña, aunque con una tasa menor que en la zona de Osa y Burica. Para la falla Candelaria, Rodríguez (2017) determinó un potencial sísmico de hasta 7,3 M_w .

2.3.2 Antearco sur

Destaca en este sector la presencia de la Falla Longitudinal de Costa Rica (FL). Como se ha mencionado, la subducción de la cordillera submarina del Coco ha provocado diversos efectos geológicos, tectónicos y sismológicos a partir de las fuerzas compresivas generadas. Con el inicio de esta subducción se originaron fuertes levantamientos tectónicos, se dio fin al vulcanismo en Talamanca y además, se han originado una serie de fallas neotectónicas entre el antearco y el trasarco del este de Costa Rica (Montero, 2000 b).

En el sector frontal de la Fila Costeña se ubica la denominada Falla Longitudinal que Denyer et al (2003) describen como una falla activa, por lo menos en el sector sureste y a lo largo de la cual han ocurrido buena parte de los movimientos de levantamiento e inclinación de capas hacia el noreste, que han afectado esta fila montañosa durante el Cuaternario (Figura 6).

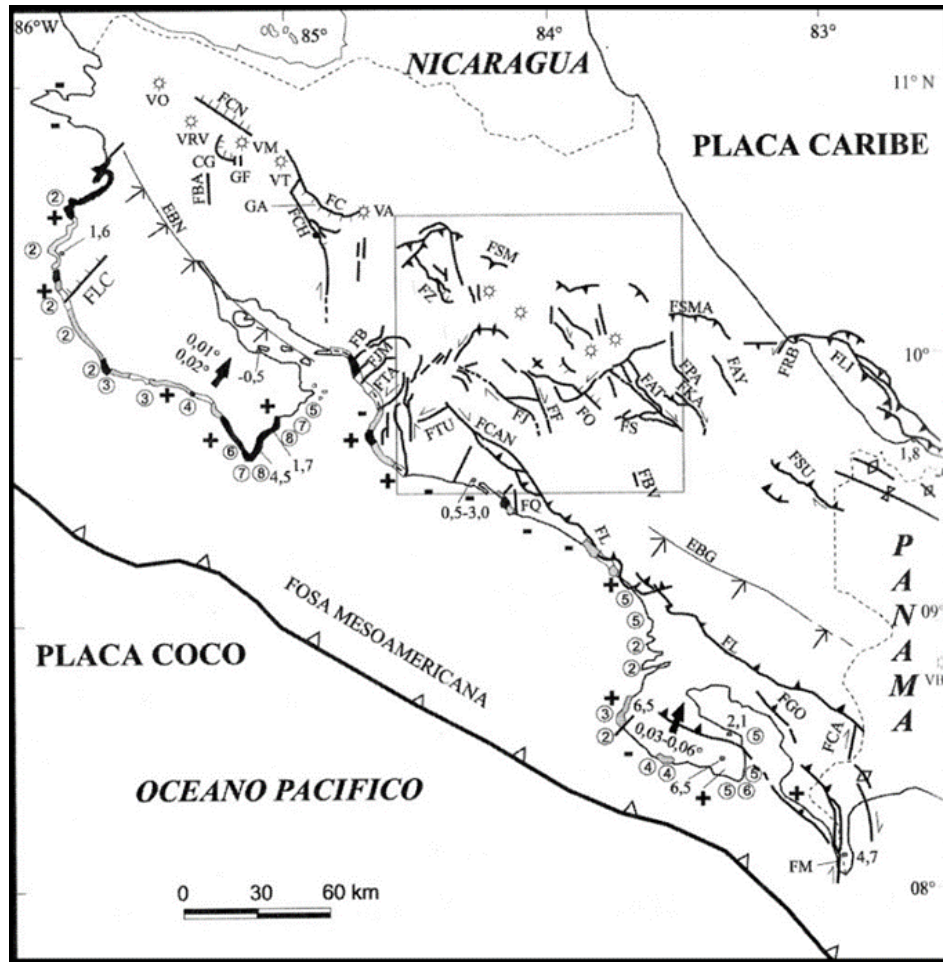


Figura 6. Ubicación de las fallas Barranca (FB), Jesús María (FJM), Tárcoles (FTA), Quepos (FQ) y otras, parte del Cinturón Deformado del centro de Costa Rica (CDCCR). Nótese la ubicación de la Falla Longitudinal de Costa Rica (FL) (Montero, 2000b).

Corresponde con una falla o sistema de fallas de alto ángulo, posiblemente con una inclinación mayor a 70° orientada N55W e inclinada hacia el noreste, con un movimiento de tipo inverso que presenta una componente de desplazamiento de rumbo, probablemente dextral (Montero, Denyer, Barquero, Alvarado, Cowan, Machette, Haller & Dart, 1998). Mora (1979) menciona que producto de esta falla son notables los cabalgamientos y repeticiones de estratos a todo lo largo de la Fila Costeña.

Alvarado (2005) indica que esta falla se extiende desde el norte de Parrita hasta el noroeste de Paso Canoas, pero su traza continúa por varios kilómetros en la región panameña. Para Denyer et al. (2003), la traza se ubica a lo largo de la costa (Figura 6), mientras que Alvarado (2005), basado en la observación de un grupo de islas, islotes y salientes rocosos, sitúa la traza mar adentro.

2.3.3 Las cuencas ante arco

Siempre en el contexto de un ambiente convergente entre placas tectónicas, entre la zona de antearco y arco interno se desarrollan cuencas sedimentarias que son rellenadas por sedimentos que provienen predominantemente del arco interno, del antearco cuando este se levanta sobre el nivel del mar o de origen biogénico formado *in situ* (Montero, 2000 a).

Denyer et al. (2003) cartografían gran parte del área de estudio como cuencas relacionadas al antearco, tal es el caso de la zona Parrita-Quepos, mientras que otros sectores han sido catalogados por estos mismos autores como paleocuenas sedimentarias. En ese sentido, Montero (2000 a) menciona que hasta hace unos 5 Ma, la cuenca del Térraba fue también una cuenca antearco, dado que era una depresión marina que recibió grandes volúmenes de sedimentos hasta el Mioceno, sin embargo, cuando comenzó la subducción del levantamiento del Coco a principios del Plioceno, se dio una inversión tectónica, es decir por levantamientos tectónicos esta zona de cuenca emergió y se convirtió en montañas, originándose la actual Fila Costeña (Figura 6).

3. HIDROLOGÍA Y ÁREAS PROTEGIDAS

3.1 Cuencas hidrográficas de la zona de estudio

El área de estudio se ubica en la vertiente pacífica del país, y se encuentra enmarcada dentro de 3 grandes cuencas hidrográficas, según el Atlas del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR, 2008): La cuenca costera del Pacífico Central, las cuencas del Golfo de Nicoya y la cuenca del Río Grande de Tárcoles (Figura 7).

Los cursos principales de agua superficial corresponden a los ríos Grande de Tárcoles, Tarcolitos, Cuarro, y los cuerpos de agua que llegan a los esteros de Guacalillo y Loros.

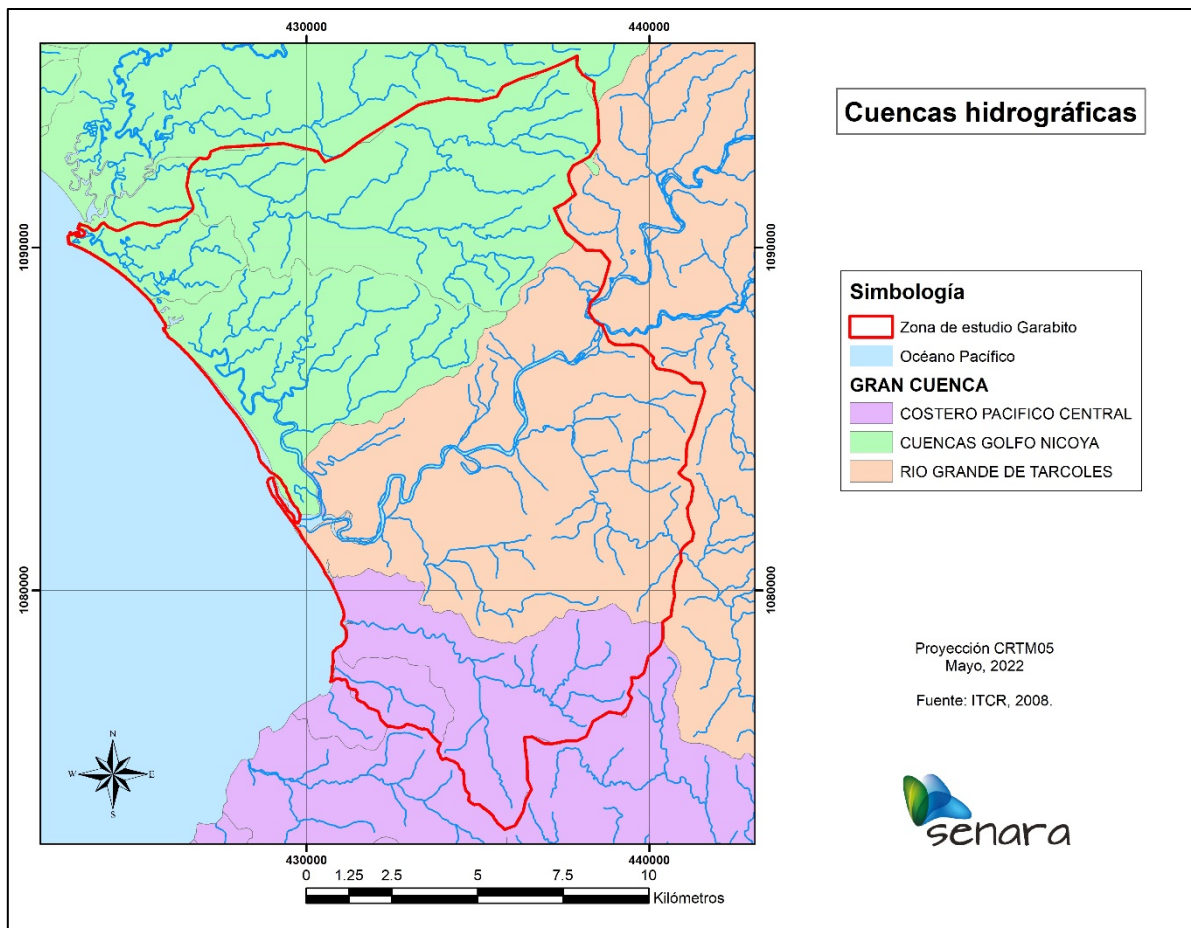


Figura 7. Cuencas hidrográficas que engloban el área de estudio.

