



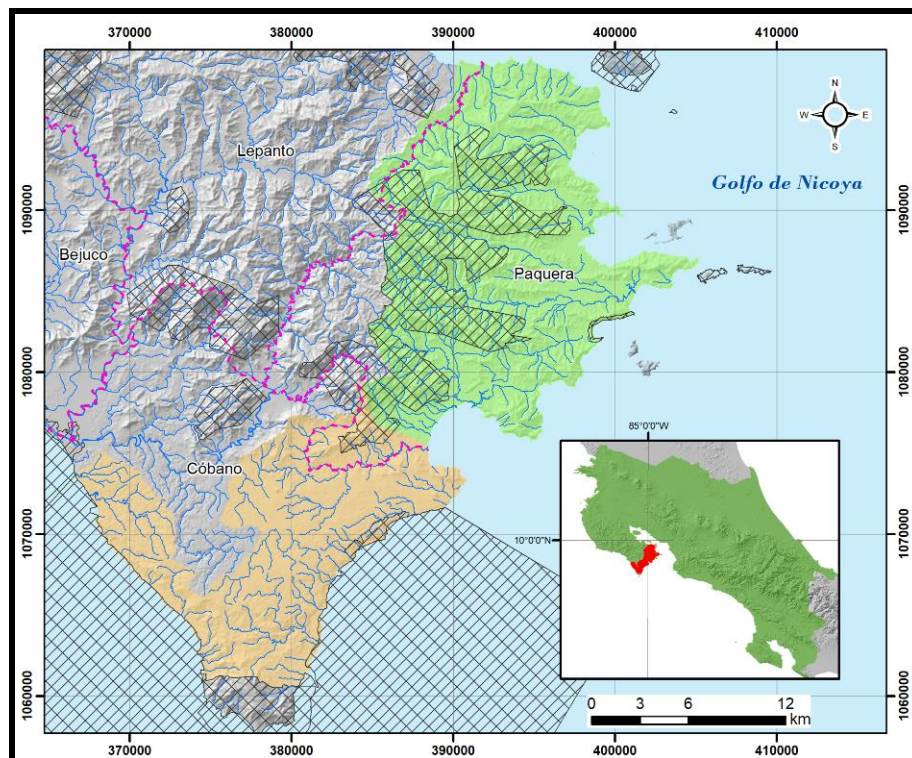
SERVICIO NACIONAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, RIEGO Y AVENAMIENTO

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO BÁSICO EN EL SUR DE LA PENÍNSULA DE NICOYA, SECTOR DE SANTA TERESA Y PAQUERA, PUNTARENAS, COSTA RICA

SENARA-DIGH-UI-INF-061-2020



JUNIO, 2020



ELABORADO POR:

Lic. Magdalena Monge Cordero
Geóloga Unidad de Investigación Hidrogeológica

Lic. Alonso Alfaro Martínez
Geólogo Unidad de Investigación Hidrogeológica

REVISADO Y
APROBADO POR:

M.Sc. Roberto Ramírez Chavarría
Director, Dirección de Investigación y Gestión
Hídrica

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

TABLA DE CONTENIDO	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE ANEXOS.....	5
I. INTRODUCCIÓN	6
1.1 Justificación	6
1.2 Propósito del Informe	6
1.3 Objetivo general.....	6
1.4 Objetivos específicos	6
1.5 Metodología de trabajo.....	6
1.6 Ubicación de las áreas de estudio.....	7
1.7 Características generales	7
1.8 Antecedentes.....	7
II. GEOLOGÍA REGIONAL	9
2.1 Complejo de Nicoya	9
2.2 Formación Sabana Grande.....	11
2.3 Formación Puerto Carrillo	12
2.4 Piedras Blancas	12
2.5 Formación Loma Chumico	13
2.6 Formación Curú	13
2.6.1 Miembro Zapotal (Formación Descartes)	14
2.7 Formación Arío.....	14
2.8 Formación Fila de Cal	16
2.9 Formación Santa Teresa.....	16
2.10 Formación Montezuma	18
2.11 Formación Cóbano	18
2.12 Geología Estructural	19
2.12.1 Falla Bongo.....	19
2.12.2 Falla Cóbano	19
2.12.3 Falla Pénjamo.....	19
2.12.4 Falla San Isidro.....	19
2.12.5 Falla Montezuma.....	20
2.12.6 Falla En medio.....	20
III. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.....	20
3.1 Cuencas hidrográficas en las zonas de estudio	20
3.2 Clima	23
3.3 Estaciones meteorológicas.....	25
3.3.1 Estación Paquera (72111)	26
3.3.2 Estación Paquera (72159)	28
3.3.3 Estación Cabuya - Cabo Blanco (72125)	29
3.3.4 Estación Lepanto (72107).....	30
IV. HIDROGEOLOGÍA.....	31
4.1 Antecedentes.....	31
4.2 Aforos	32
4.3 Inventario de Pozos	33
V. BIBLIOGRAFÍA.....	38

LISTA DE TABLAS

Tabla 1:	Cuencas hidrográficas en el sector de Paquera.
Tabla 2:	Cuencas hidrográficas en el sector de Santa Teresa.
Tabla 3:	Resumen sinóptico-climático y tipo de vegetación de la subregión Pacífico Norte (PN2).
Tabla 4:	Ubicación de estaciones meteorológicas.
Tabla 5:	Periodos de series con información de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio.
Tabla 6:	Precipitación promedio mensual y temperatura media promedio mensual de la estación Paquera.
Tabla 7:	Periodos de series con información de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio.
Tabla 8:	Precipitación promedio mensual estación Cabuya – Cabo Blanco.
Tabla 9:	Precipitación promedio mensual estación Lepanto.
Tabla 10:	Ubicación de afloros en Santa Teresa y Paquera.
Tabla 11:	Resumen de inventario de pozos en la zona de Santa Teresa.
Tabla 12:	Cantidad de pozos por formación geológica en la zona de Paquera.
Tabla 13:	Resumen de inventario del uso del agua subterránea en la zona de Paquera.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Mapa de ubicación de la zona de estudio.
Figura 2:	Mapa geológico zona de Paquera y Santa Teresa.
Figura 3:	Delimitación de cuencas hidrográficas en las zonas de estudio.
Figura 4:	Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica.
Figura 5:	Mapa Ecológico de Costa Rica.
Figura 6:	Ubicación de estaciones meteorológicas cercanas a zonas de estudio.
Figura 7:	Gráfico de la precipitación promedio mensual y temperatura media de la estación Paquera.
Figura 8:	Gráfico del cálculo de la evapotranspiración potencial de la estación Paquera.
Figura 9:	Gráfico de la precipitación promedio mensual y temperatura media de la estación Paquera.
Figura 10:	Gráfico de los cálculos de ETP para la estación Paquera.
Figura 11:	Gráfico de la precipitación promedio mensual de la estación Cabuya Cabo Blanco.
Figura 12:	Gráfico de la precipitación promedio mensual de la estación Lepanto.
Figura 13:	Mapa Hidrogeológico Regional.
Figura 14:	Mapa de ubicación de afloros.
Figura 15:	Ubicación de concesiones de aguas en área de estudio.
Figura 16:	Ubicación de pozos con litología según base de datos de SENARA.

LISTA DE ANEXOS

Anexo I:

Anexo II:

Anexo III:

Anexo IV:

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

El presente informe constituye el Estudio Hidrogeológico Básico de la zona de Santa Teresa y Paquera, en el sur de la península de Nicoya de Costa Rica, se ha elaborado debido a la necesidad de recopilar y evaluar la información hidrogeológica base existente en el área de estudio para la futura planificación y elaboración de estudios hidrogeológicos más detallados en cuencas y acuíferos seleccionados.

1.2 Propósito del Informe

Recopilar y presentar la información existente como parte de los estudios hidrogeológicos básicos en la zona de estudio.

1.3 Objetivo general

- Realizar la recopilación de la información hidrogeológica básica disponible para utilizarse en la definición de estudios hidrogeológicos específicos de los acuíferos de los sectores costeros de Santa Teresa y Paquera en el sur de la Península de Nicoya, Costa Rica.

1.4 Objetivos específicos

- Recopilar la información geológica existente en la zona de estudio.
- Recopilar la información hidrológica existente en la zona de estudio.
- Recopilar la información hidrogeológica existente en la zona de estudio.
- Compilar la información generada por las estaciones meteorológicas existentes dentro o más cercanas al área de estudio.
- Estructurar las bases de datos de pozos, manantiales y concesiones de agua.

1.5 Metodología de trabajo

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

- Recopilación de información bibliográfica de la zona, entre ella información regional y local de geología, geología estructural, climática e hidrogeológica.
- Revisión de bases de datos de pozos y manantiales en el SENARA, la Dirección de Aguas del MINAET y el Instituto Costarricense de Acueductos y

Alcantarillados (AyA) para obtener datos básicos de los acuíferos y concesiones de agua.

- Recopilación de información climatológica de la base de datos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN).
- Elaboración del Informe del Estudio Hidrogeológico Básico.

1.6 Ubicación de las áreas de estudio

Las áreas de estudio se ubican en el extremo sur de la Península de Nicoya en la Provincia de Puntarenas, cubren parte de los distritos de Paquera, Cóbano y una pequeña parte de Lepanto. Esta se delimita entre las coordenadas CRTM05 365000–405500 Este y 1060000 – 1100000 Norte y se encuentra dentro de las hojas cartográficas Venado, Golfo, Río Ario, Tambor, escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Para su estudio el área se dividió en los sectores denominados el sector de Paquera y el sector de Santa Teresa con un área total de 461,3 km², como se puede observar en la figura 1.

1.7 Características generales

La zona de Paquera tiene un área de 278,4 km², de estos un 34% corresponde con zonas protegidas ubicadas en las partes altas de las cuencas como se puede observar en la figura 1. En este sector las elevaciones varían entre los 0 m.s.n.m. hasta 740 m.s.n.m. según las curvas de nivel escala 1:25 000 del IGN descargadas del SNIT. Los colectores o drenajes principales en la zona de Paquera lo constituyen los ríos Cabo Blanco, Higueral, Grande, Guarial, San Rafael, Curú y Zelaya, los cuales fluyen al este-sureste principalmente.

La zona de Santa Teresa tiene un área de 182,9 km², 5.68% del área total corresponde con zonas protegidas ubicadas principalmente hacia la costa (figura 1), las elevaciones del terreno varían entre 0 m.s.n.m. hasta los 600 m.s.n.m. En la zona de Santa Teresa los colectores principales corresponden con los ríos Cóbano, Pánica, Montezuma, Lajas y Enmedio, los cuales fluyen al océano Pacífico con direcciones sureste-oeste principalmente.

1.8 Antecedentes

En el área de estudio, se han realizado varios estudios geológicos e hidrogeológicos a nivel regional, así como también mapas geológicos a diferentes escalas también con un carácter regional. Asimismo destacan las siguientes investigaciones por el tipo, alcance, contenido, área de cobertura e importancia de la información:

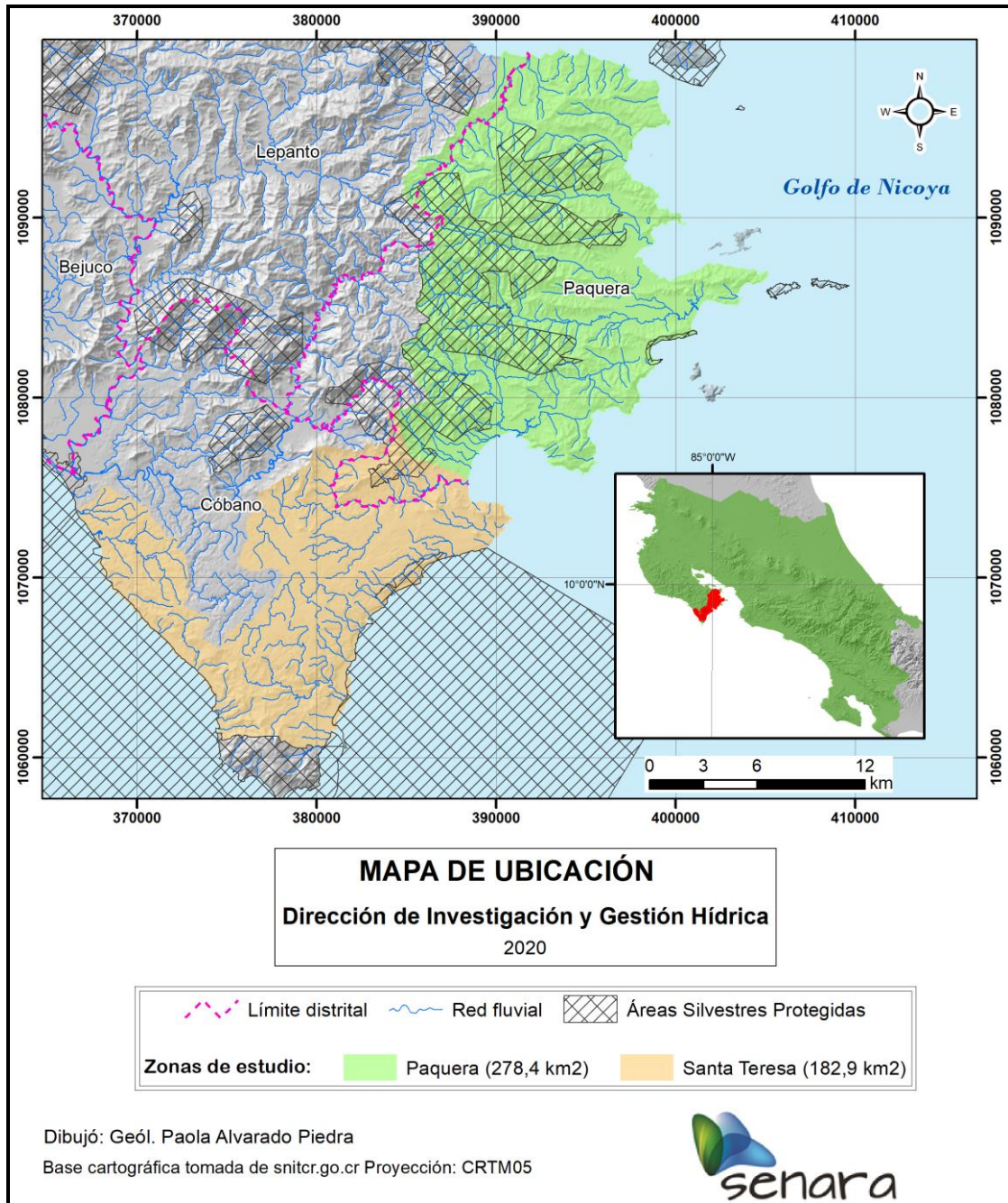


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

- El SENARA en el año 1993 elaboró el Mapa Hidrogeológico de la Península de Nicoya a escala 1:750.000, en donde caracteriza las diferentes litologías con base en el potencial hidrogeológico que tienen las rocas de conformar acuíferos.
- Como base geológica de referencia se tiene el Mapa Geológico de Costa Rica elaborado por Tournon y Alvarado en el año 1995 a escala 1:500 000.

