



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

**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO BÁSICO DEL CANTÓN SIQUIRRES,  
PROVINCIA DE LIMÓN, COSTA RICA, AMÉRICA CENTRAL**

**SENARA-DIGH-UI-INF-080-2021**

**Realizado por:**

**Geól. María Magdalena Monge Cordero**

**Geól. Jonathan Jesús Chinchilla Cortés**

**Octubre, 2021**



**ELABORADO POR:**

\_\_\_\_\_  
**Licda. María Magdalena Monge Cordero**

\_\_\_\_\_  
**Lic. Jonathan Jesús Chinchilla Cortés**

**REVISADO Y APROBADO  
POR:**

\_\_\_\_\_  
**Lic. Alonso Alfaro Martínez**  
**Jefe Unidad de Investigación**

\_\_\_\_\_  
**M.Sc. Roberto Ramírez Chavarría**  
**Director DIGH**

## TABLAS DE CONTENIDOS

---

### Tabla de contenido general

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Justificación .....	1
1.2	Propósito del informe.....	2
1.3	Objetivo general .....	2
1.4	Objetivos específicos .....	2
1.5	Ubicación administrativa-geográfica del área de estudio .....	3
1.6	Escala de trabajo.....	3
1.7	Periodo de análisis.....	3
1.8	Metodología de trabajo.....	3
1.9	Antecedentes.....	6
2.	GEOLOGÍA REGIONAL.....	10
2.1	Formaciones Geológicas.....	10
2.2	Geología Estructural.....	17
3.	HIDROLOGÍA .....	25
3.1	Cuencas hidrográficas de la zona de estudio.....	25
3.2	Clima, estaciones meteorológicas.....	25
	• Estaciones meteorológicas.....	26
3.3	Aforos en los cauces superficiales (ríos y quebradas).....	28
4.	HIDROGEOLOGÍA .....	30
4.1	Información de pozos y nacientes según la base de datos del SENARA.....	30
4.2	Información de la Dirección de Agua del MINAE (concesiones para el aprovechamiento del recurso hídrico y dictámenes de cuerpos de agua).....	32
4.3	Información del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) .....	34
4.4	Zonas de protección de manantiales.....	40
5.	BALANCE HÍDRICO DE SUELOS (BHS) Y VULNERABILIDAD .....	43
6.	INSUMOS A CONTRATAR Y ESTIMACIÓN PRESUPUESTARIA .....	48

7	BIBLIOGRAFÍA.....	51
8	ANEXOS.....	56

## TABLA DE CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación de las áreas de estudio .....	5
Figura 2.	Columna estratigráfica de la región. Tomado de Espinoza (2012). .....	14
Figura 3.	Mapa geológico regional del cantón de Siquirres. Tomado de Denyer & Alvarado (2007). .....	15
Figura 4.	Mapa geológico local de un sector del cantón de Siquirres. Tomado de Espinoza (2012). .....	16
Figura 5.	Marco tectónico de Costa Rica. (Tomada de Montero, 2001) .....	18
Figura 6.	Contexto morfotectónico de la zona de estudio. Arco interno (6.2 Cordillera Volcánica Central), Cuenca Trasarco (9.1 Llanura de Tortuguero, 9.2 Baja Talamanca, 9.6 Vulcanismo alcalino Neógeno y Cuaternario, CDNP (Cinturón Deformado del Norte de Panamá) (Tomado de Denyer Montero y Alvarado, 2003). .....	19
Figura 7.	Fallas y pliegues regionales en la zona de Siquirres y alrededores. F1 (Sistema de fallas inversas Siquirres-Matina y Guácimo. F5 y F7 (Fallas Pacuare y Ayil). F9 (Falla Río Blanco). Nótese el sistema de pliegues con rumbo predominante NW. (Tomado de Denyer, Montero y Alvarado, 2003). .....	22
Figura 8.	Sistema de fallas Pacuare ubicado al Sur de Siquirres (Tomado de Linkimer, 2003). .....	23
Figura 9.	Mapa geológico en los alrededores del PH Reventazón en que se muestran las fallas más importantes mencionadas por Salazar y Zamora (2015) (Tomado de Salazar y Zamora, 2015). .....	24
Figura 10.	Ubicación de estaciones meteorológicas. ....	27
Figura 11.	Ejemplo del comportamiento de la precipitación en Siquirres. ....	28
Figura 12.	Ubicación de aflores en el cantón de Siquirres. ....	29
Figura 13.	Ubicación de pozos y manantiales según la base de datos del SENARA.....	31
Figura 14.	Ubicación de expedientes de concesión. Dirección de Agua del MINAE.....	33
Figura 15.	Ubicación de dictámenes de cuerpos de agua. Dirección de Agua del MINAE. ....	34
Figura 16.	Ubicación de aprovechamientos del AyA y ASADAS en el cantón de Siquirres.....	39
Figura 17.	Delimitación de zonas de captura de pozos y manantiales en El Cairo y Milano (Hidrogeotecnia, 2009). .....	41
Figura 18.	Delimitación de zonas de captura de manantiales en El Cairo y Milano (Vargas, 2011). .....	42
Figura 19.	Insumos existentes en el cantón de Siquirres necesarios para la determinación de recarga potencial y vulnerabilidad de acuíferos. ....	44
Figura 20.	Mapa de recarga elaborado por Hidrogeotecnia Ltda (2009) .....	45
Figura 21.	Mapa de vulnerabilidad elaborado por Hidrogeotecnia Ltda. (2009).....	46
Figura 22.	Mapa de vulnerabilidad elaborado por Vargas (2011) .....	47

Figura 23. Mapa de ubicación propuesta para contratación de insumos al estudio hidrogeológico (perforaciones exploratorias, sondeos eléctricos, análisis de suelos y pruebas de infiltración).....	50
--	----

#### TABLA DE CONTENIDO DE CUADROS

Cuadro 1. Estaciones Meteorológicas en la zona de estudio, Siquirres. ....	26
Cuadro 2. Caudales tramitados en concesión según tipo de uso .....	32
Cuadro 3. Aprovechamientos bajo administración de AyA en el sistema de Siquirres .....	35
Cuadro 4. Aprovechamientos bajo administración de ASADAS en Siquirres .....	36
Cuadro 5. Cálculo de la zona de captura de manantiales (Hidrogeotecnia Ltda, 2009) .....	40
Cuadro 6. Cálculo de la zona de captura de manantiales (Vargas, 2011) .....	40
Cuadro 7. Cálculo de la zona de captura de pozos (Hidrogeotecnia Ltda, 2009) .....	41
Cuadro 8. Estimación de costos para los insumos a contratar. Estudio hidrogeológicos cuenca del río Siquirres. ....	49
Cuadro 9. Estimación de costos para las giras a realizar durante la supervisión de contrataciones y ejecución del estudio en la cuenca del río Siquirres.....	50

#### ANEXOS

- Anexo 1. Información de estaciones meteorológicas (Fuente IMN)
- Anexo 2. Información de aforos, base de datos de SENARA
- Anexo 3. Información de pozos, base de datos de SENARA
- Anexo 4. Información de concesiones, Dirección de Agua del MINAE
- Anexo 5. Información de pozos de AyA
- Anexo 6. Insumos para balance hídrico de suelos, recopilados de bibliografía.

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 Justificación

Como parte de la programación con que la Dirección de Investigación y Gestión Hídrica del SENARA cuenta para el desarrollo de investigaciones hidrogeológicas en distintos sectores del país, durante el año 2017 el cantón de Siquirres fue categorizado como un área de alta prioridad para el desarrollo de estudios hidrogeológicos, en función de las condiciones existentes en cuanto a uso del suelo, población y desarrollo humano, investigaciones previas, aprovechamiento del recurso hídrico y existencia de zonas costeras. La priorización indicada tuvo lugar en el marco de la contratación directa No. 2017CD-000018-OC “Servicios profesionales en hidrogeología para la sistematización y análisis de la información hidrogeológica generada en el país, Costa Rica”.

Por otra parte, en mayo del año 2018 se recibió en SENARA el oficio 6156-2018-DHR, correspondiente con una solicitud de intervención efectuada por la Defensoría de los Habitantes, para atender asuntos relacionados con la supuesta invasión a zonas de protección de nacientes ubicadas en la zona del Alto Berlín, ubicado en la cuenca del río Siquirres. En marzo del 2020, mediante oficio No. 03634-2020-DHR, la Defensoría de los Habitantes recomienda al SENARA la elaboración de un estudio hidrogeológico en la zona, y el pronunciamiento sobre medidas a tomar para la protección de los mantos acuíferos y quebradas existentes en el área.

Es así, como en respuesta al oficio de la Defensoría de los Habitantes 03634-2020-DHR, el SENARA emitió en abril del 2020 el oficio SENARA-DIGH-UI-072-2020, mediante el cual presentó el desglose de fases y cronograma propuesto para atender lo solicitado por la Defensoría. Según este oficio, para el año 2021 se tiene programada la ejecución del diagnóstico de información hidrogeológica existente en el cantón de Siquirres, así como la definición de insumos faltantes para la elaboración del estudio hidrogeológico. El estudio hidrogeológico en atención a la solicitud realizada por la Defensoría de los Habitantes se circunscribe a la cuenca del río Siquirres y según programación propuesta en el oficio SENARA-DIGH-UI-072-2020 estaría en ejecución durante el año 2022.

En este contexto, el presente informe constituye el estudio base para determinar la información hidrogeológica existente con relación a los acuíferos que se desarrollan en el cantón de Siquirres, cuyo análisis permitirá establecer qué estudios o investigaciones de campo más detalladas se requieren llevar a cabo, inicialmente en la cuenca del río Siquirres para atender lo solicitado por la Defensoría de los Habitantes,

y posteriormente en la totalidad del cantón como parte de las investigaciones hidrogeológicas regionales llevadas a cabo por el SENARA.

## **1.2 Propósito del informe**

Recopilar y presentar la información existente como parte de los estudios hidrogeológicos básicos en la zona de estudio. Además, analizar esta información y definir qué estudios hidrogeológicos o investigaciones de campo más detalladas se deben realizar, inicialmente en la cuenca del río Siquirres para cumplir con lo solicitado por la Defensoría de los Habitantes, y posteriormente en las zonas potenciales de crecimiento del cantón, de tal forma que se pueda cumplir en ellas con los términos de referencia del apartado de variable hidrogeológica de un posible Plan Regulador cantonal.

## **1.3 Objetivo general**

Realizar la recopilación y diagnóstico de la información hidrogeológica disponible en el cantón de Siquirres, para utilizarse en la definición de los estudios hidrogeológicos específicos que se deben realizar para lograr la ejecución del estudio hidrogeológico en la cuenca del río Siquirres, y eventualmente en las zonas de crecimiento definidas por la Municipalidad del cantón.

## **1.4 Objetivos específicos**

1. Determinar la geología superficial regional de la zona de estudio.
2. Recopilar la información hidrológica y climática existente en la zona de estudio.
3. Recopilar la información hidrogeológica existente en el cantón.
4. Recabar la información existente de pruebas de infiltración y análisis de suelos.
5. Definir los estudios hidrogeológicos específicos o ensayos de campo que se deben realizar para elaborar el estudio hidrogeológico en la cuenca del río Siquirres, así como en las posibles zonas de crecimiento definidas por la Municipalidad del cantón.

## **1.5 Ubicación administrativa-geográfica del área de estudio**

Ante el eventual desarrollo de un estudio hidrogeológico a nivel cantonal, centrado en las posibles zonas de crecimiento definidas por la Municipalidad de Siquirres, el área de este estudio se circunscribe específicamente a este cantón, ubicado en la provincia de Limón, entre las coordenadas CRTM05 aproximadas 1 103 765.2 – 1 140 531.7 N / 530 946.6 – 579 934.04 E de las hojas cartográficas Parismina, Matina, Barbilla, Tucurrique, Bonilla y Guácimo escala 1: 50 000. El cantón cuenta con un área aproximada de 851.8 km<sup>2</sup> y se encuentra dividido en los distritos de Germania, Alegría, Florida, Cairo, Siquirres y Pacuarito (figura 1).

Cabe mencionar, que para fines del estudio hidrogeológico solicitado por la Defensoría de los Habitantes en su oficio 03634-2020-DHR, el área de estudio está constituida exclusivamente por la cuenca del río Siquirres, la cual se ubica dentro de los límites del cantón de Siquirres, cuenta con un área aproximada de 30.09 km<sup>2</sup> y se extiende entre las coordenadas extremas 1110079 – 1118485 N y 549669 – 556310 E, de las hojas cartográficas Bonilla y Matina escala 1: 50 000 (figura 1).

## **1.6 Escala de trabajo**

Para el presente estudio y principalmente debido a la información geológica y de curvas de nivel disponible, se ha definido que la escala de trabajo es de 1: 25 000, que es la escala base con la que se generaron los mapas del presente estudio.

## **1.7 Periodo de análisis**

El presente estudio básico incluye la recopilación y análisis de información existente anterior al año 2021, exclusivamente de textos, mapas y bases de datos relacionadas con el tema hidrogeológico que involucren la zona de interés.

## **1.8 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, Dirección de Aguas del MINAET y AyA, para obtener datos de los acuíferos y concesiones de agua.

- 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 otras instituciones.
- Análisis comparativo de la información recopilada con respecto a La Metodología General para la Elaboración de los Estudios Hidrogeológicos para Planes Reguladores, publicada en el diario oficial La Gaceta, No. 137, del jueves 16 de Julio del 2015.
- Elaboración del Informe Estudio Básico Hidrogeológico.

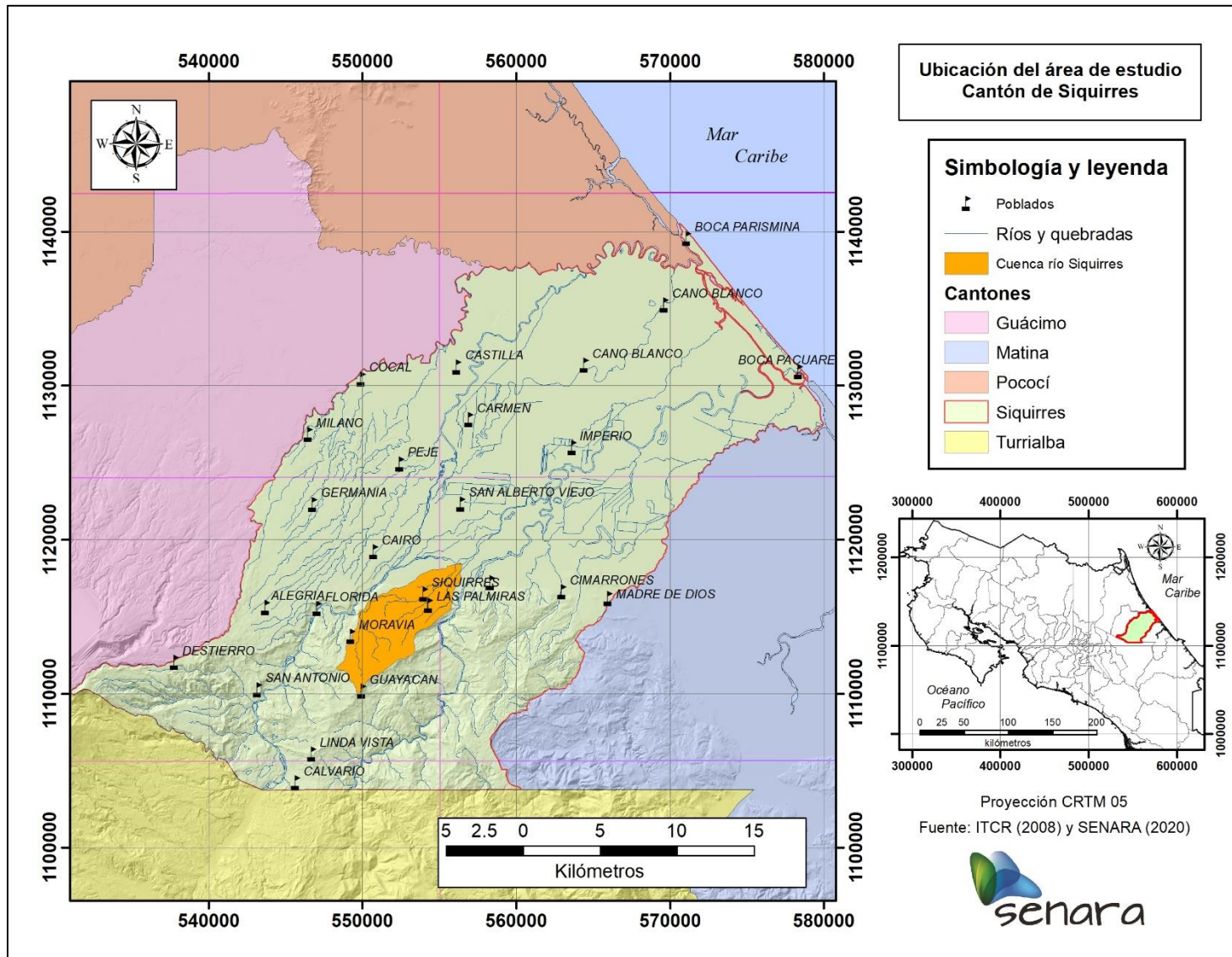


Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio

## 1.9 Antecedentes

Debido a que importantes obras de ingeniería, tales como el oleoducto de RECOPE, ferrocarril al Atlántico, ruta nacional 32 y el proyecto hidroeléctrico Reventazón se ubican o atraviesan parte del cantón de Siquirres, en la zona se ha realizado una cantidad importante de estudios, aunque la gran mayoría se han enfocado en aspectos geológicos, geotécnicos o de amenaza por deslizamiento o inundación. Los estudios estrictamente de tipo hidrogeológico más bien son escasos en la zona y en ese sentido destacan los siguientes por su contenido, área de cobertura e importancia de la información:

### Geología:

- El estudio “Base geológica para los análisis geotécnicos del proyecto hidroeléctrico Siquirres, provincia de Limón, Costa Rica”, fue elaborado por Cervantes (1989) para optar por el grado de licenciatura. Este importante documento se centra en la geomorfología, geología y estructuras tectónicas localizadas en el sector medio de la cuenca del río Pacuare. Incluye algunas consideraciones geotécnicas y sísmicas para el sitio de presa y construcciones anexas.
- Cerdas (1991) llevó a cabo su tesis de licenciatura “Análisis de estabilidad de laderas en la margen derecha del río Pacuare, proyecto hidroeléctrico Siquirres, provincia de Limón, Costa Rica”. Este importante documento incluye para este sector un análisis detallado de geomorfología, cartografiado geológico, 3 perforaciones exploratorias de 45 a 68 metros de profundidad, 8 sondeos eléctricos con lo que se construyó una sección eléctrica PR51, análisis a 38 muestras de los materiales registrados en las perforaciones para obtener datos de límites, granulometrías, humedad, compresión simple, triaxial, SPT (cohesión y ángulo de fricción) y peso unitario (no en todas las muestras se obtuvieron todos los parámetros). Además, análisis de estabilidad de la ladera en margen derecha del río Pacuare.
- En el año 1996 se realizó en la parte alta del cantón el informe de Campaña Geológica “Estudio Geológico y de Amenazas Naturales Corredor Turrialba – Siquirres, Poliducto de RECOPE, sector Bonilla – Guayacán” por parte de Pérez (1996). El informe abarca comunidades como Linda Vista y Guayacán, e incluye mapeo geológico, levantamiento de fallas y buzamientos, identificación de zonas de deslizamiento y tres muestras de suelo (gravedad específica, granulometría y límites, corte directo y cohesión).
- También Chavarría (1996), como parte del curso de Campaña Geológica, realizó el informe “Estudio geológico geotécnico del corredor Turrialba – Siquirres, sección río Torito – Laguna Bonilla, poliducto de RECOPE, provincia de Cartago, Costa Rica”.

Este estudio abarca un sector de la parte alta del cantón de Siquirres, entre los poblados Linda Vista y Calvario e incluye aspectos de geomorfología, geología, buzamientos y pliegues, amenazas y el análisis de 5 muestras de suelo (granulometría, límites, corte directo y gravedad específica).