3.2 Clima y estaciones meteorológicas

Según el Bosquejo de Regionalización propuesto por Solano y Villalobos (s.f.), el área de estudio se ubica dentro de la región Pacífico Norte, en la subregión de la Cuenca baja de los ríos Barranca y Grande de Tárcos (PN4); en la región Pacífico Central, dentro de la subregión Valle de Parrita (PC1), y en la Región Montañosa del Sur, en la subregión Cuenca Alta de los ríos Turrubares y Tulín, y el Valle de Candelaria (RMS1). En el Cuadro 2 se describen algunas características de cada subregión.

Cuadro 2. Características de regiones y subregiones climáticas.

Región	Subregión	Temperatura	Precipitación
Pacífico Norte	PN4	Temperatura moderada a alta (Máxima entre 27 y 30 °C, Media entre 25 y 28 °C).	Período seco de 4 meses.
Pacífico Central	PC1	Temperatura máxima de más de 30 °C, y media de 28 °C.	Período lluvioso muy severo y largo, con un período seco corto y moderado (3 meses).
Montañosa del Sur	RMS1	Temperatura máxima de 25 °C, y media de 20 °C.	Período seco de 4 meses. Punto intermedio entre las lluvias moderadas del Valle Intermontano y las lluvias torrenciales del Pacífico Central (Flores, 1987).

Nota: Datos recopilados de Solano, J. y Villalobos, R. (s.f.). *Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>

En los alrededores de la zona de estudio, se identificaron 7 estaciones meteorológicas del Instituto Meteorológico Nacional, las cuales se observan en la figura 8, y se detallan los principales rasgos en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Estaciones meteorológicas del IMN.

Número	Nombre	Latitud Norte	Longitud Este	Altitud (m.s.n.m.)	Periodo	Temperatura
82011	San Mateo	1098244	443072	182	2013-2021	Sí
82013	La Trinidad Vieja, Abopac	1094200	429196	133	2013-2021	Sí
82015	Oroceiba, Orotina	1094320	434122	140	2014-2021	Sí

82017	Mastate, Orotina	1096750	437428	212	2017- 2021	Sí
82019	Guayabal, Mastate, Orotina	1096618	437659	198	2017- 2021	Sí
86007	Punta Leona	1072789	427731	20	1990- 2020	No
84017	Agropecuario de Orotina	1096572	443343	224	1950- 1990	No

Fuente: IMN, 2022.

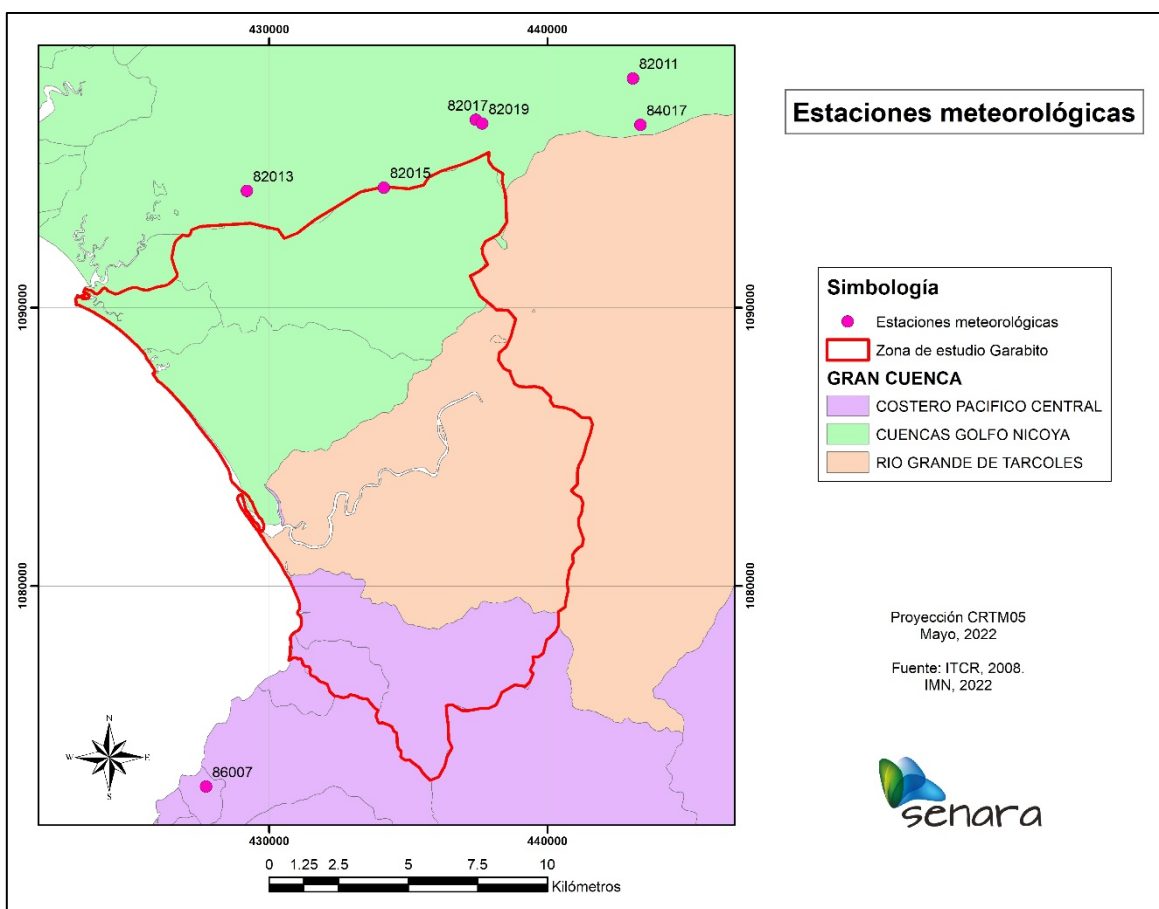


Figura 8. Ubicación de estaciones meteorológicas en los alrededores al área de estudio.

Dentro de la información facilitada por el IMN (2022), la mayoría de las estaciones presentan registros de temperatura y precipitación promedio incompletas, a su vez, son estaciones con mediciones muy recientes y con un periodo menor a 9 años. Por lo anterior, se tomarán como referencia de análisis las estaciones 86007, Punta Leona, y la 84017, Agropecuario de Orotina, debido a que cuentan con un registro más

amplio de datos, no obstante, debe considerarse que no presentan períodos coincidentes de registro de datos. Esta información se puede encontrar en el Anexo 1.

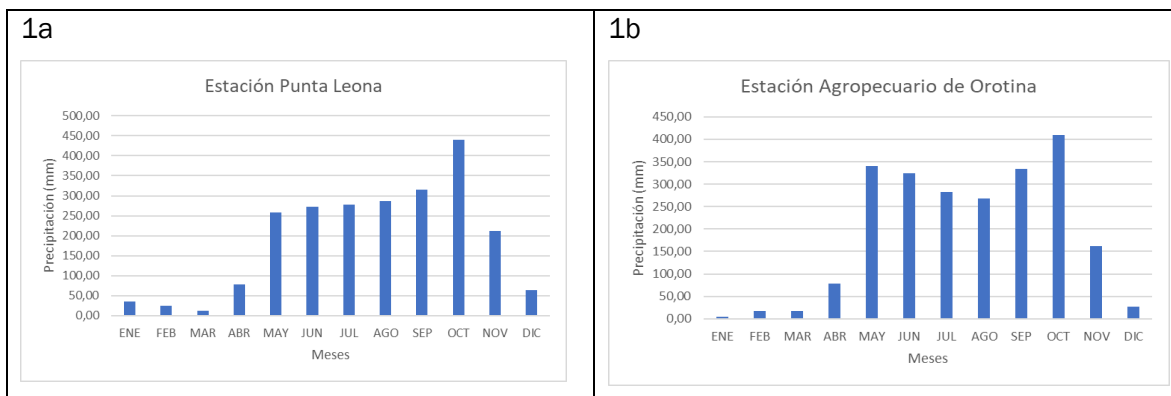


Gráfico 1a. Datos de precipitación, Estación Punta Leona (86007). 1b. Datos de precipitación Estación Agropecuario de Orotina (84017).

Según se interpreta de los gráficos 1a y 1b, en esta zona del país se tiene una época seca de diciembre a abril y una época lluviosa, que en algunos sectores presenta un veranillo en julio y agosto, donde hay una disminución de la precipitación, característico de la vertiente del Pacífico. En la estación Punta Leona, la precipitación total es de 2273,1 mm al año, y en la estación Agropecuario de Orotina, es de 2263,8 mm al año.

Las temperaturas máximas se registran en el mes de marzo, con mediciones entre 33,8 y 38,6°C.

3.3 Aforos en los cauces superficiales (ríos y quebradas)

Se recopilieron datos de varios puntos de aforo en ríos y quebradas del área de estudio a partir de estaciones antiguas o proyectos del Senara, los cuales están en la base de datos institucional. En total se adquirieron datos de 18 puntos de aforo, con registros en ciertos casos desde 1959 y los más recientes del 2012.

Los principales datos de los puntos de aforo se encuentran en el Anexo 2 y la localización de los sitios de aforo se observan en el mapa de la figura 9.