- c) Otra base geológica muy importante es la de Denyer y Alvarado en el año 2007, los cuales publicaron el Mapa Geológico de Costa Rica a escala 1:400 000.
- d) Chinchilla y Ramírez en el año 2011 desarrollaron en el SENARA el estudio hidrogeológico en la cuenca del río Montezuma, con el fin de establecer el modelo hidrogeológico del acuífero y determinar su capacidad hídrica en un área de 18,39 km².
- e) En el año 2014 se publica la Cartografía Geológica de la Península de Nicoya a escala 1:50.000 por parte del Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas de la UCR y la Dirección de Geología y Minas del MINAE.

II. GEOLOGÍA REGIONAL

Las rocas de la Península de Nicoya son de las más estudiadas del país, existen diversos trabajos relacionados con su cartografía. Denyer et al. (2014) realiza una síntesis de estos trabajos y con nuevos datos propone un marco stratigráfico y tectónico en la zona. De acuerdo con dicho trabajo en el área de estudio se encuentra una secuencia de rocas de origen ígneo y sedimentario.

El basamento local está constituido por rocas del denominado Complejo de Nicoya, el cual es sobreyacido por rocas sedimentarias de las formaciones Sabana Grande, Puerto Carrillo, Piedras Blancas, Loma Chumico, Curú, Descartes, Ario, Fila de Cal, Calizas Ario, Santa Teresa, Montezuma y Cóbano. Sobre esta secuencia sedimentaria se localizan depósitos recientes constituidos por aluviones, coluvios y depósitos de playa. Su distribución se puede observar en la figura 2. A continuación se describe cada una de las formaciones presentes en el área de estudio.

2.1 Complejo de Nicoya

Los basaltos como parte del Complejo de Nicoya conforman el basamento local y regional. Es la unidad más abundante, tanto en el Complejo como en la península de Nicoya (Denyer et al. 2014). En la zona de estudio se encuentra en sectores como los poblados de Tambor y Cóbano. Se presentan generalmente como flujos de basaltos masivos, cruzados por varias generaciones de fracturas y vetillas en su mayoría de zeolitas y algunas silíceas; además se encuentran en forma de almohadilla y en ocasiones en microalmohadilla. Las almohadillas muestran una corteza de hialoclastita fracturada, producto del enfriamiento y en cortes transversales se observan las fracturas radiales y una estructura concéntrica mostrando una mejor cristalización en la parte central (Denyer et al. 2014).

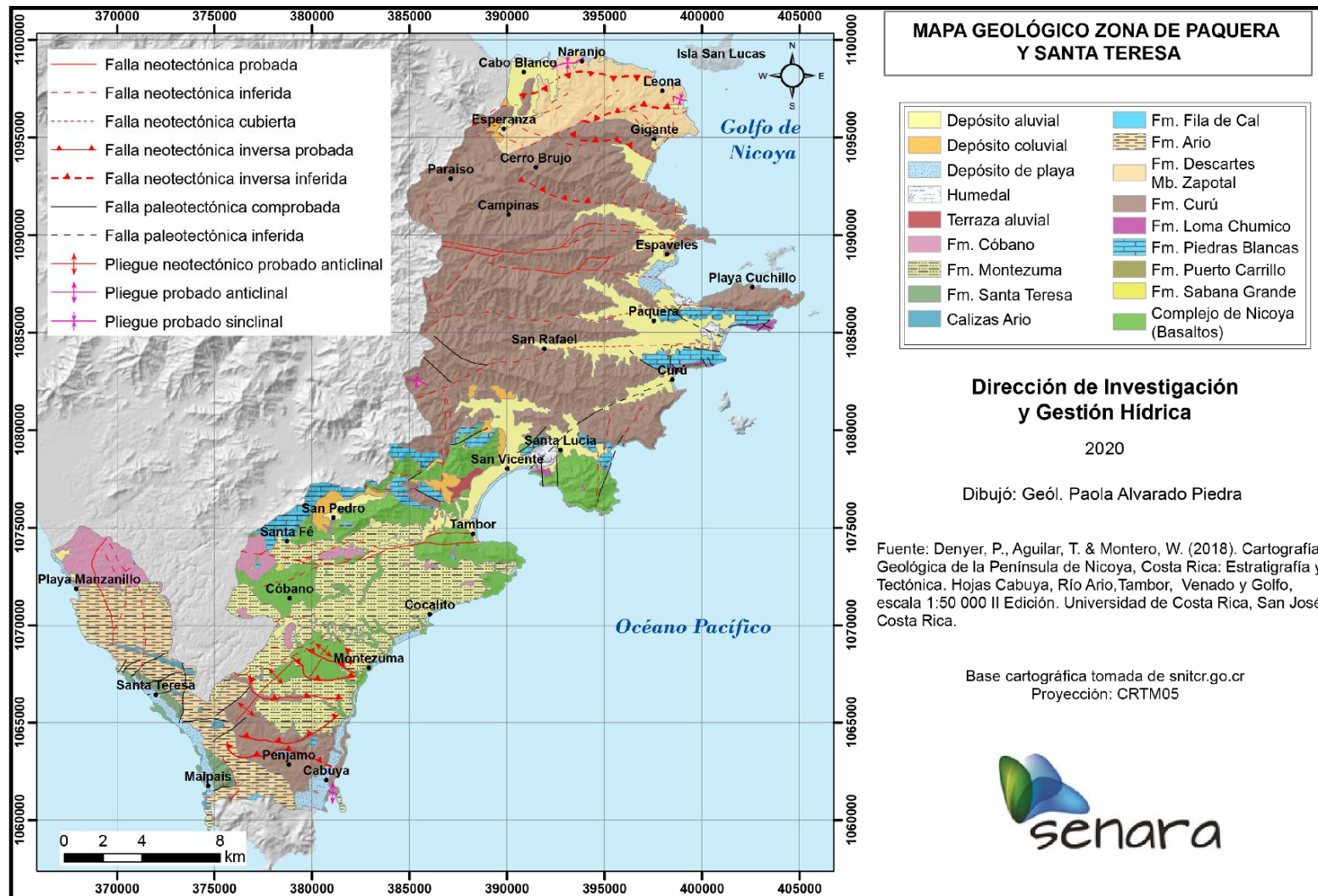


Figura 2. Mapa geológico zona de Paquera y Santa Teresa.

Asociado a estos basaltos se presentan autobrechas y brechas de explosión en las almohadillas; así como los basaltos toleíticos; estos son de grano fino, en general afíricos, compuestos por plagioclasa, augita, clorita y óxidos de hierro y titanio, todo esto una matriz afanítica. Generalmente se presentan vetillas de calcedonia, zeolitas, ópalo y rara vez calcita (Denyer et al. 2014).

Algunas dataciones radiométricas $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ se pueden agrupar en tres grandes grupos: entre 139-133 Ma (*Berriasiano - Hauteriviano*) (Hoernle et al., 2004), 119-111 Ma (*Aptiano-Albiano*) (Hoernle et al., 2004) y 95-88 Ma (*Cenomaniano-Turoniano*) (Sinton et al., 1997; Hauff et al., 2000).

Esta unidad es parte del CLIP (Caribbean Large Igneous Province) que es un evento magmático regional intenso originado por la placa Farallón (antigua placa que posteriormente se fragmenta y da origen a las placas Nazca y Coco), pasó por un punto caliente y produjo intrusiones y derrames lávicos causando engrosamiento de la corteza.

2.2 Formación Sabana Grande

Denominada por MacDonald (1920) para describir las calizas silíceas de Sabana Grande. Dengo (1962) la define formalmente como formación, e indica que, además de calizas silíceas y ftanitas con radiolarios, se encuentran lutitas silíceas. Astorga (1987) la redefine considerando un estratotipo el área de los alrededores del poblado de Sabana Grande. Flores (2003) propone el Cerro Jesús como neoestratotipo.

Según la descripción de Flores (2003) esta unidad está compuesta sobre todo por estratificación decimétrica a centimétrica de lutitas silíceas, calcilutitas parcialmente silíceas (calizas silíceas) e intercalaciones de areniscas medias y finas ligeramente calcáreas. Los estratos son planos continuos, de geometría tabular, leve a medianamente plegados (Denyer et al., 2014).

Dengo (1962) indica que esta Formación pertenece al *Senoniano* o más antigua con base en su posición estratigráfica bajo la Formación Curú. Para Flores (2003) como Bandini et al., (2008) tiene una edad probable de *Coniciano - Campaniano*; para Denyer et al., (2014) posee un rango de edad del *Cenomaniano al Santoniano*.

Esta unidad corresponde con una sedimentación de origen pelágico, con una notable influencia en el aporte terrígeno evidenciado por un aumento de intercalaciones de areniscas turbidíticas. Los eventos de sedimentación anóxica

son menos frecuentes o casi inexistentes, presentándose hacia la base (Astorga, 1987; Flores, 2003; Bandini et al., 2008).

2.3 Formación Puerto Carrillo

Sprechman (1984) describe esta unidad como formada por brechas mal estratificadas constituidas por fragmentos basálticos, pedernales amarillos y rojos y ocasionalmente clastos de gabro. De acuerdo con Denyer et al. (2014) los granos de esta formación son angulosos a subredondeados hasta bien redondeados en algunas localidades, constituyendo conglomerados. Su color es verde oscuro, resaltando los clastos de pedernal rojos y amarillentos (Denyer et al., 2014).

Marín (1980) indica que existe un contacto transicional e incluso alterna con las calcilitas de Piedras Blancas, el espesor máximo medido es de 12 m. El contacto inferior es discontinuo con el Complejo de Nicoya (Flores, 2003). La relación con las formaciones Barbudal y Coyolito no es clara pues localmente puede corresponder con un equivalente lateral de la Formación Barbudal (Denyer et al., 2014).

2.4 Piedras Blancas

Corresponde con sedimentos hemipelágicos ricos en globotruncanas del Cretácico Superior. Flores et al (2003) describen esta unidad como calcilitas blancuzcas y rojizas con intercalaciones de areniscas medias a finas rojas y grises – carbonatadas y ligeramente silíceas. En esta unidad al igual que Sabana Grande la secuencia se presenta con estratificación de centimétrica a decimétrica, los estratos son planos continuos, de geometría tabular y se presentan de leve a moderadamente plegados (Denyer et al., 2014).

Dataciones paleontológicas presentadas por Flores (2003) asignan un rango de edad del *Campaniano Superior* terminal hasta el *Maastrichtiano inferior basal* (Robaszynki & Caron, 1995). Fernández (1981) menciona la presencia de *Globotruncana cortusa* del *Maastrichtiano Medio*. Por su parte Alvarado (1981) reporta la presencia de *Globotruncana arca* del *Campaniano Superior al Maastrichtiano Medio*.

Las rocas de esta unidad evidencian una sedimentación carbonatada hemipelágica que ocurrió durante el Campaniano Superior terminal hasta el Maastrichtiano Inferior basal (Denyer et al., 2014). Además esta unidad constituye un horizonte guía de correlación mundial, se asocia con uno de los Eventos Oceánicos Óxicos (OOEs) (Hu et al, 2005).

2.5 Formación Loma Chumico

Designada formalmente por Astorga (1990) y redefinida como una unidad diferenciable del Complejo de Nicoya por Flores (2003) debido a su importancia sedimentológica, paleoambiental y cronoestratigráfica. Flores (2003) mide espesores máximos de 90 m, mientras que Astorga (1987) describe un espesor de 600 m con base en perforaciones.

De acuerdo con Denyer et al. (2014) corresponde con una secuencia de 5-10 m, compuesta por:

- Brechas con clastos centimétricos a milimétricos de fragmentos de basaltos en una matriz arenosa o hialoclastítica.
- Areniscas gruesas basálticas y areniscas finas grises.
- Lutitas finas silíceas y bituminosas.