- Además, Rojas (1996) realizó como parte de la Campaña Geológica, el informe “Estudio geológico – geotécnico del corredor Turrialba – Siquirres, sección Alto Guayacán – Siquirres del poliducto RECOPE”. El estudio incluye geología y tectónica regional, geomorfología y geología local, análisis estructural, análisis de amenazas, análisis geotécnico para seis muestras de suelo (granulometría, límites, corte directo y gravedad específica). Este trabajo resulta también de mucho interés ya que incluye gran parte de la cuenca del río Siquirres.
- Para el año 1997 se publica el Mapa Geológico de Costa Rica a escala 1:500.000, (Tournon & Alvarado, 1997).
- También, en el año 1997 se divulga el Mapa Geológico de Costa Rica elaborado por el Ministerio de Ambiente y Energía, la Dirección de Geología y Minas-Dirección de Hidrocarburos y la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) a una escala de 1:500.000.
- Con un enfoque regional, Campos (2001) desarrolló su tesis de doctorado “Geology and basins history of middle Costa Rica: an intraoceanic island arc in the convergence between the caribbean and the pacific plates”. Este estudio, incluye al cantón de Siquirres dentro la cuenca sedimentaria trasarco Limón Sur, en la que presenta una descripción sobre la sedimentación y estratigrafía del área, formaciones ígneas y sedimentarias presentes, análisis estructural y evolución geológica. Los mapas geológicos regionales 13, 14, 15 y 16 incluidos en el anexo de esta tesis corresponden con el área de interés.
- Denyer & Alvarado (2007), publican el Mapa Geológico de Costa Rica a escala 1: 400 000.
- A nivel regional un documento importante lo constituye el informe de campaña geológica elaborado por Alpízar et al. (2007) denominado “Diagnóstico Geológico de la provincia de Limón”, el cual abarca tres módulos de hidrogeología y sedimentología reciente, susceptibilidad a inundaciones y deslizamientos y cartografiado geológico. Lamentablemente este documento no incluye al cantón de Siquirres dentro de sus alcances, sino que se ubica al este del cantón a partir de Batán y Matina, no obstante, algunos aspectos geológicos regionales pueden ser de interés para el estudio de Siquirres.
- Segura (2009) realizó a lo largo del corredor del poliducto de RECOPE su proyecto de tesis de licenciatura “Análisis mediante aplicaciones SIG de la susceptibilidad al deslizamiento en el corredor Siquirres-Turrialba como factor de riesgo del poliducto de RECOPE”. Este estudio abarca gran parte del cantón y aunque se centra en el tema de cartografiado y análisis de deslizamientos, como parte de los insumos

realizó la unificación en un único mapa geológico de los distintos trabajos existentes en la zona. El estudio no incluyó toma de muestras o análisis de laboratorio.

- Hacia el extremo SW del cantón, en las cercanías de los poblados San Antonio y Destierro, se localiza la zona de estudio de Calderón (2015), quien presentó el trabajo de tesis de licenciatura “Definición preliminar del modelo geológico-geotécnico del deslizamiento San Antonio de Pascua, Siquirres, Limón”. Este trabajo incluye geología regional y local, rasgos estructurales regionales y locales, 11 perfiles geofísicos eléctricos y sísmicos, análisis geomorfológico, ensayos de granulometría y límites (14), peso unitario y compresión simple (21), corte directo (2), ensayos Guelph (4) y RQD (3 perforaciones exploratorias).
- El estudio “Comportamiento geomecánico de las formaciones geológicas: Guayacán, Suretka y Doán en excavaciones subterráneas” fue desarrollado como tesis de licenciatura por Salazar y Zamora (2015) en el área del proyecto hidroeléctrico Reventazón. Si bien es cierto este trabajo y los ensayos realizados se centran en aspectos geomecánicos de los materiales, el estudio incluye un apartado de cartografía geológica regional y local muy detallado basado en estudios internos del ICE y otros autores, así como la descripción para el sitio de estudio de estructuras y modelo tectónico. También, en la descripción de los macizos rocosos de cada formación se tocan algunos aspectos de aguas subterráneas que pueden resultar de interés para un posible estudio hidrogeológico en el cantón. Finalmente, se incluye el modelo geológico en profundidad e hidrogeología para las obras del túnel de conducción, túnel de desvío y galería de impermeabilización.

#### Hidrogeología:

- SENARA (2003) realizó, a través de una contratación de servicios profesionales de la hidrogeóloga Sandra Arredondo, el “Diagnóstico de los recursos hídricos en la Región Atlántica”, enfocado en las hojas cartográficas Guápiles, Guácimo y Río Banano. Este estudio involucra la cartografía geológica regional a escala 1:50 000 de estas hojas, perfiles geológicos e hidrogeológicos, información de concesiones y pozos existentes en ese momento, hidrogeología (acuíferos y acuíferos existentes), zonas protectoras, hidrología (ríos y manantiales), acueductos existentes, calidad del agua, uso de suelo y análisis de vulnerabilidad para los acuíferos identificados. Para el caso específico de Siquirres, resulta de interés la información localizada en los sectores de la hoja Guácimo que se ubican en el cantón.
- En el 2009, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) obtiene el “Estudio Hidrogeológico para la caracterización de las zonas de recarga de las fuentes Milano y El Cairo”, como parte de la Licitación Abreviada No. 2008-LA000039-PRI, ejecutada por Hidrogeotecnia Ltda. (2009). En este estudio se describe la geología regional y local de las cuencas de los ríos Destierro y Peje, se

realizan 12 SEV, 56 pruebas de infiltración de doble anillo, 56 muestras de suelo analizando CC, PM, DA, clasificación SUCS, contenido de humedad y límites, y 58 aforos de ríos y quebradas. Adicionalmente, se propuso un modelo hidrogeológico conceptual, se realizaron análisis de vulnerabilidad, balance hídrico, áreas de captura de nacientes y un análisis hidrogeoquímico de la zona saturada y no saturada.

- Como parte del proceso de licitación abreviada 2010LA-000006-OC, Vargas (2011) realizó para SENARA el estudio denominado “Estudio hidrogeológico y de vulnerabilidad de la parte media y baja de la cuenca de los ríos Peje y Destierro, Cairo y Milano, Limón”, cuyos objetivos se centraron en definir el modelo hidrogeológico, evaluar la vulnerabilidad DRASTIC de los acuíferos, estimación de recarga, definir las zonas de protección de las nacientes Cairo y Milano y determinar la posible existencia de plaguicidas. La cuenca del río Peje se localiza en el cantón de Siquirres y el río Destierro corresponde con el límite cantonal con Guácimo. Este estudio involucró la ejecución de 20 pruebas tipo Porchet, 20 análisis de suelos para CC, PM, DA, clasificación SUCS, porosidad, humedad y peso unitario. Además, se realizaron 12 aforos en ríos y quebradas, 10 sondeos eléctricos verticales, 20 piezómetros de exploración, 1 prueba de bombeo y 18 análisis químicos y de plaguicidas en suelos.
- Chaves (2016) desarrolló su tesis de maestría “Estimación de los efectos en el caudal y en el nivel del agua subterránea por la excavación de los túneles de desvío del proyecto hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Limón, Costa Rica”. En este estudio se presenta el modelo geológico e hidrogeológico del área del proyecto hidroeléctrico Reventazón, se incluye mapa de unidades hidrogeológicas, perfiles, conductividades hidráulicas de las unidades, monitoreo de niveles en piezómetros, direcciones de flujo, áreas de recarga y descarga y modelación numérica en que se observan los efectos de la construcción del túnel. Se incluyen mapas geológicos e hidrogeológicos regionales generados por el ICE.
- A nivel de trámites de proyectos que se han presentado ante el SENARA, los expedientes más relevantes que contienen algún tipo de información útil para fines de los estudios hidrogeológicos en el cantón son los elaborados por Vargas (2012a) “Exp. 32-2012 Estación de Servicio Siquirres”, Vargas (2012b) “Exp. 40-2012 Estación de Servicio Acón Siquirres Ltda.”, Gómez (2019) “Exp. 156-2019 Tanque de autoconsumo CHEC”, Chaves y Vargas (2012) “Exp. 76-2012 Tanque de autoconsumo PHReventazón”, Barboza (2012) “Exp. 171-12 “Tanque de autoconsumo piñales de Costa Rica” y Vega (2017) “Exp. 86-2017 Parque industrial en la zona de El Cairo”.

## 2. GEOLOGÍA REGIONAL

---

### 2.1 Formaciones Geológicas

En general se puede decir que las rocas que existen en la zona son de origen sedimentario y volcánico, durante el Paleógeno y Neógeno. La figura 3 representa las unidades geológicas de la zona de estudio, basados en el Mapa Geológico de Costa Rica de Denyer & Alvarado (2007) y la figura 4 muestra en detalle la geología realizada por Espinoza (2012) para un sector del cantón. Además, la figura 2 muestra las relaciones estratigráficas existentes entre estas mismas unidades. A continuación se describen las rocas que afloran en la zona.

#### 2.1.1 Formación Tuis

Está constituida por sedimentos de granulometría gruesa (ruditas) y composición volcánica, con algunos intervalos estratificados de arenitas y lutitas (Bottazzi et al., 1994).

Paris (1953) indica que esta formación puede ser dividida en 2 series, una inferior con un espesor de 600 m de síltitas y areniscas, bien soldadas, duras, de color marrón a gris alternando con aglomerados masivos y compactos, flujos de basalto y brechas de flujo asociadas. La serie superior tiene aproximadamente 700 m de sílticas, areniscas y calizas dolomíticas, bien soldadas a laminadas, de varios colores. Rivier (1973) menciona un espesor de más de 3000 m.

Linkimer & Aguilar (2000) mencionan que el origen de estas rocas está relacionado con la existencia de un arco volcánico que aportó gran cantidad de material a los mares, los cuales fueron removidos y depositados en el talud continental, en forma de flujos de detritos y corrientes de turbidez.

La edad de estas rocas va desde el Paleoceno al Eoceno Superior, según Bottazzi et al. (1997).

Fernández (1987) indica que esta formación está estratificada con la Formación Changinola en la parte inferior y con la Formación Senosri en la parte superior.

#### 2.1.2 Formación Fila de Cal

Está formada por calizas con macroforaminíferos, según Bottazzi et al. (1994), y Linkimer y Aguilar (2000), indican que las rocas de esta formación se desarrollaron bajo condiciones ambientales estables, con aguas turbulentas, pero sin turbidez, cálidas y oxigenadas, típicas de zonas tropicales, durante un período de disminución de la actividad volcánica, por lo que las aguas fueron limpias, bien iluminadas y con salinidad normal.

La edad de estas rocas va desde el Eoceno Medio a Superior, según Sprechmann et al. (1994).

### **2.1.3 Formación Senosri**

Incluye lutitas con intercalaciones frecuentes de areniscas y brechas calcáreas cargadas del material carbonatado de las plataformas, con macroforaminíferos, algas, bivalvos, partes de corales y fragmentos esqueléticos de otros organismos que vivían en zonas poco profundos (Linkimer y Aguilar, 2000).

Fernández (1987) indica que está compuesta por sedimentos de talud que incluyen una alternancia de calcilutitas y limolitas, con intercalaciones frecuentes de areniscas (calcarenitas depositadas por flujos de granos de material carbonatado nerítico) y pocas ruditas (principalmente gravas lodosas), interpretadas como flujos de escombros.

Bottazzi et al. (1994) mencionan que estas rocas se depositaron del Eoceno Medio al Mioceno Inferior, sobre el talud continental, y su origen está relacionado con la lenta y continua lluvia de sedimentos y organismos muertos, ocurrida entre depósitos de corrientes de turbidez, flujos de detrito y slumps.

Fernández (1987) también menciona que el contacto inferior es de tipo normal a transicional con la Formación Tuis y es transicional gradual con la Formación Uscari, en parte superior.

### **2.1.4 Formación Uscari**

Pizarro (1987) indica que la Formación Uscari está constituida por lutitas limosas gris violáceo a verdoso, fisibles, con estratificación maciza, que se caracteriza por su abundancia en microfósiles (dominan los foraminíferos).

Bottazzi et al. (1994) describe lutitas calcáreas, oscuras y suaves, las cuales se encuentran interestratificadas con algunas areniscas y conglomerados, y les da una edad del Mioceno Inferior al Mioceno Superior.

Las rocas de esta formación se depositaron en la plataforma continental, en una zona con gran cantidad y diversidad de organismos, y caracterizada por aguas iluminadas, oxigenadas y sujetas a la influencia de las olas, tormentas y corrientes marinas (Aguilar, 1993).

Sobreyace a la Formación Senosri y lateralmente presenta un cambio transicional con la Formación Río Banano (Fernández, 1987).

### **2.1.5 Formación Río Banano**

Corresponde con areniscas, lutitas y conglomerados, estratificados y de composición volcánica, depositados en un ambiente marino somero (estuarios, deltas, llanuras de

marea y abanicos deltáicos (Bottazzi et al., 1994). Aguilar & Linkimer (2000) indican que poseen estructuras sedimentarias como ondulitas, laminación paralela y laminación cruzada, así como una rica y alta diversidad de fauna, incluyendo espinas de erizos, macroforaminíferos, nódulos de algas, corales, moluscos, briozoos, dientes de tiburón e icnofósiles.

Campos (2001) divide la formación en 2 partes:

1. La parte inferior, formada por 5 facies de frente deltáico:
  - Alternancia de limolitas y lutitas ricas en cuarzo, del Mioceno Medio a Superior, interpretado como una facie de frente deltáico distal.
  - Areniscas y limolitas intercaladas, con estratificación “hummocky” y “swaley”.
  - Arenisca gruesa y de estratos gruesos, bioclástica, con moluscos, cuarzo y gránulos de glauconita, estratificación horizontal y cruzada, y deformación sinsedimentaria.
  - Areniscas fina bioturbadas intercaladas con tempestitas.
  - Areniscas de grano grueso y limoso de estratos gruesos a areniscas masivas con cuarzo, fragmentos de concha, clastos ígneos, hojas, madera.
2. La parte superior, formada por 5 facies de plano deltáico:
  - Alternancias de areniscas de grano grueso a fino, areniscas con bloques y limolitas con carbón.
  - Areniscas gruesas con restos vegetales, madera carbonizada, clastos ígneos, laminación horizontal, laminación cruzada, ripples, laminación ondulada discontinua, laminación lenticular.
  - Alternancias de finas capas de areniscas, limolitas y lutitas, ricas en restos vegetales.
  - Arenisca fina y lutita con carbón.
  - Alternancias rítmicas de areniscas y areniscas fosilíferas con hasta 50% de conchas.

Aguilar & Linkimer (2000) indican que la edad de esta formación es del Mioceno Superior al Plioceno.

### **2.1.6 Formación Grifo Alto**

Corresponde a lavas basálticas, andesítico – basálticas y tefríticas, que muchas veces contienen fenocristales bien formados de augita con tamaños de hasta 1 cm, pocos fenocristales de plagioclasa, olivino alterado y magnetita. A veces se encuentran también lavas con grandes fenocristales de hornblenda. Son abundantes los depósitos de bloques y ceniza, con fenocristales de augita en la matriz (Denyer & Arias, 1991). La edad de estos basaltos ronda los 5 Ma (Marshall & Idleman, 1999).

### **2.1.7 Formación Guayacán**

Azembre & Tournon (1977) describen rocas hipoabisales alcalinas (diques y sills) con un espesor de hasta 30 m dentro de rocas sedimentarias del Terciario Inferior. Corresponde con teschenitas, una roca plutónica con feldespatoides, compuesta por diferentes proporciones de plagioclasa, analcima, ortosa, augita, olivino, hornblenda parda y magnetita, a veces con trazas de hauyna, nefelita y biotita. Estas teschenitas han sido datadas entre 4,5 Ma y 5,2 Ma (Bellón & Tournon, 1978).

### **2.1.8 Formación Suretka**

Consiste en conglomerados y brechas, con partículas que varían desde el tamaño de las arcillas hasta bloques métricos, de composición volcánica e intrusiva (Cervantes, 1989).

Bottazzi (2016) indica que son conglomerados y brechas polimícticos y areniscas medias con cemento silicio dispuestos en banco de decenas de metros de espesor, asociados a un ambiente aluvial.

Linkimer & Aguilar (2000) mencionan que estas rocas tipifican el inicio de una sedimentación eminentemente continental, cuya depositación ocurre durante el Plioceno - Pleistoceno, relacionada al retrabajo y transporte de masas terrestres expuestas a la erosión, debido al levantamiento de la Cordillera de Tamanca a partir del Mioceno Medio - Superior.

El contacto inferior es transicional con la Formación Río Banano y discordante con las formaciones Serosri y Uscari. Se interdigita con las formaciones volcanigénicas del Cuaternario y se relaciona lateralmente con limos y lutitas de ambiente marino somero de la Formación Limón (Fernández, 1987).

### **2.1.9 Formación Doán**

Esta unidad rocosa está compuesta en más de un 80% por depósitos volcanoclásticos (piroclásticos y epiclásticos), así como coladas de lava y diques subordinados. Los depósitos piroclásticos y autoclásticos (brechas volcánicas y tobas) consisten en depósitos de flujos de bloques y cenizas, flujos ricos en líticos y cristales, avalanchas de escombros volcánicas e intercalaciones de ceniza Escalante (1966).

A esta Formación se le asigna una edad posiblemente Plioceno (Alvarado & Pérez, 1999).

### **2.1.10 Depósitos volcánicos Cuaternarios**

Se trata de una gama de materiales volcánicos que se encuentran distribuidos a lo largo de la zona de estudio, particularmente se presentan en la margen izquierda del río Reventazón. Los mismos provienen de la actividad volcánica establecida durante el cuaternario y su fuente principal ha sido el macizo del Turrialba y el volcán Dos Novillos (ICE, 2006).

### 2.1.11 Depósitos aluviales y coluvios recientes

Se describe como depósitos constituidos por coluvios y aluviones relacionados con la actividad neotectónica de las fallas y ubicados en sus vecindades (Linkimer, 2003). Sobreyacen a las Formaciones geológicas más antiguas de manera discordante.

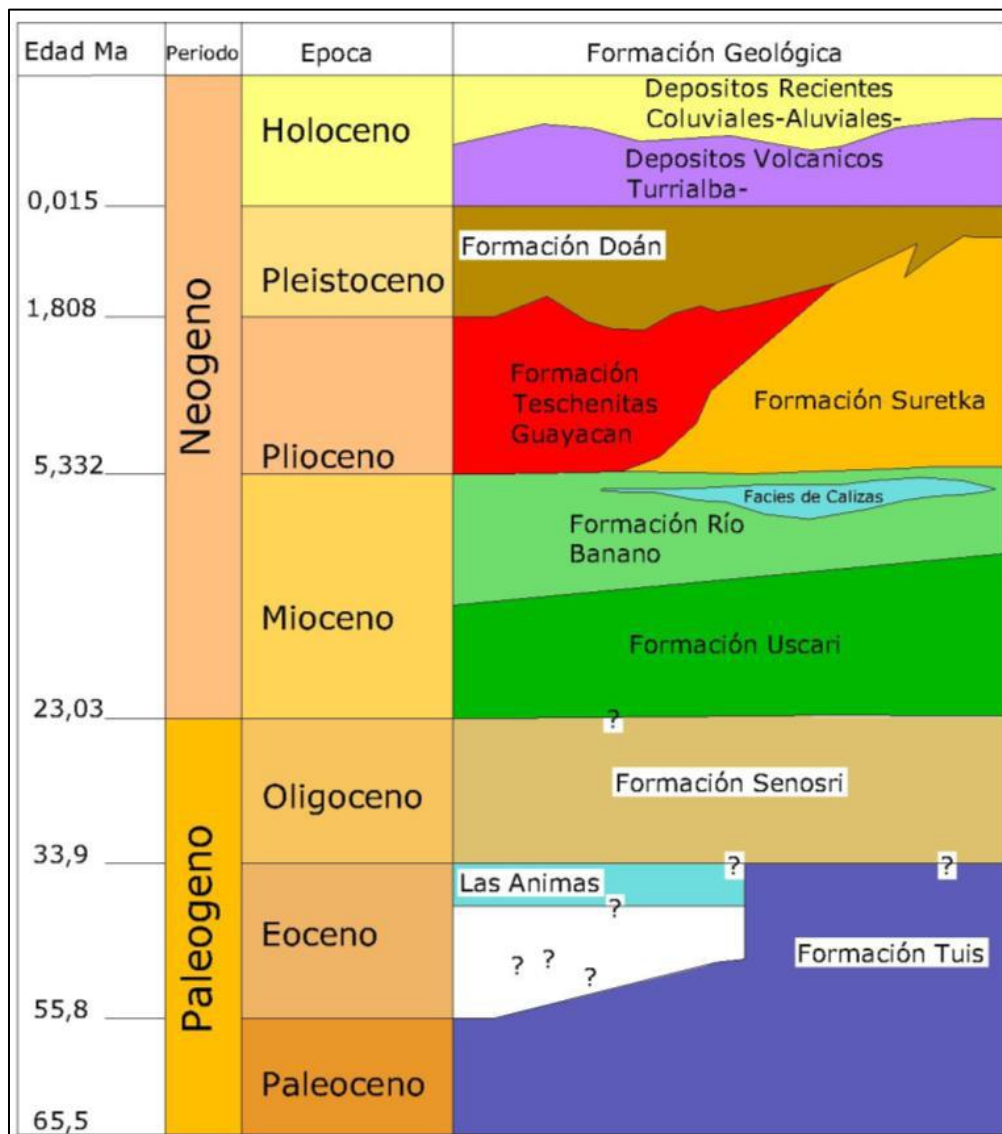


Figura 2. Columna estratigráfica de la región. Tomado de Espinoza (2012).