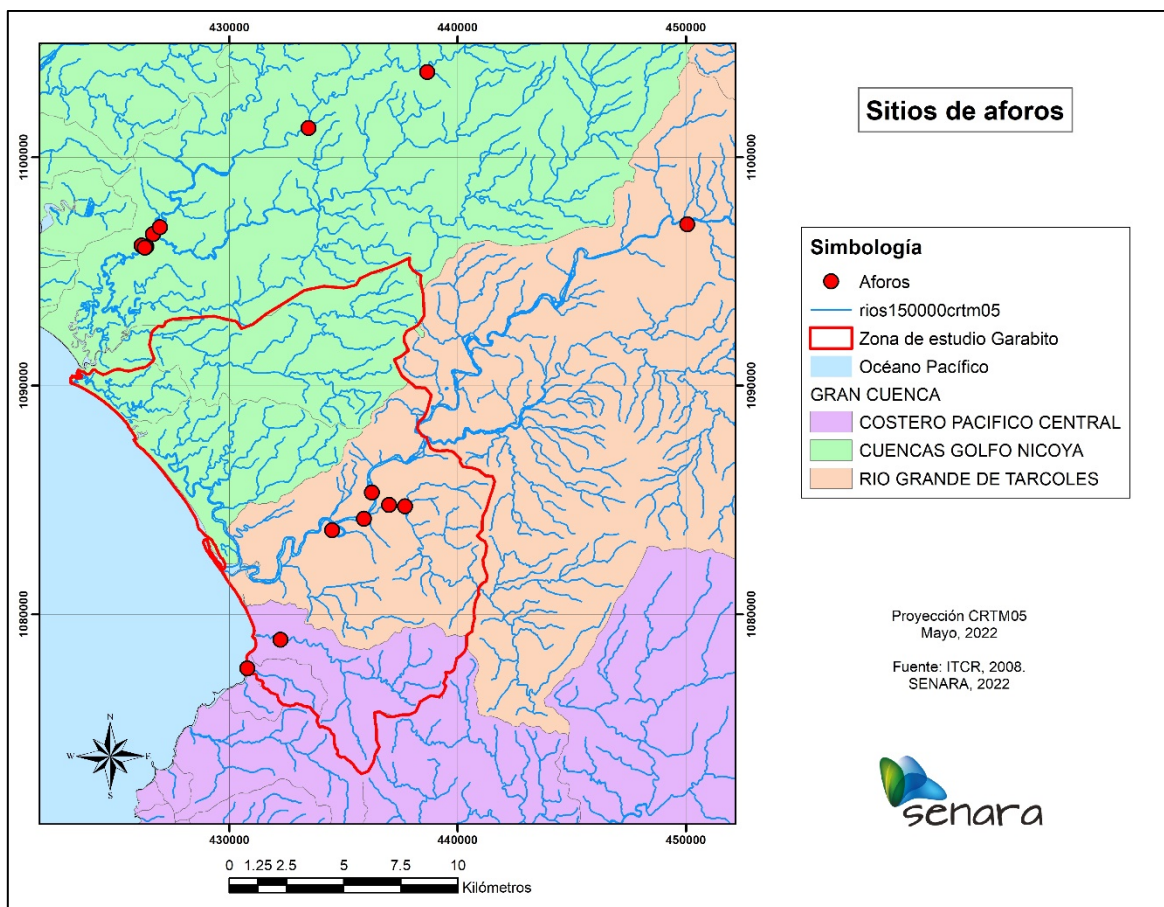


Figura 9. Ubicación de puntos de aforo en Garabito NO.

3.4 Áreas protegidas en el sector Noroeste de Garabito

En el cantón de Garabito se localiza el Parque Nacional Carara (PNC), el cual fue establecido como área silvestre protegida el 26 de abril de 1978 mediante Decreto Ejecutivo № 8491-A con la categoría de manejo Reserva Biológica; posteriormente el 18 de noviembre del año 1998 mediante Decreto Ejecutivo № 27411-MINAE cambió su categoría de manejo a Parque Nacional.

El PNC tiene una extensión de 5,280 Ha y es parte del territorio que constituye el Área de Conservación Pacífico Central (ACOPAC). Se caracteriza por la presencia de cobertura boscosa original del litoral Pacífico (Alegría, 2008), encontrándose bosques densos y casi inalterados rodeados por terrenos de fuerte pendiente y suelos pobres debido a las prácticas ganaderas extensivas (Figura 10). Como zona de transición entre el bosque seco y bosque húmedo, protege hábitats boscosos que constituyen los únicos

hábitats disponibles para una variedad de especies de plantas y animales en la región Pacífico Central.

El Parque Nacional Carara cuenta con su respectivo Plan de Manejo, el cual promueve organizar los usos permitidos, en las diferentes categorías de manejo, según las características intrínsecas y las capacidades de uso del área protegida.

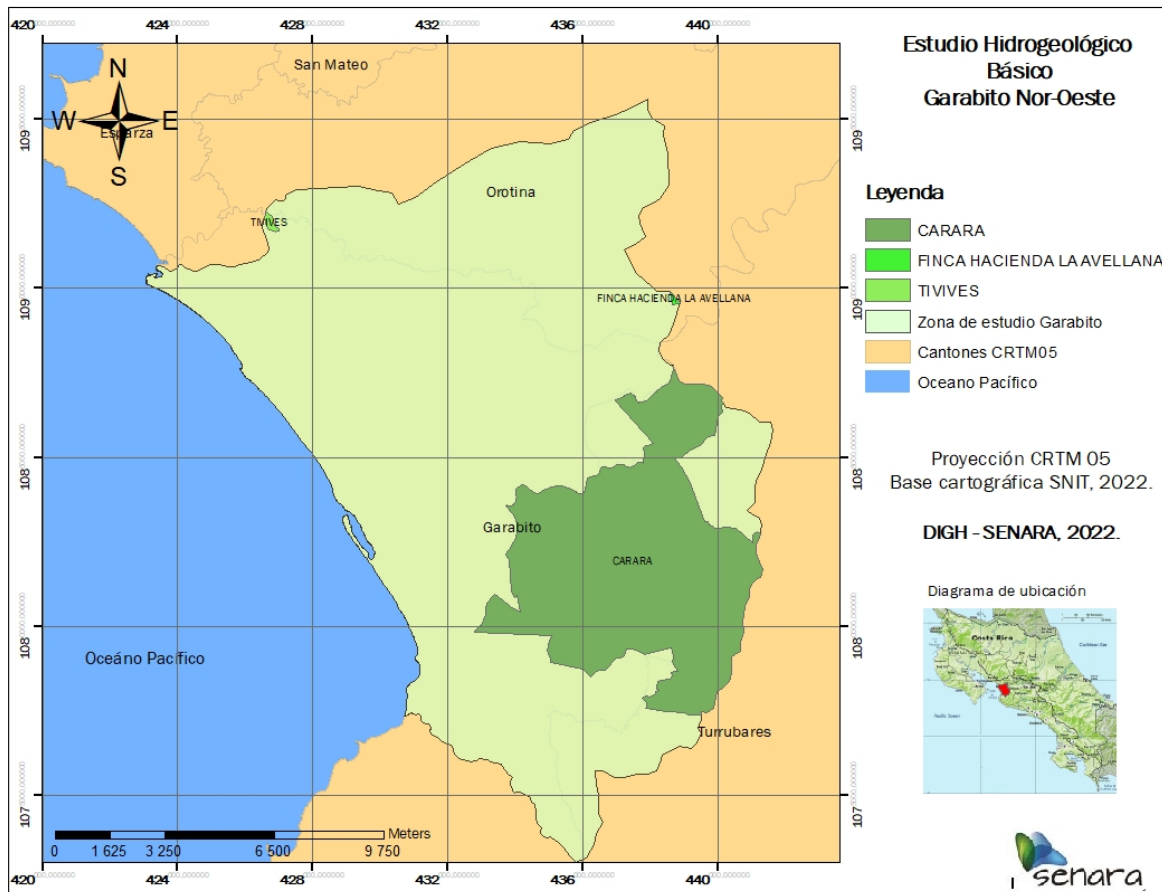


Figura 10. Categorías de manejo en la zona de estudio (SINAC, 2022).

4. ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS

A continuación, se presenta la información general de los pozos ubicados dentro del área de estudio correspondiente a la zona de Garabito noroeste, y obtenidos a partir de las bases de datos del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), Dirección de Agua (SINIGIRH), y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA).

4.1 Información de pozos según la Base de datos de SENARA

De acuerdo con la base de datos del SENARA, se registra un total de 181 pozos ubicados en el perímetro de la zona de estudio, sin embargo, solo 125 de estos cuentan con informe final de perforación, 55 tienen registro de prueba de bombeo. En el cuadro 4 se muestra el detalle.

Cuadro 4. Inventario de los pozos localizados en Garabito NO.

Cantidad de pozos	181	Características
Pozos con litología	125	123 con nivel de agua subterránea
		2 sin nivel de agua subterránea
		43 con prueba de bombeo
Pozos sin litología	56	9 con nivel de agua subterránea
		47 sin nivel de agua subterránea
		1 con prueba de bombeo

En la figura 11 se observa la ubicación y distribución de los pozos antes mencionados en el área de estudio y en el Anexo 3 se enlistan los mismos con la información básica del pozo (código, coordenadas, profundidad, registro de litología, registro de prueba de bombeo).

4.1.1 Análisis general de los pozos

La distribución geográfica de los pozos muestra una distribución heterogénea con concentración de algunos pozos hacia el Norte - Noreste de Bajamar y en menor cantidad hacia el Sur de Tárcoles, ambos sitios corresponden con la zona costera del área de estudio (Figura 11), mientras que del Noroeste de Garabito hacia San Jerónimo

y Coyolar se localiza el resto de los pozos. No obstante, hacia el Norte de Bijagual, Este de Garabito y hasta Turrubares, los pozos están prácticamente ausentes, aspecto que puede asociarse al poco desarrollo poblacional y a la escasez de actividades económicas (agrícolas, comerciales, otras).

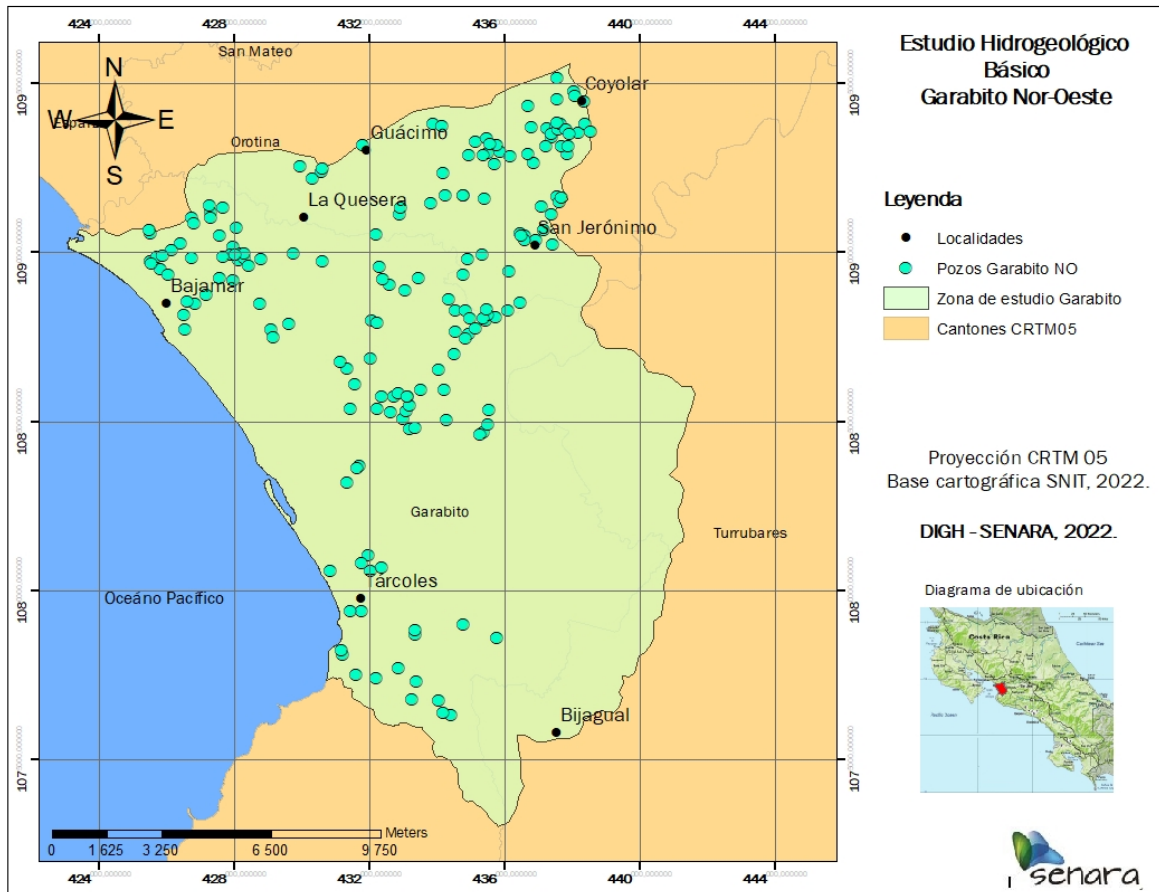


Figura 11. Ubicación y distribución de los pozos registrados en la base de datos de SENARA (2022).