Según Astorga (1987) su origen está asociado a una sedimentación pelágica, biogénica silícea, en la cual se desarrollaron relativamente cortos, cíclicos períodos de sedimentación bajo ambiente anóxico. Lo cual ocasionalmente es interrumpido por la llegada de corrientes de turbidez de baja concentración o depositación pelágica por floculación de polco tefrítico, que se desarrolló bajo un piso oceánico levantado y posiblemente engrosado por el efecto de una amplia actividad volcánica submarina contemporánea (Astorga, 1990). De acuerdo con Flores (2003) está sobreyacida discordantemente por las formaciones Sabana Grande, Piedras Blancas y Curú.

2.6 Formación Curú

Esta unidad estratigráfica fue denominada por Astorga (1987) y la describe como mezclas de arena y lodo en proporciones variables y algo de gravas. Son de origen volcanoclástico básico (basáltico), caracterizado por la abundancia de feldespatos, la carencia casi total de cuarzo, la abundancia relativa de magnetita y de minerales ferromagnéticos. Hacia el techo la composición cambia paulatinamente de basáltica a andesítica. Presenta cinco tipos de facies: (1) Flujos turbulentos lodo – arenosos, (2) Flujos turbulentos arenosos, (3) Flujos turbidíticos retrabajados, (4) Flujos turbulentos gravosos y (5) Flujos de escombros. Es característica la presencia de estratos métricos de areniscas gruesas oscuras con intercalaciones de estratos decimétricos de areniscas y lutitas. Al mismo tiempo, la meteorización esferoidal resulta muy frecuente en los estratos de arenisca gruesa (Denyer et al., 2014).

En playa Manzanillo aflora una secuencia turbidítica compuesta por conglomerados con clastos hasta de 20 cm de diámetro, subredondeados, de radiolaritas, calcilutitas, lutitas silíceas y fragmentos de gasterópodos. En varias

localidad se puede observar plegamientos sinsedimentarios (*slumps*), que afectan a varias decenas de metros de la secuencia sedimentaria (Denyer et al., 2014). Astorga (1987) le asigna un rango de edad Maastrichtiano Medio/Superior a Paleoceno Superior basal. Thalmann (en Dengo, 1962) con base en foraminíferos planctónicos, le asigna una edad Campaniano. Pizarro (1993) indica edades del Maastrichtiano y el Campaniano para varios foraminíferos.

Respecto a la génesis Astorga (1987) reconoce grandes volúmenes de sedimento terrígeno depositados por gravedad, conformando depósitos turbidíticos en los que el sedimento no entra a la cuenca en un único punto sino a través de varios, a partir de los cuales es dispersado en forma longitudinal en una cuenca elongada y relativamente estrecha. Describe tres tipos de depósitos turbidíticos: 1. Planos de cuenca, 2: Complejos lobulares y 3: Depósitos canalizados progradantes.

2.6.1 Miembro Zapotal (Formación Descartes)

Flores et al. (2003) proponen como hipoestratotipo los afloramientos de isla Chira. En el trabajo de Campo II (1994) se describe la secuencia sedimentaria de isla Chira de la siguiente manera:

- 450 m de intercalaciones centimétricas de areniscas calcáreas finas y gruesas, con laminación paralela y estructuras de carga.
- 250 m de intercalaciones centimétricas de areniscas calcáreas medias y finas con lutitas, de color gris que al meteorizarse son de color rojo.
- 350 m de intercalaciones centimétricas de lutitas y areniscas finas silíceas de color crema, que meteorizan de color rojizo.
- 1000 m de intercalaciones centimétricas de lutitas y areniscas silíceas finas, areniscas calcáreas medias y finas y lutitas calcáreas.

Según Denyer et al. (2014) es común la presencia de plegamiento sinsedimentario. El espesor máximo calculado por Flores et al. (2003) es mayor a 2000 m. Rivier (1983) le asigna una edad entre Paleoceno Superior y el Eoceno Inferior.

2.7 Formación Arío

Designada por Astorga (1987) como Formación Arío, para referirse a los depósitos de turbiditas de grano fino e intercalaciones de sedimentos pelágicos. Aflora en el sector SW de la península de Nicoya, desde el S de Nosara (hoja Garza), hasta el norte de punta Cuevas (hoja Cabuya); esta región es lo que Astorga (1987) denominó cuenca Sámara-Cabo Blanco.

Astorga (1987) describe el Sistema Depositional V, conformado por turbiditas calcilitíticas, pelitas negras y depósitos canalizados, de dos tipos, gravas basálticas y areniscas bioclásticas con macroforaminíferos. En mayor detalle, los depósitos descritos son:

- Depósitos de corrientes de turbidez de baja concentración. Se subdivide en dos clases, primero los depósitos de tipo lodoso (turbiditas calcilitíticas), que son de color gris cuando sanas y blanco amarillento alteradas, con estratificación de delgada a media. Segundo, los depósitos tipo arenoso que corresponden a arenas turbidíticas silicoclásticas de grano medio a fino, moderadamente seleccionadas y de estratificación muy delgada.
- Depósitos pelágicos – hemipelágicos, que son pelitas negras, ricas en materia orgánica, de estratificación delgada a media. Depositados por asentamiento pelágico en un ambiente de planos de cuenca, cuando disminuye el aporte turbidítico.
- Depósitos de flujos turbulentos arenobioclásticos de alta concentración, que reabajan y resedimentan depósitos carbonáticos neríticos. Son calcarenitas, de grano medio a grueso, con estratificación gruesa a muy gruesa, mal seleccionadas con gránulos y guijarros dispersos. Son ricas en macroforaminíferos y fragmentos de erizos.
- Depósitos de flujos turbulentos arenogravosos. Corresponden con rellenos de canal.

Por su parte Denyer et al (2014) cartografiaron al menos dos niveles carbonatados (Obando, 1983), los cuales están interestratificados con los depósitos clásticos finos. Son calizas bioclásticas en estratos decimétricos. Localmente abundan los macroforaminíferos por retrabajo de las plataformas carbonatadas asociadas a la Formación Fila de Cal.

Con respecto a la edad, Malavassi (1961a) la determinó al *Paleoceno Superior*. Astorga (1987) le asigna una edad *Paleoceno Superior - Eoceno Superior / Oligoceno Inferior* con base en la secuencia estratigráfica. R. Schmidt-Effing (Lundberg, 1982) le asigna una edad de *Eoceno temprano a Medio* a las lutitas silíceas, indicando que probablemente se depositaron bajo la CCD (*Carbonate Compensation Depth*) y *Paleoceno o Eoceno* a las lutitas calcáreas, las cuales se depositaron sobre la CCD. Y Lundberg (1982) menciona una datación de turbiditas finamente estratificadas del *Paleoceno*.

Para su génesis, Obando (1983) menciona que los depósitos que conforman esta unidad son turbiditas de facies distal, los cuales se depositaron en un área influenciada por sedimentación hemipelágica-pelágica, que recibía aportes de corrientes de turbidez y de suspensión. Además, hubo retrabajo y redepositación de sedimentos someros, algunas veces calcáreos, formando incluso una unidad de Calizas alodápicas, que en los mapas se denomina **Calizas Arío**. Astorga (1987)

considera que son depósitos de turbiditas de grano fino e intercalaciones de sedimentos pelágicos depositados por asentamiento pelágico en un ambiente de planos de cuenca, cuando disminuye el aporte turbidítico. A pesar de su génesis como una turbidita distal, se nota la presencia de ichnofósiles.

2.8 Formación Fila de Cal

Corresponde con calizas arrecifales y detríticas pobremente estratificadas, de color blanco amarillento con gran cantidad de foraminíferos orbitoides y otros fósiles (Mora, 1979). Dentro de la península de Nicoya aflora únicamente en la hoja Cabuya y su nombre se debe a que los afloramientos se encuentran en la Fila de Cal, en la cordillera Costeña al Sur de Costa Rica (Sprechmann et al, 1993 y 1994); sin embargo se puede localizar también en otras localidades como EL Cajón, Las Ánimas (Turrialba), Parritilla, punta Cuevas y cabo Blanco (Sprechmann et al, 1993 y 1994).

Mora (1979) describe esta Formación para la región Pacífico Sur y define la Unidad Cajón formadas por diferentes tipos de rocas, especialmente calizas de edad Eoceno. Además la divide en Subunidad arrecifal, compuesta por una biolitita algal, de color amarillo claro o blanco, de estratificación gruesa a maciza con gran cantidad de foraminíferos y otros fósiles; y la Subunidad detrítica, constituida por los productos de la erosión del sistema arrecifal, de colores desde pardo grisáceo hasta amarillo claro y blanco, depositados en ambientes de energía variable, predominando los de aguas tranquilas y profundas.

Malavassi (1961a) le asigna una edad *Eoceno Superior* a las calizas de la localidad El Cajón. Hoffstetter et al. (1961) enlista foraminíferos con edades similares a *Eoceno Superior*, Sprechmann (1984) y Sprechmann et al (1993, 1994) mencionan que esta formación es del *Eoceno Medio – Superior* y que presenta una alta diversidad entre los macroforaminíferos.

Calvo (1987) indica que esta formación incluye todos los sistemas carbonatados que tipifican plataformas y rampas carbonatadas desarrolladas en el Eoceno debido a un ascenso tectónico generalizado. Por su parte, Linkimer & 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.

2.9 Formación Santa Teresa

Está constituida por sedimentos marinos someros de edad Mioceno Inferior (Mora, 1985). Baumgartner et al (1984) la describen como areniscas limpias,

conglomerados líticos y calcáreos con moluscos, macroforaminíferos y algas coralígenas. Calvo (1987) la describe como conformada por: alternancias de limolitas y areniscas de grano grueso a medio, areniscas macizas, conglomerados y areniscas gruesas con niveles de rodolitos, areniscas de grano medio, niveles de conglomerados y pequeños biostromos de ostras y calcarenitas y areniscas carbonatadas. En varias localidades se encuentran lentes de caliza intercalados con las rocas clásticas.

Denyer et al (2014) realizaron un levantamiento estratigráfico detallado de esta unidad, iniciando en Playa Teresa:

- Aflora una secuencia de areniscas en lóbulos y lutitas en estratos muy finos y alterados. En la parte superior lutitas calcáreas, color gris verdoso, varios paquetes de conglomerados con clastos redondeados de lutitas calcáreas y fragmentos de fósiles, con matriz arcillosa, sobreyacidos por areniscas calcáreas y areniscas conglomerádicas. Las areniscas medias a finas son de color gris a gris verdoso, algunas con trazas de *Thalassinoides* y *Ophiomorfa*. Las trazas se disponen perpendiculares, paralelas y oblicuas a la estratificación.
- Siguen paquetes métricos de arenas finas, blancas y calcáreas, con laminaciones paralela y cruzada; contiene muchos icnofósiles (*Thalassinoides* y *Ophiomorfa*). Acumulaciones de clastos, moluscos y fragmentos de fósiles.
- Sobreyaciendo concordantemente una arenisca gruesa muy calcárea y muy bioturbada y areniscas calcáreas muy limpias con trazas. Luego areniscas finas gris verdoso oscuro, hacia la parte superior las areniscas son de finas y de finas a medias con bioturbaciones (*Thalassinoides*) interconectadas.
- En playa Pelada aflora una secuencia de areniscas finas color gris claro, muy bioturbadas en parte con fragmentos como pumíticos, intercalados con al menos cuatro niveles de areniscas finas a muy finas.
- Sigue una secuencia de areniscas finas, color gris muy claro alteradas, con bioturbaciones tipo *Zoophycus* y *Thalassinoides*. Areniscas de medias a gruesas de gris oscuro a medio, con gradaciones, arenisca muy fina, color gris medio, conformando al base de la caliza. No son concordantes con la secuencia porque están limitadas por una falla.

Baumgartner et al (1984) consideran de edad *Oligoceno Mioceno Inferior*. Calvo (1987) le asigna una edad *Oligoceno Superior - Mioceno Inferior*. Mora (1985) indica una edad *Mioceno Inferior* lo cual Denyer et al (2014) lo confirman. Con respecto a la génesis Baumgartner et al (1984) la incluyen en los sedimentos depositados en un ambiente somero (nerítico); pero Calvo (1987) indica que corresponden con cuatro sistemas depositacionales bien definidos: a. deltaico, b. fan delta, c. ensenadas estuarinas y d. barras arenosas carbonatadas. Denyer et al (2014) notan el ambiente somero con abundante bioturbación.

2.10 Formación Montezuma

Fue descrita por Goudkoff & Porter (1942). Posteriormente fue nominada por la Compañía Petrolera de Costa Rica (Hoffstetter et al., 1960) para designar los sedimentos clásticos someros que afloran cerca del poblado de Montezuma.

Se describe como conglomerados basales, lutitas arcillosas en estratos delgados, areniscas con *ripples*, areniscas café claro, lutitas café y lutitas delgadas de color azul grisáceo y un conglomerado de cantos. En general en capas poco consolidadas (Goudkoff & Porter, 1942). Dengo (1962b) le da el rango de formación y menciona que se compone en la parte inferior de conglomerados y areniscas, los que gradualmente pasan a limolitas y areniscas finas de color gris azulado y pardo claro; además de una arenisca verde grisácea con abundantes megafósiles. Por su parte Mora (1985) menciona afloramientos de esta unidad en la zona de Mal País y están caracterizados por areniscas calcáreas, finas, oscuras, macizas, con fragmentos de moluscos y micromoluscos abundantes y escasos microforaminíferos bentónicos. Y Chinchilla (1989) reconoce tres asociaciones de litofacies: depósitos de acantilados costeros, depósitos de sistemas de bahías y ambientes marginales – marinos relacionados y depósitos de abanico aluvial.