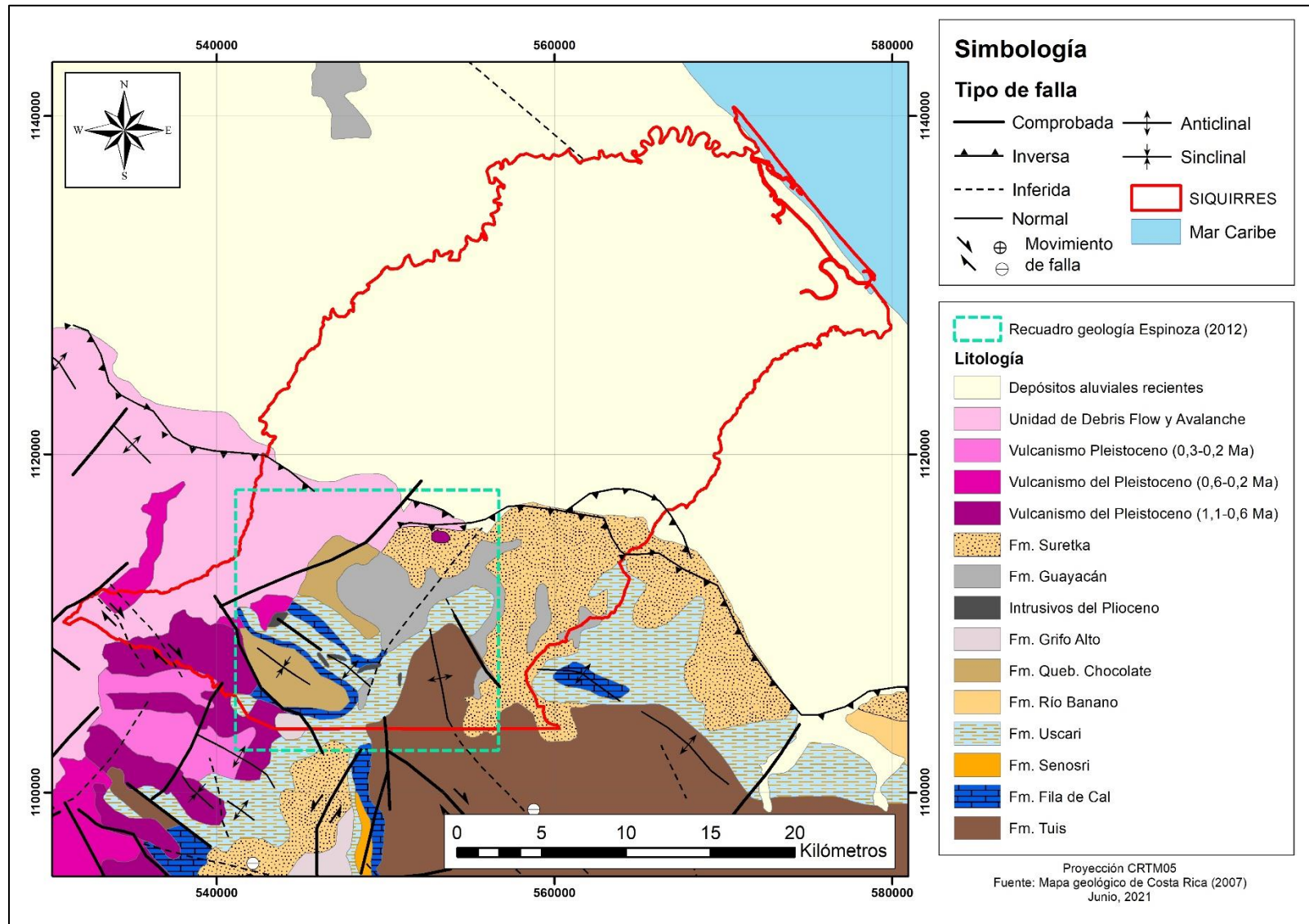


Figura 3. Mapa geológico regional del cantón de Siquirres. Tomado de Denyer & Alvarado (2007).

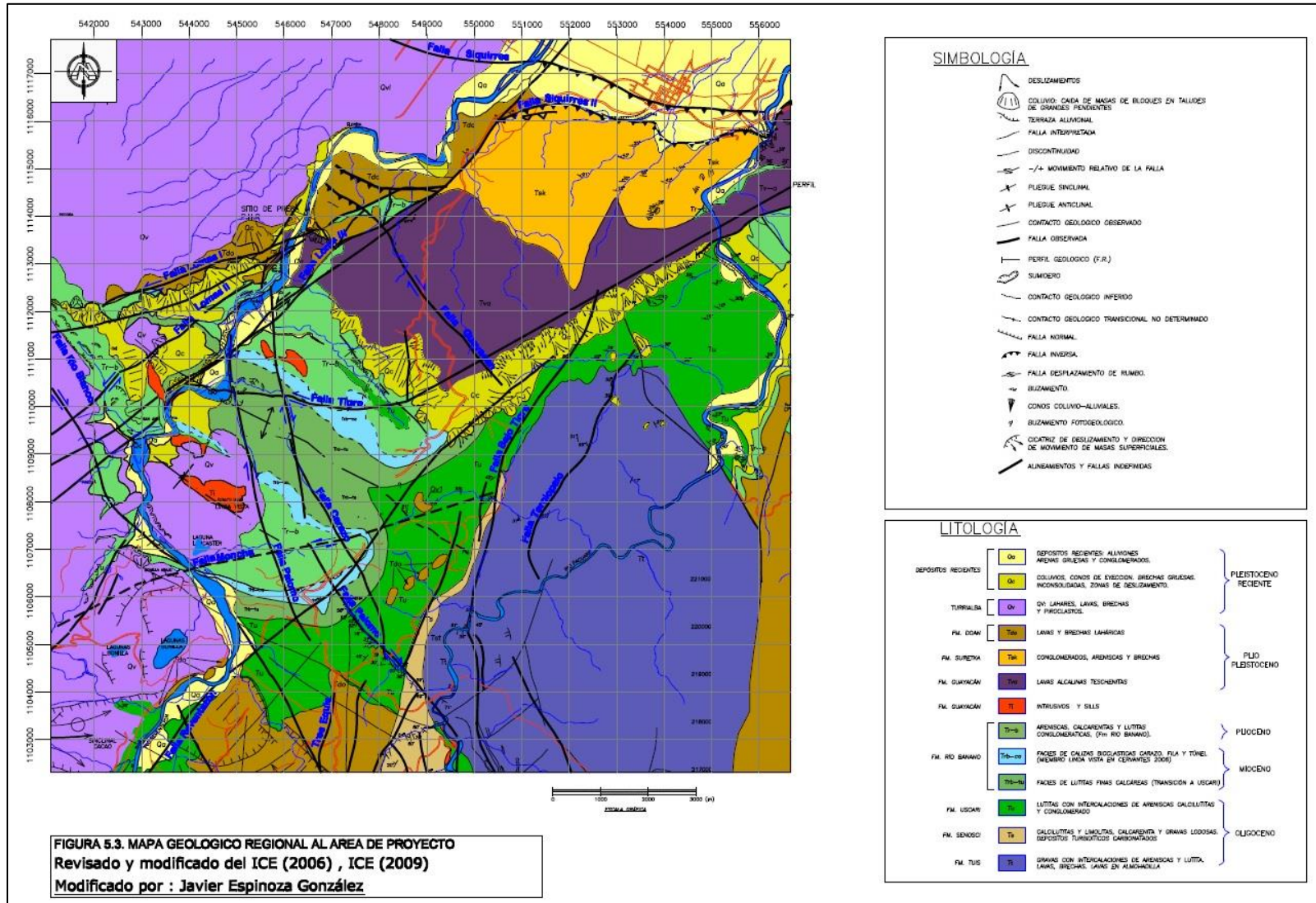


Figura 4. Mapa geológico local de un sector del cantón de Siquirres. Tomado de Espinoza (2012).

## 2.2 Geología Estructural

### Marco geotectónico

El contexto geotectónico en que nuestro país se localiza corresponde con la zona de convergencia entre las placas tectónicas Coco y Caribe, en donde la placa de Coco se subduce bajo la Caribe a lo largo de la Fosa Mesoamericana, depresión alargada paralela a la costa Pacífica de rumbo NW que marca el inicio de esta subducción.

Montero (2000a) menciona que la placa de Coco acarrea varios levantamientos submarinos que eventualmente colisionan y se subducen en la Fosa Mesoamericana, tal es el caso del levantamiento oceánico del Coco, que corresponde con una serie de montañas submarinas que se levantan entre 1 y 2 km por encima del nivel del fondo oceánico y se subducen frente a las costas de la península de Osa al sur de Costa Rica.

La colisión y subducción del levantamiento oceánico del Coco genera una fuerte interacción con el sector continental, que tiene importantes implicaciones neotectónicas y sismológicas (Montero, 2000b). Collins, Coates, Jackson & Obando (1995) consideran que esta colisión se originó hace unos 3,6 Ma, lo cual provocó la terminación del vulcanismo en la actual Cordillera de Talamanca, así como fuertes levantamientos y el incremento en la erosión.

Montero (2000b) indica que, con el inicio de esta subducción y a partir de las fuerzas compresivas asociadas, se han generado una serie de fallas neotectónicas entre el antearco y el trasarco del este de Costa Rica. En esa misma línea, 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, se 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 ENE con respecto a esta última (figura 5).

Es así, como en el Caribe de Costa Rica existe un sistema compresivo compuesto por fallas inversas y pliegues, que forman parte del llamado Cinturón Deformado del Norte de Panamá, el cual bordea el litoral Caribe de este último país y se continúa en Costa Rica hasta cerca de puerto Limón, en donde cambia de rumbo y entra en la región central de Costa Rica, donde existe un sistema de fallas y pliegues que recibe el nombre de Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica. Ambos cinturones constituyen los límites norte y oeste de la microplaca de Panamá con respecto a la placa Caribe (Montero, 2000a).

El fallamiento y plegamiento en la zona límite entre la microplaca Panamá y la placa Caribe, sugieren un movimiento relativo entre norte y este noreste para la parte sur de Costa Rica, lo cual origina compresión tanto en el sector norte de la Cordillera Volcánica Central como a lo largo del margen Caribe hacia el SE de puerto Limón. Esto ocurre en fallas de movimiento horizontal predominantemente izquierdas de rumbo NE a E-NE y derechas de rumbo NW, inversas de rumbos W-NW y en pliegues de rumbos similares.

Fallas normales de rumbos cercanos a N también contribuyen al proceso de interacción (Montero, 1994).

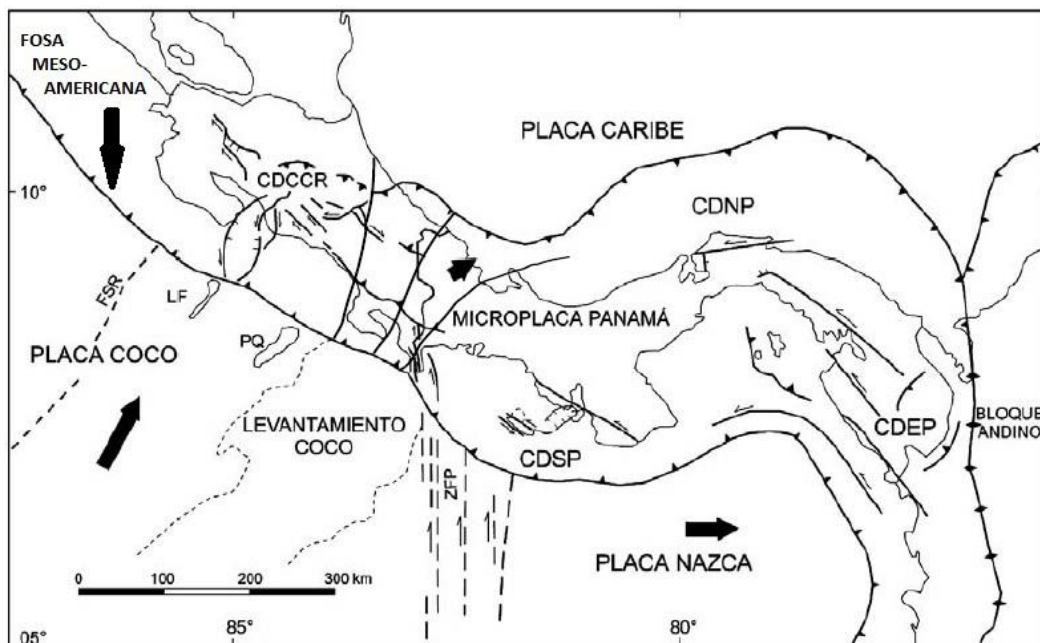


Figura 5. Marco tectónico de Costa Rica. (Tomada de Montero, 2001)

### Ubicación morfotectónica

En las zonas de subducción se generan una serie de elementos morfológicos comunes que son originados por los procesos tectónicos y magmáticos que ocurren. Es así, como la mayor parte del área de estudio se localiza o forma parte de la unidad morfotectónica denominada cuencas trasarco, específicamente las Llanuras de Tortuguero y Baja Talamanca según Denyer, Montero y Alvarado (2003). Además, de conformidad con estos mismos autores, hacia el extremo SW de la parte alta de la zona de estudio es posible localizar materiales volcánicos del Cuaternario asociados aún con sectores del Arco Interno. También, dentro de las cuencas trasarco describen la existencia de magmatismo trasarco de tipo alcalino, originado durante el Neógeno y Cuaternario (figura 6).

- Arco Interno

Según Montero (2000a) el arco interno corresponde con el sistema de cordilleras que atraviesa Costa Rica con rumbo NW, en donde predominan rocas de origen ígneo que provienen de magmas que se originan en la zona de subducción. Los sectores más cercanos para el área de interés se asocian con la subprovincia de la Cordillera Volcánica Central.

- Cuenca Trasarco

Corresponde con la cuenca sedimentaria que se encuentra detrás del Arco Interno y que en el caso de estudio se encuentra representada por las llanuras de Tortuguero y la paleocuenca de Baja Talamanca. Esta paleocuenca ha sufrido desde el Plioceno un proceso de inversión tectónica (levantamiento por fallamiento inverso) similar a la cuenca de Térraba (Montero, 2000a).

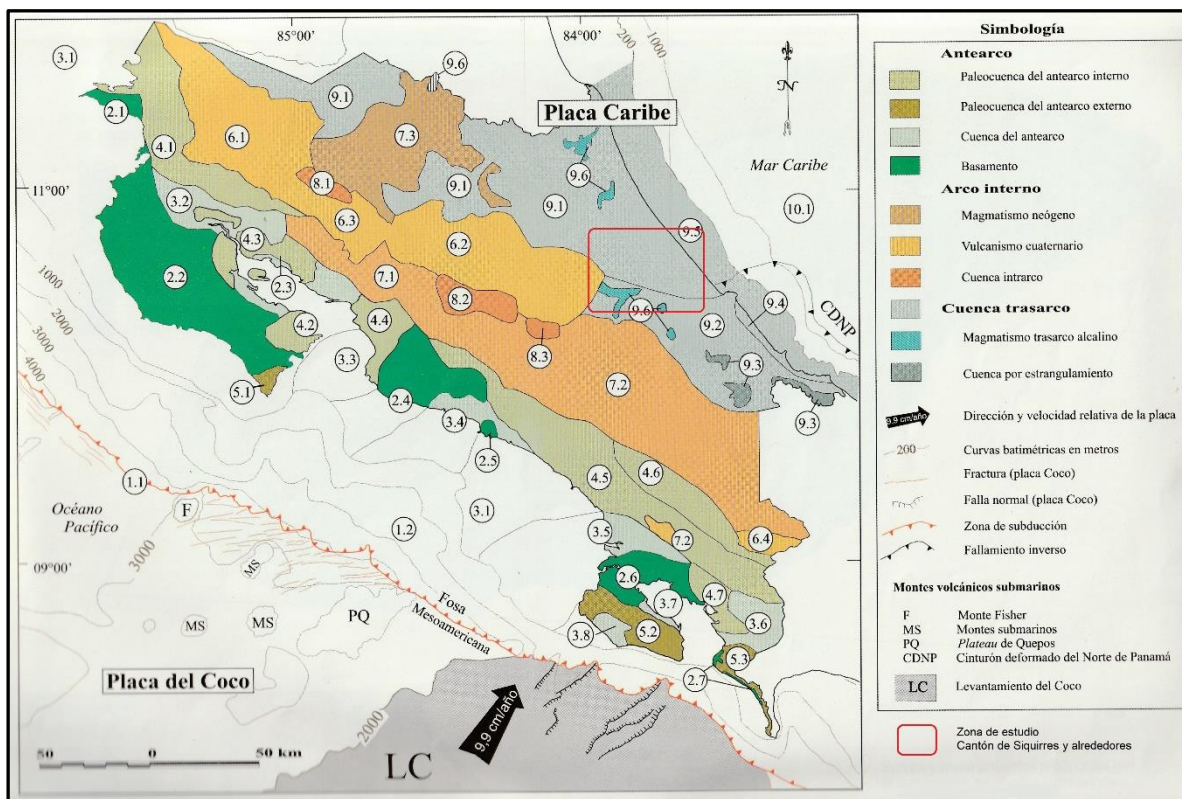


Figura 6. Contexto morfotectónico de la zona de estudio. Arco interno (6.2 Cordillera Volcánica Central), Cuenca Trasarco (9.1 Llanura de Tortuguero, 9.2 Baja Talamanca, 9.6 Vulcanismo alcalino Neógeno y Cuaternario, CDNP (Cinturón Deformado del Norte de Panamá) (Tomado de Denyer Montero y Alvarado, 2003).

## Sismicidad y neotectónica

Fernández et al. (1994) mencionan que el estilo estructural en la Cuenca Limón Sur se caracteriza por esfuerzos compresivos con dirección noreste, originados a partir de tres eventos principales que son: 1) La colisión de la dorsal del Coco y el levantamiento generalizado asociado, 2) el emplazamiento del Plutón de Talamanca durante el Mioceno Superior y 3) la colisión del Bloque Panamá contra la placa Suramericana, que resultó en la estructuración del Cinturón Deformado del Norte de Panamá, del cual forman parte los cinturones de sobrecorrimiento en la cuenca de Limón. Por su parte, Montero (2001) indica que la orientación del esfuerzo principal máximo varía entre N – S en el centro de Costa Rica a NE en la zona de Baja Talamanca.

- *Arco Interno (Cordillera Volcánica Central)*
  - *Sistema de fallas inversas del sector norte*

Una serie de escarpes de rumbo WNW bordean el sector norte de la Cordillera Volcánica Central en su contacto con la llanura aluvial, los cuales se han interpretado como la expresión morfológica de fallas inversas. Entre estas, Montero (2000b) señala las fallas de Guápiles y Guácimo (F1 en figura 7), que tienen continuidad hacia el este con el sistema de fallas inversas de Siquirres y Matina.

- *Sector Trasarco*
  - *Sistema de fallas inversas Siquirres – Matina*

Montero (2000b) lo describe como una serie de fallas activas de tipo inverso, con escarpes de rumbo cercano al E-W, que se presentan entre Siquirres y Matina (F1 en figura 7). Los escarpes tienen alturas máximas entre 200 y 300 metros, aunque los más recientes tienen menos de 100 metros. En algunos sectores presentan un único escarpe, pero en otros existen varias líneas de escarpe (Montero, 2001).

Montero (2001) menciona que el sistema de fallas Siquirres – Matina se une con la falla de Limón (en la que ocurrió el terremoto de Limón en 1991) mediante la falla de transferencia de Río Blanco (F9 en figura 7).

- *Fallamiento y pliegues de Baja Talamanca*

Denyer, Montero y Alvarado (2003) mencionan que en la Baja Talamanca se han determinado varias fallas, posiblemente neotectónicas y de rumbo predominante NW. Entre las principales se pueden mencionar las fallas Pacuare y Ayil (F5 y F7 en figura 7), localizadas hacia el Sur y SE de la comunidad de Siquirres. Adicionalmente, Montero (2000b) indica la presencia de pliegues con rocas pliocénicas y pleistocénicas

en sus flancos, de un rumbo similar al fallamiento, también asociados al levantamiento que ha venido ocurriendo en la Baja Talamanca debido a esfuerzos compresivos asociados con la colisión del levantamiento del Coco (figura 7).

Linkimer (2003) describe el sistema de fallas Pacuare como una serie de fallas y lineamientos de rumbo predominante N-S y NW que se localizan en los alrededores del río Pacuare, entre la población de Bajo Pacuare y Siquirres. Las fallas son predominantemente normales y dextrales, al sur de Siquirres se orientan N-S y en el sector de Pacuare predominantemente NW. Linkimer (2003) menciona al menos 27 lineamientos sugestivos de ser fallas activas o neotectónicas y de norte a sur incluye como parte de este sistema las fallas Lomas, Carazo, Palomo, Bajo Tigre, Tres Equis, Alto Corozal, Alcantarilla, Pacuare, Cabeza de Buey y Mollejones y los lineamientos Terciopelo y Margarita (figura 8).