Los pozos con información litológica se encuentran solo en algunos sectores de la Formación Tivives y en menor proporción y de manera ocasional en las formaciones correspondientes a Depósitos Aluviales Cuaternarios, Orotina y los miembros Esparta y Roca Carballo. En cuanto a los pozos con prueba de bombeo, al ser una menor proporción del total de pozos, también están representados en las litologías mencionadas anteriormente (Figura 12).

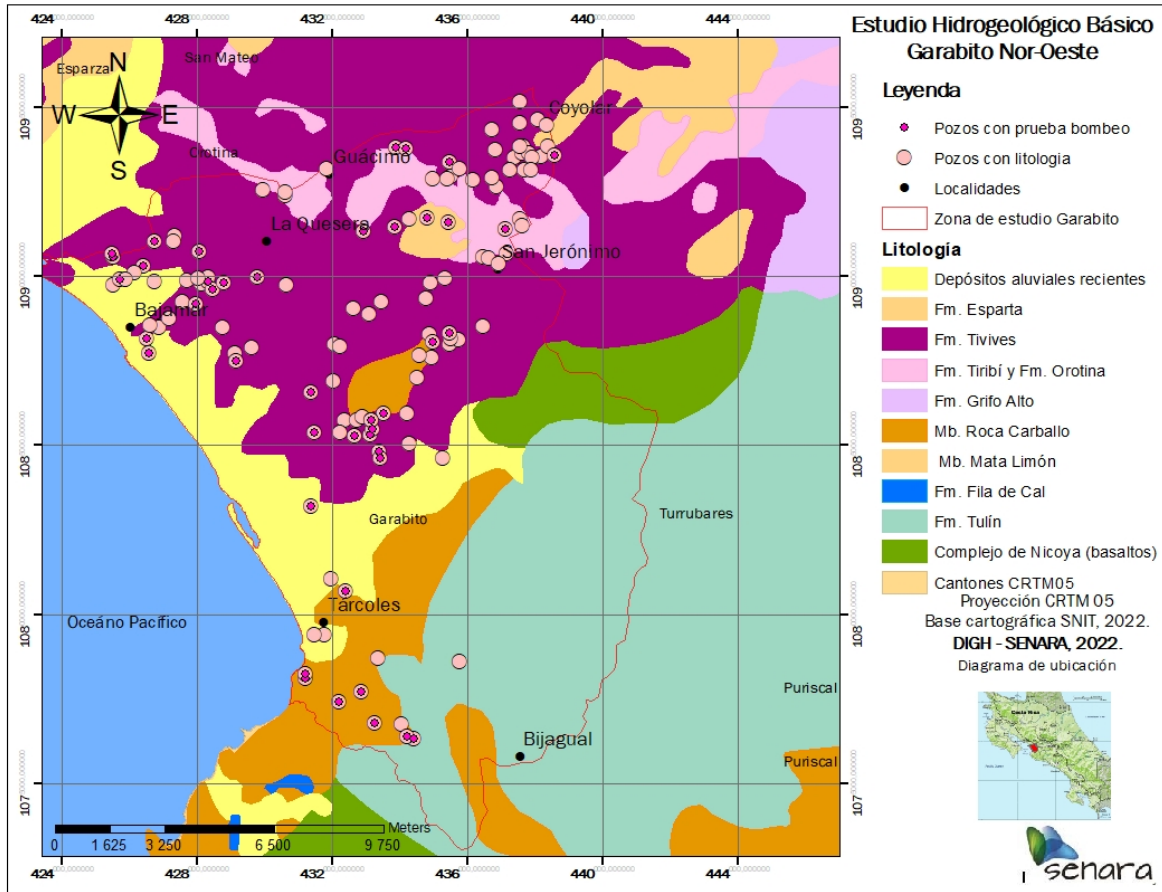


Figura 12. Sobreposición de los pozos con litología y prueba de bombeo en el mapa geológico.

Finalmente, en cuanto a la profundidad de los pozos, 160 indican la profundidad que alcanzaron, de estos la profundidad máxima reportada es de 200 m, mientras que la mínima es de 3,5 m, la profundidad promedio es de 78,4 m. El gráfico 2 muestra la frecuencia de veces que varios pozos reportan la misma profundidad.

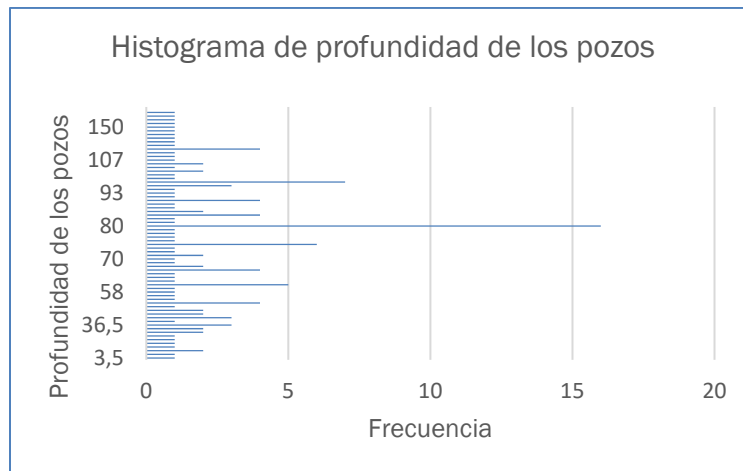


Gráfico 2. Histograma con la profundidad de los pozos, Garabito NO.

En cuanto a las profundidades de los pozos, no existe una distribución espacial preferencial, por cuanto según se desprende del mapa geológico regional y del gráfico 3 (Histograma), que el 88% de los pozos superan los 40 m de profundidad, aspecto asociado a las litologías presentes en la zona, y a que las formaciones volcánicas, tal es el caso de Tivives, se encuentran muy cercanas a la costa. A su vez, al analizar la profundidad del nivel del agua subterránea de los pozos se desprende que, predominan aquellos localizados en el rango de 20 y 50 m representando un 40,3%, mientras que los niveles menores a 5 m de profundidad si acaso alcanzan el 12% (Gráfico 3). De manera general, se interpreta que las rocas más captadas corresponden con aquellas asociadas a la Formación Tivives, la cual abarca la mayor cobertura espacial en el presente estudio.

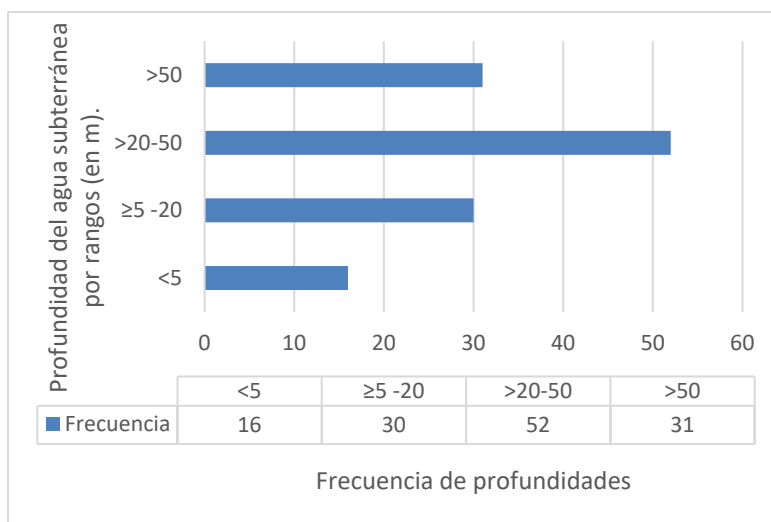


Gráfico 3. Rangos del nivel del agua subterránea en los pozos de Garabito NO.

4.1.2 Usos y caudales

A partir del análisis de la información disponible, destacan 35 usos para los pozos de consumo, no obstante, se reagruparon en 11 grupos acorde a la finalidad y área, aplicando los usos definidos por el SENARA para la estimación de caudales (Cuadro 5). Dentro de estos usos destacan el doméstico, el doméstico-riego y los usos varios asociados a actividades como doméstico-piscina-riego, doméstico-piscina, aspecto que permite interpretar que la zona de estudio destaca por el turismo y el uso habitacional, mientras que la industria, agricultura y ganadería no son actividades muy desarrolladas aún en el sector.

Cuadro 5. Análisis de los usos y caudales registrados en la base de datos de SENARA.

Uso	Cantidad	Caudal BD l/s	Caudal Estimación (1) l/s	Caudal total extraído (2) l/s	Clasificación según SENARA
Abastecimiento público	11	80	-	80	Abastecimiento público
Doméstico	73	144,56	9	153,56	Consumo Humano
Urbanístico	3	NI	13,5	13,5	
Varios	20	28,39	4,3	32,69	
Doméstico - riego	23	63,44	3,6	67,04	
Riego - Doméstico - Turismo	1	0,25	-	0,25	
Turismo	8	11,6	16	27,6	Turismo
Industrial	1	6	-	6	Industrial

Riego	10	55,86	28	87,26	Agrícola
Abrevadero	2	4	2,8	6.8	Abrevadero
No indica	21	-	10,5	10,5	Se asume uso doméstico para cuantificarlo
Totales	173	397,5 l/s	77,2 l/s	485,2 l/s	

(1): caudal estimación: caudal asignado a aquellos pozos que no registran caudal de extracción (SENARA, 2006).