Goudkoff & Porter (1942) le asignan una edad de *Mioceno*. Aguilar & Fischer (1986) mencionan *Plioceno Tardío a Pleistoceno Terminal* para esta unidad. Mora (1985) indica una fauna del *Plioceno – Pleistoceno*. Y Chinchilla (1989) basado en foraminíferos planctónicos le establece una edad entre la parte media del *Plioceno Medio al Pleistoceno Inferior* bajo.

Aguilar & Fischer (1986) mencionan sobre la génesis que las rocas de esta formación se depositaron en un ambiente litoral y se presentan en varias terrazas de edad diferente; Mora (1985) infiere un ambiente sublitoral de baja a moderada energía; Chinchilla (1989) menciona dos ambientes de sedimentación diferente, uno marino y otro de posible origen continental.

2.11 Formación Cóbano

Se propone el nombre de Formación Cóbano para designar los sedimentos de origen continental que afloran al W-NW del poblado de Cóbano. Denyer et al (2014) describen esta unidad principalmente como depósitos de abanicos aluviales y terrazas conformados por conglomerados, con clastos volcánicos del Complejo de Nicoya, pedernales rojos y amarillos, en una matriz arenosa o arcillosa de colores rojizos.

Esta Formación se creó debido a un fuerte proceso de erosión y peneplanización, así como al levantamiento de la región, que favoreció la

depositación de materiales gruesos y la alteración y denudación de las rocas preexistentes del Complejo de Nicoya y de la cobertura sedimentaria de Paleógeno.

Los depósitos son el resultado de la denudación de las rocas del Complejo de Nicoya y de la cobertura sedimentaria paleógena, durante un período de tiempo que posiblemente acaecieron durante el *final del Plioceno e inicios del Pleistoceno* (Denyer et al., 2014).

2.12 Geología Estructural

2.12.1 Falla Bongo

El nombre de falla Bongo fue originalmente usado por Dengo (1962b) para una traza similar a la del lado Este. Esta falla tiene un rumbo entre NNW a NNE extendiéndose al N a lo largo de dos ramales hasta la falla Cedro. El ramal W, que incluye varias trazas se localiza a lo largo del valle superior y medio del río Bongo, el cual se ensancha al S y muestra una importante depositación aluvial (*pull-apart* Bongo). Y el ramal E se localiza a lo largo del valle del río Frío. Ambas ramas se unen al W del cerro Villalta y originan un desvío a la derecha en el río Arío de ~0,8 km. Lo anterior concuerda con el desplazamiento dextral inferido para la falla (Denyer et al, 2014).

2.12.2 Falla Cóbano

Esta falla sinistral de rumbo E-W se localiza cerca del límite N de la superficie de Cóbano y las estribaciones montañosas del S de la península. Al W se une con la falla Arío con un trazo sugerido, mientras que hacia el sector central E, tiene un trazo mejor definido hasta salir al mar del lados S de Bahía Ballena (Denyer et al, 2014).

2.12.3 Falla Pénjamo

Denyer et al (2014) menciona que al S de la falla Cóbano y al E de la falla Bongo se localizan varias fallas inversas con pliegues asociados, que deforman la superficie de aplanamiento de Cóbano. La falla Pénjamo, que incluye dos trazas de rumbo oscilante cercano al E-W, muestra escarpes facetados al S. La traza frontal tiene un escarpe hasta de 80 m de alto y la trasera posee una altura similar. Un pliegue anticlinal desarrollado en turbiditas de la Formación Arío con un flanco delantero fuertemente buzante y el trasero de buzamiento más suave se localiza en la zona del escarpe trasero.

2.12.4 Falla San Isidro

La falla inversa San Isidro, de rumbo cercano al E-W se localiza unos 2 km al N de la falla Pénjamo. Se identifica por un escarpe facetado al S de unos 40 m de alto. Una naciente del río Lajas se localiza al pie de esta falla en su sector central (Denyer et al, 2014).

Además estos mismos autores mencionan que un drenaje divergente al NW y al SE a partir de colinas de rumbo cercano al N40°E sugiere un plegamiento anticlinal al NE de la falla Pénjamo, el cual se continuaría al NE de la falla San Isidro.

2.12.5 Falla Montezuma

Esta falla se localiza al ENE de la falla San Isidro con un trazo sinuoso y un escarpe facetado al S de hasta 60 m de alto. Al N de la falla Montezuma se infiere un pliegue anticlinal con una traza axial de rumbo N35°E, el cual se muestra desplazado unos 0,15 km en sentido sinistral, al cruzar el escarpe de falla ubicado al N. La falla Montezuma sobrecorre el Complejo de Nicoya sobre la Formación Montezuma a lo largo de una falla inversa con una componente sinistral (Denyer et al, 2014).

2.12.6 Falla En medio

Esta falla es parte del Sistema de falla Belén el cual es un sistema ancho de fallas con trazas de rumbo NNW a NNE. El nombre de la falla Enmedio fue originalmente usado por Dengo (1962b) para una traza similar. Tiene un rumbo cercano al N-S y se ubica del lado W del sistema de falla. Al Sur parece converger con la falla Quirimán, mientras al Norte se propone que alcanza la falla Belén, al cruzar al Norte el río Tempisque. Su trazo es bastante discontinuo en diversos sectores, siendo más prominente sobre la margen derecha del río Enmedio, donde tiene un rumbo cercano al N-S (Denyer et al, 2014).

III. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

3.1 Cuencas hidrográficas en las zonas de estudio

Las zonas de estudio en el sur de la Península de Nicoya son formadas por diversas cuencas y microcuencas denominadas a nivel regional como las cuencas costeras de la Península de Nicoya. La zona de Paquera cuenta con 31 cuencas, la mayor parte de estas son alargadas y tienen un rumbo noroeste-sureste y, en general, tienen un área mayor que las del sector de Santa Teresa. Su distribución, área y perímetro se pueden observar en la figura 3:

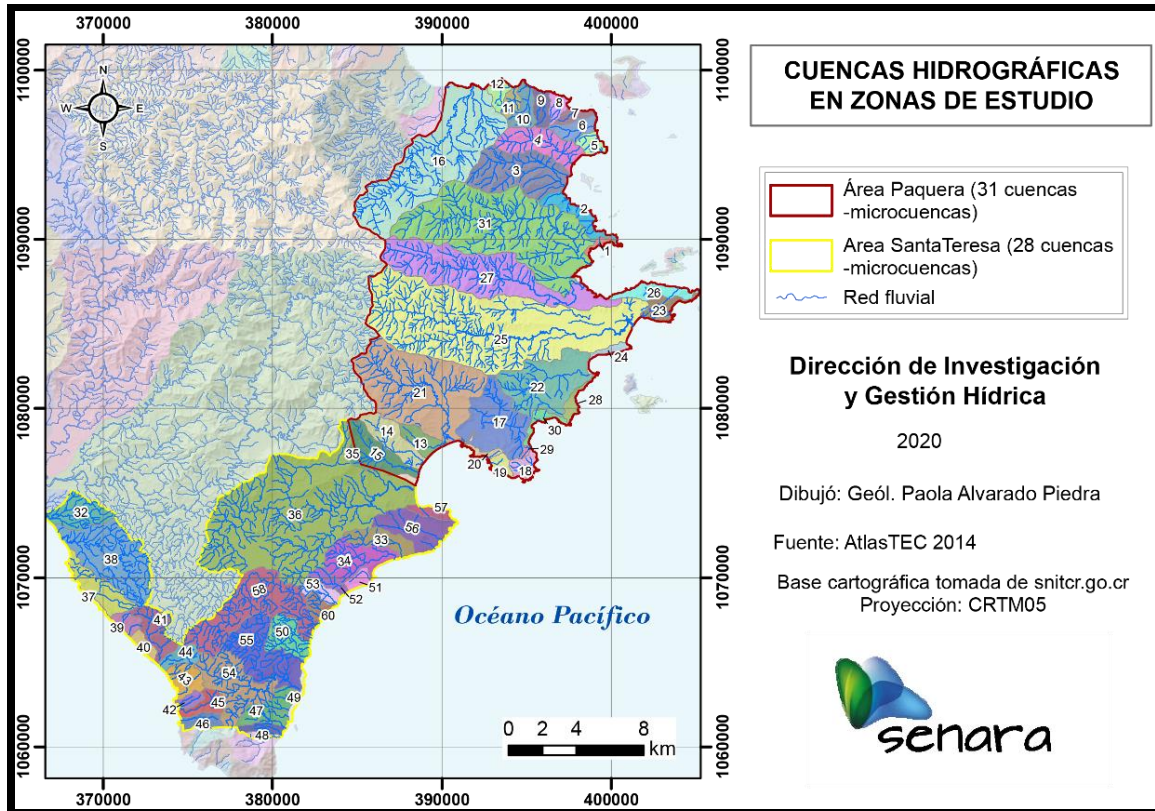


Figura 3. Delimitación de cuencas hidrográficas en las zonas de estudio.

En las tablas 1 y 2 se define el área y el perímetro para las cuencas que están contenidas dentro de las zonas de estudio:

Tabla 1. Cuencas hidrográficas en el sector de Paquera.

# Mapa	Nombre	Área (km ²)	Perímetro (km)
1	Queb. Playa Lola	0.678	6.754
2	Queb. Playa Panamá - Queb. Punta El Río	3.414	15.414
3	Río Higueral	12.784	16.829
4	Queb. Los Ángeles	7.150	14.842
5	Queb. Playa Palomo - Queb. Playa Chanchera	1.631	5.612
6	Queb. Playa Blanca	2.483	8.521
7	Queb. Leona	1.251	6.323
8	Queb. Guabo	1.428	6.168
9	Queb. Lisa	2.048	7.085
10	Queb. Chilamo	2.725	8.542
11	Queb. Salitral	1.393	6.326
12	Queb. Naranja	1.508	5.997
13	Río Vigo	2.683	8.876
14	Río Tuzo	5.197	11.440
15	Río Asiro Blanco	5.613	12.457
16	Río Cabo Blanco	32.836	30.680
17	Río Pochote	12.086	20.508

18	Queb. Ventanas	1.857	7.656
19	Queb. Coco	1.252	6.217
20	Queb. Pencal	0.780	7.084
21	Río Zelaya	28.787	26.034
22	Río Curú	13.775	19.148
23	Queb. Camarón	2.503	11.512
24	Queb. Playa Quesera	0.930	6.075
25	Río Paquera - Río San Rafael	58.406	44.919
26	Queb. Playa Cuchillo	3.166	12.769
27	Río Guarial	24.841	36.192
28	Queb. Punta Georgia - Punta Curú	1.246	8.619
29	Queb. Colorado	0.287	2.491
30	Queb. Bahía Murcielago	1.349	9.763
31	Río Grande	40.744	35.026

Mientras tanto el sector de Santa Teresa comprende 28 cuencas las cuales drenan al sureste y al noroeste en el Océano Pacífico, como se puede observar en la figura 3, sus áreas y perímetros se pueden observar en la tabla 2.

Tabla 2. Cuencas hidrográficas en el sector de Santa Teresa.

# Mapa	Nombre	Área (km ²)	Perímetro (km)
32	Río Chapetón CHAPETON	5.297	10.337
33	Queb. Chorro	3.898	10.989
34	Río Bonito	6.734	13.787
35	Río Asiro Blanco	5.613	12.457
36	Río Pánico - Río Biscoyol	60.609	44.051
37	Queb. Majagua - Queb. Playa Hermosa	5.300	13.055
38	Río Manzanillo	15.486	19.240
39	Queb. Playa Santa Teresa	1.569	5.188
40	Queb. Playa Santa Teresa Sur	1.332	5.656
41	Queb. Carmen	4.647	11.343
42	Queb. Tigra	1.096	4.929
43	Queb. Barrigona	3.230	8.823
44	Queb. Mona	2.176	6.937
45	Queb. Venegas	2.416	7.903
46	Queb. Florentino	1.816	6.789
47	Queb. Cenizaro	2.696	8.003
48	Queb. Pita	1.447	6.498
49	Queb. Playa Cabuya	1.905	6.022
50	Queb. Buenavista	4.414	9.487
51	Queb. Manzanillo	1.237	4.900
52	Queb. Cocal	1.593	6.435
53	Queb. Colorado	2.003	7.892
54	Río Enmedio - Queb. Buenos Aires	10.555	17.979
55	Río Lajas	11.059	18.300

56	Queb. Abuela	7.015	13.506
57	Queb. Boca Bajo	1.471	7.168
58	Río Montezuma	17.036	25.475
60	Queb. Cementerio	1.556	6.402

3.2 Clima

De acuerdo con la división climática del país realizada por Solano & Villalobos (2001) el área de estudio se ubica en las subregiones geográfico-climáticas: Occidental de la Península de Nicoya (PN1) y Central del Pacífico Norte (PN2), las cuales pertenecen a la región Pacífico-Norte y a su vez al régimen de precipitación del Pacífico, conocido por la presencia de un período seco y otro lluvioso bien definidos (figura 4).

En la subregión PN1 el clima se describe como lluvioso con influencia monzónica sobre la parte costera de la Península de Nicoya y de sequía sobre el resto de la subregión. Mientras que la subregión PN2 el clima se clasifica como de sequía en toda la subregión. La tabla 3 presenta un resumen de la climatología de estas subregiones.

