



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

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

**REALIZADO POR:
Geól. Javier Oviedo G.
Geól. Michelle Arias F.**

Julio, 2021



ELABORADO POR: _____

M Sc. Michelle Arias Fernández

Hidrogeóloga

Unidad de Investigación Hidrogeológica

REVISADO Y APROBADO POR: _____

M Sc. Alonso Alfaro Martínez

Coordinador

Unidad de Investigación Hidrogeológica

Tabla de contenido

1 INTRODUCCIÓN	7
1.1 Justificación	7
1.2 Propósito del informe	7
1.3 Objetivo general.....	7
1.4 Objetivos Específicos.....	7
1.5 Ubicación administrativa-geográfica del área de estudio.....	8
1.6 Período de análisis	9
1.7 Metodología de trabajo	9
1.8 Antecedentes	9
2. GEOLOGÍA REGIONAL Y TECTÓNICA	13
2.1 Formación Tuis	13
2.2 Formación Fila de Cal.....	13
2.3 Formación Senosri.....	14
2.4 Formación Curré	14
2.5 Formación Uscari.....	15
2.6 Grupo Aguacate	15
2.7 Formación Río Banano.....	15
2.8 Formación Talamanca.....	16
2.9 Formación Grifo Alto.....	16
2.10 Formación Guayacán	16
2.11 Formación Moín.....	18
2.12 Formación Suretka.....	18
2.13 Formación Calizas Arrecifales	18
2.14 Depósitos Aluviales Recientes	18
2.15 Tectónica Regional.....	19
3. HIDROLOGÍA y ÁREAS PROTEGIDAS	21
3.1 Cuencas Hidrográficas de la zona de estudio	21
3.2 Clima, estaciones meteorológicas.....	22
3.3 Aforos en los cauces superficiales (ríos y quebradas).....	25
3.4 Áreas protegidas en el cantón de Limón	26
3.4.1 Parque Nacional La Amistad	27
3.4.2 Zona Protectora Cuenca del Río Banano.....	28

3.4.3 Protección de las fuentes de Moín	28
4. ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS.....	29
4.1 Información de pozos según Base de datos de SENARA.....	29
4.2 Análisis preliminar de la base de datos de pozos del SENARA	30
4.3 Análisis preliminar de la base de datos de pozos del AyA.....	33
4.4 Información de manantiales, bases de datos del SENARA, SINIGIRH - DA y AyA	35
4.5 Información de concesiones, base de datos SINIGIRH (DA - MINAE).....	37
4.6 Análisis preliminar de las concesiones, según BD del SINIGIRH (DA - MINAE).....	40
5. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS.....	46
5.1 Insumos para el Balance Hídrico de Suelos.....	46
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
7. REFERENCIAS.....	49
8. ANEXOS.....	52
ANEXO 1: Datos estaciones meteorológicas, IMN.	52
ANEXO 2: Información de afloros.....	52
ANEXO 3: Información de pozos, base de datos SENARA.	52
ANEXO 4: Información de pozos, base de datos AyA.....	52
ANEXO 5: Información de expedientes de concesiones, SINIGIRH, base de datos DA.	52
ANEXO 6: Información pruebas de infiltración.	52

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.....	8
Figura 2. Estudios básicos y detallados hidrogeológicos elaborados.	12
Figura 3. Mapa de la geología regional, Limón Sur.	17
Figura 4. Mapa tectónico de Costa Rica (Astorga et al., 1991).	20
Figura 5. Cuencas hidrográficas.	22
Figura 6. Ubicación de las estaciones meteorológicas.	24
Figura 7. Mapa con la distribución de afloros.....	25
Figura 8. Áreas protegidas en el cantón de Limón.	27
Figura 9. Ubicación y distribución de pozos, base de datos SENARA (2021).	30
Figura 10. Concentración de pozos en las Fm. Depósitos Recientes, Calizas del Pleistoceno y Río Banano.	32
Figura 11. Estado y distribución de los pozos administrados por el AyA.	35
Figura 12. Mapa de ubicación de manantiales, fuentes SENARA (2021), SINIGIRG (2021) y AyA (2021).	37
Figura 13. Mapa de ubicación de las concesiones, fuente SINIGIRG (2021).	38
Figura 14. Estado de las concesiones por tipo de fuente.	40
Figura 15. Ubicación de pruebas de infiltración y muestras de suelo, tomadas por Ramos(2005).	47

Índice de gráficos

Gráfico 1. Histograma de profundidad de los pozos en el cantón de Limón.	33
Gráfico 2. Cantidad de concesiones por tipo de fuente.	41
Gráfico 3. Frecuencia de caudales según el tipo de fuente.....	42
Gráfico 4. Distribución de expedientes por concesiones y caudal.	43
Gráfico 5. Caudal concesionado según tipo de fuente y expediente.	43
Gráfico 6. Distribución de concesiones según el estado de los expedientes.	45

Índice de tablas

Tabla 1. Estudios geológicos - hidrogeológicos en el cantón de Limón.	10
Tabla 2. Microcuencas de Limón Sur.	21
Tabla 3. Estaciones meteorológicas en el cantón de Limón.....	23
Tabla 4. Sitios de aforo en el cantón de Limón.....	26
Tabla 5. Categorías de manejo de las áreas protegidas.	26
Tabla 6. Inventario de los pozos en el cantón de Limón.	29
Tabla 8. Concesiones y su estado, Dirección de Agua, MINAE.	39

RESUMEN

La presente investigación se genera dentro de los objetivos estratégicos institucionales (POI - 2021), en atención a la importancia de los acuíferos de la Vertiente Atlántica para conocer el estado actual del recurso hídrico y definir los vacíos existentes para investigar el recurso hídrico subterráneo, como parte del deber institucional de SENARA.

La zona de estudio se localiza en la costa Atlántica de Costa Rica, se extiende desde el Macizo de Chirripó Grande hasta las desembocaduras de los ríos Tuba y Toro en el Mar Caribe, abarcando todo el cantón de Limón, para un área de 1769,38 km²

A partir del análisis de la información disponible, se determina que la zona de estudio forma parte de la cuenca de Limón Sur, región tras arco compuesta por una depresión sedimentaria como resultado de la evolución geodinámica e interacción de Fosa Mesoamericana, la Zona de Fractura de Panamá, el Escarpe de Hess, el Cinturón Deformado de Panamá y la Depresión de Nicaragua. Esta cuenca está compuesta por rocas sedimentarias del Paleógeno (Formación Tuis) hasta el Neógeno con los Depósitos Aluviales Recientes.

En la zona de estudio se localizan una serie de áreas protegidas, como el Parque Internacional La Amistad, Parque Nacional Chirripó y zonas de protección como la del Río Bananito o manantiales de Moín, creadas con el fin de proteger la calidad y cantidad del recurso hídrico y la vida silvestre de la zona.

El suministro de agua potable es a través de tomas de agua superficial, pozos (perforados) de producción, administrados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y ASADAS. En el cantón de Limón se localizan 266 pozos, 6 manantiales, 190 concesiones de agua y un registro de 489 aforos (entre puntuales y diferenciales).

La información hidrogeológica disponible es escasa y puntual. Se cuenta con pocos insumos para generar un estudio de mayor detalle, que permita caracterizar el recurso hídrico subterráneo y a la vez establecer los lineamientos adecuados y oportunos para un aprovechamiento racional y sostenible.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

El presente informe constituye el estudio base para definir la información hidrogeológica existente con relación a los acuíferos desarrollados en el cantón de Limón a partir de las microcuencas de los ríos Blanco, Limoncito, Bananito, Banano y Estrella, en la provincia de Limón. El análisis a realizar permitirá establecer la necesidad de estudios más específicos que se requieren llevar a cabo para la caracterización hidrogeológica a detalle de los acuíferos, que considere las zonas de recarga y su regulación, así como la vulnerabilidad a la contaminación, los cuales son aspectos fundamentales para garantizar el aprovechamiento sostenible a través del tiempo.

1.2 Propósito del informe

Recopilar y presentar la información existente como parte de los estudios hidrogeológicos básicos en la zona de estudio para determinar la calidad de los insumos con los que se cuenta actualmente y definir las zonas que aún están desprovistas de pruebas básicas para poder caracterizar el recurso hídrico.

1.3 Objetivo general

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

1.4 Objetivos Específicos

- Determinar la geología superficial regional de la zona de estudio.
- Recopilar la información hidrológica existente en la zona de estudio.
- Recopilar la información hidrogeológica existente en la zona de estudio
- Recabar la información existente de pruebas de infiltración y análisis de suelos.

- Compilar la información generada por las estaciones meteorológicas existentes dentro o más cercanas al área de estudio.

1.5 Ubicación administrativa-geográfica del área de estudio

La zona de estudio se ubica entre las coordenadas aproximadas CRTM05 556161-606878 E y 1048736-1106027 N, tiene un área de 1769,38 km² (Figura 1), abarcando todo el cantón de Limón. Se extiende desde el Macizo de Chirripó Grande hasta las desembocaduras de los ríos Tuba y Toro en el Mar Caribe, abarcando los sectores de la Fila Matama, Valle de La Estrella, Peshurst, Bananito, Bomba, Río Blanco, Pueblo Nuevo, Liverpool, Limoncito y Limón centro.