(2): sumatoria del caudal BD + Caudal estimación.

Con respecto a los caudales de extracción se registra un total de 397,5 l/s registrados en la base de datos de SENARA, mientras que para aquellos pozos que no registran caudal, se les asignó uno de acuerdo con el Cuadro de dotación de SENARA (2006), y para aquellos que no señalan uso, se les asignó 0,5 l/s (caudal mínimo correspondiente a doméstico). El caudal de extracción registrado presenta una diferencia del 18,07% debido a los caudales y usos no indicados. Los caudales correspondientes al uso doméstico, al riego y al doméstico-riego presentan los valores más altos con respecto al resto.

4.2 Información de pozos según la base de datos del AyA

De acuerdo con el oficio UEN-GA-2022-00517-GG-2022-01016, el AyA registra cinco pozos, de los cuales solo el conocido bajo el nombre de Los Mangos es administrado por ellos y el resto por ASADAS. En la figura 13 se muestra la ubicación de cada uno y en el Anexo 4 se incluye la información aportada por el AyA.

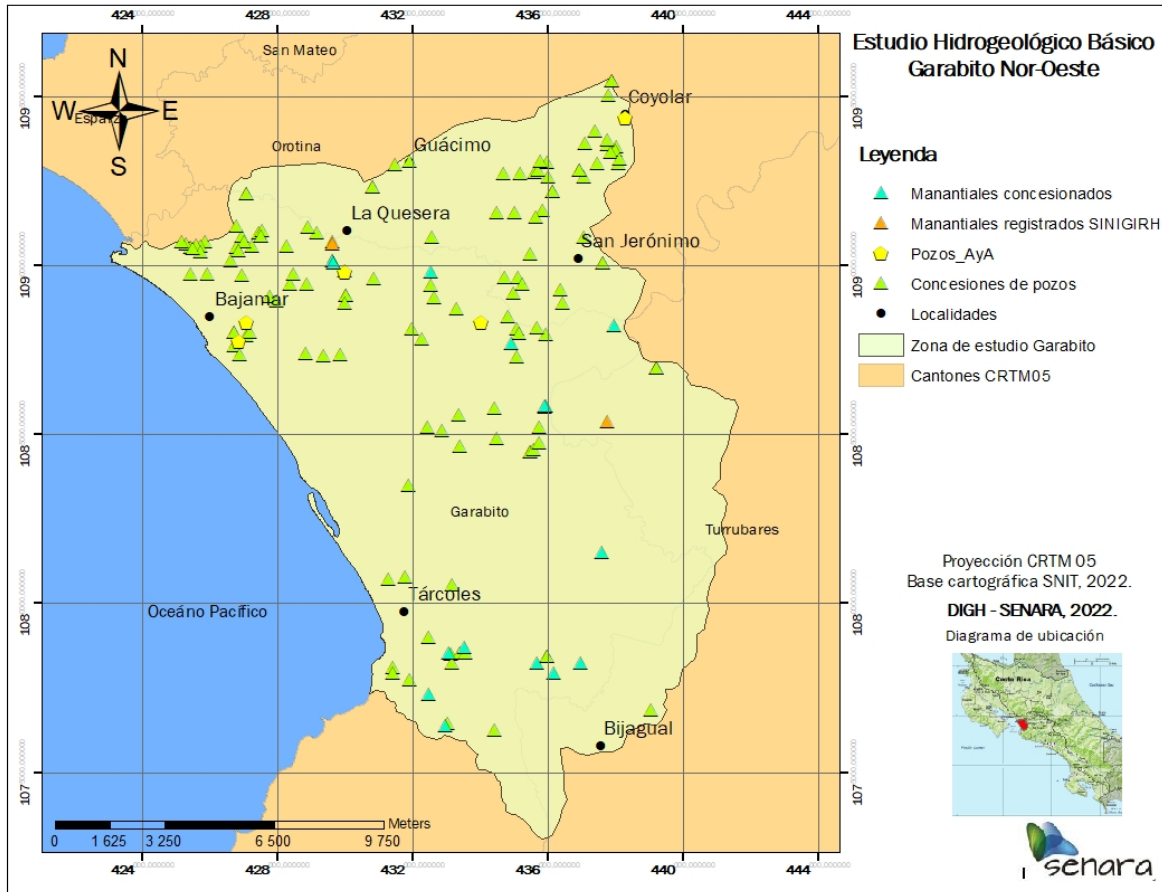


Figura 13. Distribución de las concesiones de pozos y manantiales (Fuentes AyA y SINIGIRH,2022).

4.3 Información de las concesiones de pozos según base de datos del SINIGIRH (DA-MINAE)

A partir de la información facilitada por la Dirección de Agua del MINAE, en el SINIGIRH se registran 132 concesiones asociadas a ríos, quebradas, acuíferos y pozos, de las cuales 103 fueron otorgadas en acuíferos, 14 en pozos, 10 en quebradas y 5 en ríos (Gráfico 4).

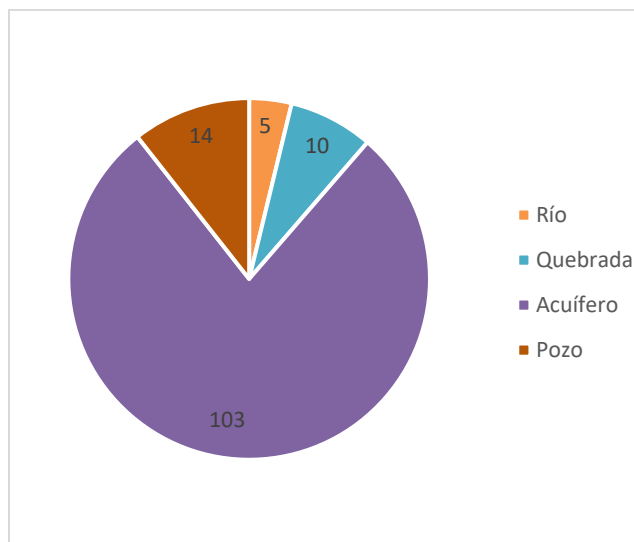
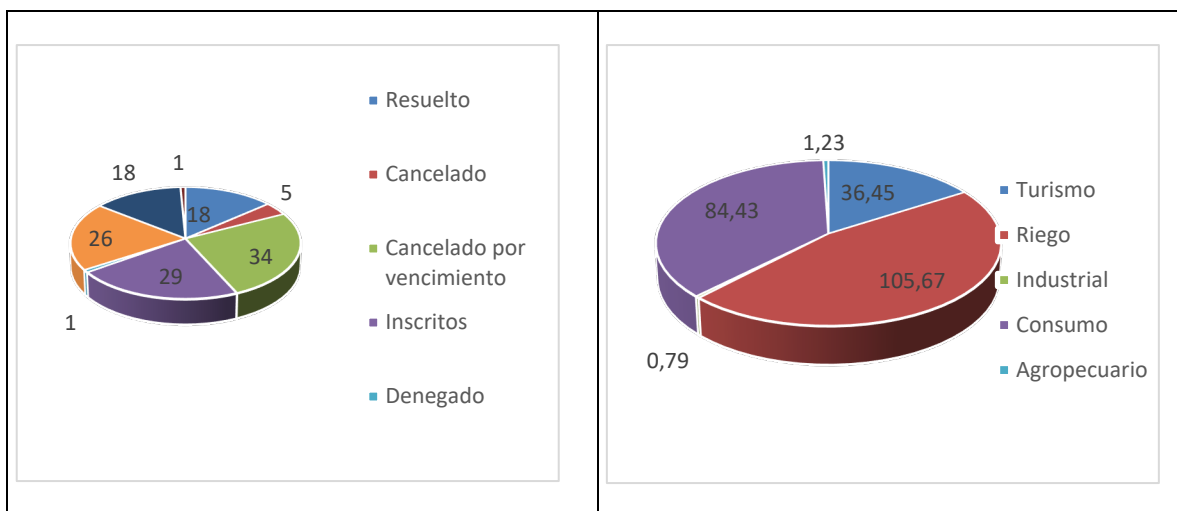


Gráfico 4. Tipos de concesiones otorgadas.

De los anteriores, 26 están otorgados, 18 resueltos y 29 inscritos (Gráfico 5a). A su vez, el uso destinado a riego tiene un caudal otorgado de 105,67 l/s, secundado por el uso de consumo humano con un caudal de 84,43 l/s, mientras que los caudales asociados a turismo, industrial y agropecuario, se detallan en el gráfico 5b.

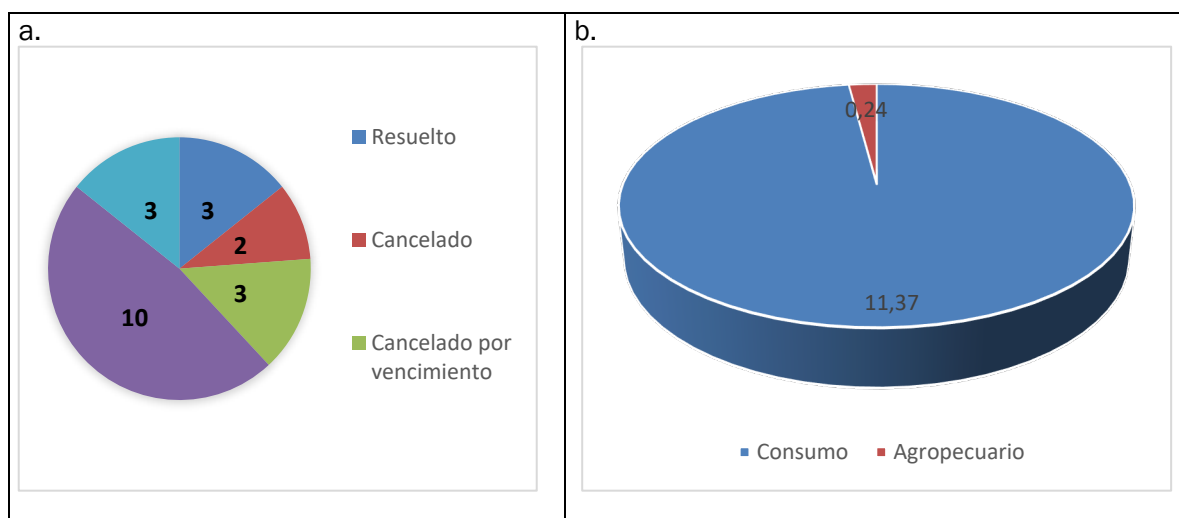


Gráficos 5a. Muestra el estado de cada concesión. 5b. Caudales concesionados según el tipo de uso.