Tabla 3. Resumen sinóptico-climático y tipo de vegetación de la subregión Pacífico Norte (PN2). Tomado de Solano & Villalobos (2001).

Subregión climática	TAP	TMx (°C)	TMn (°C)	TM (°C)	DLL	PS (meses)	Tipo de vegetación
PN1	2385	30	23	25 a 30	99	4	Bosque seco tropical
PN2	1800	33	22	28	97	5	Bosque seco tropical

En donde:

TAP: Total anual de precipitación TMx: Temperatura máxima promedio mensual.
 TM: Temperatura media mensual TMn: Temperatura mínima promedio mensual.
 PS: Período seco DLL: Número de días con lluvia > 1mm.



Figura 4. Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica
Tomado de Solano y Villalobos (2001).

Por otra parte, Holdridge (1967) divide a Costa Rica en 12 zonas de vida y 12 zonas de transición, con base en factores ambientales como humedad, precipitación y temperatura, el resultado es la división del país en diferentes tipos de bosque; este es uno de los sistemas más utilizado en la clasificación de los bosques (Quesada, 2007). De acuerdo con el mismo autor este sistema de clasificación tiene su fundamento en la relación que existe entre el clima y la vegetación, basado en estudios de largo plazo de los patrones de clima y de la vegetación en muchos lugares tropicales.

Para el área de estudio las zonas de vida según la clasificación Holdridge, corresponde al bosque húmedo premontano, bosque seco tropical, bosque húmedo tropical y bosque muy húmedo tropical (figura 5).

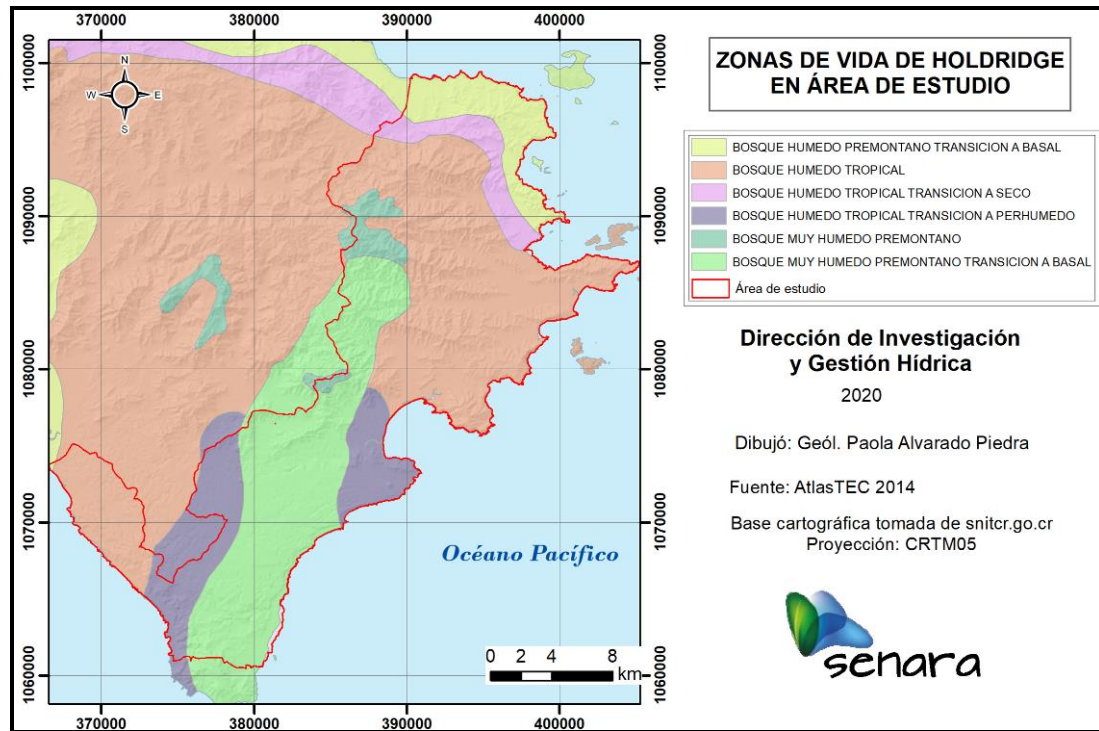


Figura 5. Mapa Ecológico de Costa Rica, según el sistema de clasificación de Zonas de Vida del mundo de L. R. Holdridge (Bolaños, R; Watson; V. 1993 / CCT / esc: 1 : 200 000). Tomado del Atlas del TEC 2014.

3.3 Estaciones meteorológicas

La tabla 4 muestra las coordenadas de las estaciones meteorológicas cercanas o dentro de las zonas de estudio:

Tabla 4. Ubicación de estaciones meteorológicas en la zona de estudio.

Nombre estación	Número	Institución	Altura (msnm)	Coord X	Coord Y
La Fresca	72119	SENARA	9,87	373870	1091584
Lepanto	72107	SENARA	9,97	387067	1102602
Paquera	72111	IMN	9,82	397986	1085978
Paquera	72159	IMN	9,82	397986	1085978
Cobano	72102	SENARA	9,68	379286	1070548
Cabuya-Cabo Blanco	72125	IMN	9,59	380351	1060590
Finca 033 Cabuya Cabo Blanco	72181	IMN	9,59	380351	1060590

En la siguiente tabla se hace un análisis de la información climática con el conteo de las series para cada estación:

Tabla 5. Periodos de series con información de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio.

	Nombre estación	Precipitación promedio mensual (mm/mes)	Temperatura media mensual (°C)
72119	La Fresca		
72107	Lepanto	1970 - 2019	nd
72111	Paquera	1974 - 2019	1983 - 2019
72159	Paquera	2002 - 2019	2002 - 2019
72102	Cobano		
72125	Cabuya-Cabo Blanco	1979 - 1991	nd
72181	Finca 033 Cabuya Cabo Blanco	2015- 2019	2015- 2019

La distribución y ubicación de las estaciones meteorológicas con respecto a la zona de estudio al sur de la península se puede observar en la figura 6:

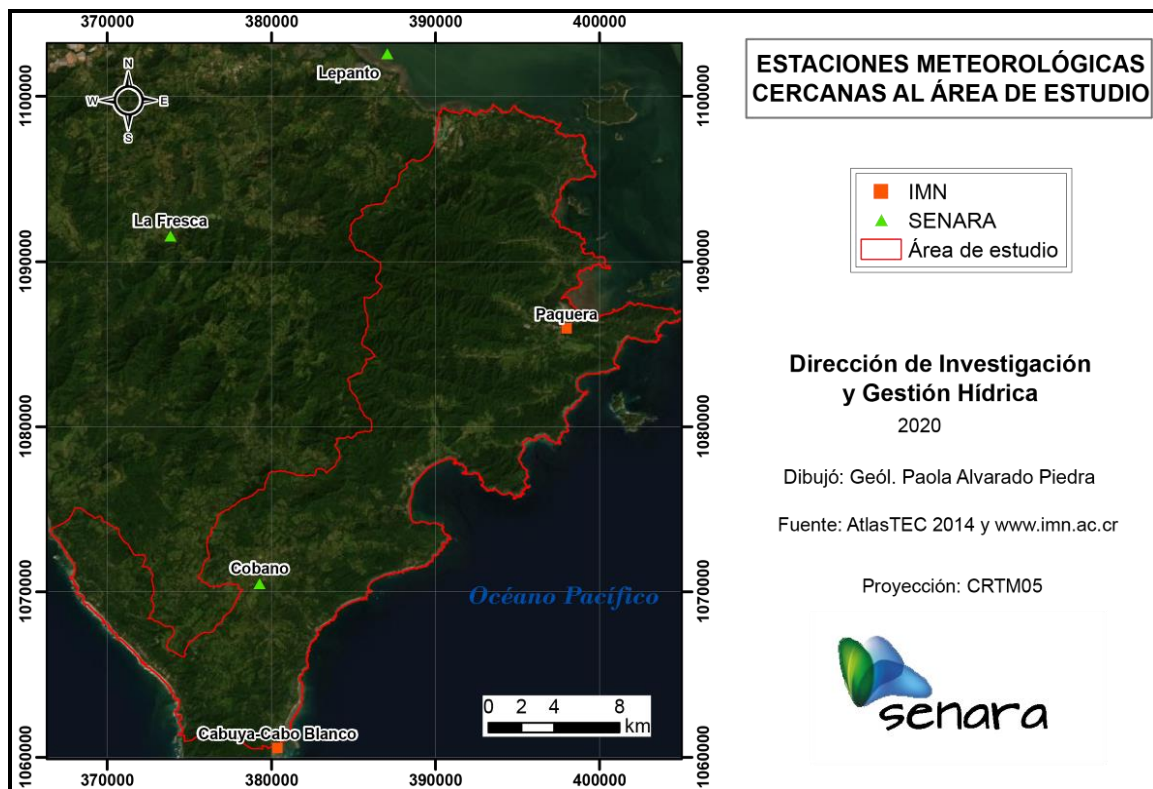


Figura 6. Ubicación de estaciones meteorológicas cercanas a zonas de estudio.

3.3.1 Estación Paquera (72111)

Los datos de la precipitación promedio mensual y la temperatura media están en la siguiente tabla, así mismo se muestra en el gráfico de la figura 7 la información de la estación Paquera con los datos de precipitación promedio mensual (mm) y el promedio mensual de la temperatura media (°C):

Tabla 6. Precipitación promedio mensual y temperatura media promedio mensual de la estación Paquera

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Set	Oct	Nov	Dic
Prec. Prom.Mens. (mm/mes)	8,80	2,14	5,09	47,59	290,93	247,04	214,59	260,33	352,26	395,60	169,18	29,48
T media °C	26,67	27,46	28,19	28,77	27,97	27,51	27,21	27,16	26,99	26,69	26,69	26,52

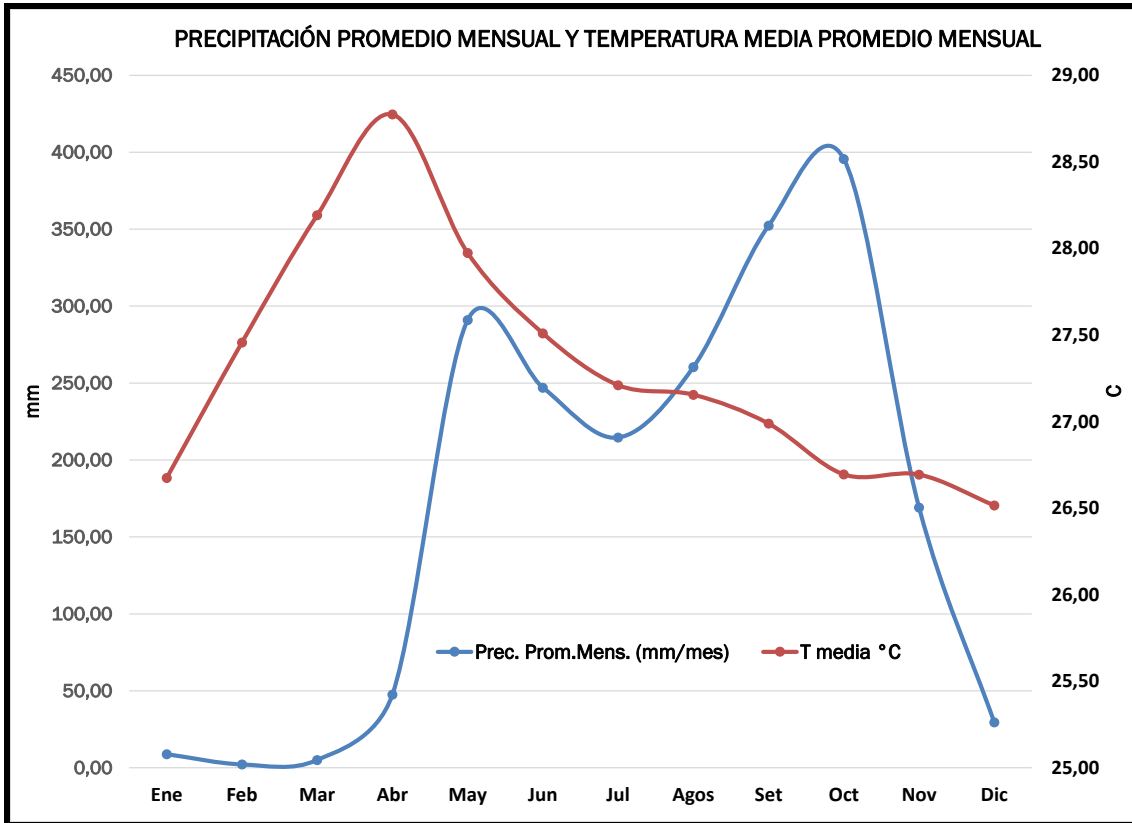


Figura 7. Gráfico de la precipitación promedio mensual y temperatura media de la estación Paquera

En el siguiente gráfico se muestra el cálculo de la evapotranspiración potencial por tres metodologías diferentes: Blaney Criddle, Hargreaves y Thornwaite