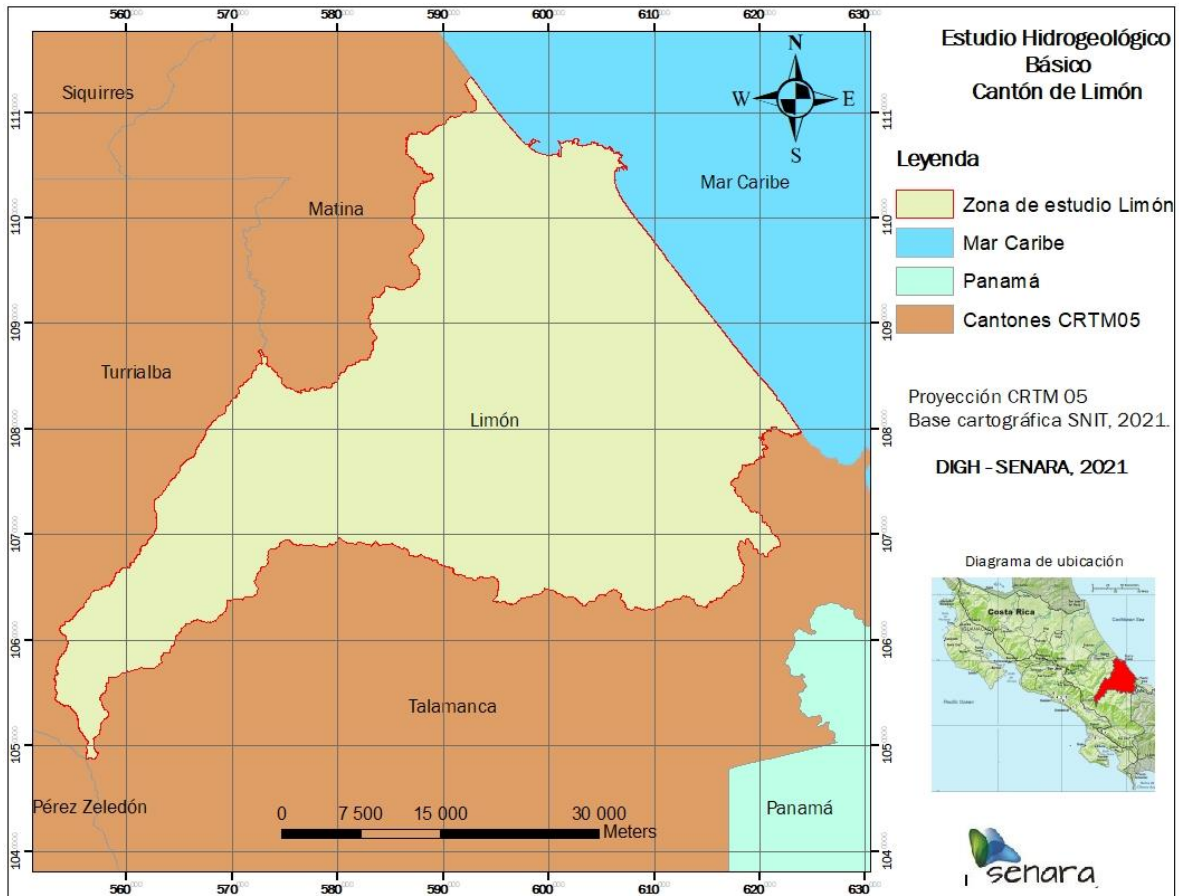


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

1.6 Período de análisis

El presente estudio básico incluye la información existente, anterior al año 2021, realizándose exclusivamente la recopilación de información de textos y mapas que involucren la zona de interés.

1.7 Metodología de trabajo

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

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

1.8 Antecedentes

La recopilación de información contempló estudios regionales realizados a nivel país o en parte del cantón, así como estudios específicos desarrollados para zonas localizadas dentro de los límites del cantón de Limón.

Para el área de estudio y alrededores, se cuenta con la información de tres mapas geológicos a diferentes escalas con un carácter regional. A partir del terremoto de Limón en el año 1991, las investigaciones se enfocaron en la descripción y análisis de la geología y tectónica de la cuenca de Limón principalmente (Tabla1).

A su vez, varios documentos, producto de consultorías realizadas a SENARA, Rodríguez (2003) y Agudelo (2005), constituyen diagnósticos preliminares a considerar,

por cuanto caracterizan de manera general los potenciales acuíferos, así como aquellos aspectos relevantes que requieren de atención y de un mayor detalle para la caracterización hidrogeológica de los acuíferos del cantón de Limón. Mientras que el estudio de SENARA (2017), desarrollado en la microcuenca de Río Blanco, se enfoca en la caracterización de los pozos administrados por la ASADA, correspondiendo con un estudio hidrogeológico detallado muy puntual del acuífero Río Blanco.

A un nivel más puntual, existen varios documentos académicos de tesis de grado y posgrado para zonas específicas.

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

Tabla 1. Estudios geológicos - hidrogeológicos en el cantón de Limón.

Autor(es) y año	Área de cobertura	Temas de interés
Mora, D., 1980	Limón, Acuífero Moín.	Delimitación de la unidad hidrogeológica y zona de recarga fuentes de Moín.
Astorga, A., Fernández, J.A., Barboza, G., Campos, L., Obando, J, Aguilar, A & Obando, L.G., 1991.	Regional, descripción cuenca tras arco, región Caribe.	Cuencas sedimentarias en Costa Rica, evolución geodinámica y potencial de hidrocarburos.
Fernández, J, Bottazzi, G, Barboza, G & Astorga, A., 1994.	Cuenca de Limón.	Tectónica y estratigrafía.
Campos, L., 1996.	Cuenca de Limón Sur.	Geología de la cuenca Limón Sur.
Tournon, J & Alvarado, G., 1997	Regional (todo el país)	Mapa Geológico de Costa Rica (escala 1:500 000).
Montero, W., 2001.	Regional, cuenca tras arco.	Neotectónica, sistema de fallas tras arco.
SENARA, 2003.	Hoja cartográfica Río Banano.	Caracterización preliminar de los acuíferos Moín, La Bomba, Río Blanco, Aluviales Indiferenciados, alerta sobre riesgo por intrusión salina.
Denyer, P & Alvarado, G., 2007.	Regional (todo el país)	Mapa Geológico de Costa Rica (escala 1:400 000).
Ramos, V., 2005	Limón, Acuífero Moín.	Modelo hidrogeológico y análisis de vulnerabilidad del acuífero.
Vásquez, M., 2005	Cuenca río Bananito, Acuífero La Bomba.	Evaluación del potencial acuífero.
SENARA, 2005.	Hojas cartográficas Estrella y Cahuita, a escala 1:50 000.	Diagnóstico de las aguas subterráneas: hojas Estrella y Cahuita.
Guzmán, M., 2006.	Limón, Acuífero Moín.	Contaminación por BTEX en plantel de RECOPE.
SENARA, 2017.	Poblado de Quito, Acuífero Río Blanco.	Modelo conceptual: acuífero Río Blanco. Aforos diferenciales puntuales. Determinación de zonas de protección de pozos y nacientes. Análisis de vulnerabilidad.
Bottazzi, G., 2016.	Cuenca Limón Sur	Evolución tectono-sedimentaria.

Alfaro, A, Denyer, P, Alvarado, G, Gazel, E & Chamorro, C., 2018.	Cordillera de Talamanca	Estratigrafía.
Aguilar, T & Denyer, P., 2021.	Cuenca Limón Sur	Estratigrafía sedimentaria.

A partir del análisis de la información, se determina que los estudios realizados por SENARA 2003 y SENARA (2005), son básicos y solo incluye la información existente en ese entonces en las bases de datos de la Dirección de Agua, AyA y SENARA. No obstante, las recomendaciones emitidas en ambos informes deben de considerarse cuando se formule los alcances de un estudio hidrogeológico detallado para el cantón de Limón. A su vez, una vez finalizado el *Estudio hidrogeológico de Río Blanco*, que se encuentra en proceso, se debe definir si se integra dentro del estudio hidrogeológico detallado del cantón de Limón.

Por otra parte, los trabajos de posgrado de Ramos (2005) y Vásquez (2005), aportan información de aforos diferenciales, pruebas de infiltración y caracterización de los acuíferos Moín y La Bomba, respectivamente, que pueden utilizarse en estudios futuros. Mientras que Guzmán (2006), aporta información de las propiedades físico-químicas del acuífero Moín y determina la calidad de las aguas subterráneas, pudiendo considerarse una línea base en caso de desear darle trazabilidad al estado actual de las aguas de dicho acuífero.

En la figura 2, se muestra el área de cobertura de los estudios básicos e hidrogeológicos detallados realizados por Ramos (2005), Vásquez (2005) y SENARA (2003, 2005, 2017 y 2021 en proceso).

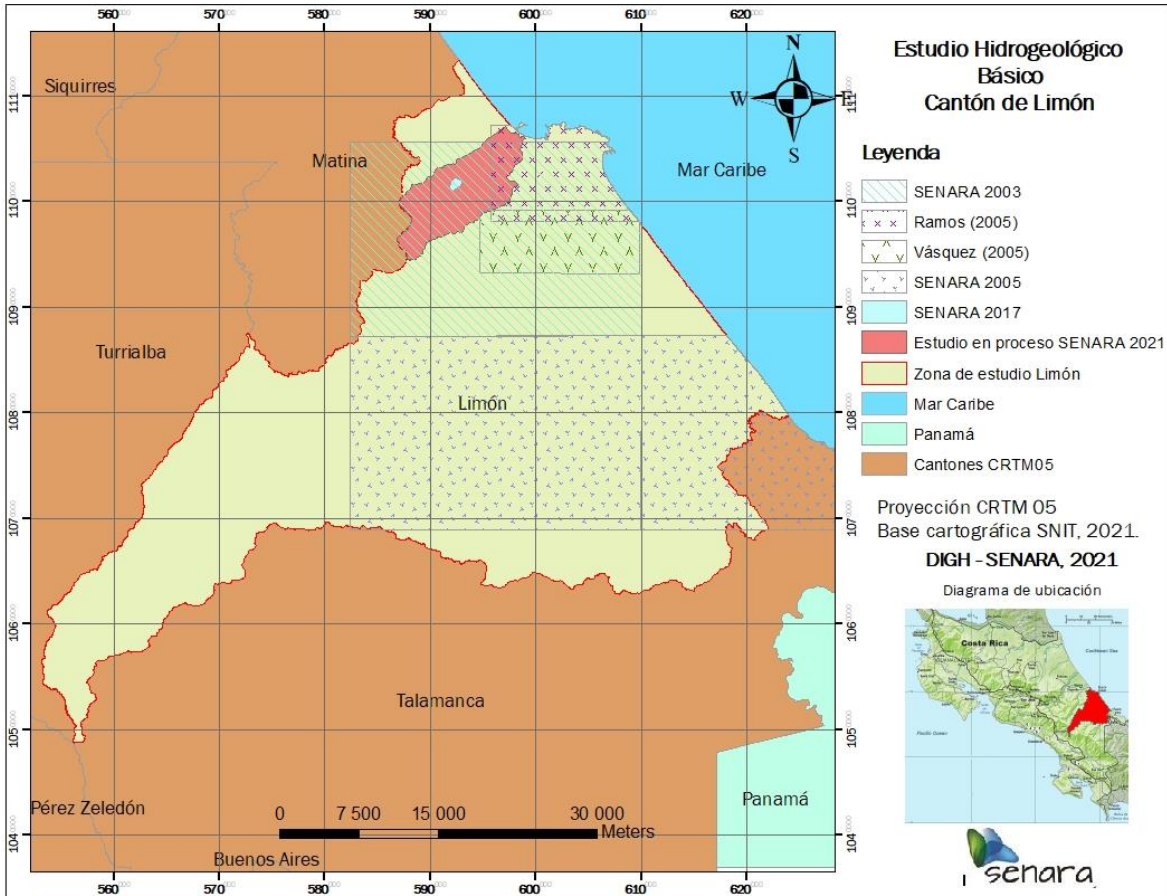


Figura 2. Estudios básicos y detallados hidrogeológicos elaborados.