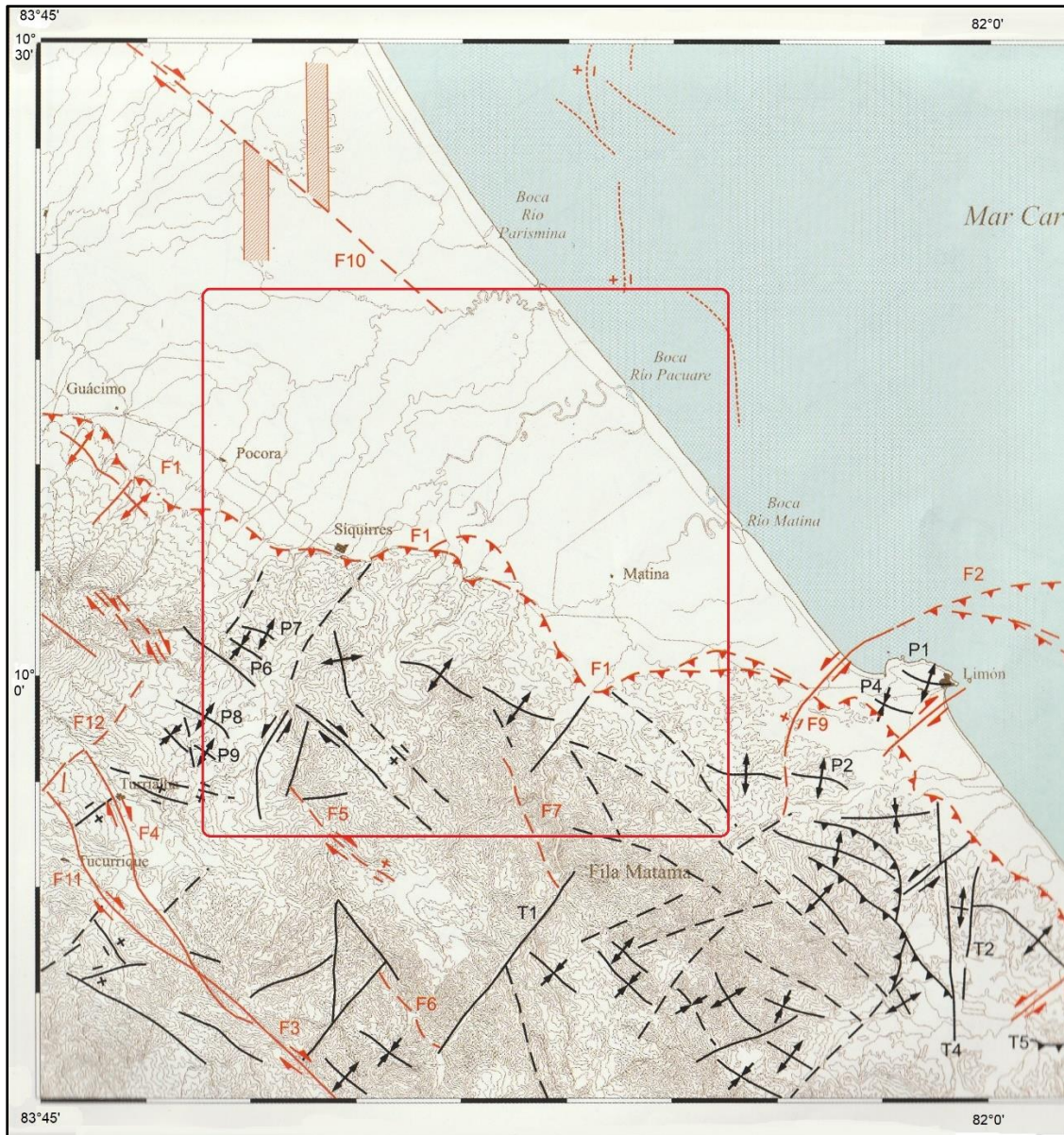


Figura 7. Fallas y pliegues regionales en la zona de Siquirres y alrededores. F1 (Sistema de fallas inversas Siquirres-Matina y Guácimo. F5 y F7 (Fallas Pacuare y Ayil). F9 (Falla Río Blanco). Nótese el sistema de pliegues con rumbo predominante NW. (Tomado de Denyer, Montero y Alvarado, 2003).

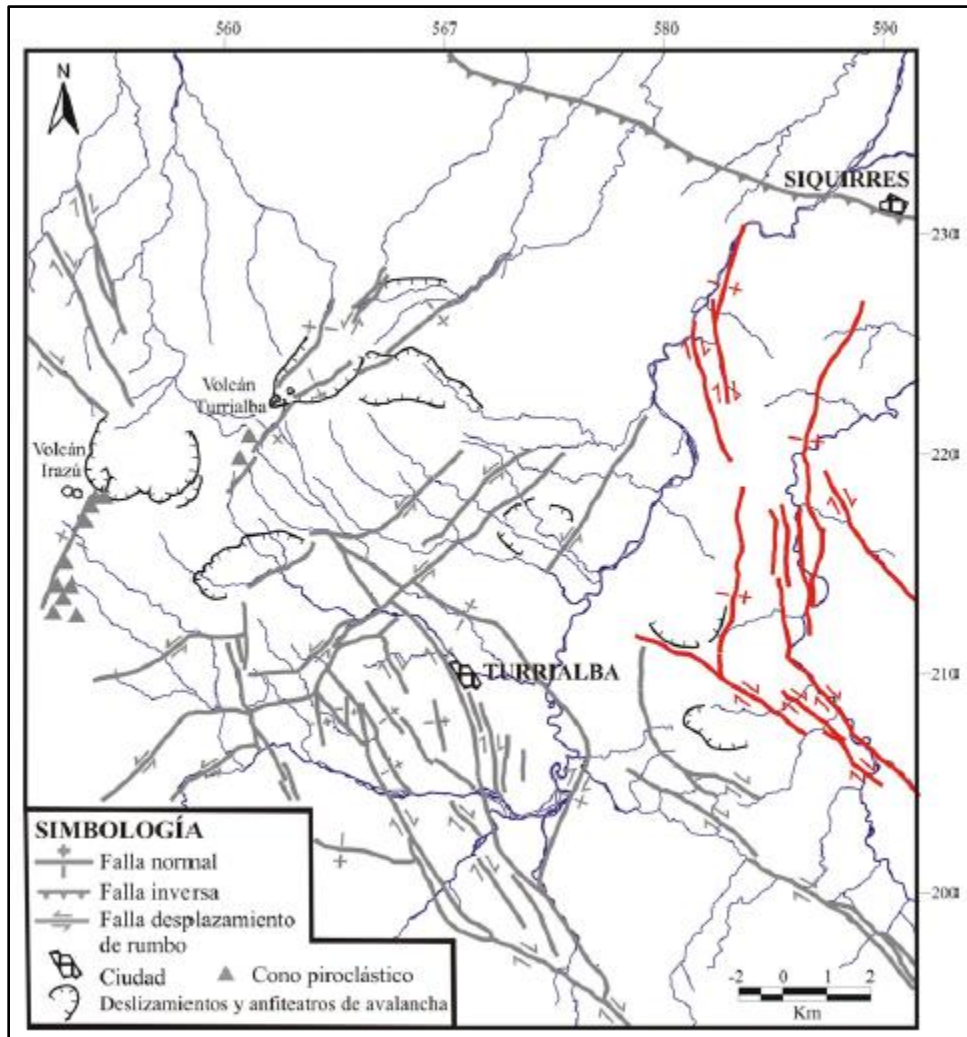


Figura 8. Sistema de fallas Pacuare ubicado al Sur de Siquirres (Tomado de Linkimer, 2003).

Con respecto a la falla Siquirres - Matina, Linkimer (2003) menciona que este corresponde con un sistema de fallas inversas que se extiende desde el sur de Guácimo hasta Matina y se expresa en forma de escarpes y pliegues antiformal de rumbo WNW y E-W. Se describe como de bajo ángulo y que se inclina hacia el sur. Hacia el W de Siquirres se hace difícil reconocer la traza del sistema de fallas ya que está cubierta por potentes depósitos laháricos y abanicos aluviales. Linkimer (2003) considera a esta falla como de carácter neotectónico y menciona que la actividad sísmica en los alrededores de Siquirres y Guácimo es muy escasa.

A un nivel más local Espinoza (2012) menciona que en la zona del P.H. Reventazón se han observado tres sistemas de fallas: 1) Desplazamiento con rumbo NW-SE, predominantemente dextrales, asociadas al esfuerzo tectónico principal y entre ellas se encuentran las fallas Pacuare, Río Blanco, Palomo, Carazo y Guayacán 2)

Desplazamiento con rumbo SW-NE, predominantemente sinestrales con componente inversa y entre ellas se incluye la Falla Lomas (presenta varios ramales), Falla Moncha y Falla Tigre y 3) Fallas inversas asociadas al Cinturón Deformado de Panamá y que en el área de proyecto asocia con la Falla Plywood (figura 4).

Por su parte, Salazar y Zamora (2015) describen en la zona del P.H. Reventazón la presencia de dos sistemas de fallamiento. El primero representado por las fallas Túnel y Plywood con una orientación NW-SE y movimiento inverso con componente sinistral. El segundo representado por la falla Lomas con dirección NE-SW, de desplazamiento de rumbo con componente inversa (figura 9). Adicionalmente, asociados a estos sistemas reporta fracturas de rumbo N-S asociadas a procesos distensivos. Mencionan también que los esfuerzos en la zona han tenido dos etapas, la primera con una dirección de esfuerzo máximo horizontal con dirección  $N31^{\circ}W$  vigente probablemente durante el Plioceno Superior, y la segunda correspondiente al sistema de esfuerzos actual con una dirección entre  $NO^{\circ}E$  y  $N20^{\circ}E$ .

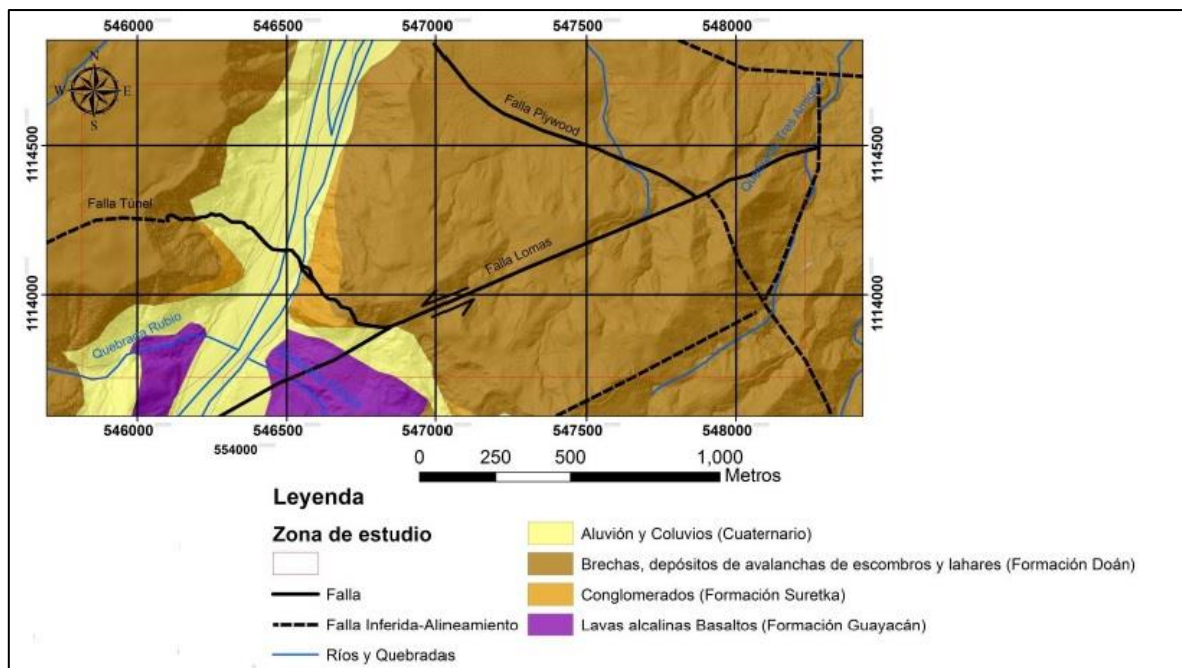


Figura 9. Mapa geológico en los alrededores del PH Reventazón en que se muestran las fallas más importantes mencionadas por Salazar y Zamora (2015) (Tomado de Salazar y Zamora, 2015).

## 1. HIDROLOGÍA

---

### 3.1 Cuencas hidrográficas de la zona de estudio

La zona de estudio se localiza en la vertiente atlántica del país y forma parte de las cuencas Costero Caribeñas. Específicamente corresponde con parte de las subcuencas de los ríos Parismina, Reventazón, Aguas Zarcas (Caño Blanco), Pacuare, Madre de Dios y Chirripó, que en su totalidad cuenta con un área de 3335,5 km<sup>2</sup>, no obstante para fines de esta investigación solo se incluye el área que abarca el cantón de Siquirres, por lo que el área de estudio se reduce a 851.8 km<sup>2</sup>.

Los cursos de agua superficial principales en este sector los constituyen el río Reventazón y el río Pacuare, los cuales desembocan en el mar (el río Reventazón se une al Parismina 5 km antes de la desembocadura).

### 3.2 Clima, estaciones meteorológicas

El cantón de Siquirres se encuentra en la región climática del Caribe, que comprende la provincia de Limón y la parte oriental de la provincia de Cartago (de Turrialba hacia el este) (IMN, ¿).

El régimen de esta vertiente no presenta una estación seca definida pues las lluvias se mantienen entre los 100 y 200 mm en los meses menos lluviosos, lo cual es una cantidad de lluvia considerable. En las zonas costeras se presentan dos períodos relativamente secos. El primero entre febrero y marzo y el segundo entre setiembre y octubre. El primer período seco está en fase con el período seco de la vertiente pacífica, sin embargo, el segundo período coincide con los meses más lluviosos de dicha vertiente. Se presentan dos períodos lluviosos intercalados entre los secos. El primero va de noviembre a enero y es el período máximo de lluvias. El segundo se extiende de mayo a agosto y se caracteriza por un máximo en julio que coincide con el veranillo del Pacífico. El mes más lluvioso es diciembre, el cual se encuentra influenciado por los efectos de frentes fríos provenientes del Hemisferio Norte los cuales se presentan entre noviembre y mayo, pero con mayor posibilidad de afectación entre noviembre y marzo. Las lluvias ocurren con mayor probabilidad en horas de la noche y la mañana (Manso et al, 2005).

La precipitación en el norte va desde 3500 a más de 4500 mm por año, mientras que en el sur, la precipitación es menor, entre 3000 y 2500 mm (IMN, ¿).

En cuanto a los vientos, en la región norte existen zonas de llanura, por lo que predominan los vientos alisios, mientras que en el sur, al ser más montañoso, de fuerte pendiente y cercano a la costa, se registran vientos de componente oeste (IMN, ¿)

- **Estaciones meteorológicas**

De acuerdo con el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y con el Atlas del Instituto Tecnológico de Costa Rica del 2014, las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio y que cuentan con información de interés, en distintos periodos de registro, son las siguientes:

**Cuadro 1. Estaciones Meteorológicas en la zona de estudio, Siquirres.**

Número	Nombre de la estación	Y (CRTM05)	X (CRTM05)	Elevación (m.s.n.m.)	Cuenca	Institución
77002	La Lola	1116868	567950	40	Madre de Dios	CATIE
77001	Batán	1114667	573434	15	Madre de Dios	ICE
73096	El Sauce	1105789	557007	740	Reventazón	ICE
75005	Pacuar	1096927	547152	710	Pacuare	ICE
73097	Bonilla Arriba	1107971	532887	1460	Reventazón	ICE
75002	Siquirres	1116842	552606	70	Pacuare	ICE
75022	Finca Mirador	1109109	558098	440	Pacuare	ICE
73055	La Amistad	1103563	547143	560	Reventazón	ICE
79012	Playa Hermosa	1102496	571266	100	Matina	ICE
69634	La Picada de Turrialba	1109070	524116	2580	San Juan	ICE
73074	S. Antonio Turrialba	1103545	530698	1190	Reventazón	ICE
69638	Chindama	1120129	521917	600	San Juan	ICE
73009	El Cairo	1119053	551507	60	Reventazón	IMN
73091	Hda El Carmen	1127940	557033	15	Reventazón	IMN
71002	Lamola	1144462	525187	70	Tortuguero	IMN
71011	Jalova	1142299	563520	3	Tortuguero	IMN
73159	Finca El Carmen, Siquirres	1127848	556851	18		IMN
71005	Finca 6 (Río Frío)	1138932	524096	100	Tortuguero	SFC

FUENTE: IMN (2020), ITCR (2014).

De las estaciones anteriores, se cuenta con información de temperaturas máximas, mínimas y promedios, así como precipitaciones promedio a nivel mensual para las estaciones 73091 Hda. El Carmen y 73159 Finca El Carmen, Siquirres. La estación 73091 tiene registros desde el año 1972 hasta el 2012, y la estación 73159 tiene registros desde el año 2014 hasta el 2020.

Para las estaciones del ICE no se conocen los registros. La ubicación de las estaciones meteorológicas se presenta en la figura 10, asimismo en el Anexo 1 se aporta la información de las estaciones meteorológicas proporcionada por el IMN.

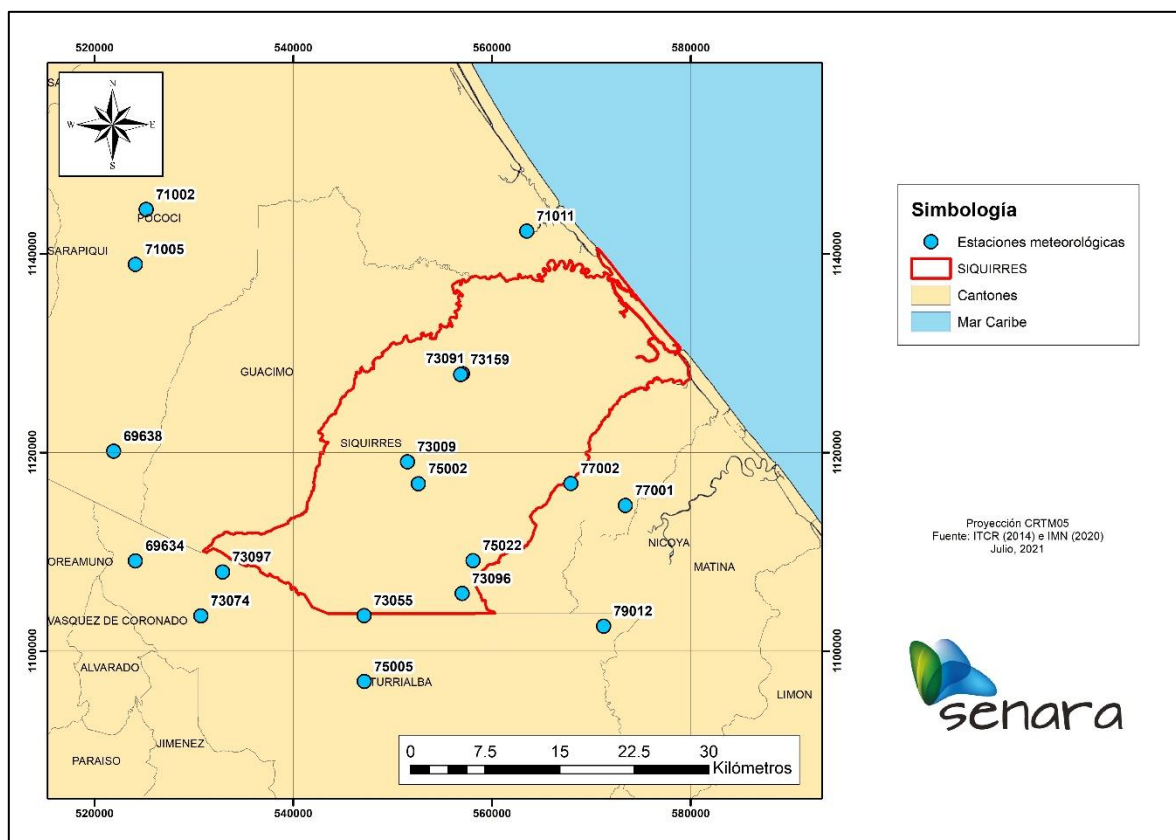


Figura 10. Ubicación de estaciones meteorológicas.

Las estaciones Hda. El Carmen, Finca El Carmen y El Cairo del IMN, así como Siquirres, Finca Mirador y El Sauce del ICE, se encuentran dentro del área de estudio. En la figura 11 se muestra el comportamiento de la precipitación medida la estación Hda. El Carmen, donde se observan dos épocas de menor precipitación en los meses de marzo a abril, y de setiembre a octubre. Se observa también que las precipitaciones se mantienen por encima de los 150 mm durante todo el año.