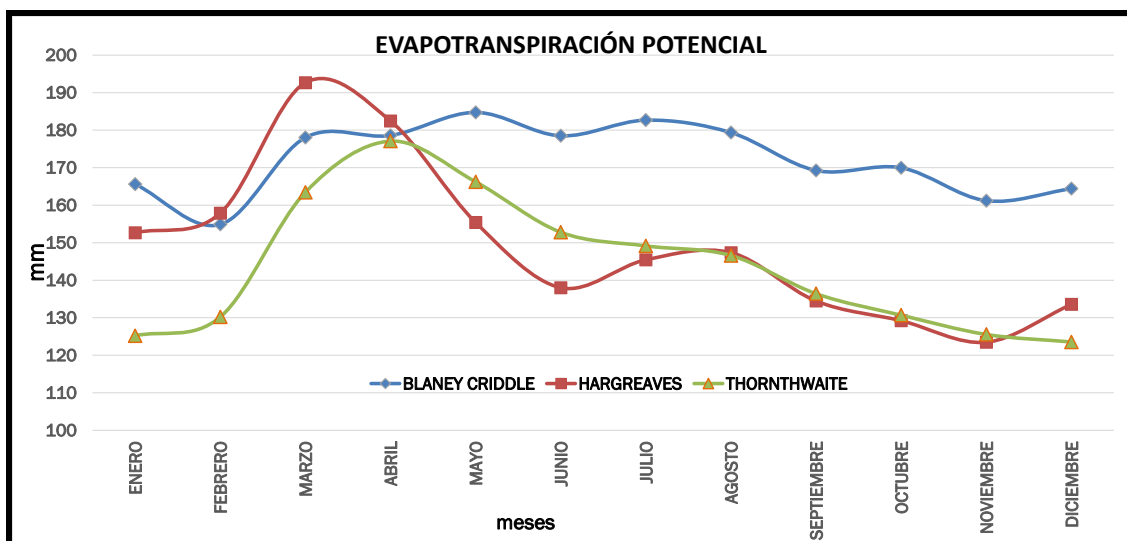


Figura 8. Gráfico del cálculo de la evapotranspiración potencial de la estación Paquera

3.3.2 Estación Paquera (72159)

Los datos de la precipitación promedio mensual y la temperatura media de la estación Paquera automática están en la siguiente tabla:

Tabla 7. Periodos de series con información de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Set	Oct	Nov	Dic
Prec. Prom.Mens. (mm/mes)	7,74	2,58	5,16	36,90	319,31	248,74	174,40	209,56	290,82	488,36	97,02	19,04
T media °C	26,31	26,40	27,74	27,94	27,16	26,74	26,59	26,69	26,23	25,58	25,92	26,11

También se muestra en el gráfico de la siguiente figura está la información de la estación Paquera, con los datos de precipitación promedio mensual (mm) y el promedio mensual de la temperatura media (°C):

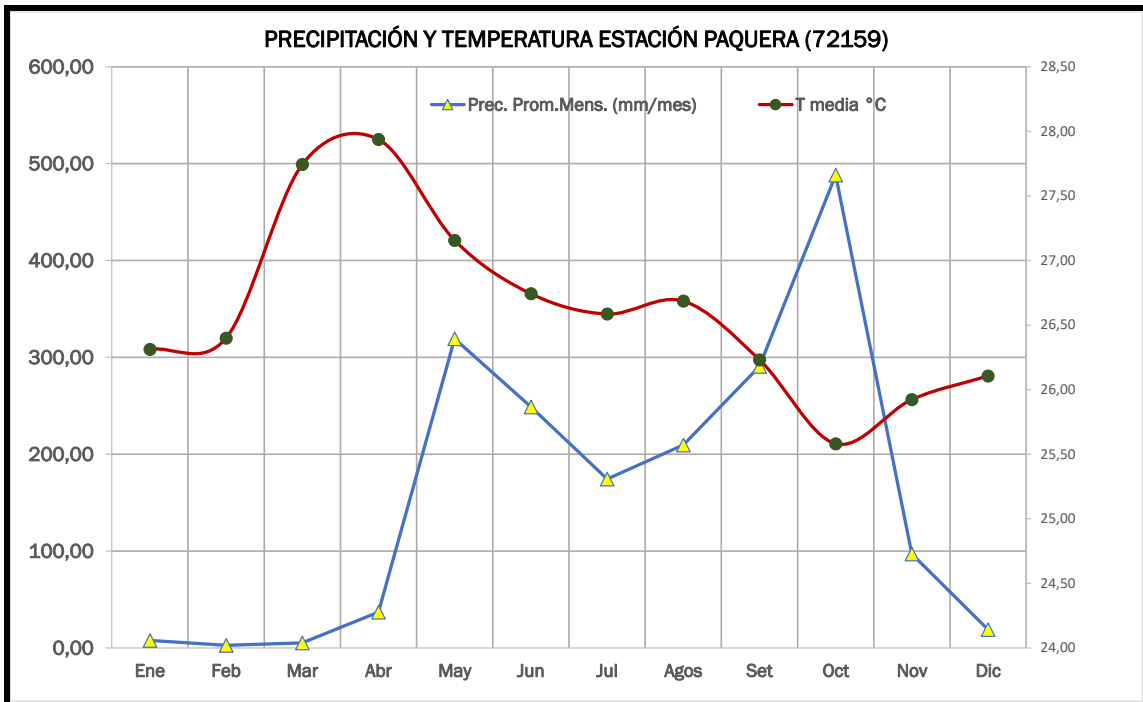


Figura 9. Gráfico de la precipitación promedio mensual y temperatura media de la estación Paquera

Con base en los datos de la temperatura media se procedió a calcular la evapotranspiración potencial por tres diferentes metodologías, Blaney Criddle, Hargreaves y Thornwaite, los resultados se muestran en la siguiente figura:

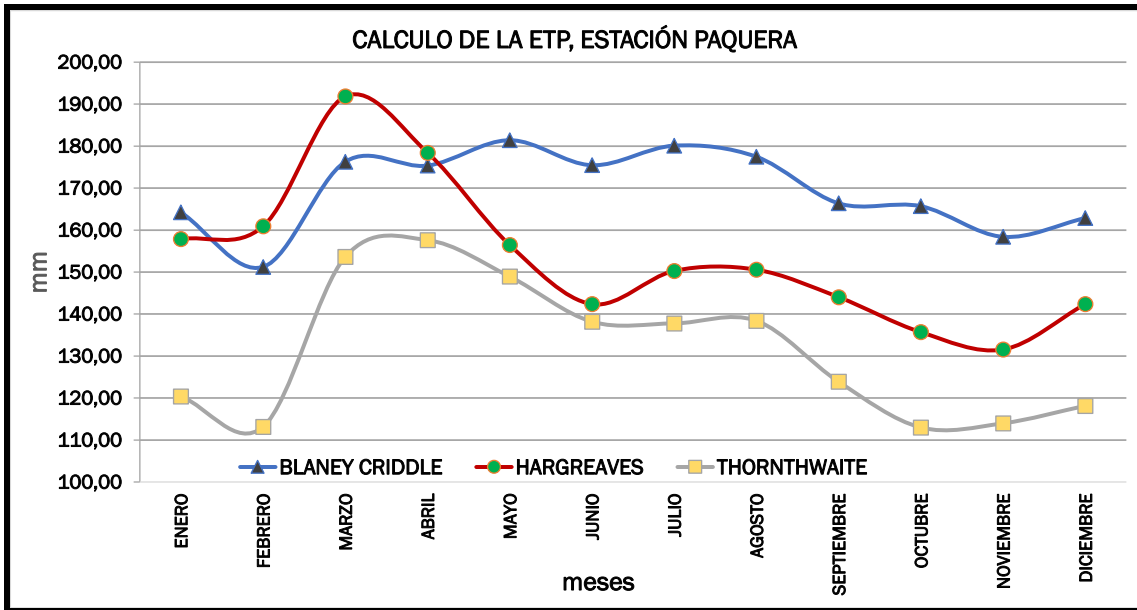


Figura 10. Gráfico de los cálculos de ETP para la estación Paquera

3.3.3 Estación Cabuya - Cabo Blanco (72125)

Para la estación meteorológica Cabuya - Cabo Blanco, los datos de la precipitación promedio mensual para el periodo 1979 a 1991 están en la siguiente tabla:

Tabla 8. Precipitación promedio mensual estación Cabuya - Cabo Blanco.

MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Prec. Prom. Mensual (mm)	9,72	8,17	13,59	110,05	441,74	373,03	290,83	399,38	468,98	488,82	199,43	39,11

Así mismo para la estación meteorológica Cabuya - Cabo Blanco se tiene el gráfico en donde se observa la distribución de los datos de precipitación promedio mensual (mm):

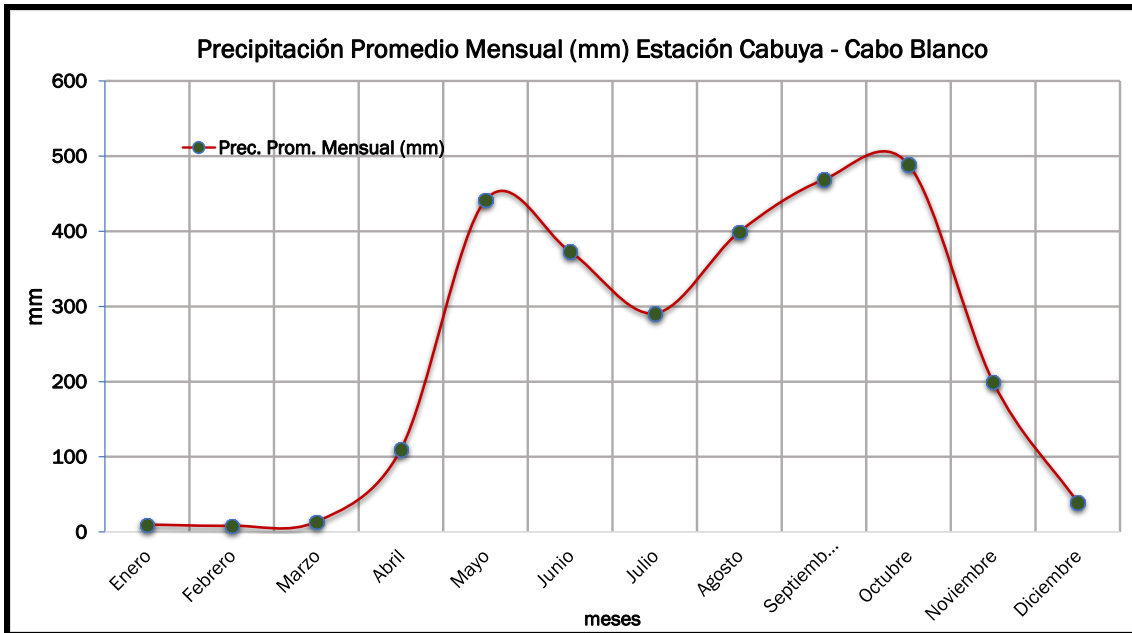


Figura 11. Gráfico de la precipitación promedio mensual de la estación Cabuya Cabo Blanco

3.3.4 Estación Lepanto (72107)

Para la estación meteorológica Lepanto, los datos de la precipitación promedio mensual para el periodo 1970 a 2019 están en la siguiente tabla:

Tabla 9. Precipitación promedio mensual estación Lepanto

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
PREC. PROM.MENS. (mm)	1,05	2,44	3,27	42,25	209,35	220,84	168,29	227,50	331,56	350,00	116,37	15,70

La distribución de la lluvia para la estación Lepanto se muestra en el siguiente gráfico:

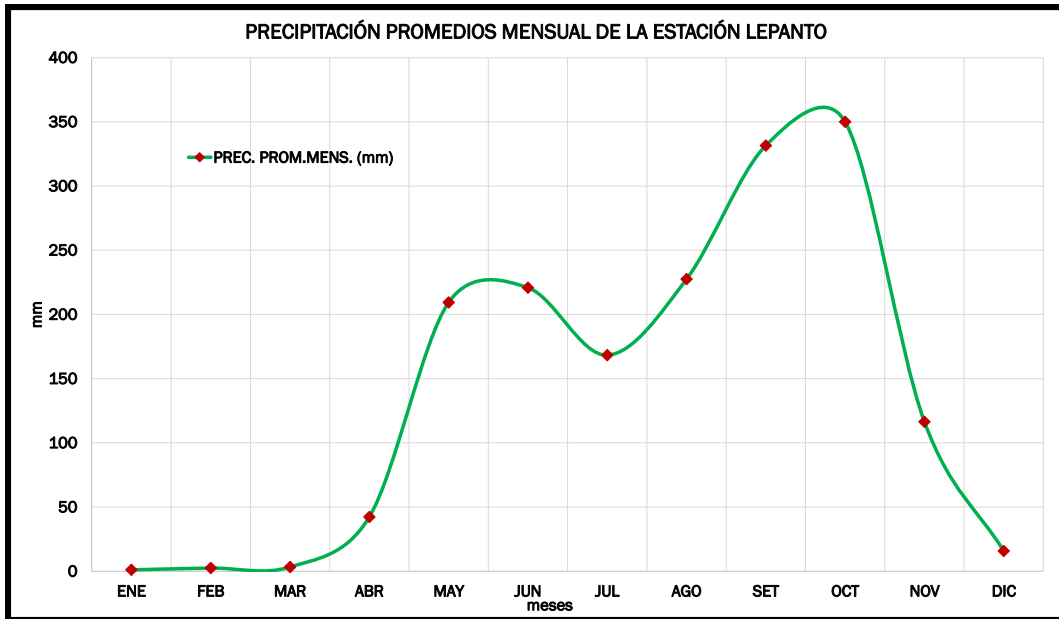


Figura 12. Gráfico de la precipitación promedio mensual de la estación Lepanto

IV. HIDROGEOLOGÍA

4.1 Antecedentes

Para la zona de estudio se cuenta con el mapa hidrogeológico de la Península de Nicoya realizado en SENARA por Arredondo et al (1992). Las zonas de acuíferos prácticamente ausentes y las de muy bajo potencial, son las que predominan, sin embargo, en estas áreas se ubican la mayoría de pozos en la base de datos (figuras 13 y 15).