2. GEOLOGÍA REGIONAL Y TECTÓNICA

La zona de estudio se localiza en la región Tras-Arco hacia la costa Caribeña de Costa Rica, corresponde con la cuenca sedimentaria conocida como Limón Sur, básicamente se trata de una depresión sedimentaria, sometida al efecto de varias fases tectónicas compresivas que datan del Eoceno Medio hasta el Plioceno Tardío (Fernández et al., 1994). La secuencia estratigráfica presente abarca rocas sedimentarias, volcánicas e intrusivas.

La descripción y extensión de las formaciones geológicas regionales se basaron principalmente en el Mapa Geológico de Costa Rica a escala 1:400.000; (Denyer & Alvarado, 2007); así como también las referencias del Mapa Geológico de Costa Rica a escala 1:500.000, (Tournon & Alvarado, 1997) y el Mapa Geológico de la Cordillera de Talamanca a escala 1:200.000 (Alfaro et al.2017). En la figura 3 se muestra el mapa geológico regional de la zona de estudio.

2.1 Formación Tuis

Descrita por Lloyd (1953), está compuesta por conglomerados compactos marrón a gris oscuro, basaltos y limolitas en la base y en la parte superior presenta calizas duras, estratificadas verde-grisáceas a púrpura y azul, limolitas y areniscas finas, así como aglomerados y brechas intercaladas. De acuerdo con Fernández et al (1994), esta formación está asociada a un ambiente de arco volcánico insular de abanicos submarinos y presenta espesores que van desde los cientos de metros hasta 3000 m.

De manera transicional descansa sobre la Formación Changuinola. Le asignan una edad Paleoceno-Eoceno Medio de acuerdo con dataciones de la Compañía Petrolera de Costa Rica S.A.

2.2 Formación Fila de Cal

Descrita originalmente por Redfield (1923, en Aguilar y Denyer, 2021), como una secuencia compuesta por areniscas, calizas y conglomerados, mientras que Mora (1979) la subdivide en una unidad arrecifal biolítica algal, de estratificación gruesa con

muchos foraminíferos y otros fósiles, y otra unidad detrítica compuesta por los productos de erosión del sistema arrecifal y le indica un espesor máximo de 200 m (Mora, 1979).

Calvo (1987) indica que esta formación está asociada a sistemas carbonatados que tipifican plataformas y rampas carbonatadas a macroforaminíferos y algas calcáreas. Se desarrollaron sobre dispositivos del Eoceno, debido a un ascenso tectónico generalizado. De edad Eoceno Medio - Superior de acuerdo con Sprechmann (1984).

2.3 Formación Senosri

Definida originalmente por Mac Donald et al. (1919, en Hoffstetter et al., 1960). Madrigal (1972), describe a la Formación Senosri compuesta por calizas arenosas, estratificadas, con presencia de foraminíferos y algas, verde claro grisáceo a verde pardo, brecha de caliza, areniscas calcáreas y lutitas. Mientras Fernández et al. (1994), indica que corresponde con una secuencia de turbiditas carbonatadas, compuesta por areniscas lobulares, conglomerados guijarrosos, limolitas y lodolitas calcáreas hemipelágicas, desarrollados en una plataforma carbonatada de pie de talud. Presenta espesores de 1400 hasta 2400 m según Fernández (1987) y Bottazzi et al. (1987).

El límite entre las formaciones Senosri y Tuis es a través de una discordancia angular debido a la estrangulación de la cuenca durante el Eoceno Medio tardío y la caída del nivel del mar ocurrida en el Oligoceno Superior (Fernández et al. 1994).

2.4 Formación Curré

Originalmente referida por Henningsen (1965) y Dengo (1962) le da el rango de formación. Mora (1979) describe dos subunidades: una compuesta por conglomerados de origen volcaniclástico verde-grisáceos y areniscas fosilíferas, con un espesor variable de 1000 a 1400 m y depositados en un ambiente de transición de facies deltaica a playa, y otra subunidad de lutitas negras intercaladas con estratos de areniscas y conglomerados finos, cloritizados, con un espesor de 150 a 300 m, de ambiente parálico, tipo estero o pantano y corresponde con el techo de la unidad.

Es de edad Mioceno Medio a Superior de acuerdo con la asociación faunística identificada.

2.5 Formación Uscari

Referida originalmente por Olsson (1922), está compuesta por sedimentos siliciclásticos de grano fino, básicamente se trata de areniscas de grano fino a medio, arcillas orgánicas, facies de barras arenosas y areniscas volcaniclásticas de grano fino, algo calcáreas, interestratificadas con limolitas y arcillolitas. Alcanza un espesor de 800 m según Fernández et al (1994) y están asociados a ambientes de depositación de plataforma del Mioceno Inferior a Medio y de delta en el Mioceno Superior.

Hacia el sur-oeste está en contacto con las rocas de la Formación Talamanca y sobreyace concordantemente a las rocas de Senosri.

2.6 Grupo Aguacate

Consiste de lavas basálticas y andesíticas, brechas, aglomerados, tobas, sedimentos fluviales y lacustres intercalados, afloran en las estribaciones septentrionales de la Cordillera de Talamanca. En las llanuras del Caribe se localizan cerros de constituidos por lavas andesíticas piroxénicas con andesitas hornbléndicas y basaltos subordinados, intercalados con brechas y tobas e intruidos por pequeños cuerpos hipoabisales. Su edad ha sido estimada entre el Mioceno y el Pleistoceno inferior

2.7 Formación Río Banano

Se extiende desde Panamá hacia el noreste de Costa Rica, alcanzando las cercanías de Puerto Limón. Si bien es cierto que esta unidad fue reconocida en Costa Rica por Olsson (1922), es Taylor (1975) quien propone el término de Formación Río Banano y la define como una serie de facies de intercalaciones de clastos marinos como areniscas volcaniclásticas de grano fino y algo calcáreas, limolitas carbonosas y capas de carbón intercaladas dentro de la secuencia clástica gruesa de areniscas y conglomerados. La parte superior de Río Banano presenta conglomerados guijarrosos hasta gruesos. Tiene un espesor de 1800 m (Bottazzi et al., 1987) y las facies se asocian a ambientes deltaicos.

Sobreyace discordantemente a la Formación Uscari. Esta formación se extiende del Mioceno Superior al Plioceno Temprano.

2.8 Formación Talamanca

Dengo (1962), denomina la Serie Comagmática de Talamanca, a todas las intrusiones de la cordillera de mismo nombre. Esta serie está compuesta por dioritas cuárcicas y granodioritas, así como gabros, dioritas y granitos. A su vez, menciona la presencia de tobas, aglomerados y coladas de lava en la cuenca de Limón, asociados a sedimentos marinos del Eoceno. Los cuerpos intrusivos por lo general corresponden con batolitos de tamaño variable, los afloramientos más extensos alcanzan superficies de hasta 100 km², como en el caso del Cerro Chirripó. La mayoría de las lavas de Talamanca presentan una fuerte alteración hidrotermal y están intruídas por diques diabásicos y stocks gabroicos-ganitoides del Mioceno Superior (Alvarado et al., 1992). DeBoer et al., (1995) señalan edades de hasta 31,6 Ma en gabros olivínicos con composiciones de toleítas de arco.

2.9 Formación Grifo Alto

Compuesta por lavas andesíticas, con augita y/o hipersteno, grises hasta rojizas y ocasionalmente basaltos con augita y dacitas, así como flujos piroclásticos con bloques lávicos y escoriáceos. A pesar de su distribución irregular, se estima un espesor de alrededor 1000 m. De acuerdo con dataciones de Bellon & Tournon (1978) y Krushensky (1972), se considera una edad Plioceno-Pleistoceno (Denyer & Arias, 1991).

2.10 Formación Guayacán

Azembre y Tournon (1977), indican la presencia de aproximadamente diques y sills de teschenitas en los alrededores del río Reventazón, mientras que Tournon (1984), menciona la presencia de basanitas en los alrededores de Guayacán con inclusiones de cumulitos de peridotita, evidenciado la presencia de rocas alcalinas en el trasarco debido a procesos de extensión locales relacionados con los sistemas de fallas transcurrentes que atraviesan a Costa Rica y que favorecieron el ascenso de magmas alcalinos en esta región trasarco (Gazel, 2003).

Se le asigna una edad de 4,6 Ma a las basanitas Guayacán (Bellon & Tournon (1978).