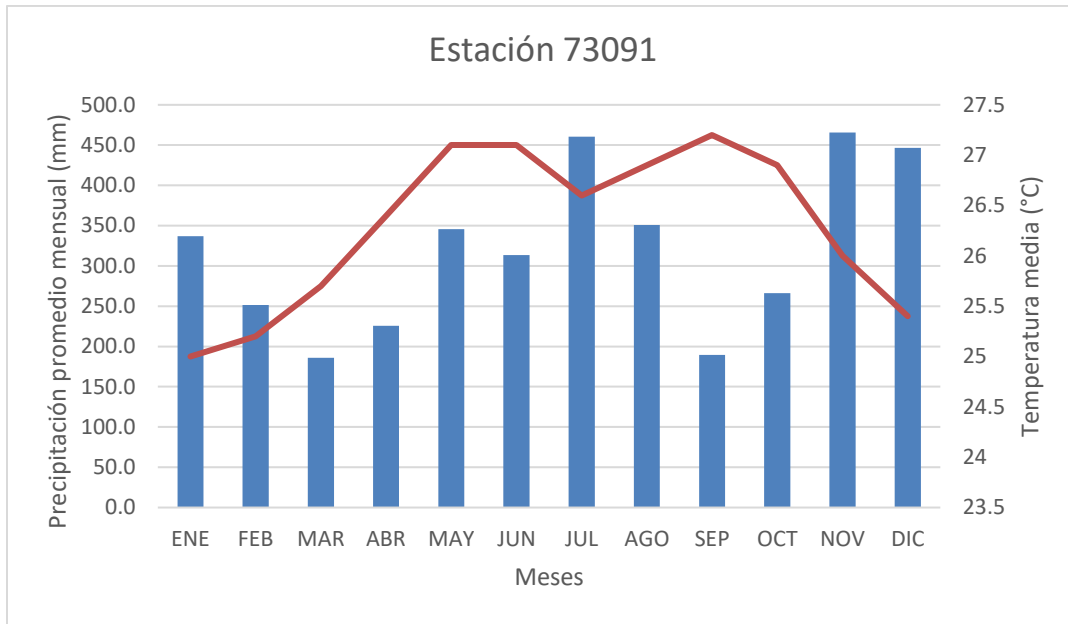


Figura 11. Ejemplo del comportamiento de la precipitación en Siquirres.

### 3.3 Aforos en los cauces superficiales (ríos y quebradas)

Se recopilaron 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 88 puntos de aforo, con registros en ciertos casos desde 1965 y los más recientes del 1996.

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 12.

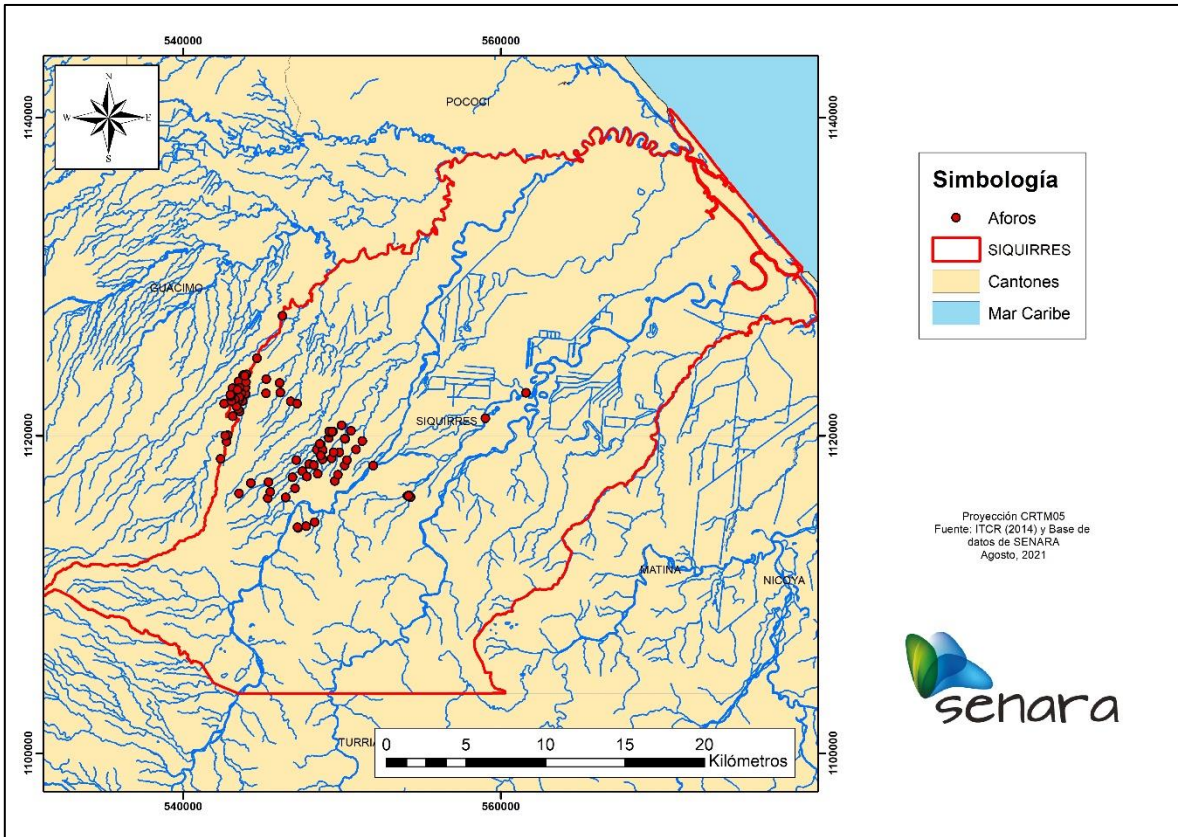


Figura 12. Ubicación de aforos en el cantón de Siquirres.

## 4 HIDROGEOLOGÍA

---

### 4.1 Información de pozos y nacientes según la base de datos del SENARA

De acuerdo con la base de datos del SENARA existen 191 registros de pozos en el cantón de Siquirres. De estos registros, 116 pozos cuentan con reporte de perforación e información de litología, que puede ser utilizada para la construcción del modelo geológico e hidrogeológico. Por otra parte, únicamente se cuenta con 23 registros de pozos en los cuales se ha realizado algún tipo de prueba de bombeo, cuya información de parámetros hidráulicos podría ser utilizada para la caracterización de los acuíferos en el área de estudio.

En cuanto a manantiales o nacientes, se tienen registradas únicamente 7, de las cuales 2 se registran a nombre de la ASADA de Palmiras y las restantes 5 no indican usuario.

En el Anexo 3 se adjuntan las bases de datos completas con el resumen de la información existente para las nacientes y pozos registrados en la base de datos del SENARA. Por otra parte, el mapa de la figura 13, muestra la ubicación en el área de estudio de esos pozos y nacientes con registro en el SENARA.

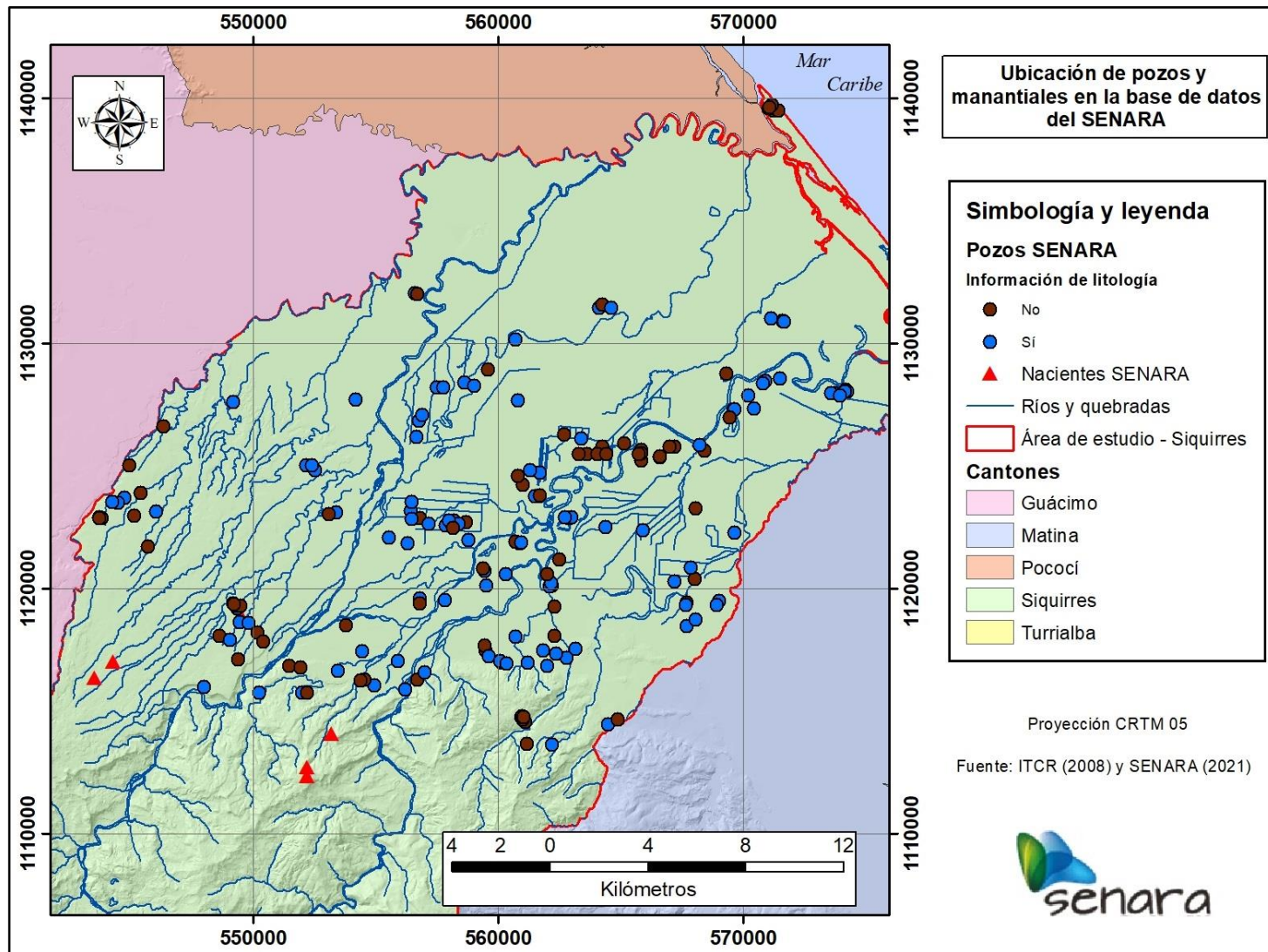


Figura 13. Ubicación de pozos y manantiales según la base de datos del SENARA

## 4.2 Información de la Dirección de Agua del MINAE (concesiones para el aprovechamiento del recurso hídrico y dictámenes de cuerpos de agua)

La información sobre expedientes de trámites relacionados con concesiones para el aprovechamiento del recurso hídrico, así como de dictámenes de cuerpos de agua, fue obtenida el día 22 de junio del 2021 mediante consulta en la base de datos del Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SINIGIRH).

- Información de concesiones

En total, en el área de estudio se cuenta con la información de 277 expedientes relacionados con trámites de concesiones para el aprovechamiento de recursos hídricos, de los cuales 168 corresponden con acuífero (pozos), 73 con nacientes, 34 con captaciones superficiales (ríos o quebradas, de los cuales uno corresponde con una obra en cauce y otro para fuerza hidráulica) y 2 con derivaciones o canales. Además, 41 se encuentran cancelados o denegados, 193 aparecen como otorgados, inscritos o resueltos, 4 morosos de pago y 39 corresponden con solicitudes nuevas de concesión.

En cuanto a los caudales tramitados para concesión, en el cuadro 2 se presenta el desglose correspondiente según el uso solicitado:

**Cuadro 2. Caudales tramitados en concesión según tipo de uso**

Uso solicitado	Caudal (l/s)
Consumo humano	261.73
Agroindustrial	396.63
Fuerza Hidráulica	75585.00
Riego	1079.47
Industrial	139.69
Agropecuario	8.27
Turístico	0.05
<b>TOTAL</b>	<b>77470.84</b>

Es importante mencionar que, del caudal reportado en el cuadro anterior, únicamente 819.28 l/s corresponden con caudales asociados a pozos y nacientes, cuyos usos se distribuyen de la siguiente forma: riego 98.88 l/s, industrial 131.58 l/s, consumo humano 192.02 l/s, agropecuario 0.17 l/s y agroindustrial 396.63 l/s. Por otra parte, de fuentes superficiales en ríos, quebradas o canales el caudal asociado es de 76651.56 l/s cuyos usos son: turístico 0.05 l/s, riego 980.59, industrial 8.11 l/s, fuerza hidráulica 75585.0 l/s, consumo humano 69.71 l/s y agropecuario 8.10 l/s.

La ubicación de estos expedientes de concesiones se muestra en el mapa de la figura 14, mientras que el detalle de la información descargada de la base de datos de SINIGIRH se incluye como una tabla de datos en el Anexo 4.

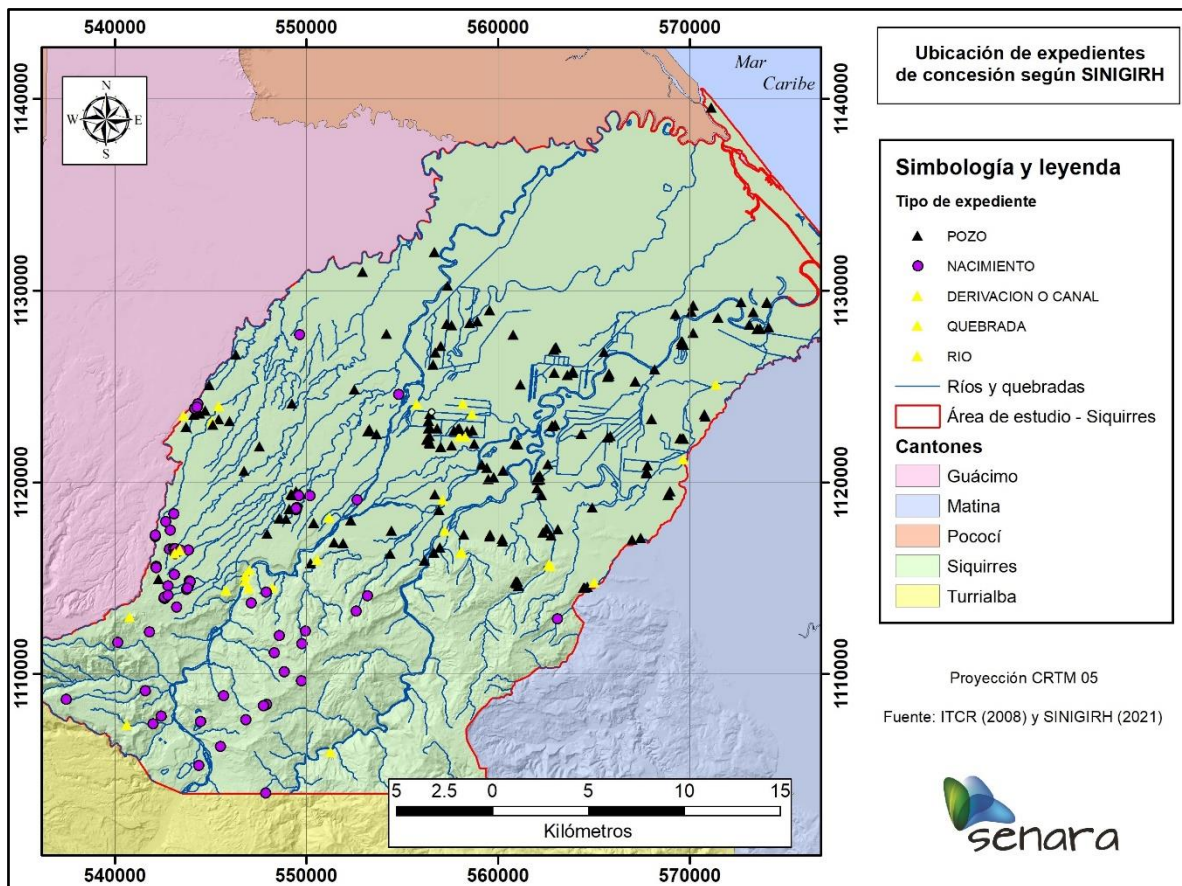


Figura 14. Ubicación de expedientes de concesión. Dirección de Agua del MINAE.

- Dictámenes de cuerpos de agua

En la base de datos de SINIGIRH se registra un total de 137 dictámenes de cuerpos de agua en el cantón de Siquirres. De estos dictámenes 95 corresponden con cuerpos de agua de dominio público (20 nacientes, 17 ríos y 58 en quebradas), mientras que, otros 42 sitios se han catalogado como cuerpos de agua que no corresponden al dominio público y se han dividido en canales (25), depresiones naturales (14) y otros (3).

Cabe indicar, que en 12 dictámenes de ríos y quebradas el criterio es confuso ya que la base de datos indica “No aplica”, sin embargo al revisar con detalle el resto de información disponible se comprueba que se trata de cuerpos de agua de dominio

público, por lo que de esta forma se han contabilizado en el recuento del párrafo anterior.

La información detallada de dictámenes que fue descargada de la base de datos del SINIGIRH se incluye como parte del Anexo 4 y en la figura 15 se muestra la ubicación de estos dictámenes en el área de Siquirres.

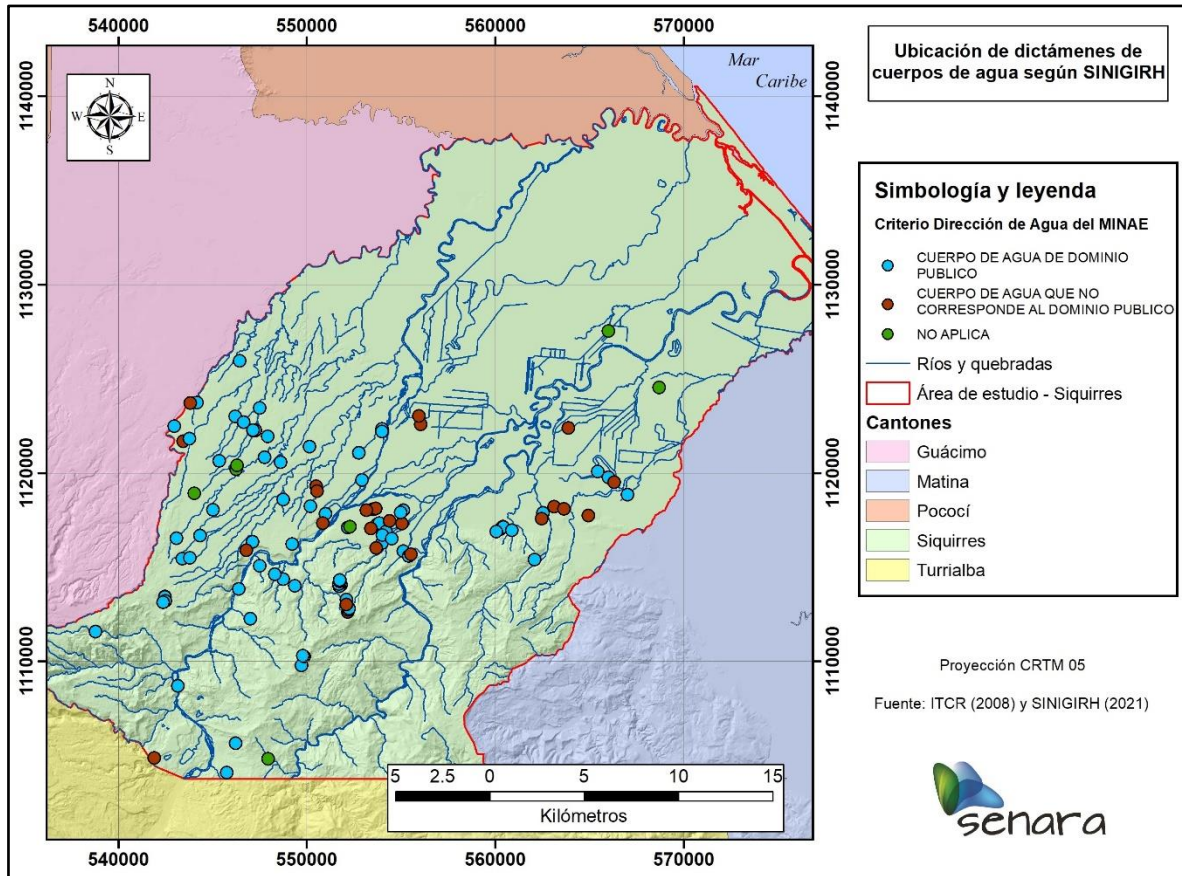


Figura 15. Ubicación de dictámenes de cuerpos de agua. Dirección de Agua del MINAE.