En un estudio hidrogeológico local en la cuenca del Río Montezuma, Chinchilla y Ramírez (2011) identificaron cuatro unidades distintas hidrogeológicas distintas: 1. Basaltos y radiolaritas del Complejo de Nicoya siendo este el basamento, 2. Lutitas y areniscas de la Formación Arío sobreyaciendo al Complejo de Nicoya, 3. Areniscas y conglomerados de la Formación Montezuma, también sobreyaciendo al Complejo de Nicoya y 4. Depósitos recientes coluvio aluviales. Estos mismos autores mencionan que la cuenca cuenta con un limitado potencial acuífero, teniendo caudales de explotación bajos de 0,5 a 1 para el Complejo de Nicoya y de 0,3 a 2 para la Formación Montezuma.

La cuenca ubicada en el Río Montezuma presenta una recarga potencial mediante el método de balance hídrico de suelos es de 472,45 l/s y con el método de hidrogramas de pozos es de 459 l/s. Además, se considera que existe conexión hidráulica entre las unidades hidrogeológicas del Complejo de Nicoya y la Formación Montezuma (Chinchilla & Ramírez, 2011).

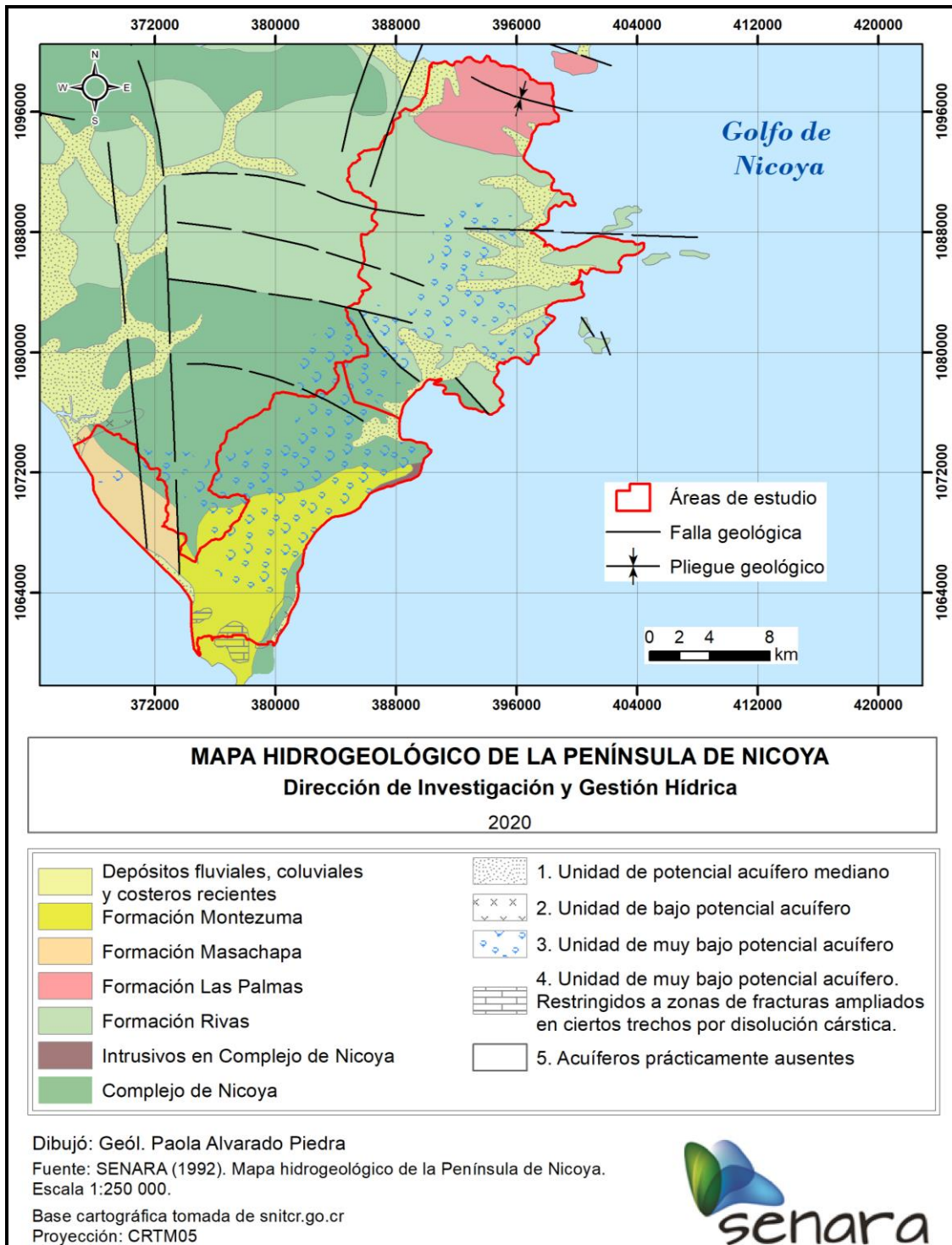


Figura 13. Mapa Hidrogeológico Regional.

4.2 Afors

Se investigó en las bases de datos del SENARA sobre los afors que se han realizado en la zona de estudio. A continuación se muestra la lista de afors encontrados y su ubicación en el área.

Tabla 10. Ubicación de afloros en Santa Teresa y Paquera

Ubicación	Y (CRTM05)	X (CRTM05)	Años
Río Grande	1091472	392186	1988-2008
Río Grande	1091321	393346	1988-2008
Río Grande	1091422	393146	1988-2008
Río Grande	1091329	392896	1988-2008
Río Grande	1091321	393646	1988-2008
Río San Rafael	1084743	390801	1990-1993
Fte. Guarial 2 y 3	1088673	391644	1988-1990
Río Panica	1075626	386633	1988-1997
Fte. Tambor	1074274	388332	1988-1990
Río Bizcoyol	1072978	383431	1988-1997
Río Bizcoyol	1072984	376580	1988-1997
Río Montezuma	1067448	376727	2011-2012
Río Montezuma	1069551	377980	2011-2012
Río Montezuma	1070171	378971	2011-2012
Río Montezuma	1068797	381537	2011-2012
Río Montezuma	1067463	382419	2011-2012

4.3 Inventario de Pozos

La Figura 15 muestra la ubicación de concesiones de aguas de pozos, manantiales, ríos y quebradas según el visor de mapas de la Dirección de Aguas (MINAE) al mes de junio del 2020, cabe resaltar que se han incluido algunas concesiones que han sido canceladas archivadas o denegadas. De acuerdo con la información, el total del agua superficial y subterránea concesionada en las zonas de estudio es de 222,128 l/s.

Hasta el momento se han tramitado 333 concesiones de agua para pozos y 153 de manantiales, el total de agua concesionada para pozos es de 87,64 l/s, y para manantiales es de 67,89 l/s, donde la mayor parte de esta es utilizada para el consumo humano con un caudal de 104,27 l/s, mientras que para riego el caudal total concesionado es de 26,8 l/s.



Figura 14. Mapa de ubicación de aforos.

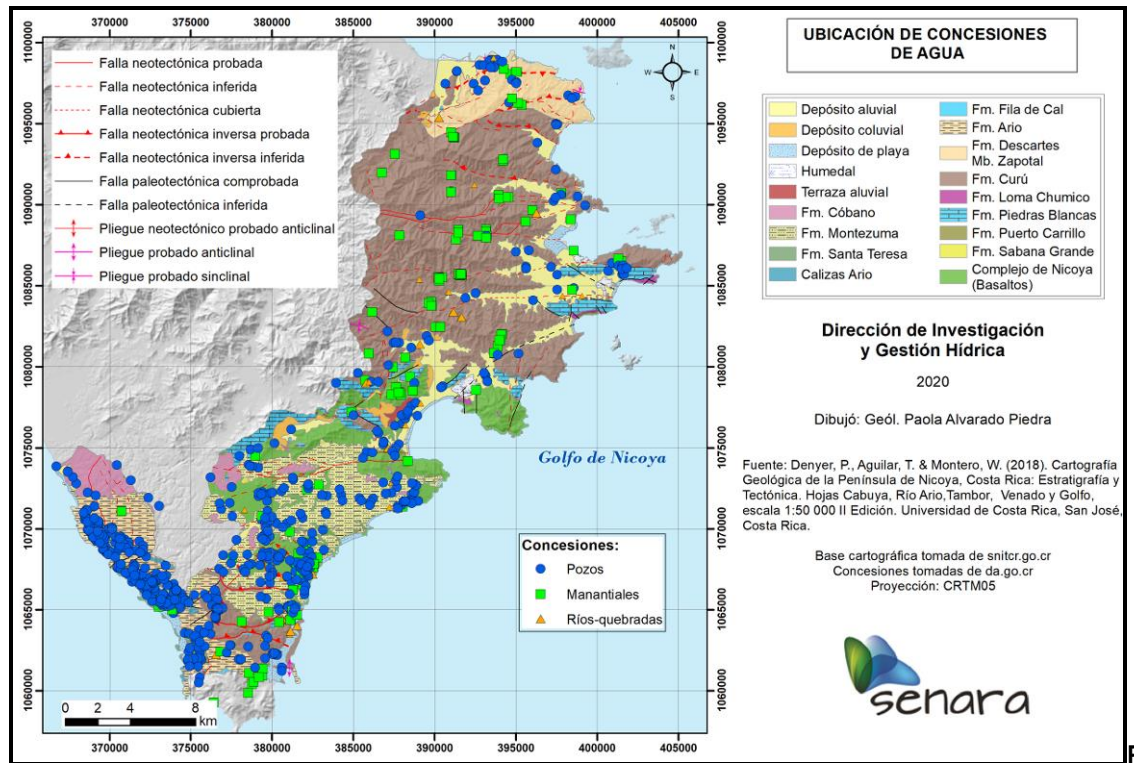


Figura 15. Ubicación de concesiones de aguas en área de estudio.

La tabla 10 resume los datos de las concesiones analizadas para la zona:

Tabla 9. Resumen de concesiones de agua en la zona de estudio.
 (Información tomada de da.go.cr.

CONCESIÓN (l/s)		CAUDAL ACUEDUCTO RURAL	CAUDAL TURISTICO	CAUDAL RIEGO	CAUDAL INDUSTRIAL	CAUDAL FUERZA HIDRAULICA	CAUDAL COMERCIAL	CAUDAL CONSUMO HUMANO	CAUDAL AGROPECUARIO	CAUDAL AGROINDUSTRIAL
Pozos	Total	0	27.02	13.91	0	0	0	46.675	0.04	0
	Cancelados, archivados, denegados	0	11.17	0.4	0	0	0	0.12	0	0
Nacimiento	Total	0	3.15	6.975	0.01	0	0	56.42	1.335	0
	Cancelados, archivados, denegados	0	3.01	5.55	0.01	0	0	1.055	0.305	0
Quebrada	Total	0	1.64	10.32	0	0	0.02	0.55	0.463	0
	Cancelados, archivados, denegados	0	1.64	7.74	0	0	0.02	0.41	0.343	0
Rios	Total	0	3.93	49.37	0	0	0	0.3	0	0
	Cancelados, archivados, denegados	0	0	28.12	0	0	0	0	0	0

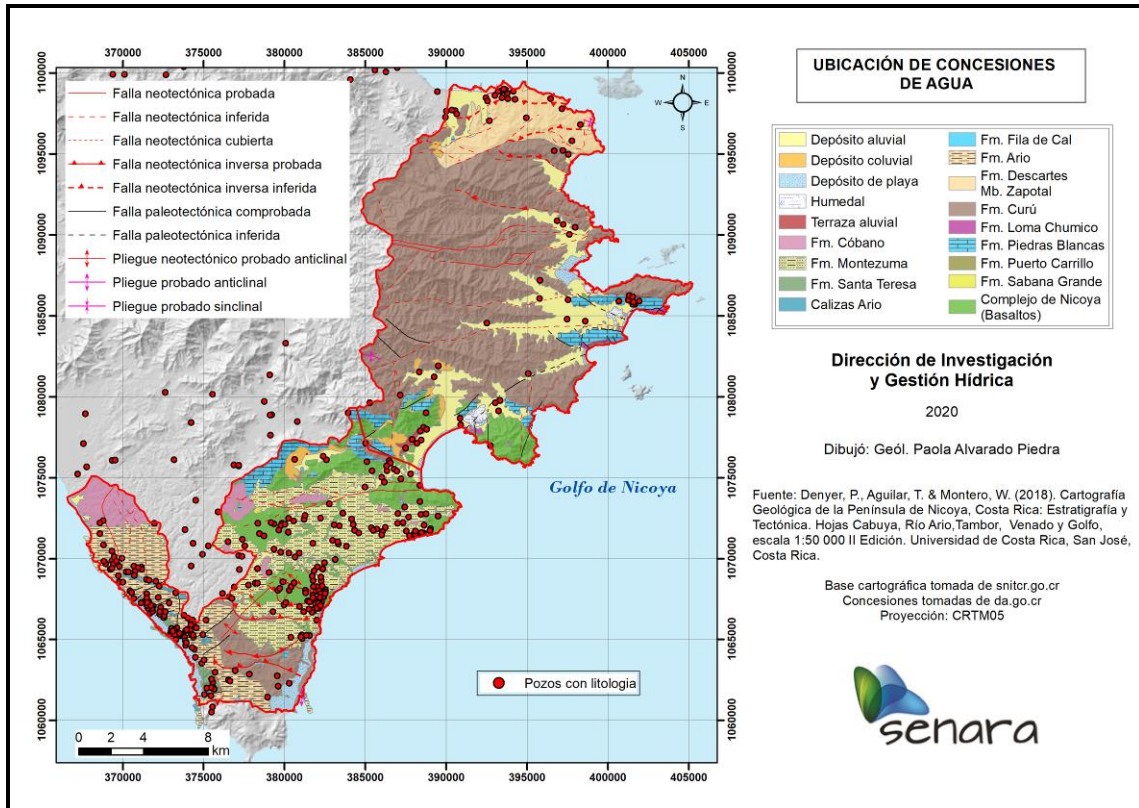


Figura 16. Ubicación de pozos con litología según base de datos de SENARA.