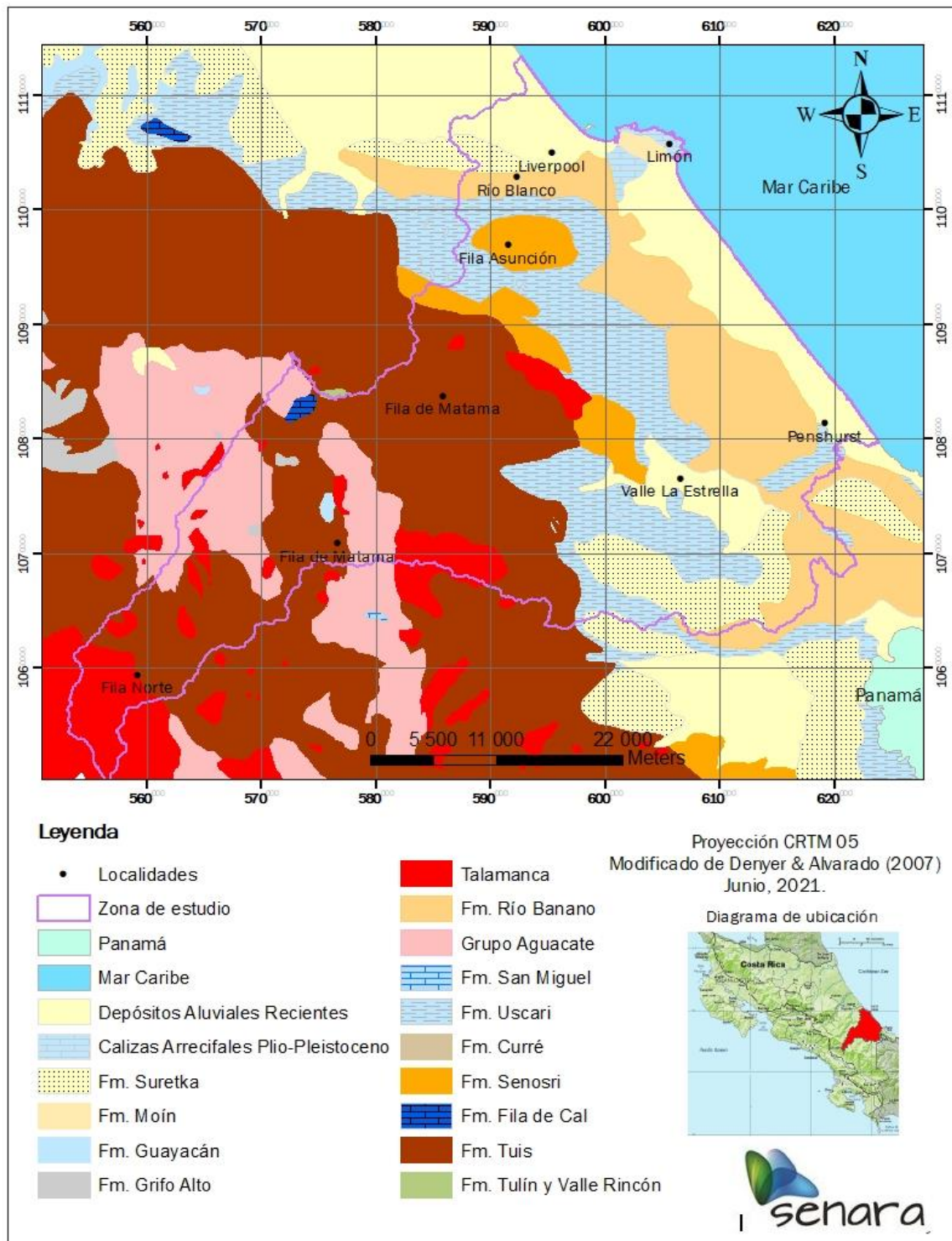


Figura 3. Mapa de la geología regional, Limón Sur.

2.11 Formación Moín

Referida por Gabb (1981, en Sprechmann 1984), como Formación Moín, no obstante Taylor (1975) propone se le reconozca como Miembro Arcillas de Moín de la Formación Río Banano. Se presenta al Oeste de Limón, cerca de Portete y Piuta, compuesta por arcillas y arenas, gris-verdosas, sin estructuras sedimentarias pero con presencia de faunas de moluscos y abundante micro-fauna.

2.12 Formación Suretka

Corresponde con conglomerados con variedad de granulometrías de arcilla hasta bloques, de composición basáltica, andesítica y cuarzodioritas, cementadas por sílice con intercalaciones de arcilla y arenisca y estratificación cruzada. Se cree que tiene un espesor variable no comprobado entre 200 y 800 m y está asociado a un ambiente deposicional de abanico aluvial (Fernández et al., 1994).

Sobreyace a la Formación Río Banano a través de una discordancia angular (Taylor, 1975) y es de edad Pleistocénica.

2.13 Formación Calizas Arrecifales

Tal y como su nombre lo indica, se trata de calizas arrecifales constituidas por colonias de corales masivos y ramificados, que afloran en los alrededores de Puerto Limón y en los sectores de la línea del ferrocarril, entre el río Bartolo- Moín y a lo largo de la quebrada Chocolate y en Punta Mona. Su edad máxima no está bien definida, se considera que se extiende del Mioceno Superior (Taylor, 1975), hasta el presente (Tournon & Alvarado, 1997).

2.14 Depósitos Aluviales Recientes

Compuesto por una variedad de granulometrías desde bloques hasta arcillas, de composición ígnea y sedimentaria principalmente, producto de los procesos erosivos en la Cordillera de Talamanca y la Fila Matama, sumado a la dinámica de los cauces de los principales ríos que conforman la cuenca de Limón. Los depósitos que cubren las mayores áreas se localizan en el Valle de Talamanca, a lo largo del río Telire y en los

alrededores y cercanías de las desembocaduras de los ríos Banano, Bananito. Desarrollan espesores hasta de 80 m y dada su génesis son de edad Cuaternaria.

2.15 Tectónica Regional

Tal y como se explicó en la introducción del presente capítulo, a partir del terremoto de Limón en 1991, las investigaciones realizadas por parte de la Refinadora Costarricense de Petróleo (previos a 1991) fueron compartidas y favorecieron el desarrollo de estudios enfocados en neotectónica, más detallados, para comprender la dinámica de la zona y la complejidad del fallamiento imperante.

La cuenca de Limón Sur se localiza en la región tras arco hacia la costa caribeña, corresponde con una depresión sedimentaria elongada, que es el resultado de la evolución geodinámica e interacción de los principales rasgos tectónicos (Fosa Mesoamericana, Zona de Fractura de Panamá, Escarpe de Hess, Cinturón Deformado de Panamá y la Depresión de Nicaragua), que indujeron la formación de cuencas sedimentarias de primera y segunda generación (Fernández et al., 1994).

De acuerdo con Astorga et al (1991), Fernández et al., 1994, la zona de estudio corresponde con una cuenca de segunda generación, originada debido a fenómenos tectónicos de carácter local, asociados a sistemas comprensivos que, a través del tiempo geológico, ha sido sometida a tres eventos tectónicos de relevancia (Figura 4):

- ✓ Colisión del bloque de Panamá contra la placa Suramericana.
- ✓ Emplazamiento del Plutón de Talamanca.
- ✓ Colisión de la dorsal del Coco sumado al levantamiento en el Bloque Sur de Costa Rica.

Montero (1991), demuestra que el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica se entrelaza con el del Norte y Este de Panamá, perfilando los límites de la microplaca de Panamá con respecto a las placas Coco, Caribe y Nazca. Además, señala la presencia de anchas zonas de deformación con fallamiento complejo definidos por los límites de esta microplaca.



Figura 4. Mapa tectónico de Costa Rica (Astorga et al., 1991).

Por otra parte, Montero (1991), describe ampliamente el sistema de fallas localizadas en la cuenca tras arco dentro de las cuales están: - Falla Kabébeta (desplazamiento de rumbo dextral e inverso), - Falla Ayil (lineamiento prominente), - Falla Pacuare (inversa), - Falla Río Blanco (desplazamiento de rumbo siniestral con componente normal), - Falla Limón (segmento de falla del sistema de fallamiento inverso del Cinturón Deformado del Norte de Panamá), - Falla Sukut (desplazamiento de rumbo dextral). Señala además que, la Falla Limón forma parte del Cinturón Deformado Norte de Panamá, un sistema de fallas inversas y pliegues que alcanzan el piso marino entre el talud y la plataforma continental. La incidencia de la colisión del levantamiento del Coco con el sur-este de Costa Rica en la deformación neotectónica, ha provocado esfuerzos principales máximos en forma de abanico y orientados al NE en Baja Talamanca.

3. HIDROLOGÍA y ÁREAS PROTEGIDAS

3.1 Cuencas Hidrográficas de la zona de estudio

La zona de estudio tiene un área de drenaje de 1770 km², la altura máxima es de 3700 m.s.n.m. y la mínima es de 1 m.s.n.m. La parte alta de la cuenca corresponde con las estribaciones del Cerro Chirripó, la Cordillera de Talamanca, y las Filas Norte y Matama.

El sistema fluvial del cantón de Limón está compuesto por las cuencas de los ríos Estrella, Banano, Bananito, parte del río Chirripó y los ríos Blanco, Limoncito, Toro, Vizcaya, Congria y Dixibre, los cuales vierten sus aguas en el mar Caribe.

En la tabla 2, se muestran las microcuencas que conforman el cantón de Limón, así como su área de drenaje.

Tabla 2. Microcuencas de Limón Sur.

Cantón	Microcuencas		Cuenca (km ²)
Limón	Quebrada Sarpueri	Río Salto	Río Estrella 728 km ²
	Quebrada Jonori	Quebrada Toj	
	Río Cariel	Río Hitoy	
	Quebrada Sebastián	Quebrada Lucha sin Fin	
	Quebrada Carbori	Río Duruy	
	Río Cochey	Río Bitey	
	Río Sivori	Río Ley	
	Río Cuen	Río Suruy	
	Río Abuy	Río Niñey	
	Río Chirripó	Quebrada Dukun	
	Quebrada Sucui	Río Ñari	
	Quebrada Juctori	Quebrada Jatsari	
	Río Cuen	Río Xikiari	
	Quebrada Susubri	Río Boyei	
	Río Nuevo	Quebrada San Antonio	Río Banano 204 km ²
	Río Segundo	Río Aguas Zarcas	
	Río Tercero	Río Elenita	
	Quebrada María Luisa		
	Río Carbori	Quebrada Bananito	Río Bananito 128 km ²
	Río Gobón	Río Burrico	
	Río Tujela		
	Río Victoria	Río Quinto	Río Blanco 95 km ²
Río Limoncito		Río Limoncito 80 km ²	
Río Toro		Río Toro 50 km ²	
Río Vizcaya		Río Vizcaya 48 km ²	
Río Congria		Río Congria 31 km ²	
Río Dixibri		Río Dixibri 17 km ²	

A partir de la tabla 2, se desprende que la cuenca del río Estrella abarca un 71% del total del cantón, mientras que las microcuencas con menor área corresponden con sistemas más pequeños, de corta longitud y que se encuentra a una menor distancia de la desembocadura en el mar Caribe. (Figura 5).