#### 4.3 Información del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA)

Mediante los oficios UEN-GA-2021-00286 y UEN-GA-2021-00215 de la Dirección UEN Gestión Ambiental del AyA (Anexo 5), se remitió al SENARA la información de aprovechamientos en el cantón de Siquirres, que actualmente se encuentran bajo administración directa del AyA o de alguna ASADA. Se presenta a continuación el resumen de información aportada por parte del AyA.

- Aprovechamientos de AyA

Se reporta un total de 14 aprovechamientos, de los cuales 10 corresponden con pozos y 4 con tomas superficiales ubicadas en los cauces de los ríos Siquirres, Cimarrones y Pacuarito. De estos 14 aprovechamientos solamente la toma superficial del río Siquirres y el Pozo 2 Madre de Dios (MN-131) se reportan en operación, pero el AyA ha indicado que en caso necesario los demás aprovechamientos pueden habilitarse para su futuro uso. En el cuadro 3 se incluye un resumen con la información más relevante para estos aprovechamientos, en el mapa de la figura 16 se muestra su ubicación dentro del cantón y en el Anexo 5 se incluye toda la información aportada por el AyA.

Según la información aportada por el AyA, el pozo MN-131 reporta una profundidad de 52 m, el MN-123 de 28 m y el 413 de 53 m. Solamente se reporta nivel dinámico para el pozo MN-131 (3.36 mbns) y el pozo 413 (15.48 mbns). Además, ningún aprovechamiento reporta estudio técnico por parte del AyA.

**Cuadro 3. Aprovechamientos bajo administración de AyA en el sistema de Siquirres**

Código	Nombre del aprovechamiento	Longitud CRTM05	Latitud CRTM05	Poblado	Tipo	Caudal promedio	Caudal inscrito Dirección Agua (l/s)	Operación
70301-01	Toma Río Siquirres	549916	1115304	El Coco	Superficial	130	87	Sí
70301-02	Pozo Indiana 2	556963	1118581	Indianas 2	Subterráneo		3	No
70301-03	Pozo 1 Nuevo Bajo Siquirres	552969	1116024	Miraflores	Subterráneo			No
70301-04	Pozo 2 Nuevo Bajo Siquirres	552891	1116039	Miraflores	Subterráneo			No
70301-05	Pozo 1 Viejo Bajo Siquirres	552960	1116028	Miraflores	Subterráneo			No
70301-06	Pozo 2 Viejo Bajo Siquirres	552899	1116036	Miraflores	Subterráneo			No
70301-07	Pozo 3 Viejo Bajo Siquirres	552900	1116043	Miraflores	Subterráneo			No
70301-08	Pozo 4 Viejo Bajo Siquirres	552880	1116034	Miraflores	Subterráneo			No
70302-02	Pozo 2 Madre de Dios (MN-131)	564532	1114481	Madre de Dios	Subterráneo	14		Sí
70302-01	Pozo 1 Madre de Dios (MN-123)	564572	1114482	Madre de Dios	Subterráneo		5	No
70302-03	Pozo 3 Madre de Dios (413)	564549	1114490	Madre de Dios	Subterráneo			No
70302-04	Antigua Toma Río Cimarrones	562850	1116620	Cimarrones	Superficial			No
70302-05	Toma Quebrada Cimarrones	562761	1115483	Cimarrones	Superficial		8	No
70302-06	Toma Río Pacuarito	558091	1116352	Pacuarito	Superficial			No

- Aprovechamientos de ASADAS

Según la información aportada por el AyA, en el cantón de Siquirres se registran 23 ASADAS que en total se encuentran administrando 65 aprovechamientos, de los cuales 18 corresponden con pozos y 47 con manantiales.

En el cuadro 4 se muestran las ASADAS existentes en el cantón y los aprovechamientos que cada una de ellas administra. Cabe indicar, que siete de los aprovechamientos reportados se encuentran fuera de los límites cantonales, pero son administrados por las ASADAS de Linda Vista de Siquirres, San Antonio de Florida, La Florida y Portón de Iberia de La Alegría.

Los caudales registrados para manantiales se ubican entre 0.55 y 40 l/s, aunque la gran mayoría se encuentra por debajo de los 10 l/s. En cuanto a los pozos los caudales reportados se encuentran entre 0.94 a 10.89 l/s.

En el cuadro 4 se incluye un resumen con la información más relevante para estos aprovechamientos, en el mapa de la figura 16 se muestra su ubicación dentro del cantón y en el Anexo 5 se incluye toda la información aportada por el AyA relacionada con las ASADAS de Siquirres.

**Cuadro 4. Aprovechamientos bajo administración de ASADAS en Siquirres**

Código	Operador	Nombre	Tipo*	Latitud CRTM05	Longitud CRTM05	CAUDAL (l/s)
A-1	MILANO DE GERMANIA	F1	M	1124098.96	544341.38	
A-2	MILANO DE GERMANIA	F5	M	1123945.91	544298.74	
A-3	MILANO DE GERMANIA	F3	M	1123930.78	544277.51	
A-4	MILANO DE GERMANIA	F2	M	1123848.83	544160.81	
A-5	MILANO DE GERMANIA	F4	M	1123847.65	544158.59	
A-6	MILANO DE GERMANIA	NACIENTE N°1 LA 11	M	1117180	542087	
A-7	MILANO DE GERMANIA	MILANO GERMANIA SIQUIRRES LIMON	M	1123847	544158	
A-8	FLORIDA	NACIENTE N°1 CALLE JARA 1	M	1114020	542569	8.3
A-9	FLORIDA	NACIENTE N°2 CALLE JARA 2	M	1113941	534594	3.1
A-10	FLORIDA	NACIENTE N°3 FINCA MACADAMIA	M	1113490	543212	30
A-11	HEREDIANA DE GERMANIA	NACIENTE N°1 LA HEREDIANA 1	M	1116462	543398	10
A-12	HEREDIANA DE GERMANIA	NACIENTE N°2	M	1116458	543398	29.91

		LA HEREDIANA 2				
A-13	HEREDIANA DE GERMANIA	NACIENTE N°3 LA HEREDIANA 3	M	1116539	543052	13.98
A-14	HEREDIANA DE GERMANIA	NACIENTE N°4 LA HEREDIANA 4	M	1116532	543141	26.58
A-15	PASCUA DE LA FLORIDA	NACIENTE N°1 LA PASCUA 1	M	1109134	541595	2.81
A-16	PASCUA DE LA FLORIDA	NACIENTE N°2 LA PASCUA 2	M	1107394	541996	2.47
A-17	PASCUA DE LA FLORIDA	NACIENTE N°3 TOMA LA PASCUA	M	1108679	537456	3.3
A-18	SAN ANTONIO DE FLORIDA	NACIENTE N°1 SAN ANTONIO	M	1112050	533807	2
A-19	SAN ANTONIO DE FLORIDA	NACIENTE N°2 SAN ANTONIO	M	1112200	541805	1.5
A-20	LA ALEGRIA	NACIENTE N°1 LA ALEGRIA 1	M	1114590	543832	14.2
A-21	LA ALEGRIA	NACIENTE 2 LA ALEGRIA 2	M	1115187	543092	11.25
A-22	LA ALEGRIA	NACIENTE 3 LA ALEGRIA 3	M	1114484	543772	11.2
A-23	LA ALEGRIA	NACIENTE 4 CERRO EL PAVON 4	M	1111647	540153	12.96
A-24	PORTON IBERIA DE LA ALEGRIA	NACIENTE 1 PORTON IBERIA 1	M	1116389	541088	2.6
A-25	SAN LORENZO GUAYACAN	F-3	M	1110111	548832	
A-26	PORTON IBERIA DE LA ALEGRIA	NACIENTE 2 PORTON IBERIA 2	M	1117184	542104	3.48
A-27	PORTON IBERIA DE LA ALEGRIA	NACIENTE 3 PORTON IBERIA 3	M	1117242	542101	10
A-28	SAN JOAQUIN	NACIENTE N°2 TOMA EL MORO	M	1108341	547773	1.96
A-29	SAN JOAQUIN	NACIENTE N°3 AYA	M	1107621	546826	0.55
A-30	SAN JOAQUIN	NACIENTE N°1 EL MORO	M	1108343	547747	1.58
A-31	SANTA MARTA	NACIENTE N°3 ARMELIA HDEZ 3	M	1108397	548295	0.94
A-32	COCO Y MORAVIA	BELGA	M	1112770	549462	40
A-33	LAS PALMIRAS	NACIENTE N°1 TOMA NISPERO	M	1113282	552590	7.57
A-34	LAS PALMIRAS	NACIENTE N°2 LA FINCA	M	1114087	553165	2.17
A-35	LAS PALMIRAS	NACIENTE N°3 LA FINCA	M	1114077	553176	1.06
A-36	COCO Y MORAVIA	NACIENTE N°2 RIGO ALVARADO	M	1112239	548943	1.88
A-37	ASADA INTEGRADA DISTRITO EL CAIRO	F-1	M	1116451	543394	

A-38	ASADA INTEGRADA DISTRITO EL CAIRO	F-2	M	1116463	543403	
A-39	ASADA INTEGRADA DISTRITO EL CAIRO	F-3	M	1116250	543122	
A-40	COCO Y MORAVIA	NACIENTE N°1 COCO MORAVIA	M	1111585	549744	8.77
A-41	SANTA MARTA	NACIENTE N°4 ARMELIA HDEZ 4	M	1108435	547899	1.94
A-42	MILANO DE GERMANIA	N°1 - LA F11	M	1117174	542092	10.06
A-43	BARRAS DE PARISMINA	POZO N°1 PROLE	M	1139413	571313	1.24
A-44	LINDA VISTA	F°-1	M	1101558	546801	4.44
A-45	LINDA VISTA	F° 2	M	1101564	546809	3.45
A-46	LINDA VISTA	F° 3	M	1101568	546814	1.55
A-47	LINDA VISTA	F° 4	M	1101564	546820	1.85
A-48	BARRAS DE PARISMINA	PUNTERA 2	P	1139395.42	571295.36	
A-49	BARRAS DE PARISMINA	PUNTERA 3	P	1139383.61	571285.42	
A-50	BARRAS DE PARISMINA	PUNTERA 4	P	1139373.33	571276.36	
A-51	CULTIVEZ	POZO 1	P	1120970.44	562563.8	
A-52	PUEBLO NUEVO DE PACUARITO	POZO PACUARE 2	P	1117625.77	561778.32	
A-53	SANTA MARTA	NACIENTE N°1 ARMELIA HDEZ 1	P	1108397	548287	0.94
A-54	SANTA MARTA	NACIENTE N°2 ARMELIA HDEZ 2	P	1108401	548283	0.94
A-55	LA PERLA DE PACUARITO	POZO N°1 WALDECK	P	1122317	565743	4.29
A-56	SAN CARLOS DE PACUARITO	POZO N°1RÍO SAN CARLOS	P	1119430	567662	8
A-57	PUEBLO NUEVO DE PACUARITO	POZO N°1 PUEBLO NUEVO- MN-149	P	1119676	562061	2.05
A-58	LA LUCHA DE SAN ALBERTO	POZO N°1 LA LUCHA	P	1121920	558823	5.59
A-59	MERYLAND, LOS ANGELES Y NUEVA VIRGINIA	POZO NO. 2 - EL TANQUE	P	1129773	560648	7.37
A-60	MERYLAND, LOS ANGELES Y NUEVA VIRGINIA	POZO NO. 1 - EL GUAYABO	P	1128563	559550	6.02
A-61	SANTO DOMINGO Y EL CARMEN	POZO N°1 SANTO DOMINGO	P	1126122	556618	6.36
A-62	NUEVA ESPERANZA	POZO N°1 MARIA SANTOS- PAR-61	P	1127691	560798	2.79
A-63	MILANO DE GERMANIA	POZO N°4 PORFIRIO LÓPEZ	P	1066453	640449	7.49
A-64	MILANO DE GERMANIA	POZO N°5 PORFIRIO LÓPEZ	P	1066456	640459	10.89
A-65	MILANO DE GERMANIA	POZO N°1 PORFIRIO LÓPEZ	P	1066558	640336	2.8

\*M = Manantial // P = Pozo

Con respecto a los pozos incluidos en el cuadro anterior, por parte del AyA no fue aportada ninguna información relacionada con el armado de los pozos, litologías perforadas, pruebas de bombeo o niveles estáticos y dinámicos.

En el análisis del cuadro anterior se identificaron algunas inconsistencias en la información, relacionadas con algunos aprovechamientos que se identifican como pozos pero cuyo nombre hace mención a un manantial, tal es el caso de los aprovechamientos A-53 y A-54. Este es un aspecto que requerirá verificación en campo durante etapas posteriores en la elaboración del estudio hidrogeológico en la zona.

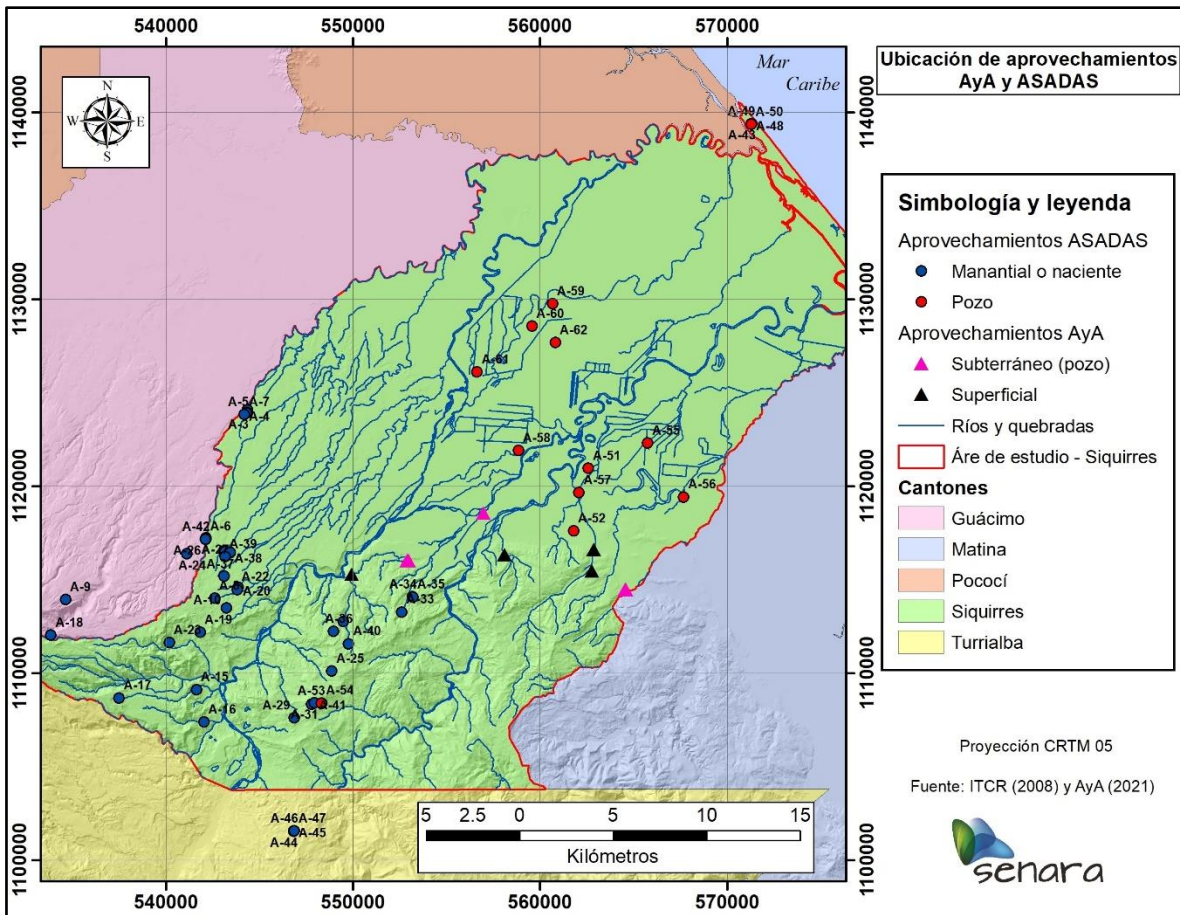


Figura 16. Ubicación de aprovechamientos del AyA y ASADAS en el cantón de Siquirres.

#### 4.4 Zonas de protección de manantiales

Como parte de los estudios hidrogeológicos realizados por Hidrogeotecnia Ltda (2009) y Vargas (2011), se delimitaron las áreas de captura para los manantiales de Milano y El Cairo que son utilizados para el abastecimiento público por parte del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (figuras 17 y 18).

Los cálculos fueron realizados a partir de la fórmula de ancho máximo de la zona de captura para acuíferos libres ( $Y_{m\acute{a}x}$ ). El siguiente cuadro muestra los datos utilizados por Hidrogeotecnia Ltda. (2009):

**Cuadro 5. Cálculo de la zona de captura de manantiales (Hidrogeotecnia Ltda, 2009)**

	Fuentes de Milano	Fuentes de El Cairo
Datos básicos	Cuenca del Río Destierro	Cuenca del Río Peje
Perm. En acuífero $K_s$ (m/d)	1.52	1.16
Caudal extraído $Q$ ( $m^3/d$ )	1209.6	2039.4
Longitud entre puntos de observación $L$ (m)	50	40
Elevación mayor del nivel freático $h_1$ (m)	25	30
Elevación menor del nivel freático $h_2$ (m)	5	12
Ancho máximo de zona de captura $y$ (m)	132.6	186.0

Vargas (2011) también calcula la zona de captura para los manantiales mencionados, y los datos se muestran en el siguiente cuadro:

**Cuadro 6. Cálculo de la zona de captura de manantiales (Vargas, 2011)**

Datos básicos	Fuentes de Milano	Fuentes de El Cairo
Caudal $Q$ ( $m^3/d$ )	1209.6	2039.4
Longitud entre dos puntos de observación $L$ (m)	350	1100
Elevación mayor del nivel freático (m)	350	183
Elevación menor del nivel freático (m)	100	129
Ancho máximo de zona de captura $y$ (m)	42.44	91.82
Distancia al punto de no retorno $X_0$ (m)	13.15	29.24

Para la determinación de las zonas de captura de los pozos también se utilizaron las fórmulas de ancho máximo ( $Y_{máx}$ ) y punto de no retorno ( $X_o$ ).

**Cuadro 7. Cálculo de la zona de captura de pozos (Hidrogeotecnia Ltda, 2009)**

Datos básicos	Pozo GM-88	Pozo BO-24
Perm. En acuífero $K_s$ (m/d)	2.73	3.64
Caudal extraído $Q$ ( $m^3/d$ )	578.88	691.2
Longitud entre puntos de observación $L$ (m)	100	100
Elevación mayor del nivel freático $h_1$ (m)	23.53	23.53
Elevación menor del nivel freático $h_2$ (m)	20.47	20.47
Ancho máximo de zona de captura $y$ (m)	315.0	282.1
Distancia al punto de no retorno $X_o$ (m)	50.1	44.9

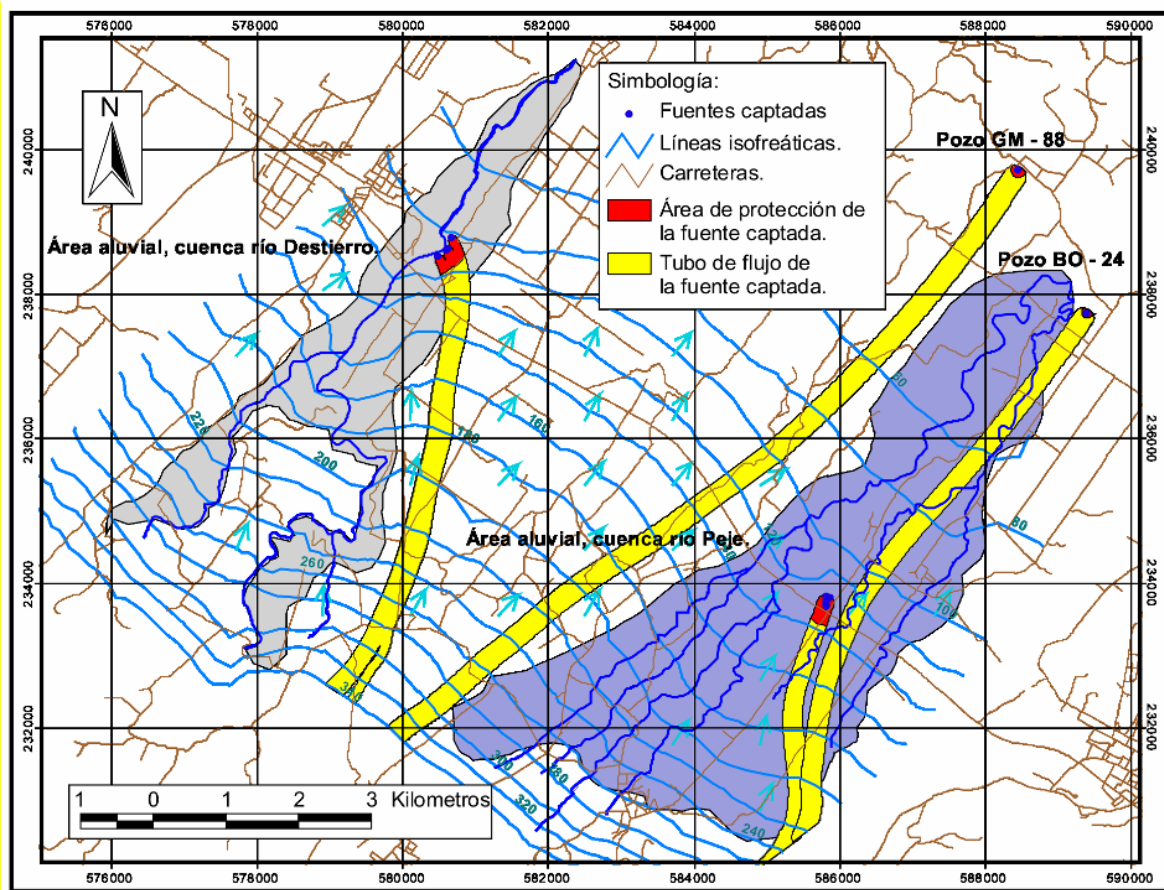


Figura 17. Delimitación de zonas de captura de pozos y manantiales en El Cairo y Milano (Hidrogeotecnia, 2009).