En el Anexo 5 se encuentra la información obtenida del SINIGIRH y el análisis realizado.

4.4 Información de manantiales, bases de datos del SENARA, SINIGIRH—DA y AyA

A partir de la consulta realizada ante otras instituciones, se determinó que el AyA no registra manantiales, mientras que en la base de datos de SENARA consta solo el manantial NAC-52, y en el SINIGIRH, 21 manantiales, de los cuales 18 están concesionados y los otros tres son parte de procesos administrativos. En los gráficos 6a y 6b se muestra el detalle de las concesiones según su estado y caudal total de consumo según el uso, y en el Anexo 6 se encuentra la información obtenida de los manantiales.



Gráficos 6a. Estado de los expedientes de manantiales. 6b. Caudales totales de extracción según tipo de uso.

4.5 Zonas de protección de pozos y manantiales

De acuerdo con la búsqueda bibliográfica y la consulta realizada a instituciones, solo el pozo conocido como Los Mangos tiene definida una zona de reserva de dominio de 200 m de radio (Figura 14). Este pozo es aprovechado por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados para abastecimiento público, esto conforme a la información facilitada por el AyA en el oficio UEN-GA-2022-00517.

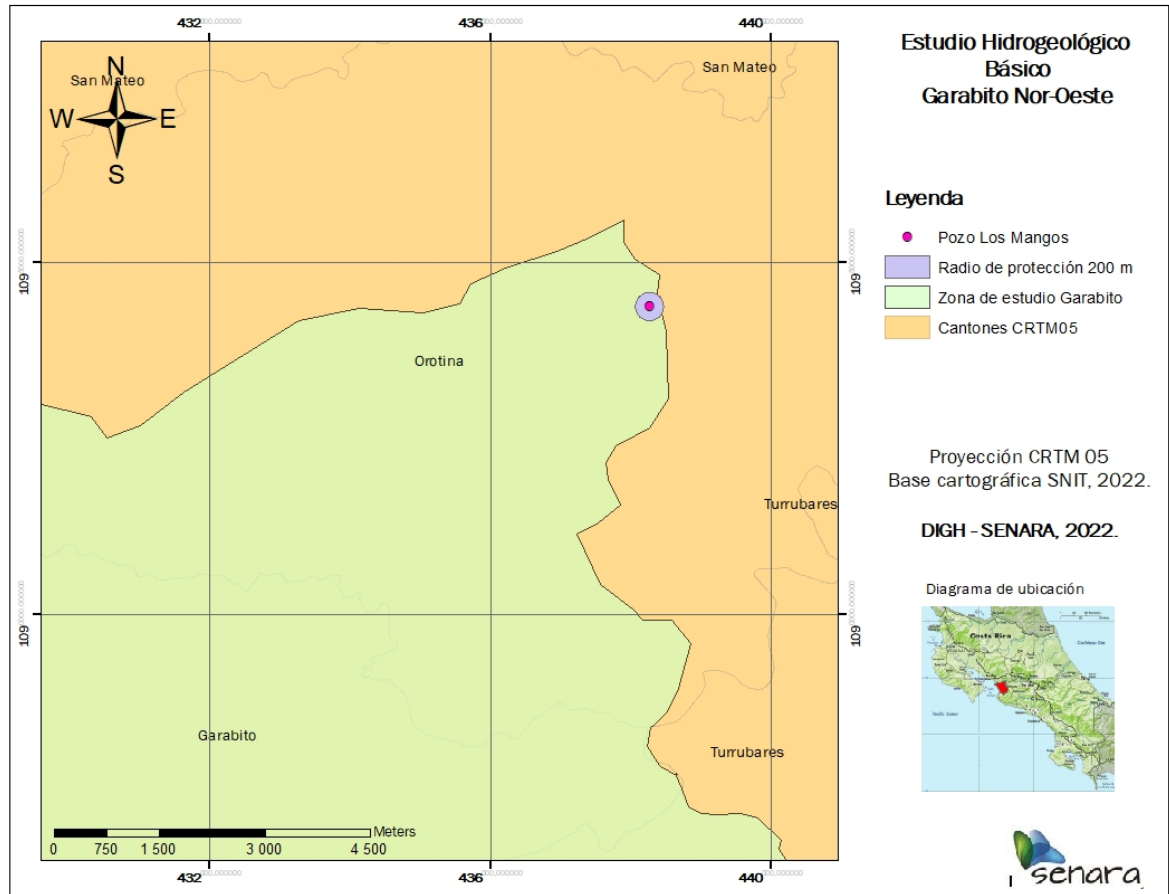


Figura 14. Zona de protección del pozo Los Mangos (Fuente AyA, 2022).

5. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

5.1 Insumos para el Balance Hídrico de Suelos

Se revisaron los estudios elaborados por Arredondo (2003) y Agudelo (2005) como consultorías para SENARA, pero no se identifican insumos como pruebas de infiltración o muestreos de suelo, que se puedan utilizar para estimar la recarga en la zona.

En los alrededores del área de estudio se pueden encontrar otros estudios, en los cuales se realizó la estimación de recarga potencial, como lo son el estudio hidrogeológico en las playas Mantas y Agujas (Corrales, 2018), el estudio hidrogeológico en la zona de Pacífico Central (SENARA, 2020), y próximamente el estudio hidrogeológico en Barranca y Jesús María (en proceso), sin embargo, propiamente en el área de interés, no se cuenta con estudios previos.

5.2 Insumos para análisis de Vulnerabilidad

A partir de la búsqueda y consulta realizada en las instituciones como la Universidad de Costa Rica, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, entre otros, no se cuenta con estudios generales ni específicos que determinen la vulnerabilidad acuífera de la zona de Garabito noroeste. Los estudios desarrollados por SENARA (2003 y 2005), emiten alertas y recomendaciones con respecto a la vulnerabilidad, con el objetivo de llevar a cabo el análisis respectivo.

5.3 Insumos para la Zonificación hidrogeológica

A partir de las consultas realizadas ante otras instituciones y a los gobiernos locales de Esparza, Garabito y Turubares, no se cuenta con información correspondiente a planes y/o propuestas de zonificación hidrogeológica para la zona de estudio.

6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y PROPUESTA DE ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DETALLADO

6.1 Información de las bases de datos

Una vez consultada y analizada la información contenida en las bases de datos de SENARA, AyA y la Dirección de Agua (SINIGIRH), destaca que en los cantones de Garabito y Orotina se localizan los pozos registrados, no obstante, para el sector de Turrubares, no se registran pozos.

Es recomendable llevar a cabo un barrido del sector de Turrubares, que forma parte de la zona de estudio, con el fin de identificar eventuales pozos que no estén registrados y que puedan servir para el análisis hidrogeológico de la zona.

6.2 Geología de la zona de estudio

A partir del análisis preliminar de la litología descrita en los pozos registrados en la base de datos de SENARA y del mapa geológico regional de la zona de estudio, se desprende que, muchos de los pozos localizados en los Depósitos Cuaternarios presentan en sus columnas litológicas, materiales volcánicos y/o sedimentarios, eventualmente asociados a las formaciones Tivives o Roca Carballo, esta situación ocurre hacia el Norte de Bajamar.

Es importante recalcar que, casi no hay información de pozos que caractericen a los Depósitos Cuaternarios, tan solo cinco de ellos describen la presencia de arenas y gravas (TS-2, BC-16, TS-78, TS-102) y todos se concentran al Sur y alrededores de Garabito.

Es así como deberá llevarse a cabo un levantamiento de campo a detalle de la geología para la elaboración del mapa geológico local y considerar el replanteamiento de los contactos entre las distintas litologías.

6.3 Información meteorológica

Al considerar lo descrito párrafos atrás, con respecto a la información meteorológica, es clara la poca disponibilidad de datos, por cuanto las dos estaciones con registro más amplio, a saber, la de Punta Leona No.86007 (período 1990 – 2020) y la del Agropecuario de Orotina No.84017 (1950 – 1967), cuentan con precipitación

promedio mensual, no obstante, ninguna registra temperatura promedio mensual. Sumado a lo anterior, debe considerarse que los períodos de registro de datos no son coincidentes. A su vez, las otras estaciones localizadas en los alrededores de la zona de estudio, presentan temperatura promedio, pero para un período menor a nueve años y además se requiere completar algunos registros que no constan.

Por lo anterior, puede valorarse la posibilidad de consultarle al Instituto Costarricense de Electricidad si cuentan con estaciones en ese sector cuyos registros puedan utilizarse para poder realizar el cálculo de la evapotranspiración a la hora de desarrollar el balance hídrico de suelos. Aunado a lo anterior, en caso de no contar con el mínimo de cinco estaciones según lo contempla la Metodología general para la elaboración de los estudios hidrogeológicos para los Planes Reguladores (Acuerdo 4975, Gaceta No.137 del 16 de julio de 2015), se cuenta con la justificación respectiva.

6.4 Insumos para el balance hídrico de suelos

Tal y como se explicó en el apartado 5.1, en la zona de estudio no se cuenta con información correspondiente a pruebas de infiltración o muestreos de suelo que involucren datos de capacidad de campo, punto de marchitez, densidad aparente y profundidad de raíces para cada una de las formaciones de roca identificadas al menos en el mapa de geología regional, que se puedan utilizar para estimar la recarga en la zona, por tanto deberá formularse un plan para contar con los insumos básicos para llevar a cabo el balance hídrico de suelos.

6.5 Regulaciones locales

En virtud que no se identificaron propuestas ni estudios preliminares correspondientes a zonificación urbana y tampoco se obtuvo respuesta por parte de los municipios que conforman el área de estudio, Garabito, Turrubares y Orotina, es recomendable un acercamiento a estos para efectos de desarrollar un estudio hidrogeológico que atienda y dé repuesta a las necesidades del sector de Garabito Noroeste, y que considere las áreas potenciales de crecimiento urbano que cada gobierno local tenga proyectado.

En virtud de lo anterior, se propone una investigación por cantón, a su vez, para aquellas zonas catalogadas como áreas silvestres protegidas no son consideradas

dentro de la misma, debido a las restricciones asociadas a estas. A continuación, en el cuadro 6, se detalla la propuesta de cómo abordar el estudio hidrogeológico detallado por área específica.

Cuadro 6. Estudios e insumos propuestos.