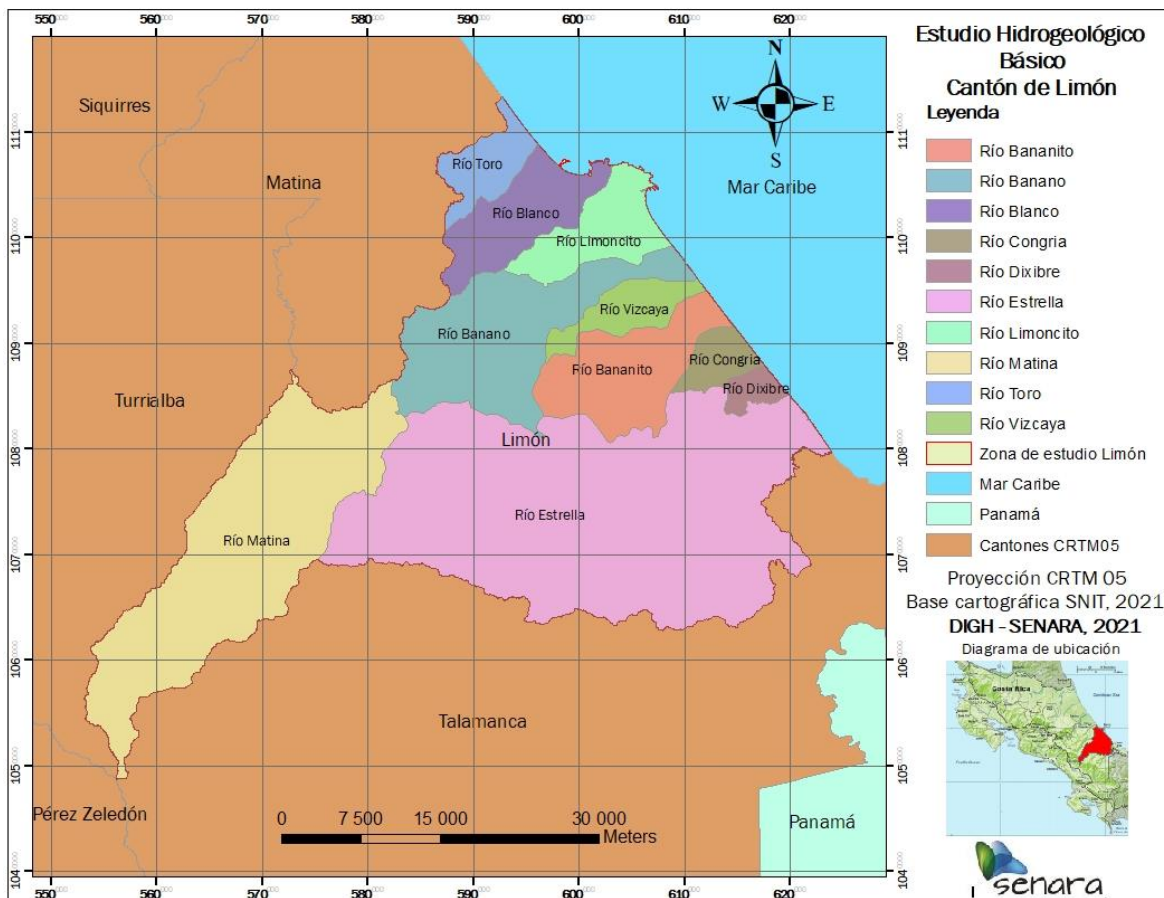


Figura 5. Cuencas hidrográficas.

3.2 Clima, estaciones meteorológicas

El cantón de Limón se caracteriza por un clima tropical húmedo, con lluvia abundante, siendo más acentuada en las partes montañosas donde llueve todo el año. La región presenta una serie de subregiones pequeñas como producto de la misma diversidad de factores de la Región Norte, así se encuentran áreas con clima lluvioso, principalmente en las llanuras y en alturas inferiores a los 60 m.s.n.m., áreas con clima de las faldas de la Cordillera Volcánica del Norte del lado Caribe, a altitudes de 600 a

1600 m.s.n.m. A partir de la precipitación mensual y anual registrada en la vertiente, el IMN sugiere establecer dos subregiones:

- Subregión Caribe Norte: abarca desde Barra del Colorado, llanuras de Tortuguero hasta las estribaciones del Turrialba, filas Mirados y Asunción al Sur de Siquirres, terminando al sur de Limón.
- Subregión Caribe Sur: se extiende desde Turrialba, parte de la Cordillera de Talamanca, Valle de La Estrella hasta Sixaola.

En el Caribe Norte las temperaturas máxima y mínima suelen ser un grado más altas, con predominancia de vientos alisios y suele ser más lluvioso, mientras que el Caribe Sur, por ser más montañoso y de fuertes pendientes, se registran vientos de componente oeste.

Ambas subregiones presentan dos períodos lluviosos ininterrumpidos por mínimos relativos (uno entre setiembre-octubre y el otro entre febrero-marzo). En noviembre inicia un período más lluvioso que culmina en febrero y donde los frentes fríos que bajan del Polo Norte corresponden con el mayor aporte a la precipitación, alcanzando hasta un 40% del total anual de lluvias en ambas subregiones. El segundo período más lluvioso inicia en abril y finaliza en agosto – setiembre.

Las fases de ENOS se asocian a eventos extremos climáticos y meteorológicos, siendo que La Niña (fase fría) favorece escenarios climáticos secos y el Niño provoca eventos normales o lluviosos en toda la región.

De acuerdo con el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), las estaciones más cercanas al área de estudio y que cuentan con información de interés se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Estaciones meteorológicas en el cantón de Limón.

Estación		Cuenca	Período de registro	Coordenadas Geográficas		Altitud (msnm)
Número	Nombre			X CRTM05	Y CRTM05	
81003	Limón	Río Limoncito	01/02/1941 al 03/04/2021	606935	1101723	5
81005	Aeropuerto Limón	Río Limoncito	01/07/1997 al 31/03/2021	606935	1101723	5
83007	María Luisa, Río Banano, Limón	Río Banano	01/10/2013 al 31/10/2021	597918	1094173	66

85012	Hitoy, Cerere	Río Estrella	01/07/1981 al 31/02/2021	607514	1070323	100
85021	Hitoy, Cerere	Río Estrella	1/7/1995 al 31/10/2020	607514	1070323	170

Las estaciones anteriores se localizan en las microcuencas de los ríos Estrella, Banano y Bananito, siendo que la parte alta del cantón, hacia los cantones de Turrialba y Talamanca no se cuenta con estaciones del IMN. Las estaciones Limón y Aeropuerto Limón tienen la misma ubicación, no obstante, difieren en los años de registro e información contenida, situación que también ocurre con las estaciones Hitoy Cerere 85012 y 85021. Las estaciones 81003, 81005, 85021 83007 cuentan con información de temperaturas máximas, mínimas y promedios a nivel mensual, además presentan el registro de datos de precipitaciones promedios a nivel mensual. La ubicación de las estaciones meteorológicas se muestra en la figura 6, así mismo en el Anexo 1 se aporta la información de las estaciones meteorológicas proporcionada por el IMN.

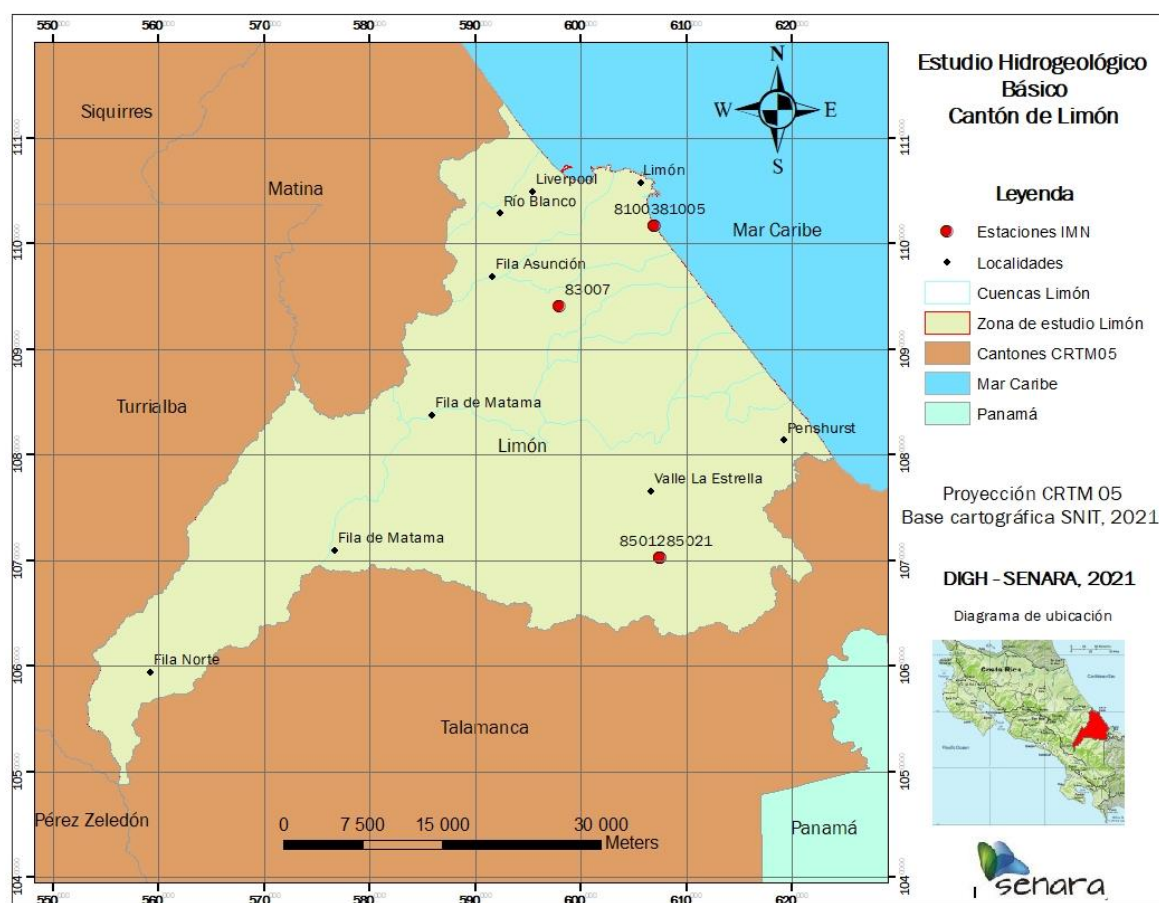


Figura 6. Ubicación de las estaciones meteorológicas.

3.3 Aforos en los cauces superficiales (ríos y quebradas)

Se recopilaron datos históricos de sitios de aforos en ríos y quebradas en la zona de estudio, los cuales están en las bases de datos de SENARA. Las campañas de aforo se han desarrollado en las microcuencas de los ríos: Blanco, Limoncito, Banano, Vizcaya, Bananito y Estrella, desde 1964 al año 2013. A su vez, se consultaron dos tesis de posgrado, Ramos (2005) y Vásquez (2005), las cuales incluyen los resultados de las campañas de aforos realizados en las microcuencas de los ríos Bartolo, quebrada Chocolate y Bananito.

Básicamente los aforos se concentran en las zonas con asentamientos humanos ya establecidos y en las partes bajas del cantón de Limón (Figura 7).