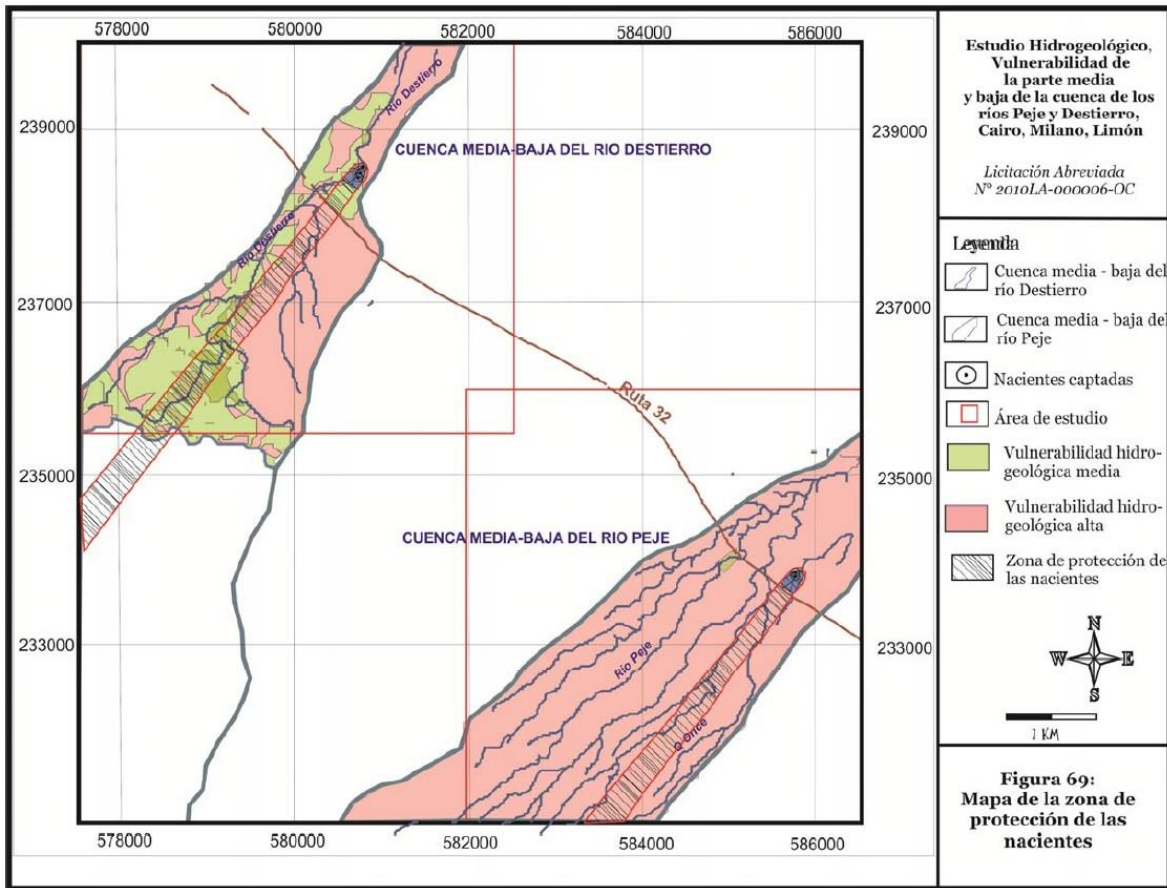


Figura 18. Delimitación de zonas de captura de manantiales en El Cairo y Milano (Vargas, 2011).

## 5 BALANCE HÍDRICO DE SUELOS (BHS) Y VULNERABILIDAD

---

El desarrollo del estudio hidrogeológico detallado, ya sea en todo el cantón o solamente en la cuenca del río Siquirres, implica que a nivel del área de estudio se cuente de previo con cierta información base, que una vez procesada permita la determinación de los parámetros de interés como lo son la recarga potencial a los acuíferos o la vulnerabilidad intrínseca de estos.

La información de pozos, manantiales y concesiones que existe en las bases de datos institucionales y que se ha descrito con anterioridad, resulta de especial interés para la construcción del modelo hidrogeológico de las zonas. Por otra parte, durante la revisión de los trabajos geológicos e hidrogeológicos que se han desarrollado en el cantón, se ha recopilado la información relacionada con perforaciones exploratorias, aflors en ríos, sondeos eléctricos verticales, pruebas de infiltración y análisis de muestras de suelos.

El resumen de la información recopilada se presenta como un cuadro Excel en el Anexo 6, mientras que la distribución en el cantón de los distintos tipos de insumos existentes en trabajos previos se muestra en la figura 19. Cabe mencionar, que en esta figura las áreas de estudio de Chaves (2016), Calderón (2015) y Salazar y Zamora (2015) se han destacado como polígonos individuales, ya que estas están asociadas con proyectos del Instituto Costarricense de Electricidad, en las cuales existe mucha información no solo de geología sino de otros aspectos como sondeos eléctricos y perforaciones exploratorias.

En la figura 19 se observa que la información existente se concentra en algunos sitios hacia el sector SW del cantón, asociada principalmente con proyectos del ICE o los estudios de Hidrogeotecnia Ltda (2009) y Vargas (2011) para el sector de las cuencas de los ríos Peje y Destierro. La mayor parte del cantón no cuenta con los insumos necesarios para el desarrollo del estudio hidrogeológico, principalmente en lo que se refiere a pruebas de infiltración y análisis de suelos, que son insumos básicos para la estimación de la recarga potencial.

A nivel de la cuenca del río Siquirres la información es casi inexistente. Se registran solo tres muestreos de suelo, pero únicamente para clasificación SUCS por lo que no se tienen los parámetros necesarios para estimar recarga potencial. Además, en las cercanías del centro de Siquirres se cuenta con dos perforaciones exploratorias de poca profundidad, cuatro aflors y únicamente dos pruebas de infiltración por el método Porchet.

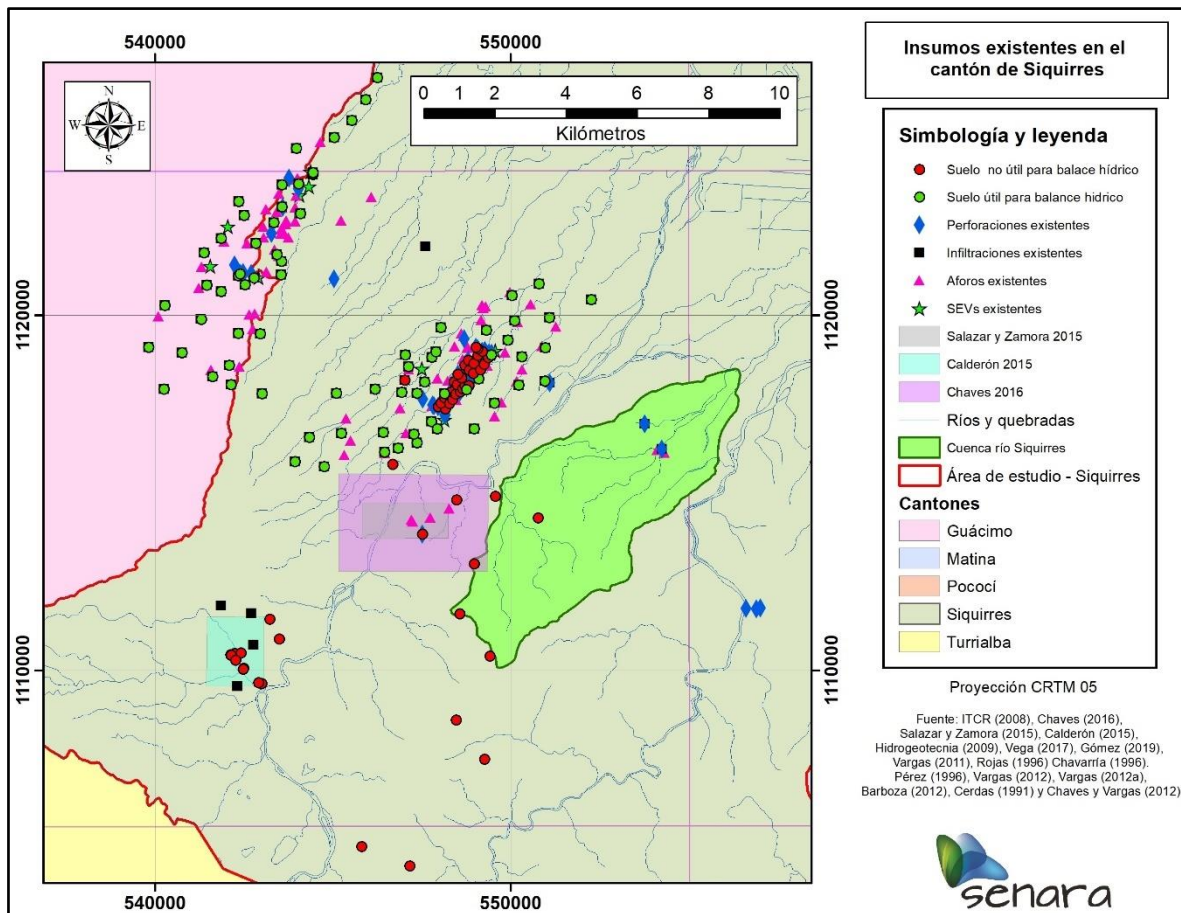


Figura 19. Insumos existentes en el cantón de Siquirres necesarios para la determinación de recarga potencial y vulnerabilidad de acuíferos.

Claramente se establece, que tanto en la cuenca del río Siquirres como en la mayor parte del cantón no se cumple con las densidades mínimas de pruebas de suelo e infiltraciones que establece la “Metodología general para la elaboración de los estudios hidrogeológicos para los planes reguladores”, publicada en La Gaceta No. 137 del 16 de Julio del 2015, por lo que el desarrollo de un estudio hidrogeológico en estas zonas requiere de antemano la contratación o elaboración de los insumos básicos necesarios.

Con respecto a los estudios realizados en la zona de estudio, se han llevado a cabo diferentes actividades para determinar la vulnerabilidad e incluso Balances Hídricos de Suelo en algunos sectores.

Hidrogeotecnia Ltda. (2009) realizó la estimación del Balance Hídrico de Suelos para las cuencas de los ríos Destierro y Peje, y se cuenta con los insumos utilizados para realizar los cálculos respectivos. La figura 20 muestra el mapa de recarga para las cuencas mencionadas.

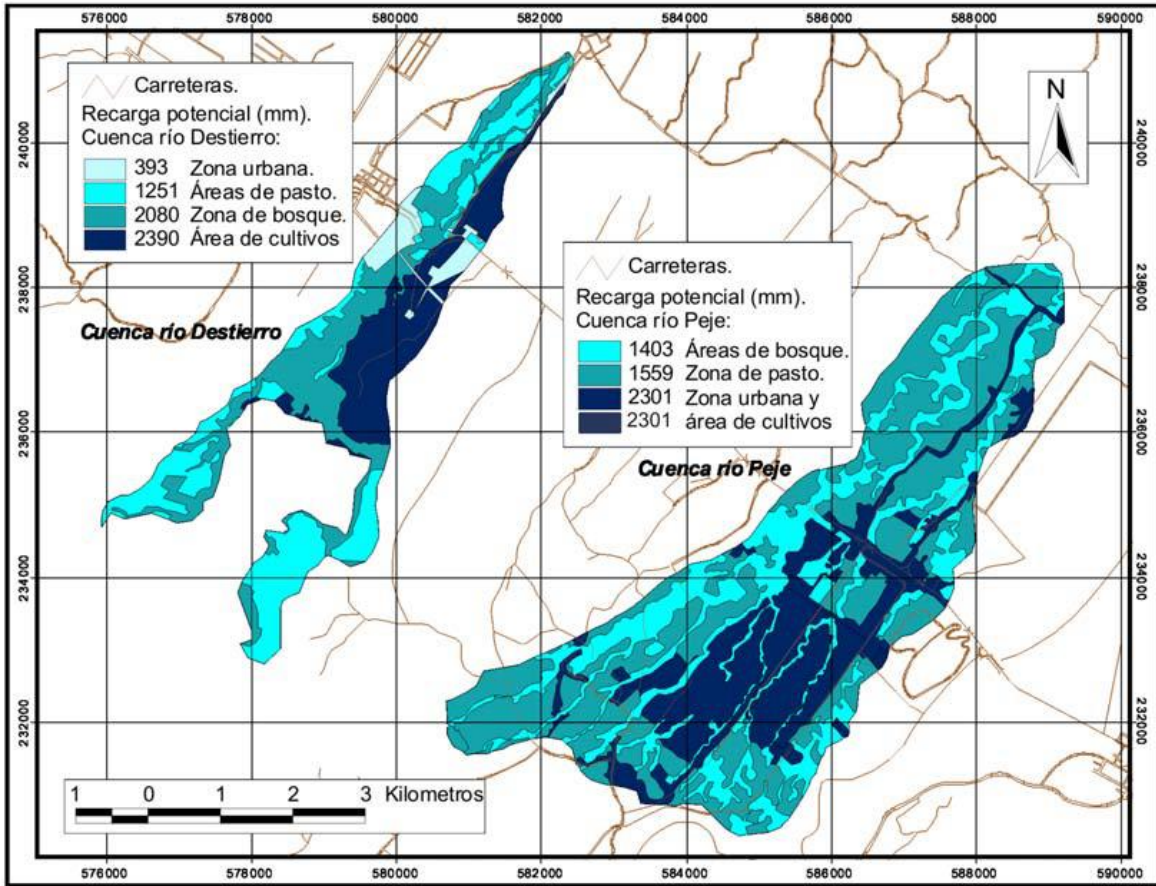


Figura 20. Mapa de recarga elaborado por Hidrogeotecnia Ltda (2009)

Al mismo tiempo, Hidrogeotecnia Ltda (2009) determinó la vulnerabilidad para estas cuencas mediante el método GOD y Vargas (2011) determinó la vulnerabilidad solamente para la parte media y baja de las cuencas, mediante la metodología DRASTIC. Las figuras 21 y 22 muestran los mapas de vulnerabilidad de ambos autores.

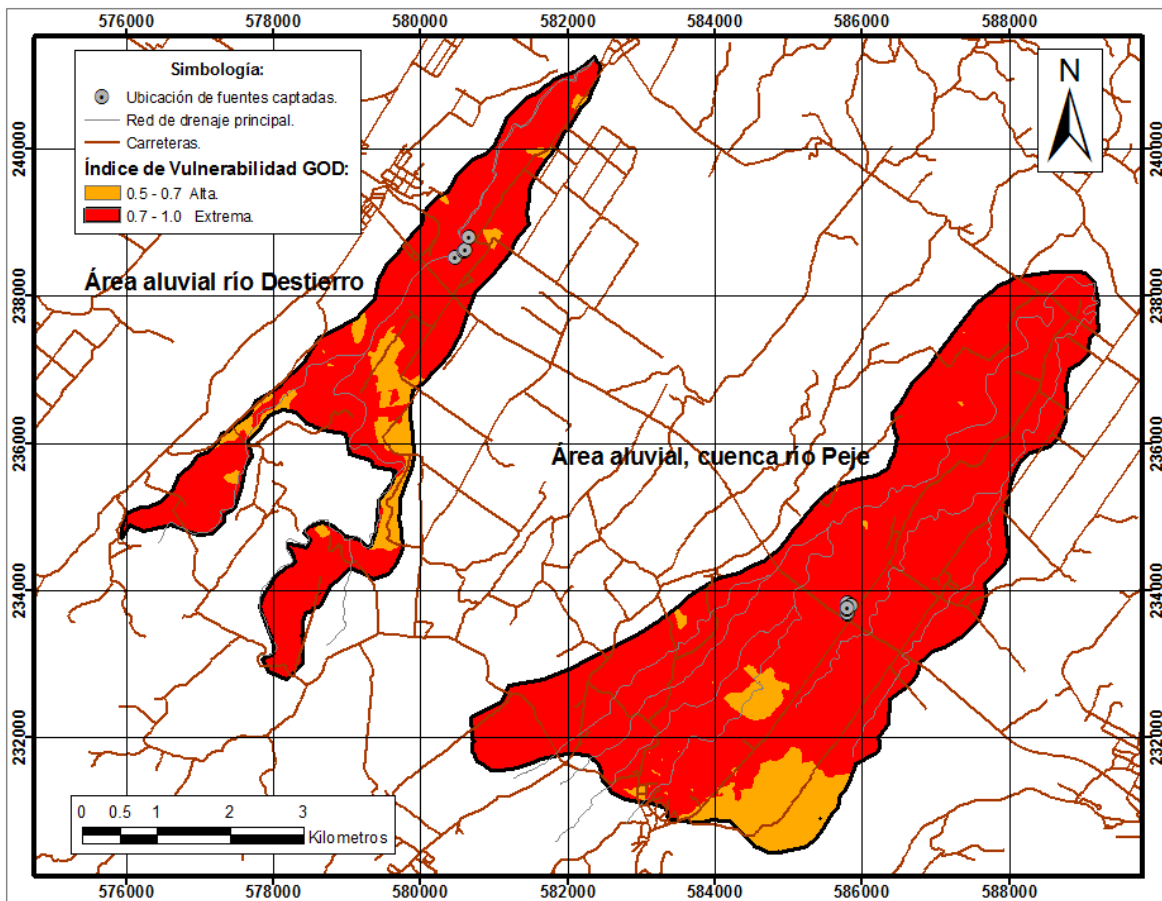


Figura 21. Mapa de vulnerabilidad elaborado por Hidrogeotecnia Ltda. (2009)

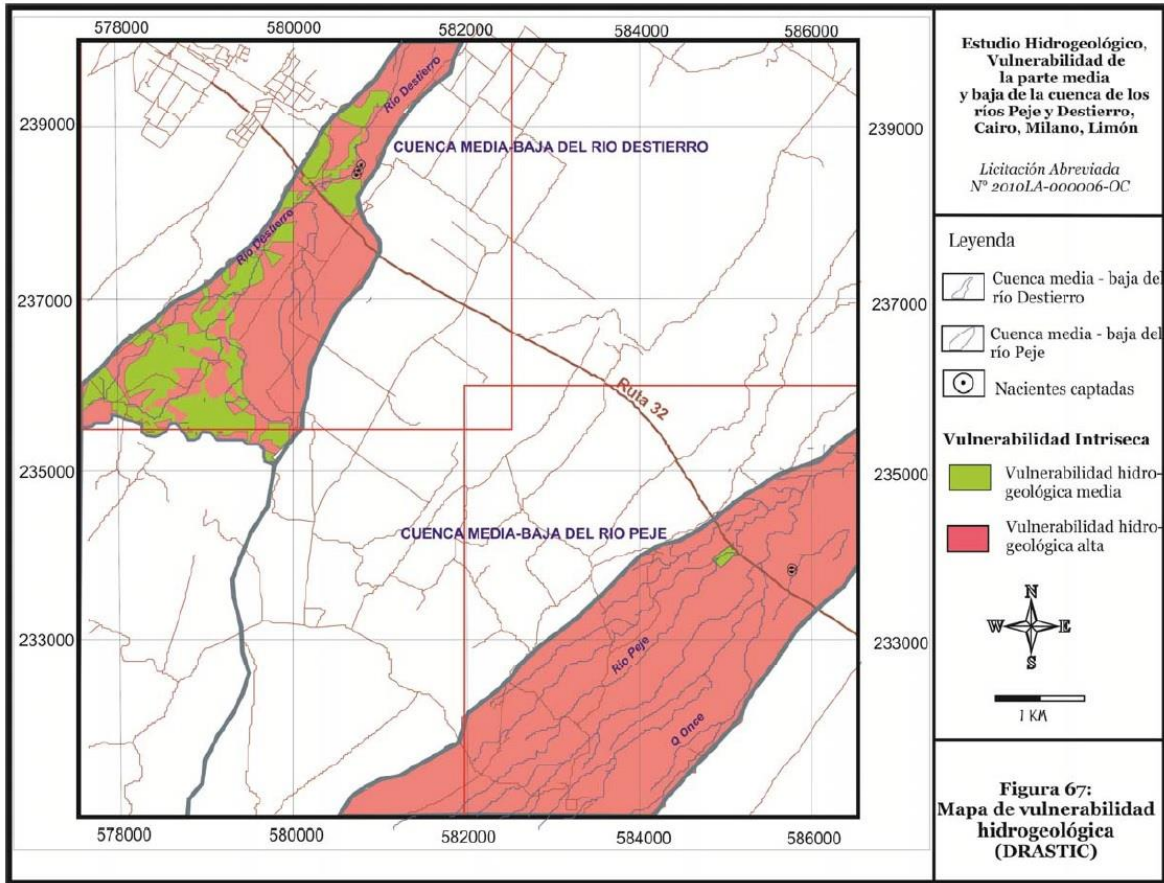


Figura 22. Mapa de vulnerabilidad elaborado por Vargas (2011)

## 6 INSUMOS A CONTRATAR Y ESTIMACIÓN PRESUPUESTARIA

---

Mediante oficio SENARA-DIGH-UI-048-2021 del 11 de febrero del 2021, el SENARA le comunicó a la Municipalidad de Siquirres la propuesta para realizar en conjunto un estudio hidrogeológico del cantón, que sirviera para la protección del recurso hídrico y toma de decisiones según la variable hidrogeológica en el Plan Regular. A la fecha, el SENARA no ha tenido respuesta a este oficio por parte de la Municipalidad, y solamente se ha recibido un correo del Sr. Iván Rodríguez Núñez, coordinador de Valoración y Catastro de la Municipalidad, con fecha 14 de octubre del 2021, en el que indica que actualmente la propuesta de Plan Regulador se encuentra en revisión por parte del INVU y por ello no está finalizado.