Elementos/Insumos	Cantón			Presupuesto	Responsables
	Garabito	Orotina	Turrubares		
<i>Modelo Hidrogeológico</i>	X	X	X		
- Geología de campo	Verificación de los contactos entre las formaciones de Depósitos Cuaternarios y Tivives, y extensión de ambas.	Verificación de la geología presente.	Verificación de la geología presente y delimitación de los Depósitos Cuaternarios.	Se asume con mano de obra SENARA.	- Profesionales Expertos en Geología, Unidad de Investigación.
<i>Modelo Hidrogeológico conceptual</i>	X	X	X		
- Estudio de geofísica	3 Sondeos eléctricos verticales 2 tomografías	3 Sondeos eléctricos verticales 2 tomografías	3 Sondeos eléctricos verticales 2 tomografías	Costo 9 SEV´s y 6 tomografías: ¢13 147 777,50	- Profesionales Expertos en Geología, Unidad de Investigación.
- Perforaciones exploratorias	2 perforaciones de 30 m de profundidad, diámetro NQ, incluyendo 4 análisis de permeabilidad y porosidad, por cada perforación.	2 perforaciones de 30 m de profundidad, diámetro NQ, incluyendo 4 análisis de permeabilidad y porosidad, por cada perforación.	1 perforaciones de 30 m de profundidad, diámetro NQ, incluyendo 4 análisis de permeabilidad y porosidad, por cada perforación.	Costo 5 perforaciones exploratorias: ¢25 503 817,50	- Las perforaciones exploratorias requieren de presupuesto para ejecutarlo a través de una contratación administrativa.
- Red de monitoreo de pozos.	- Desarrollar red de monitoreo en zona costera.	- Implementar red de monitoreo.	- Inventariar manantiales.		- Profesionales Expertos en Geología, Unidad de Investigación.

<i>Balance hídrico de suelos</i>	X	X	X		
- Muestreo de suelos y ensayos de laboratorio.	25 Capacidad de Campo 25 Punto de Marchitez 25 Densidad Aparente 25 Profundidad de raíces	12 Capacidad de Campo 12 Punto de Marchitez 12 Densidad Aparente 12 Profundidad de raíces	12 Capacidad de Campo 12 Punto de Marchitez 12 Densidad Aparente 12 Profundidad de raíces	Costo muestreos agronómicos: ¢1 323 098,00	- Las pruebas de campo, muestreos y análisis de laboratorio requieren de presupuesto para ejecutarlo a través de una contratación administrativa.
- Pruebas de Infiltración	25 Pruebas Doble anillo	12 Pruebas Doble anillo	12 Pruebas Doble anillo	Costo pruebas de infiltración: ¢ 4 090 619,00	- El desarrollo del balance hídrico de suelos lo desarrolla el personal profesional experto de la Unidad de Investigación.
- Estudio de suelos (SUCS, porosidad)	25 muestreos y clasificación	12 muestreos y clasificación	12 muestreos y clasificación	Costo Estudio geotécnico: ¢ 2 201 092,00	
<i>Vulnerabilidad de acuíferos</i>	X	X	X		
			Debe valorarse si es posible llevarlo a cabo debido a la ausencia de pozos en esta zona.		- Profesionales Expertos en Geología, Unidad de Investigación.
<i>Rendimiento de acuíferos</i>	X	X	X		
			Debe valorarse debido a la ausencia de pozos registrados.		- Profesionales Expertos en Geología, Unidad de Investigación.

En el cuadro 7, se enumeran los recursos de personal que se necesita para elaborar el estudio hidrogeológico propuesto, así como las necesidades de equipos, por parte de SENARA. En cuanto al tiempo, se realizará la propuesta considerando que el personal a cargo dedique al menos el 60 % del tiempo de su jornada laboral a realizar estas actividades, exceptuando los períodos de giras, que tendrían que contar con disponibilidad al 100%. Se extiende el plazo para completar el estudio a 2 años, considerando otros tiempos para elaboración de documentos, mapas, edición, e imprevistos durante el proyecto.

Cuadro 7. Recursos de personal, tiempo, equipo.

Elementos/Insumos		Responsables/ Presupuesto
	Actividades	
<i>Modelo Geológico</i>	X	
- Geología de campo	Verificación de la geología y estructuras tectónicas. Elaboración de perfiles geológicos.	2 profesionales Expertos en Geología. 3 meses para realizar trabajo de campo y recopilación de información (12 giras de 3 días). 1,5 meses para elaborar perfiles geológicos. Salario de 2 profesionales al 60%: ₡3 915 000 Viáticos 2 personas: ₡1 920 000 Combustible aproximado: ₡400 000 Peajes ruta 27 (estimado con montos del 01/12/2022): ₡69 600
<i>Modelo Hidrogeológico conceptual</i>	X	
- Estudio de geofísica	9 sondeos eléctricos verticales 6 tomografías	2 Profesionales Expertos en Geología y apoyo de 1 técnico adicional. 10 días para elaborar el trabajo de campo. 1 mes para interpretar los resultados.

<p>- Perforaciones exploratorias</p>	<p>5 perforaciones de diámetro NQ, incluyendo 4 análisis de permeabilidad y porosidad, por cada perforación.</p>	<p>Salario de 2 profesionales al 60%: ¢2 610 000 Salario base de 1 técnico al 100%: ¢148 000 Viáticos 3 personas: ¢453 000 Combustible aproximado: ¢60 000 Peajes ruta 27 (estimado con montos del 01/12/2022): ¢11 600</p> <p>Las perforaciones exploratorias requieren de presupuesto para ejecutarlo a través de una contratación administrativa, y el recurso de personal para su administración. Se contempla un proceso de contratación de entre 4 y 5 meses. También requiere tiempo para la supervisión: -Se contemplan 3 visitas de supervisión para cada piezómetro, por parte de 1 Profesional Experto en Geología.</p> <p>Salario de 1 profesional al 60%: ¢4 350 000 Viáticos 1 persona: ¢667 500 Combustible aproximado: ¢450 000 Peajes ruta 27 (estimado con montos del 01/12/2022): ¢87 000</p>
<p>- Red de monitoreo de pozos.</p>	<p>Implementar red de monitoreo.</p>	<p>1 Profesional Experto en Geología y un técnico, para inventariar pozos e implementar la red de monitoreo. Tiempo estimado: 3 semanas.</p> <p>Salario de 1 profesional: ¢1 087 500 Salario base de 1 técnico al 100%: ¢332 250 Viáticos 2 personas: ¢882 000 Combustible aproximado: ¢90 000 Peajes ruta 27 (estimado con montos del 01/12/2022): ¢17 400</p>

<p>- Elaboración del modelo hidrogeológico conceptual</p>	<p>Analizar la información geológica, de suelos, de pozos, de manantiales, entre otra información, para desarrollar el modelo hidrogeológico conceptual, los mapas de equipotenciales, la descripción de los acuíferos.</p>	<p>Continuidad por parte de 1 técnico, para realizar el monitoreo de manera mensual (4 días por mes, durante 1 año y 8 meses).</p> <p>Salario base de 1 técnico al 100%: ₡1 182 000 Viáticos 1 persona: ₡2 310 000 Combustible aproximado: ₡900 000 Peajes ruta 27 (estimado con montos del 01/12/2022): ₡116 000</p> <p>2 Profesionales Expertos en Geología. Tiempo estimado: 2 meses.</p> <p>Salario de 2 profesionales al 60%: ₡3 480 000</p>
<p><i>Balance hídrico de suelos</i></p>	<p>X</p>	
<p>- Muestreo de suelos y ensayos de laboratorio. - Pruebas de Infiltración</p>	<p>49 Capacidad de Campo 49 Punto de Marchitez 49 Densidad Aparente 49 Clasificaciones SUCS 49 Pruebas Doble anillo</p>	<p>Las pruebas de campo, muestreos y análisis de laboratorio requieren de presupuesto para ejecutarlo a través de una contratación administrativa, y el recurso de personal para su administración. Se contempla un proceso de contratación de entre 4 y 5 meses.</p> <p>También requiere tiempo para la supervisión: -Se contemplan 4 visitas de supervisión, por parte de 1 Profesional Experto en Geología.</p> <p>Salario de 1 profesional al 60%: ₡4 350 000 Viáticos 1 persona: ₡178 000 Combustible aproximado: ₡120 000 Peajes ruta 27 (estimado con montos del 01/12/2022): ₡23 200</p>

<p>-Análisis de información climática y meteorológica</p>	<p>Análisis de estaciones meteorológicas de la zona, así como relleno de datos, correlaciones, recopilación de información en fuentes como datos satelitales o datos regionales del IMN, para comparación.</p>	<p>El personal encargado del estudio hidrogeológico recopilará la información meteorológica, realizará el análisis y preparará las capas necesarias para el cálculo del Balance Hídrico. Tiempo estimado: 2 semanas (siempre que se tenga la información disponible).</p> <p>Salario de 1 profesional al 60%: ¢435 000</p>
<p>-Mapa de uso de suelo</p>	<p>Elaboración de mapa de uso de suelo, asignación de parámetros de Kv, profundidad de raíces, y clasificación según la metodología.</p>	<p>Este apartado estará a cargo del personal de Geografía de la Unidad de Investigación Hidrogeológica, necesitando 1 mes para realizar el mapa preliminar, 1 semana para la comprobación de campo, y 2 semanas adicionales para finalizar y clasificar el mapa, el cual se utilizará como insumo para el Balance Hídrico.</p> <p>Salario de 1 profesional en geografía: ¢2 537 500 Salario base de 1 técnico: ¢110 750 Viáticos 2 personas: ¢302 000 Combustible aproximado: ¢45 000 Peajes ruta 27 (estimado con montos del 01/12/2022): ¢5 800</p>
<p>-Elaboración de capas requeridas para el Balance Hídrico de Suelos y posterior cálculo.</p>	<p>Elaboración de capas de Fc, Kfc, Kp, Kv, CC, PM, profundidad de raíces, y demás capas para el cálculo de recarga potencial.</p>	<p>El desarrollo del balance hídrico de suelos lo realiza el personal profesional experto en geología. Tiempo estimado para la preparación de la información y el cálculo de recarga potencial: 1,5 meses.</p> <p>Salario de 2 profesionales al 60%: ¢2 610 000</p>
<p>Vulnerabilidad de acuíferos</p>	<p>X</p>	

Elaboración del cálculo de vulnerabilidad	Preparación de las capas de G, O y D a partir de la información de pozos registrados en las bases de datos.	2 Profesionales Expertos en Geología. Tiempo estimado: 1 mes. Salario de 2 profesionales al 60%: ₡1 740 000
Rendimiento de acuíferos	X	
Estimación de rendimiento sostenible de acuíferos	Análisis de la información de pozos, manantiales y concesiones registrados en las bases de datos, así como la incorporación de información obtenida en campo.	2 Profesionales Expertos en Geología. Tiempo estimado: 1 mes Salario de 2 profesionales al 60%: ₡1 740 000