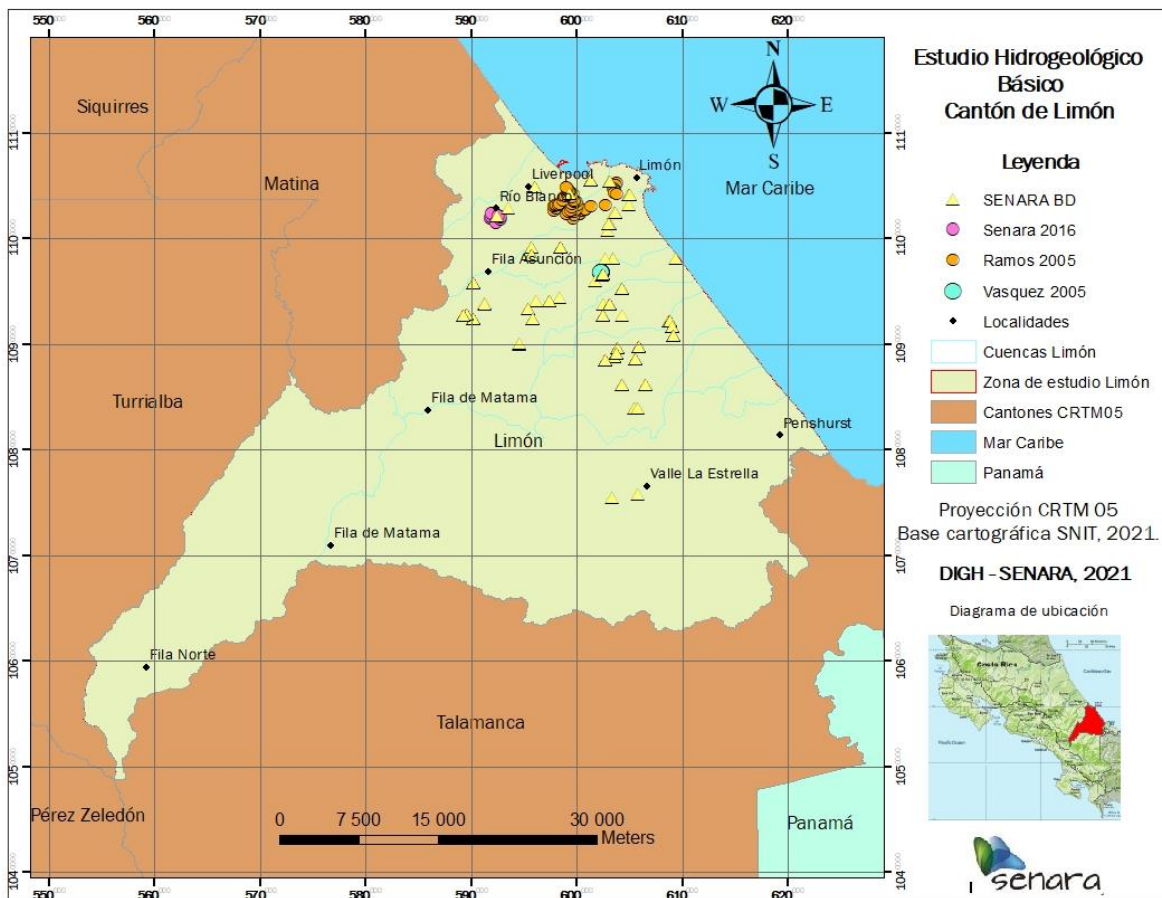


Figura 7. Mapa con la distribución de aforos.

La mayor parte de los aforos realizados corresponden con mediciones puntuales y no diferenciales, por tanto, no son útiles para definir comportamientos de efluencia o

influencia. Esto considerando que la base de datos de aforos de SENARA contiene 489 mediciones, no obstante, no permiten desarrollar una trazabilidad del comportamiento de las aguas.

Tabla 4. Sitios de aforo en el cantón de Limón.

Fuente	Tipo de aforo		Microcuencas	Año de medición
	Puntual	Diferencial		
SENARA	x		Ríos: Blanco, Limoncito, Banano, Vizcaya, Bananito y Estrella	1964 a 2013
SENARA., 2016		x	Río Quito	2016
		x	Río Blanco	2016
Ramos, V., 2005		x	Quebrada Chocolate y afluentes	2004
		x	Río Bartolo y afluentes	
Vasquez, M., 2005	x	x	Río Bananito	1985 a 2005

A partir de la tabla 4 se desprende que solo la información de aforos diferenciales realizados en los ríos Blanco, Bartolo, Bananito y quebrada Chocolate permiten determinar un comportamiento de las aguas debido a la metodología aplicada en el campo. En el anexo 2 se muestra el detalle de la localización de los aforos y los resultados obtenidos.

3.4 Áreas protegidas en el cantón de Limón

El cantón de Limón presenta la particularidad que debido a la exuberancia de la vida silvestre presente y la presencia de asentamientos indígenas, ha sido de interés nacional la creación de áreas protegidas con distintas categorías de manejo, para garantizar su protección y preservación. Así mismo, la concientización con respecto a la importancia del recurso hídrico ha llevado a crear zonas de protección en torno a ríos y manantiales para asegurar su cantidad y calidad. Es así como en la zona de estudio se ubican desde zonas protegidas, reservas indígenas y parques nacionales, entre otros. En la tabla 5 se detalla la categoría de manejo de las áreas protegidas presentes en la zona de estudio.

Tabla 5. Categorías de manejo de las áreas protegidas.

Nombre	Decreto	Categoría de manejo
Chirripó	Ley 5773, 30 de agosto de 1975.	Parque Nacional Chirripó
Alto Chirripó		
La Amistad	13324-A, 04 de febrero de 1982.	Parque Internacional

Cahuita	17236-MAG, 22 de octubre de 1986.	Parque Nacional
Cuenca del río Banano	Decreto 20043-MIRENRM, 19 de noviembre de 1990.	Zona Protectora
Cabécar de Tayni	Decreto 5904-G, 11 de marzo de 1976 y 12233-G, 26 de enero de 1981.	Territorio Indígena
Hitoy Cerere	6794, 27 de diciembre de 1992.	Reserva Biológica
Aviarios del Caribe	25140-MINAE, 27 de mayo de 1996.	Refugio de Vida Silvestre

En la figura 8 se muestran las áreas que se consideran ambientalmente frágiles dentro del perímetro del cantón de Limón.

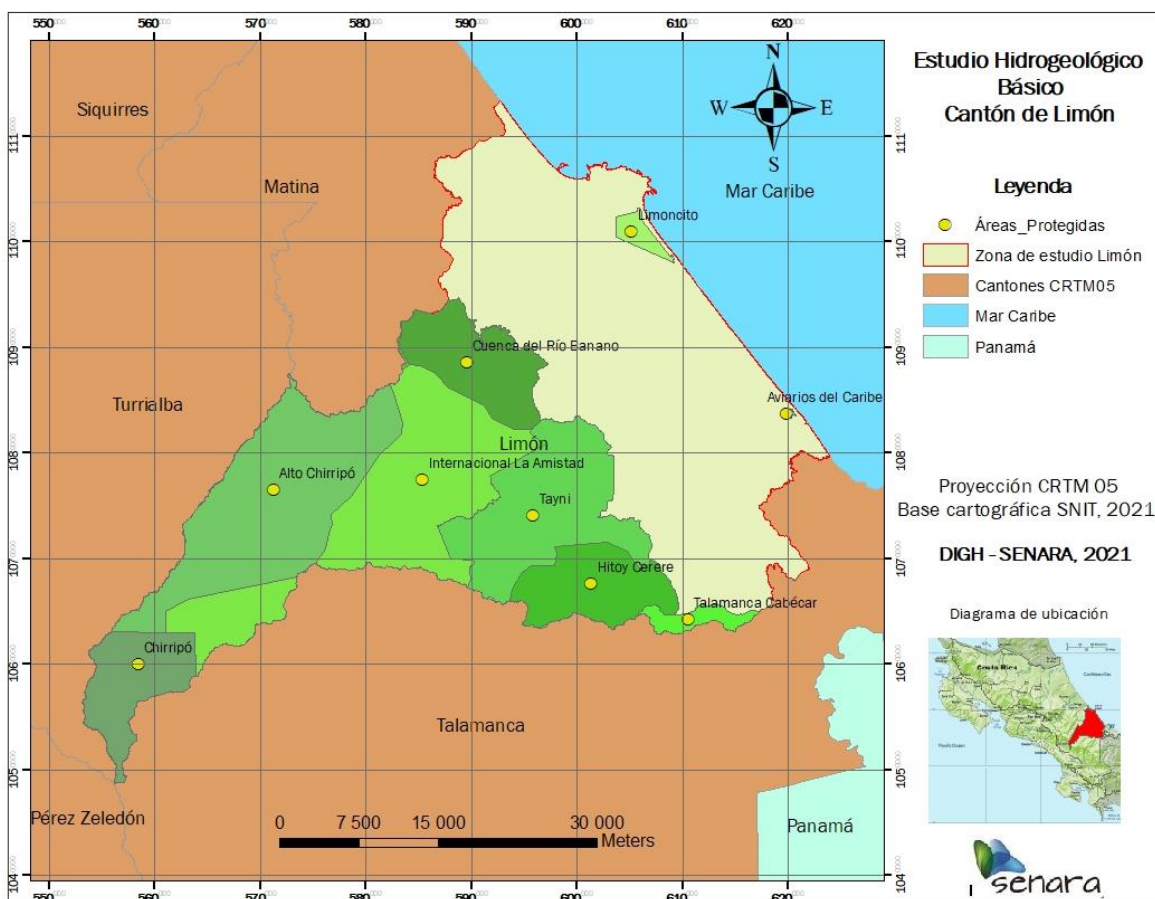


Figura 8. Áreas protegidas en el cantón de Limón.

A continuación, se describen las principales áreas protegidas en el cantón de Limón.

3.4.1 Parque Nacional La Amistad

Creado por Decreto Ejecutivo No. 13324-A, del 4 de febrero de 1982, tiene una extensión de 193 929 ha y se le denomina internacional debido a que se extiende en

Panamá abarcando 207 000 Ha. Este parque corresponde al sistema montañoso de bosque lluvioso inalterado más extenso del país y se encuentra rodeado por los Territorios Indígenas Chirripó, Taynín, Telire y Talamanca de la Vertiente Atlántica y por los Territorios Indígenas Ujarrás, Salitre y Cabagra de la Vertiente del Pacífico de la Cordillera de Talamanca (Figura 8). En 1982 la UNESCO lo declaró Reserva de la Biosfera La Amistad y en 1983 como Sitio de Patrimonio Mundial, debido a su valor universal excepcional tanto desde el punto de vista científico, como de la conservación y de la belleza natural. Una parte del área total de este parque nacional también se encuentra inmersa dentro de la cuenca del río Grande de Térraba y río Banano.

3.4.2 Zona Protectora Cuenca del Río Banano

La Zona Protectora Cuenca del río Banano fue creada mediante decreto 20043 del 19 de noviembre de 1990, está conformada por un área de 9225 Ha. Se creó con el fin de proteger la cuenca superior del río Banano para preservar los acuíferos que surten de agua a la ciudad de Limón y Moín. Esta zona protectora se encuentra distribuida entre las cuencas del río Banano, río La Estrella y río Matina (Figura 8)

3.4.3 Protección de las fuentes de Moín

Mediante Acuerdo 2011-112 del 10 de abril de 2007, tomado por la Junta Directiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, se aprueba el documento denominado Estudio Hidrogeológico y Vulnerabilidad del Acuífero Moín, Limón. A su vez, mediante gaceta No. 83 del 02 de mayo de 2007 se procede con la oficialización del mismo. A través de dicho documento se procede a la actualización de la zona de protección de las fuentes de agua de Moín y queda en firme una serie de regulaciones en cuanto al uso del suelo para la protección de las nacientes de Moín en Limón.

4. ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS

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

4.1 Información de pozos según Base de datos de SENARA

De acuerdo con la base de datos del SENARA existe un total de 266 pozos ubicados en el perímetro del cantón de Limón, sin embargo tan solo 136 de estos cuentan con informe final de perforación, 57 tienen registro de prueba de bombeo. En la tabla 6 se muestra el detalle.

Tabla 6. Inventario de los pozos en el cantón de Limón.

Cantidad de pozos	266	Características
Pozos con litología	136	106 con nivel de agua subterránea
		30 sin nivel de agua subterránea
		56 con prueba de bombeo
Pozos sin litología	130	76 con nivel de agua subterránea
		54 sin nivel de agua subterránea
		1 con prueba de bombeo

En la figura 9 se muestra la ubicación y distribución de los pozos antes mencionados en el área de estudio y en el Anexo 3 se enlistan los mismos con la información básica del pozo (código, coordenadas, profundidad, registro de litología, registro de prueba de bombeo).

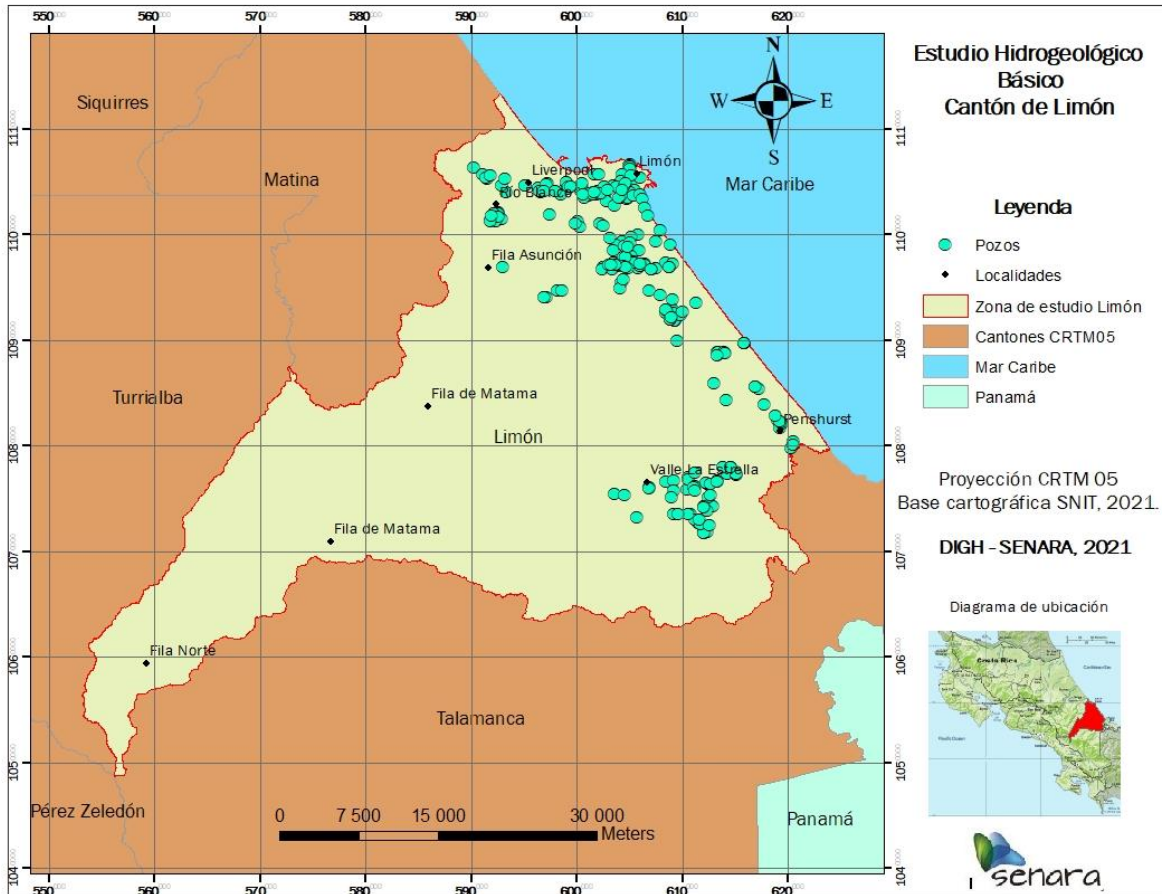


Figura 9. Ubicación y distribución de pozos, base de datos SENARA (2021).

4.2 Análisis preliminar de la base de datos de pozos del SENARA

La distribución geográfica de los pozos muestra una clara concentración en la zona costera del área de estudio (Figuras 9 y 10), correspondiendo con las partes bajas de las microcuencas de los ríos Estrella, Banano, Limoncito y en las zonas donde afloran las formaciones de roca de Depósitos Aluviales Recientes, Calizas del Pleistoceno y en menor cantidad en Río Banano. Esta distribución puede obedecer a los asentamientos humanos desarrollados en las partes bajas y a la agricultura, ambas asociadas al relieve que ha permitido el desarrollo de dichas actividades. Mientras que en el sector montañoso no se registran pozos, debido a que dicha zona se compone principalmente de bosque con muy poca densidad de población y una gran parte correspondiente a áreas protegidas.

Como se mencionó en el apartado anterior, la base de datos de SENARA registra 136 pozos con información litológica dentro del cantón de Limón, los cuales serían utilizados para realizar el modelo hidrogeológico, perfiles y demás capítulos en la segunda fase del estudio. Aparte de la información litológica, la base de datos registra que a 57 pozos dentro del cantón se les realizó una prueba de bombeo.

Los pozos con información litológica se encuentran distribuidos casi de manera uniforme, sin embargo se observa una agrupación de pozos con información litológica en los alrededores de Filadelfia Sur y Moín. En cuanto a los pozos con prueba de bombeo, al ser una menor proporción del total de pozos, se encuentran más localizados, aunque igualmente distribuidos por toda la zona costera.

Un aspecto a destacar, es que de los 57 pozos con prueba de bombeo solamente uno no tiene registro de perforación, sin embargo, en comparación sigue siendo mayor la cantidad de pozos (130) que no tiene información alguna utilizable.

La razón por la cual existen pozos sin registro de perforación, es debido a que algunos de los pozos fueron perforados hace mucho tiempo, cuando la regulación y controles no eran muy estrictos, por lo que el personal a cargo de la perforación no presentaba los resultados litológicos del pozo o tan siquiera lleva un registro de la litología. La misma situación ocurre con las pruebas de bombeo.

Finalmente, en cuanto a la profundidad de los pozos, 199 indican la profundidad que alcanzaron, de estos la profundidad máxima reportada es de 120 m, mientras que la mínima es de 0,8 m, la profundidad promedio es de 28,2 m. El gráfico 1 muestra la frecuencia de veces que varios pozos reportan una profundidad dentro de rangos de 1 m; la mediana de estos datos corresponde a 25 m de profundidad, mientras que la moda de los datos de profundidad es 30 m, dato que se presenta en 20 pozos distintos.

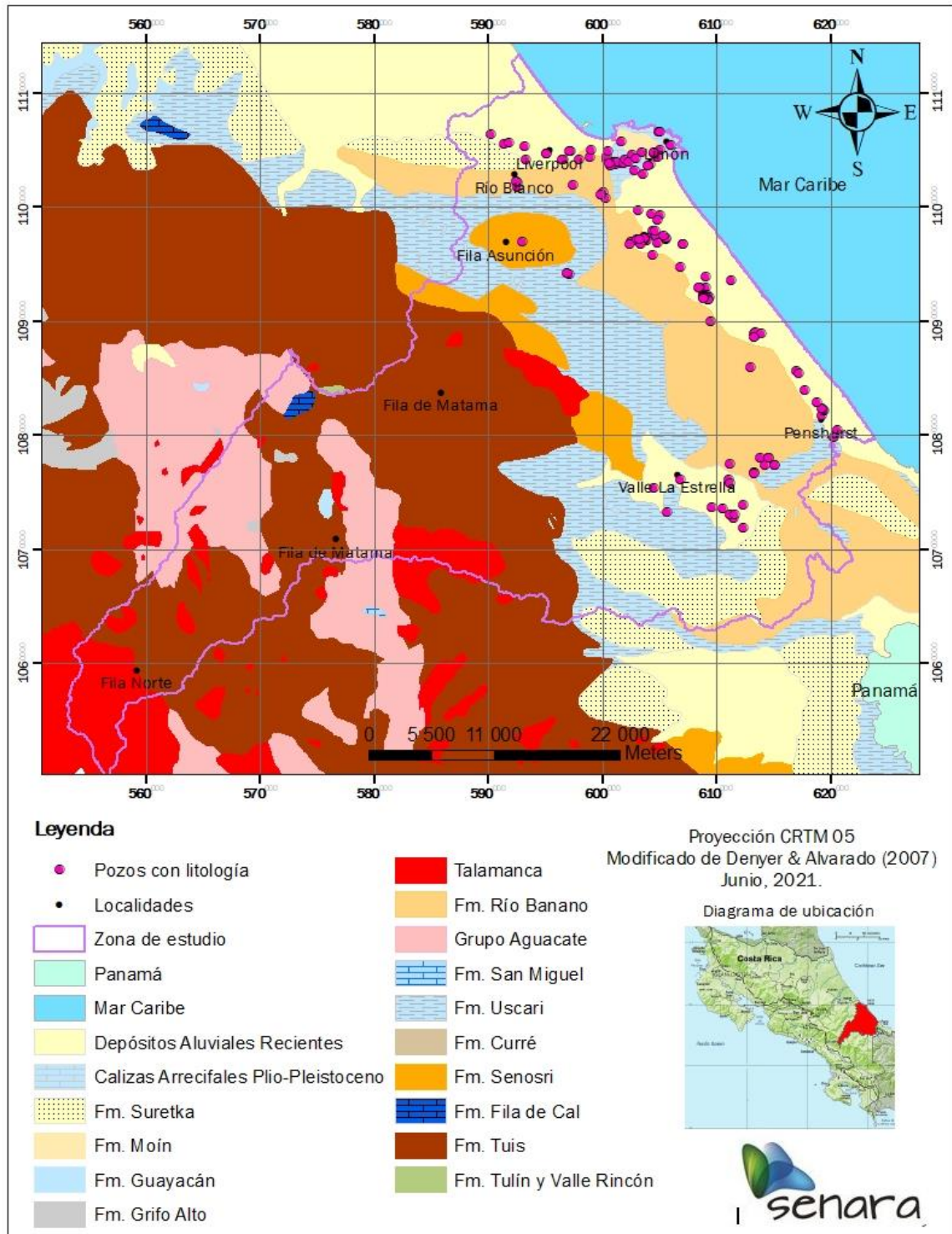


Figura 10. Concentración de pozos en las Fm. Depósitos Recientes, Calizas del Pleistoceno y Río Banano.