Por otra parte según la base de datos de SENARA dentro de las zonas de estudio existen 338 con información litológica, sin embargo, la mayor parte de ellos se ubican en el sector de Santa Teresa (245), mientras que Paquera cuenta con una menor cantidad de pozos (65), como se puede observar en la figura 16.

En la zona de Santa Teresa los niveles del agua subterránea varían desde 0,8 m hasta los 80 m, y los acuíferos se encuentran en rocas sedimentarias, generalmente areniscas, y basaltos del Complejo de Nicoya. En la tabla 11 se presenta el resumen de inventario de pozos de acuerdo al uso que se le da al agua subterránea en cada área.

Tabla 10. Resumen de inventario del uso del agua subterránea en la zona de Santa Teresa

Cantidad total	Cantidad de pozos por uso							
	D	R	AP	URB	T	AB	V	ND
245	81	6	19	3	10	1	117	8

En donde:

D: doméstico R: riego AP: abastecimiento público URB: urbanístico T: turístico
 AB: abrevadero V: Varios usos ND: No hay dato reportado.

En la zona de Paquera, se procesaron 65 pozos de la base de datos del SENARA, tienen una profundidad promedio de 40 metros y los niveles del agua subterránea varían desde 3,5 hasta los 15 m para un promedio aproximado de 9 metros. La distribución de los pozos en las formaciones geológicas se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 12. Cantidad de pozos por formación geológica en la zona de Paquera.

FORMACIÓN GEOLÓGICA	CANTIDAD DE POZOS
Complejo de Nicoya (Basaltos)	4
Deposito aluvial	28
Formación Curú	10
Formación Descartes Mb, Zapotal	15
Formación Piedras Blancas	6
Terraza aluvial	2
TOTAL	65

En la tabla 13 se presenta el resumen de inventario de pozos para la zona de Paquera, de acuerdo al uso que se le da al agua subterránea:

Tabla 13. Resumen de inventario del uso del agua subterránea en la zona de Paquera.

USO DEL AGUA	CANTIDAD DE POZOS
Abastecimiento	6
Doméstico	12
Doméstico y público	2
Doméstico y riego	22
Investigación	1
No hay dato	10
Obras comunales	1
Riego	5
Turístico	3
Turístico y riego	1
Urbanístico	2
TOTAL	65

V. BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, F., 1981: Estudio geológico de la región de Sabana Grande, cantón de Nicoya, provincia de Guanacaste, Costa Rica. - 64 págs. Escuela Centroamericana de Geología, UCR [Inf. Campaña Geológica].

ALVARADO, G.E., KUSSMAUL, S., CHIESA, S., GILLOT, P.Y., APPEL, H., WORNER, G. & RUNDLE, C., 1992: Resumen cronoestratigráfica de las rocas ígneas de Costa Rica basado en dataciones radiométricas. - J. South. Amer. Sci. 6:151-168.

AGUILAR, T. & FISCHER, R., 1986: Moluscos de la Formación Montezuma Plioceno - Pleistoceno, Costa Rica. - Geológica et Paleontológica, 20:209-241.

AMANN, H., 1993: Randmarine und terrestrische Ablagerungsräume des neofenen Inselbogen-systems in Costa Rica.- Profil,4:1-161.

ASTORGA, A., 1987: El Cretácico Superior y el Paleógeno de la Vertiente Pacífica de Nicaragua meridional y Costa Rica septentrional: Origen, evolución y dinámica de las cuencas profundas relacionadas al margen convergente de Centroamerica - 255 págs. Univ. Costa Rica [Tesis Lic]

ATTWOOD, G., 1882: On the geology of part of Costa Rica. -Quart. J. Geól. Soc. London, 38:328-340.

BANDINI, A.N., FLORES, K., BAUMGARTNER, P-O, JACKETT, S.-J. & DENYER, P., 2008: Late Cretaceous and Paleogene radiolaria from the Nicoya Peninsula, Costa Rica: a tectonostratigraphic application. -Stratigraphy, 5(1): 3-21

BAUMGARTNER-MORA, C., MORA, C., BUTTER-LIN, J., SIGAL, J., GLACON, E., AZÉMA, J. & BOURGOIS, J., 1984: Sedimentación y paleogeografía del Cretácico y Cenozoico del litoral Pacífico de Costa Rica. - Rev. Geol Amér. Central (1): 57-136.

CALVO, c., 1987: Las Calizas neríticas de la Vertiente Pacífica del Norte de Costa Rica y Sur de Nicaragua: Épocas y Sistemas Asociados con la apertura y evolución del margen convergente de la América Central meridional. - 165 págs. Escuela Centroamericana de Geología, UCR [Tesis Lic.]

CHINCHILLA, A.L., 1989: Estudio geológico de la Formación Montezuma (Plio-Pleistoceno, Península de Nicoya, Costa Rica). - 148 págs. Escuela Centroamericana de Geología, UCR [Tesis Lic].

CHINCHILLA, J. & RAMÍREZ, R., 2011: Estudio Hidrogeológico del Acuífero en la Cuenca del Río Montezuma, Cóbano, Puntarenas. – 40 págs. Informe SENARA, Costa Rica [Inf. Interno].

DENGO, G., 1961: Notas sobre la geología de la parte central del litoral pacífico de Costa Rica. - Inf. Semestral IGN, 2:43-63.

DENGO, G., 1962b: Estudio geológicos de la región de Guanacaste, Costa Rica.-112 págs. Instituto Geográfico Nacional, San José

DENYER, P., AGUILAR, T. & ALVARADO G.E., 2003: Geología y estratigrafía de la hoja Barranca, Costa Rica.-Rev. Geol. Amér. Central, 29:105-125

DENYER, P., AGUILAR, T. & MONTERO, W. 2014: Cartografía Geológica de la Península de Nicoya, Costa Rica: estratigrafía y tectónica– 1 ed – 202 págs. [San José] C.R.: Edit. UCR.

FISHER, R., 1981: El desarrollo paleogeográfico del Mioceno de Costa Rica. – Análisis II Congreso Latinoamericano de Paleontología, porto Alegre, Abril 1981: 565-579.

FISHER, D.M.; GARDNER, T.W.; MARSHALL, J.S. & MONTERO, W., 1994: Kinematics associated with late Cenozoic deformation in central Costa Rica: Western boundary of the Panama microplate. – *Geology*, 22:263-266.

FISHER, R. & AGUILAR, T., 1995: La asociación bentónica del bivalvo miocénico *Nuculana fundationis*; índice de condiciones desoeróbicas en sedimentos clásticos finos. – *Rev. Geol. Amér. Central*, 18:65-76.

FISHER, D.M.; GARDNER, T.W.; MARSHALL, J.S., SAK, P.B. & PROTTI, M., 1998: Effect of subduction sea-floor roughness on fore-arc kinematics, pacific coast, Costa Rica.- *Geology*, 26(5):467-470.

FLORES, K., 2003: Propuesta tectonoestratigráfica de la región septentrional del Golfo de Nicoya – 176 págs. Escuela Centroamericana de Geología, UCR [Tesis Lic.]

GOUDKOFF, P.P. & PORTER, W. W., 1942: Amoura Shale, Costa Rica.-AAPG Bull.,26:1647-1655.

HASS, O., 1942: Miocene molluses from Costa Rica. – *J. Paleontology*, 16(3) 302-316.

HAUFF, F., HOERNLE, K., BOGAARD V.D., P., ALVARADO, G.E. & GARBE SCHÖNBERG., D., 2000: Age and geochemistry of basaltic complexes in western Costa Rica: Contributions to the geotectonic evolution of Central America.

HOFFSTETER, R., DENG, G. & WEYL, R., 1960: Costa Rica.- En: HOFFSTETER, R. (Ed): Lexique Stratigraphique International, Amérique Centrale.-Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), París , Fascículo 2, 5:223-306.

HU, X., JANASA, L., WNAG, C., SARTI, M., BAK, K., WAGREICH, M., MICHSLIL, J & SOTAK, J., 2005: Upper Cretaceous oceanic red beds (CORBs) in the Thetys: Occurrences, lithofacies, age, and environments-. *Cretaceous Research*, 28:3-20.

HOERNLE, K., HAUFF, F. & VAN DEN BOOGARD, P., 2004: 70 m.y. history (139-69 Ma) for the Caribbean large igneous province. -*Geology*, 32: 697-700

LAURITO, C., 1988b: Sinopsis de la estratigrafía de la cuenca Barranca – Herradura y el promontorio de Herradura, Provincia de Puntarenas, Costa Rica. – *Brenesia*, 29:21-32.

LINKIMER, L & AGUILAR, T., 2000: Estratigrafía sedimentaria.- En: DENYER, P & KUSSMAUL, S.: *Geología de Costa Rica*.-Cartago. Ed. Tecnológica, Cartago, 63-86.

LUNDBERG, N., 1982: Evolution of the slope landward of the Middle America Trench, Nicoya peninsula, Costa Rica. - En: LEGGERR, J.K. (ed.): *Trench-forearc geology: sedimentation and tectonics on modern and ancient active plate margin*. - Geological Society of London, Blackwell Scientific Publications: 131-147.

MADRIGAL, R, 1970: Geología del mapa básico “Barranca”, Costa Rica.- *Inf. Téc. Y Notas Geológicas*, Dir. Geol. Minas y Petróleo 9(37):1-59.

MALAVASSI, E., 1961a: Some Costa Rican larger foraminiferal localities.- *Jour. Paleontology*. 35(3):498-501.

MARSHALL, J., 2000: Active tectonics and Quaternary landscape evolution across the western Panama block, Costa Rica, Central America. – 304 págs. Pennsylvania State Univ. [Ph.D.Thesis].

MARSHALL, J., IDELMAN, B.D., GARDNER, T.W. & FISHER, D.M., 2003: Landscape evolution within a retreating volcanic arc, Costa Rica, Central America. – *Geology*, 31(5): 419-422.

McDONALD D.F., 1920/1921: Informe final geológico y geográfico de Costa Rica. – *Rev. De Costa Rica* 2:28-32, 50-57, 106-111, 139-148.

MORA, C.R., 1985: Sedimentología y geomorfología del sur de la Península de Nicoya (provincia de Puntarenas, Costa Rica).- 148 págs. Escuela Centroamericana de Geología, UCR [Tesis Lic.]

OBANDO, J., 1983: Geología de la zona del “Peñón de Arío”, “Quebrada Carmen”, “Quebrada Negro” y alrededores, provincia de Puntarenas, costa Rica.- 39 págs. Escuela Centroamericana de Geología, UCR [Inf. Campaña Geológica].

PIZARRO, D., 1993: Los pozos profundos perforados en Costa Rica. - Rev. Geól. Amér. Central, 15:81-85.

PNUD, 1975: Investigaciones de Aguas Subterráneas en Zonas seleccionadas. Informe Técnico preparado para el Gobierno de Costa Rica por las Naciones Unidas, San José, Costa Rica.

ROBASZYNSKI F. & CARON, M., 1995: Foraminifères planctoniques du Crétacé. Commentaire de la zonation Europe-Méditerranée.- Bulletin de la Societe geologique de France, 166 (6): 681-692.

ROMANES, 1912: Geology of part of Costa Rica. -The Quarterly J. Geol. Soc. London, 68:103-139.

SINTON, C.W., DUNCAN, R.A. & DENYER, P., 1997: Nicoya Península: A single suite of Caribbean Oceanic Plateau magmas. - Jour. Geophys. Research, 102 (B7): 15507-15520.

SPRECHMANN, P., 1984: Manual de Geología de Costa Rica.- 320 págs. Ed. UCR, San José.

SPRECHMANN, P., ASTORGA, A., FERNÁNDEZ, A & CALVO, C., 1993: Cuadro sinóptico de correlación estratigráfica de las cuencas sedimentarias de Costa Rica.- Programas y resúmenes de ponencias IV Congreso Geológico Nacional 28 junio – 3 julio, San José: 7-16.

SPRECHMANN, P., ASTORGA, A., CALVO, C & FERNÁNDEZ, A., 1994: Stratigraphic chart of the sedimentary basins of Costa Rica, Central America. - Profil 7:427-433.

VOGEL, T.a., PATINO, L.C., ALVARADO, G.E.E & GANS, P.B. (2004): Silicic ignimbrites within the Costa Rican volcanic front-. Evidence for the formation of continental crust.- Earth. Planet. Sci. Lett. 226:149-159.