7. REFERENCIAS

- AGUDELO, C. (2005). *Diagnóstico de las aguas subterráneas en las hojas Tárcoles, Herradura y Candelaria* [Informe consultoría]. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento.
- ALFARO, A. y BARRANTES, J. (2002). *Borrador de informe geológico en línea de túnel, P.H. Brujo1* [Inf. Interno]. Instituto Costarricense de Electricidad.
- ALVARADO, G. (2005). *La Falla Longitudinal de Costa Rica: Un insumo neotectónico hacia la Amenaza Sísmica del P.H. Boruca-Veraguas* [Informe]. Instituto Costarricense de Electricidad.
- ALVARADO, G. y GANS, P. (2012). Síntesis geocronológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central. *Revista Geológica de América Central*, 46, 7-122.
- ARIAS, O. (2003). Redefinición de la formación Tulín (Maastrichtiano-Eoceno inferior) del Pacífico Central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 28, 47-68.
- ARREDONDO, A. (2003). *Estudio de los recursos hídricos en las zonas de Barranca, Chapernal y Miramar* [Informe consultoría]. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento.
- BERRANGÉ, J.P. y THORPE, R. S. (1988). The geology, geochemistry and emplacement of the Cretaceous-Tertiary ophiolitic Nicoya Complex of the Osa Península, southern Costa Rica. *Tectonophysics*, 147, 193-220.
- BERRANGÉ, J. P., BRADLEY, D.R., y SNELLING, N. J. (1989). K/Ar age dating of the ophiolite Nicoya complex of the Osa Península, Southern Costa Rica. *J. South Amer. Earth Sci.*, 2(1), 49-59.
- BUCHS, D.M., BAUMGARTNER, P.O., BAUMGARTNER-MORA, C., BANDINI, A.N., JACKETT, S.-J., DISERENS, M.O. y STUCKI, J. (2009). Late Cretaceous to Miocene seamount accretion and mélangé formation in the Osa and Burica Peninsulas (Southern Costa Rica): episodic growth of a convergent margin. En James, K.H., Lorente,

- M.A. y PINDELL, J.L. (Eds): The Origin and Evolution of the Caribbean Plate. *Geol. Soc., London, Sp. Publ.* 328, 411-456.
- BUCHS, D.M., ARCULUS, R., BAUMGARTNER, P.O., BAUMGARTNER-MORA, C. y ULIANOV, A. (2010). Late Cretaceous arc development on the SW margin of the Caribbean Plate: Insights from the Golfito, Costa Rica, and Azuero, Panama, complexes. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11(7), DOI: 10.1029/2009GC002901.
- CAMPO II. (1997). *Propuesta estratigráfica para la Formación Punta Carballo (Mioceno) y su relación con la cobertura volcánica (Plio-Pleistoceno), Pacífico Central, Costa Rica* [Informe del curso Geología de Campo II]. Universidad de Costa Rica.
- COLLINS, L. S., COATES, A. G., JACKSON, J. B. C. y OBANDO, J. (1995). Timing and rates of emergence of the Limon and Bocas del Toro Basins: Caribbean effects of Cocos Ridge subduction. - En Mann, P. (Ed.), *Geologic and tectonic development of the Caribbean plate boundary in southern Central America* (pp. 263-290). Geological Society of America.
- CORRALES, C. (2018). *Estudio hidrogeológico para el cálculo de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo en las cuencas de las playas Mantas y Agujas, Pacífico Central, Costa Rica* [Tesis Lic.]. Universidad de Costa Rica.
- DENYER, P., AGUILAR, T. y ALVARADO, G. (2003). Geología y estratigrafía de la Hoja Barranca, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 29, 105-125.
- DENYER, P., MONTERO, W y ALVARADO, G. (2003). Atlas tectónico de Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica.
- DENYER, P. y ALVARADO, G. (2007). Mapa geológico de Costa Rica. Escala 1: 400 000, Editorial de la Librería Francesa S.A.
- DENYER, P. y ARIAS, O. (1991). Estratigrafía de la región central de Costa Rica. *Rev. Geol. Amér. Central*, 12, 1-59.
- DI MARCO, G. (1994). Les terrains accrétés du sud du Costa Rica. *Mémoires de Géologie (Lausanne)*, 20, 1-184.

- FISCHER, R. (1981). El desarrollo paleogeográfico del Mioceno de Costa Rica. *Anais II Congr. Latino-Americano Paleont. Porto Alegre*, 562-579.
- FLORES, E. (1987). *Geografía de Costa Rica*. Universidad Estatal a Distancia.
- HAUFF, F., HOERNLE, K., VAN DEN BOGAARD, P., ALVARADO, G. y GARBE-SHÖNBERG, D. (2000). Age and Geochemistry of Basaltic Complexes in Western Costa Rica: Contributions to the Geotectonic Evolution of Central America. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 1(5), 1999GC000020, DOI: 10.1029/1999GC000020.
- HOERNLE, K., VAN DEN BOOGARD, P., WERNER, R., LISSINA, B., HAUFF, F., ALVARADO, G. y GARBE-SCHÖNBERG, D. (2002). Missing history (16-71 Ma) of the Galápagos hotspot: Implications for the tectonic and biological evolution of the Americas. *Geology*, 30, 795-798.
- IMN. (2022). *Oficio IMN-DIM-CM-057-2022. Información de estaciones meteorológicas*. IMN.
- KUIJPERS, E. (1979). Análisis sedimentológico de la Formación Punta Carballo (Mioceno), Costa Rica. *Informe Semestral IGN*, 2, 77-94.
- KUSSMAUL, S. (2000). Estratigrafía de las rocas ígneas. En Denyer, P. y Kussmaul, S. (2000). *Geología de Costa Rica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 63 – 86.
- LAURITO, C. A. (1988). *Análisis sedimentológico de las formaciones El Fraile, en la costa suroeste de Nicaragua, Carmen y Punta Carballo, en la costa pacífica de Costa Rica* [Tesis Lic.]. Universidad de Costa Rica.
- LINKIMER, L. y AGUILAR, T. (2000). Estratigrafía sedimentaria. En Denyer, P. y Kussmaul, S. (2000). *Geología de Costa Rica* (pp. 43-62). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- MAC DONALD, D. F. (1920). Informe final geológico y geográfico de Costa Rica. *Revista de Costa Rica*, 2(1), 28-32, (2), 50-57, (4), 106-111, (5), 123-125, 139-148.
- MADRIGAL, R. (1970). Geología del mapa básico Barranca, Costa Rica. *Inf. Tec. Y Not. Geol. IX* (37), *DGMP-MEIC IX* (38), 1-10.

- MARSHALL, J. (2000). *Active tectonics and Quaternary landscape evolution across the western Panama block, Costa Rica, Central America* [Ph.D. Thesis]. Pennsylvania State Univ.
- MARSHALL, J.S. y IDLEMAN, B.D. (1999). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age constraints on Quaternary landscape evolution of the central volcanic arc and Orotina debris fan, Costa Rica. Abstract GSA Annual Meeting, No. 06426.
- MARSHALL, J.S., IDELMAN, B.D., GARDNER, T.W. y FISHER, D.M. (2003). Landscape evolution within a retreating volcanic arc, Costa Rica, Central America. *Geology*, 31(5), 419-422.
- MINAE y RECOPE (1997). *Mapa geológico de Costa Rica. Escala 1: 500 000*. Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Análisis Espacial de la Universidad Nacional.
- MONTERO, W., DENYER, P., BARQUERO, R., ALVARADO, G., COWAN, H., MACHETTE, M., HALLER, K. y DART, R. (1998). Map and database of quaternary faults and folds in Costa Rica and its offshore regions. USGS.
- MONTERO, W. (2000A). GEOTECTÓNICA. EN DENYER, P. y KUSSMAUL, S., (2000). Geología de Costa Rica (pp. 115-132). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- MONTERO, W. (2000b). Sismología y Neotectónica. En Denyer, P. y Kussmaul, S. (2000) Geología de Costa Rica (pp. 219-239). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- MONTERO, W. (2001). Neotectónica de la región central de Costa Rica: Frontera oeste de la microplaca de Panamá. *Revista geológica de América Central*, 1(24), 29-56.
- MORA, C.S. (1979). Proyecto hidroeléctrico Boruca. Informe de progreso N° 5, vol. I: Estudio geológico regional. Instituto Costarricense de Electricidad.
- MORA, S. (1979). *Estudio geológico de una parte de la región sureste del Valle del General, provincia de Puntarenas, Costa Rica* [Tesis Lic.]. Universidad de Costa Rica.

- PÉREZ, W. (2000). *Vulcanología y petroquímica del evento ignimbrítico del Pleistoceno Medio (0,33 M.a.) del Calle Central de Costa Rica* [Tesis Lic.]. Universidad Costa Rica.
- RODRÍGUEZ, (2017). *Potencial sísmico de las fallas del cinturón deformado del centro de Costa Rica* [Tesis Lic.]. Universidad de Costa Rica.
- SENARA, 2006: Variables para la estimación de caudal de extracción por pozos según uso reportado.
- SOLANO, J. y VILLALOBOS, R. (s.f.). *Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional.
<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>
- SPRECHMANN, P., ASTORGA, A., CALVO, C. y FERNÁNDEZ, A. (1994). Stratigraphic chart of the sedimentary basins of Costa Rica, Central America. *Profil*, 7, 427-433.
- TOURNON, J. (1984). *Magmatismes du Mesozoique a l' Actuel en Amerique Centrale: L'exemple de Costa Rica, des Ophiolites aux Andesites* [Tesis doctoral]. Univ. Curie.
- TOURNON, J. y ALVARADO, G. (1997). *Mapa geológico de Costa Rica. Escala 1: 500 000*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- TOURNON, J. y BELLON, H. (2009). The southern Central America puzzle: Chronology and structure. A review. *Revista Geológica de América Central*, 40, 11-47.

ANEXOS

Anexo 1: Información de estaciones meteorológicas.

Anexo 2: Información de aflores registrados en Base de Datos de Senara.

Anexo 3: Información de pozos registrados en Base de Datos de Senara.

Anexo 4: Información de fuentes registradas en Base de Datos de AyA.

Anexo 5: Información de pozos y manantiales registrados en Base de Datos de la Dirección de Agua del MINAE.

Anexo 6: Información de manantiales registrados en Base de Datos de Senara.