Debido a lo anterior, a nivel cantonal no se cuenta con la delimitación de las áreas potenciales de crecimiento, las cuales son indispensables para determinar la ubicación y densidad de pruebas o insumos que se requieren realizar o contratar para cumplir con los términos de referencia de los estudios hidrogeológicos de Planes Reguladores. Es por ello, que se ha optado por definir únicamente los insumos que se requieren contratar para la elaboración del estudio hidrogeológico en la cuenca del río Siquirres que fue solicitado por la Defensoría de los Habitantes mediante oficio 6156-2018-DHR, cuya ejecución se ha programado para el año 2022 según lo indicado en oficio SENARA-DIGH-UI-072-2020.

La estimación se basa en el método y densidades de pruebas establecidas en la “Metodología general para la elaboración de los estudios hidrogeológicos para los planes reguladores”, publicada en La Gaceta No. 137 del 16 de Julio del 2015.

Se hace la aclaración, que el mapa de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos solamente se podrá realizar en ciertos sectores de la cuenca debido a que la información de pozos o perforaciones exploratorias es prácticamente inexistente, como sucede en los sectores montañosos. Por otra parte, con la contratación de insumos si se logrará realizar el mapa de zonificación de la recarga potencial a los acuíferos para toda la cuenca del río Siquirres (30.09 km<sup>2</sup>).

Las estimaciones de costos unitarios por metros de perforación exploratoria, pruebas de infiltración, muestreos y análisis de suelos y sondeos eléctricos verticales se basan en las cotizaciones más recientes que se han recibido en SENARA para las contrataciones de otros proyectos desarrollados por la Institución.

En el cuadro 8 se muestran las cantidades de ensayos, sondeos y perforaciones exploratorias que se deben contratar como insumos para el estudio hidrogeológico y sus costos asociados.

Por otra parte, en la figura 23 se muestra la ubicación propuesta para la ejecución de los insumos correspondientes con perforaciones exploratorias, sondeos eléctricos verticales y muestreo de suelos.

**Cuadro 8. Estimación de costos para los insumos a contratar. Estudio hidrogeológico cuenca del río Siquirres.**

<b>SUELOS E INFILTRACIONES DOBLE ANILLO</b>				
<i>Rubro</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo unitario (¢)</i>	<i>Total parcial</i>	<i>Total final</i>
Infiltraciones	30	77 500.00	2 325 000.00	4 815 000.00
Suelos geotecnia	30	50 000.00	1 500 000.00	
Suelos agronómico + raíces	30	33 000.00	990 000.00	
<b>PERFORACIONES EXPLORATORIAS</b>				
<i>Perforaciones</i>	<i>Metros de perforación</i>	<i>Costo unitario metro (¢)</i>	<i>Total</i>	
4	100	145 000.00	14 500 000.00	
<b>SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES</b>				
<i>Sondeos eléctricos</i>	<i>Costo unitario de sondeos (¢)</i>	<i>Total</i>		
17	310 000.00	5 270 000.00		
<b>TOTAL EN CONTRATACIONES</b>		<b>24 585 000.00</b>		
<b>PREVISTA PARA REAJUSTE</b>		<b>930 000.00</b>		
<b>PRESUPUESTO A SOLICITAR</b>		<b>25 515 000.00</b>		

Adicionalmente, la ejecución del estudio hidrogeológico y la supervisión de las contrataciones requieren de ciertas actividades de campo, en las cuales los costos de los viáticos de los funcionarios se han estimado de conformidad con la tabla actualmente vigente de gastos de viaje y transporte de la Contraloría General de la República. El desglose de estos costos se presenta en el cuadro 9.

**Cuadro 9. Estimación de costos para las giras a realizar durante la supervisión de contrataciones y ejecución del estudio en la cuenca del río Siquirres.**

Rubro	Cantidad de giras	Costo 1 persona (un día para otro)	Total (¢)
<b>Supervisiones</b>	16	32 000.00	512 000.00
Rubro	Cantidad de semanas	Costo 2 personas 1 semana	Total (¢)
<b>Geología y otros</b>	2	235 000.00	470 000.00
Rubro	Cantidad de semana	Costo 2 personas 1 semana	Total (¢)
<b>Uso de suelo</b>	1	235 000.00	235 000.00
<b>Total viáticos (¢)</b>	<b>1 217 000.00</b>		

A partir de los anterior, se considera que el costo aproximado de las contrataciones y giras de campo que se deben realizar para la ejecución del estudio hidrogeológico en la cuenca del río Siquirres es de **¢26 732 000.00** (veintiseis millones setecientos treinta y dos mil colones).

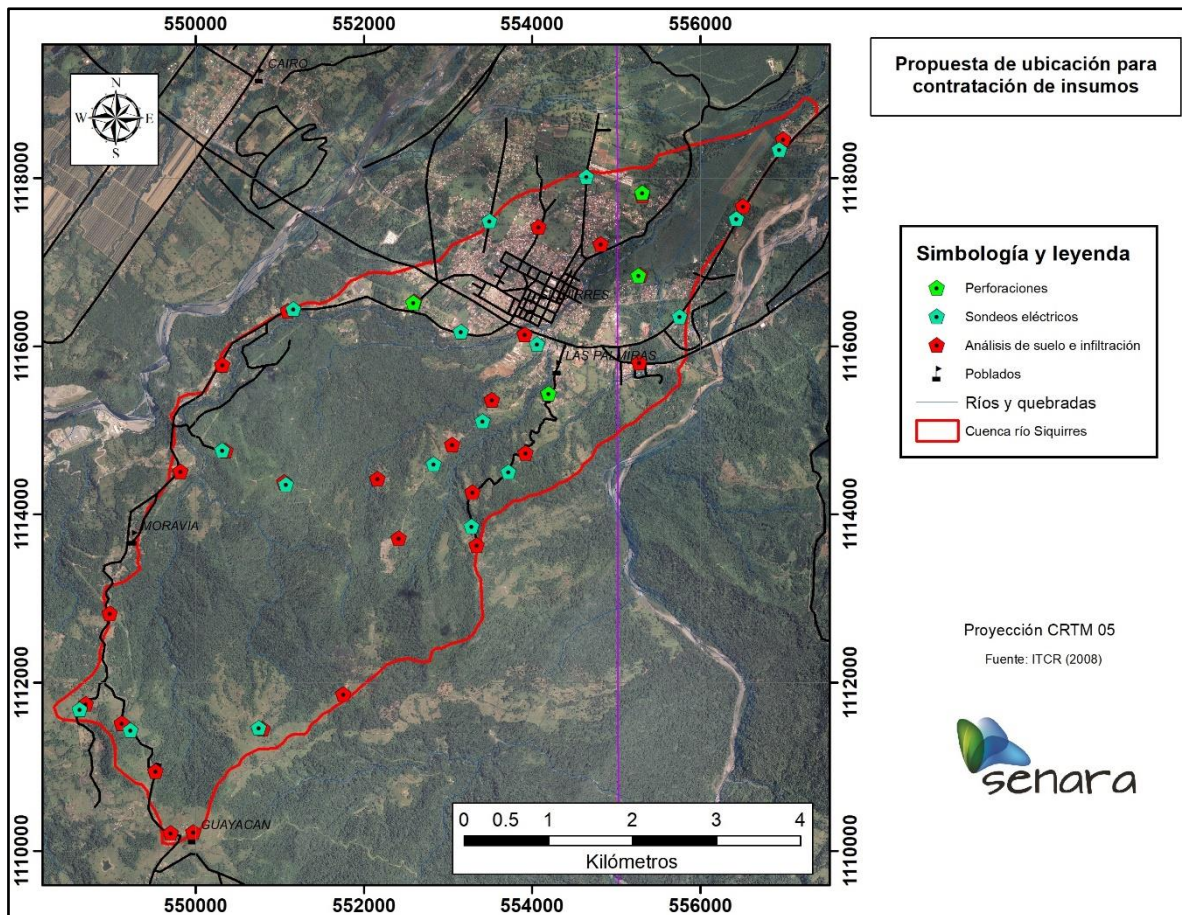


Figura 233. Mapa de ubicación propuesta para contratación de insumos al estudio hidrogeológico (perforaciones exploratorias, sondeos eléctricos, análisis de suelos y pruebas de infiltración).

## 7 BIBLIOGRAFÍA

---

- AGUILAR, T., 1993: Paleoecología del Alto Guayacán. Formación Uscari Mioceno Provincia de Limón, Costa Rica. - Rev. Geol. Amer. Central 16: 51-60.
- ALPÍZAR, M., DURÁN, P., GAMBOA, D., GARNIER, M., HERRA, D., LEÓN, P.,...VILLALOBOS, C., (2007): Diagnóstico Geológico de la provincia de Limón.- 252 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Inf. Campaña Geol.].
- ALVARADO, G.E & PÉREZ, W., 1999: The Doán Formation (Plioceno) of Costa Rica: an overview on its description, origin, lateral equivalents, and further implications on the closing of the Central America seaway.-Sixth international congress on Pacific Neogene stratigraphy and IGCP-355. San José: 150.-167.
- AZEMBRE, B. & TOURNON, J., 1977: Les intrusions basique alcalines du Rio Reventazón (Costa Rica). - C.R. Som. Soc. Geol. France 2: 104-107.
- BARBOZA, G., (2012): Tanque de almacenamiento de combustible Piñales de Costa Rica (Expediente 171-2012). Archivo físico de expedientes de la Dirección de Investigación y Gestión Hídrica del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento.
- BELLÓN, H. & TOURNÓN, J., 1978: Contribution de la géochronométrie K-Ar a l'étude du magmatism de Costa Rica, Amérique Central. - Bul. Soc. Géol. France, 20(6): 955-959.
- BOTTAZZI, G., FERNÁNDEZ, J. A. & BARBOZA, G., 1994: Sedimentología e historia tectono - sedimentaria de la cuenca Limón Sur. - Profil 7: 351-391.
- BOTTAZZI, G., 2016: Tratado de sedimentología de la Cuenca Limón Sur - Costa Rica. Evolución tectono - sedimentaria, secuencias y reconstrucción paleogeográfica. - 180 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- CALDERÓN, M. (2015): Definición preliminar del modelo geológico-geotécnico del deslizamiento San Antonio de Pascua, Siquirres, Limón (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- CAMPOS. L., 2001: Geology and basins history of middle Costa Rica: an intraoceanic island arc in the convergence between the caribbean and the pacific plates (Tesis de doctorado). Universitat Tubingen, Alemania.
- CERDAS, A. (1991): Análisis de estabilidad de laderas en la margen derecha del río Pacuare, proyecto hidroeléctrico Siquirres, provincia de Limón, Costa Rica (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

- CERVANTES, F. (1989): Base geológica para los análisis geotécnicos del proyecto hidroeléctrico Siquirres, provincia de Limón, Costa Rica” (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- CHAVARRÍA, L., 1996: Estudio geológico geotécnico del corredor Turrialba – Siquirres, sección río Torito – Laguna Bonilla, poliducto de RECOPE, provincia de Cartago, Costa Rica.- 113 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Inf. Campaña Geol.].
- CHAVES, M. (2016): Estimación de los efectos en el caudal y el nivel del agua subterránea por la excavación de los túneles de desvío Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Limón, Costa Rica (Tesis de maestría). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- CHAVES, M. y VARGAS, A., (2012): Estudio hidrogeológico para la instalación de tanques de almacenamiento de combustible en el PH Reventazón (Expediente 76-2012). Archivo físico de expedientes de la Dirección de Investigación y Gestión Hídrica del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento.
- COLLINS, L. S., COATES, A. G., JACKSON, J. B. C. & OBANDO, J. (1995). En P. Mann. (Ed.), *Geologic and tectonic development of the Caribbean plate boundary in southern Central America* (263-290). Boulder, Colorado, United States of America: Geological Society of America.
- DENYER, P. y ALVARADO, G. (2007): Mapa geológico de Costa Rica. [Mapa]. 1: 400 000. San José: Editorial de la Librería Francesa S.A.
- DENYER, P. & ARIAS, O., 1991: Estratigrafía de la Región Central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 12. p 1-59.
- DENYER, P., MONTERO, W. Y ALVARADO, G. (2003). *Atlas tectónico de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- ESCALANTE, G., 1966: Geología de la cuenca superior del río Reventazón Costa Rica. *Publicaciones geológicas de ICAITI*, 1: 59-69.
- ESPINOZA, J. (2012). *Estudio de Estanqueidad del Embalse del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón – Instituto Costarricense de Electricidad* (Tesis de Licenciatura). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- FERNÁNDEZ, J. A., 1987: Geología de la hoja topográfica Tucurrique (1:50000 IGNCR., #3445I). (Tesis de Licenciatura no publicada). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

- FERNÁNDEZ, J., BOTTAZZI, G., BARBOZA, G. Y ASTORGA, A. (1994). Tectónica y estratigrafía de la cuenca Limón Sur. *Revista geológica de América Central*, Vol. *Esp. Terremoto de Limón*, 15-28.
- GÓMEZ, M., (2019): Tanque de autoconsumo de diesel CHEC (Expediente 156-2019). Archivo físico de expedientes de la Dirección de Investigación y Gestión Hídrica del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento.
- HIDROGEOTECNIA LTDA., 2009: Estudio Hidrogeológico para la caracterización de las zonas de recarga de las fuentes Milano y El Cairo. – 133 págs. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados [Licitación abreviada].
- I.C.E., 2006: Avance a la Factibilidad, Proyecto Hidroeléctrico Reventazón.-222 págs Instituto Costarricense de Electricidad, San José [Inf. Interno].
- IMN, ¿: Clima de Costa Rica y Variabilidad Climática: Vertiente del Caribe. – Recuperado de <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/31165/VertienteCaribe.pdf/acd336b0-9c69-444a-9316-f168945c9a6d>
- ITCR, 2008: Atlas Digital de Costa Rica 2008. – Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- ITCR, 2014: Atlas Digital de Costa Rica 2014. – Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- LINKIMER, L & AGUILAR, T., 2000: Estratigrafía sedimentaria. – En: DENYER, P. & KUSSMAUL, S., (ed): Geología de Costa Rica. – Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago. 43-62.
- LINKIMER, L., 2003: Neotectónica del extremo oriental del Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica.-144 págs. Universidad de Costa Rica [Tesis Lic.].
- MARSHALL, J.S. & 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.
- MONTERO, W. (1994). Neotectonics and related stress distribution in a subduction-collision zone: Costa Rica. – *Profil* 7: 125-141.
- MONTERO, W. (2000 a). Geotectónica. En P. Denyer y S. Kussmaul. (Eds.), *Geología de Costa Rica* (pp. 115-132). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- MONTERO, W. (2000 b). Sismología y neotectónica. En P. Denyer y S. Kussmaul. (Eds.), *Geología de Costa Rica* (pp. 219-239). Cartago, Costa Rica: 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.

- PARIS, P. H., 1953: Informe de la Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. al Gobierno de la República. San José, Costa Rica: Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. Informe Técnico CRGR-4.
- PEREZ, W., 1996: Estudio Geológico y de Amenazas Naturales Corredor Turrialba – Siquirres, Poliducto de RECOPE, sector Bonilla – Guayacán.- 121 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Inf. Campaña Geol.].
- PIZARRO, D., 1987: Bioestratigrafía de la Formación Uscari (Costa Rica) con base en foraminíferos planctónicos. – Rev. Geol. Amer. Central 7: 1-63.
- RECOPE, 1997: Mapa Geológico de Costa Rica. Ministerio de Ambiente y Energía, la Dirección de Geología y Minas-Dirección de Hidrocarburos y la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), escala de 1:750.000.
- RIVIER, F., 1973: Contribución estratigráfica sobre la geología de la Cuenca de Limón, zona de Turrialba, Costa Rica. Publicaciones Geológicas del ICAITI, 4, 149-159.
- ROJAS, M., 1996: Estudio geológico – geotécnico del corredor Turrialba – Siquirres, sección Alto Guayacán – Siquirres del poliducto RECOPE.- 122 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Inf. Campaña Geol.].
- SALAZAR, J y ZAMORA, E. (1991): “Comportamiento geomecánico de las formaciones geológicas: Guayacán, Suretka y Doán en excavaciones subterráneas” (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- SEGURA, G. (2015): Análisis mediante aplicaciones SIG de la susceptibilidad al deslizamiento en el corredor Siquirres-Turrialba como factor de riesgo del poliducto de RECOPE (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- SERVICIO NACIONAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS RIEGO Y AVENAMIENTO., (2003): Diagnóstico de los recursos hídricos en la región Atlántica. - 48 págs. (Informe Interno SENARA).
- SERVICIO NACIONAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS RIEGO Y AVENAMIENTO., (2021): Archivo nacional de pozos. [Base de datos]. Recuperado de <http://base-digh.senara.or.cr/>
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO. (2021): DA\_Concesiones – DA\_Dictámenes. [Base de datos]. Recuperado de <http://mapas.da.go.cr/mapnew.php>
- SPRECHMANN, P., ASTORGA, A., CALVO, C. y FERNÁNDEZ, J. A., 1994: Stratigraphic chart of the sedimentary basins of Costa Rica, Central America. Profil, 7, 427-433.

- TAYLOR, G.D., 1975: The geology of Limon area of Costa Rica.- 116 págs., PhD. Thesis, Louisiana State University, Illinois.
- TOURNON, J. & ALVARADO, G.E., 1997: Mapa Geológico de Costa Rica. - Escala 1:500.000, Coop. Cient. Tecnol. De Francia – ICE, París.
- VARGAS, C., (2011): Estudio hidrogeológico y de vulnerabilidad de la parte media y baja de la cuenca de los ríos Peje y Destierro, Cairo y Milano, Limón. Recuperado de [https://frenasapp.org/images/repositorio/INFORME%20FINAL%20CAIRO%20MILANO\\_2012.pdf](https://frenasapp.org/images/repositorio/INFORME%20FINAL%20CAIRO%20MILANO_2012.pdf)
- VARGAS, C., (2012a): Estudio hidrogeológico Servicentro Siquirres (Expediente 32-2012). Archivo físico de expedientes de la Dirección de Investigación y Gestión Hídrica del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento.
- VARGAS, C., (2012b): Estación de Servicio Acón Siquirres Limitada (Expediente 40-2012). Archivo físico de expedientes de la Dirección de Investigación y Gestión Hídrica del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento.
- VEGA, A., (2017): Parque Industrial en la zona de El Cairo (Expediente 86-2017). Archivo físico de expedientes de la Dirección de Investigación y Gestión Hídrica del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento.

## 8 ANEXOS

---

Anexo 1. Información de estaciones meteorológicas (Fuente IMN)

Anexo 2. Información de afloros, base de datos de SENARA

Anexo 3. Información de pozos, base de datos de SENARA

Anexo 4. Información de concesiones, Dirección de Agua del MINAE

Anexo 5. Información de pozos de AyA

Anexo 6. Insumos para balance hídrico de suelos, recopilados de bibliografía.