En cuanto a la distribución espacial de las profundidades de los pozos, se tiene que los pozos más profundos se ubican en las cercanías de Puerto Limón y Moín, así

como al Sur de Matama, mientras que en el Valle de la Estrella la mayoría de los pozos poseen profundidades cercanas al promedio. Un aspecto que era previsible, es que los pozos aledaños a la costa son lo que presentan menores profundidades, esto debido a que dicha zona es donde el acuífero se encuentra más cerca de la superficie, con profundidades no mayores a los 30 m en las microcuencas de los ríos Congria, Dixibre y Estrella.

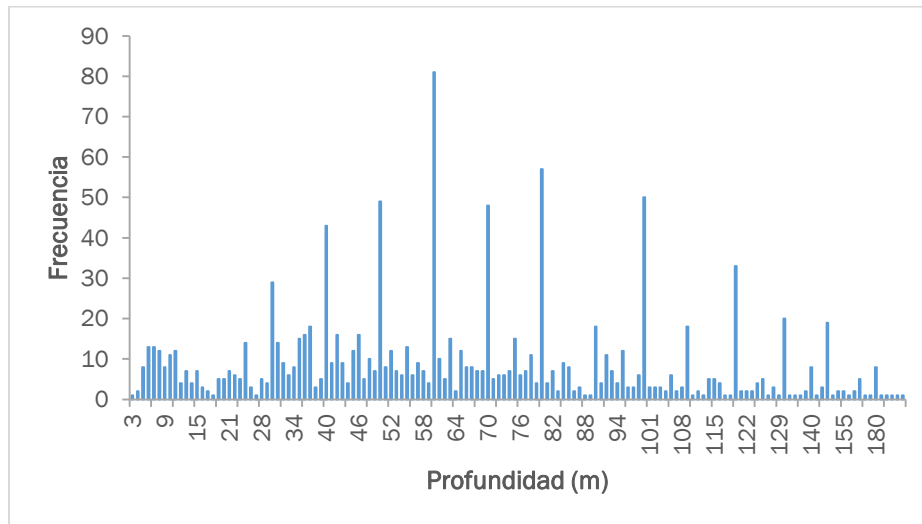


Gráfico 1. Histograma de profundidad de los pozos en el cantón de Limón.

4.3 Análisis preliminar de la base de datos de pozos del AyA

La información de los pozos administrados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados fue facilitada por la Dirección Área Funcional de Hidrogeología, UEN Gestión Ambiental. En el área de estudio se localizan dieciséis fuentes, todas corresponden con pozos perforados aglomerados en el sector de la Bomba, y de los cuales solo 6 se encuentran en operación actualmente. Tal y como se muestra en la tabla 7, la mayoría de estos fueron gestionados ante SENARA. El anexo 4 contiene el detalle de la información de cada uno.

X_CRTM05	Y_CRTM05	Código	Nombre Del Aprovechamiento	Caudal Promedio (l/s)	Estado	Concordancia BDMENARA	Concordancia Concesiones SINIGIRH
603276	1097166	HCA04AP002	Pozo 1 La Bomba	42,00	En operación	INV-159	42837
603413	1097192	HCA04AP003	Pozo 2 La Bomba	12,40	En operación	RB-100	
603582	1097284	HCA04AP004	Pozo 3 La Bomba	44,00	En operación	RB-98	
603656	1097251	HCA04AP005	Pozo 4 La Bomba	55,00	En operación	RB-119	
603737	1097186	HCA04AP006	Pozo 5 La Bomba	18,00	En operación	RB-120	
603814	1097258	HCA04AP007	Pozo 6 La Bomba	28,00	En operación	RB-124	
603522	1097243	HCA04AP008	Pozo 7 La Bomba	0,00	Sin utilizar		
608858	1092061	HCA04AP011	Pozo Bananito 1	0,00	Sin utilizar	INV-16	1106
608832	1092047	HCA04AP012	Pozo Bananito 2	0,00	Sin utilizar	INV-18	1113
608875	1092066	HCA04AP013	Pozo Interno La Bomba	3,00	Sin utilizar		
602916	1097127	HCA04AP014	Pozo 1 Antiguo La Bomba	0,00	Fuera de operación	RB-56	
602881	1097129	HCA04AP015	Pozo 2 Antiguo La Bomba	0,00	Fuera de operación	RB-57	
602844	1097054	HCA04AP016	Pozo 3 Antiguo La Bomba	0,00	Fuera de operación		
603257	1097166	HCA04AP017	Pozo 1 Viejo La Bomba	0,00	Fuera de operación		
612691	1076507	HCA05AP001	Pozo La Guaría	8,30	En operación		
612708	1076501	HCA05AP002	Pozo Viejo la Guaría	0,00	Fuera de operación	CA-24	

En la figura 11 se observa la ubicación de estas fuentes poblacionales, todas localizadas en las partes bajas de las microcuencas donde se han desarrollado los asentamientos humanos con mayor acceso a servicios públicos.

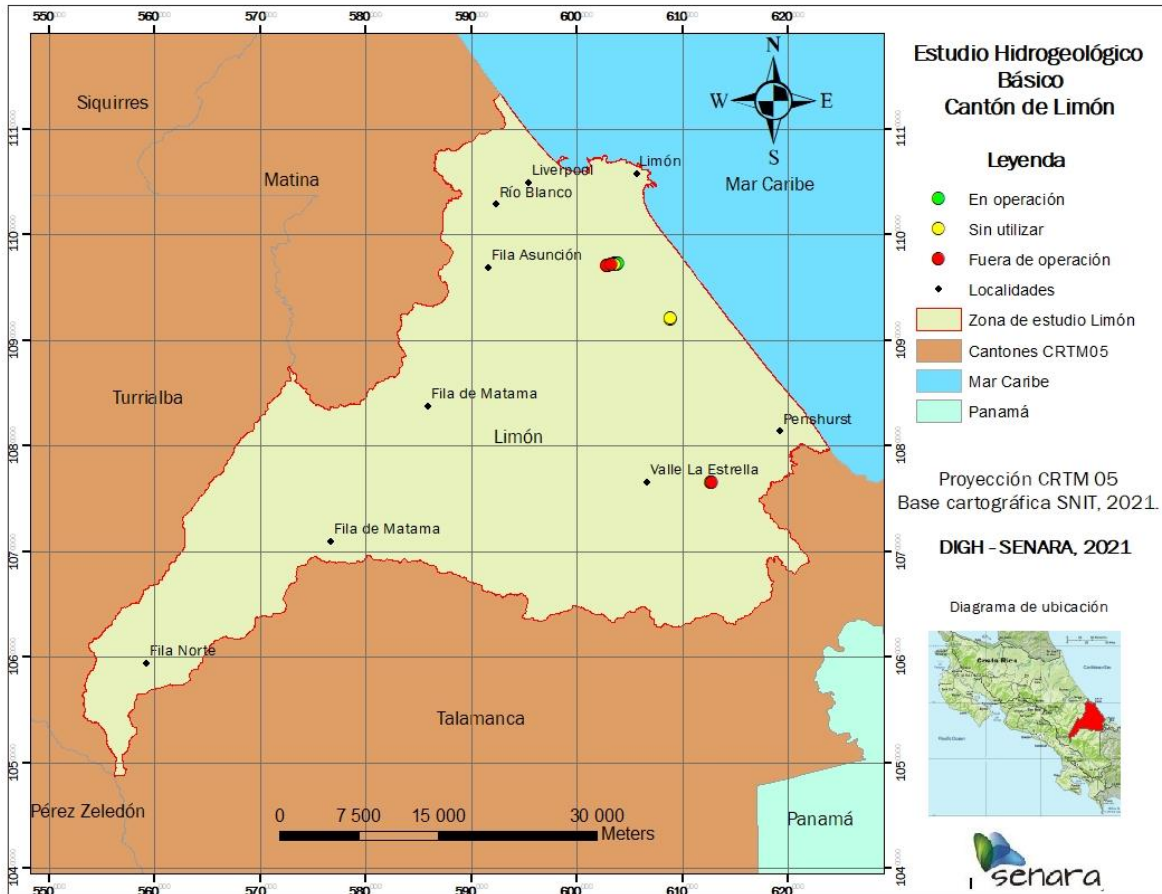


Figura 11. Estado y distribución de los pozos administrados por el AyA.

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

Previo a presentar la información de las bases de datos de manantiales, cabe anotar que el término técnico para el afloramiento natural del agua subterránea es manantial, sin embargo a lo largo del presente estudio también se emplea el término utilizado comúnmente como naciente o nacimiento, debido a que este es el usado en el SINIGIRH.

En SENARA solamente se tiene registrado un manantial, el cual se encuentra en las coordenadas 1105 546 N / 601 360 W y corresponde al código NAC-224. Este manantial solamente indica que el uso del agua es doméstico.

En la base de datos del SINIGIRH, se registran 6 nacientes, dentro de la capa de dictámenes finales, la cual provee información muy general y desligada con el propio recurso hídrico. Existe una aclaración que hacer dentro de este apartado, con respecto

a la información de manantiales proveniente del SINIGIRH, ya que si bien solamente se encontraron 6 registros dentro de la capa de dictámenes finales, en la capa de concesiones existen 29 registros cuya captación proviene de un nacimiento y, tan solo uno de estos registros coincide con una de las 6 nacientes dictaminadas.

De acuerdo con la información suministrada por el AyA, registran tres nacientes, Moín, 1, Moín 2 y Moín 3, en la localidad de mismo nombre. Solamente Moín 2 se encuentra en operación actualmente, mientras que las otras dos están fuera de servicio desde hace más de 10 años.

La distribución espacial de todos los manantiales (base de datos de SENARA y SINIGIRH, capas dictámenes finales y concesiones), está limitada a los primeros 30 km tierra adentro, no habiendo registros en el sector montañoso tal y como sucede con los pozos. Estos manantiales son puntos aislados, que la única característica en común que presentan, es que su ubicación está ligada a un cauce de un río o quebrada, lo que puede sugerir que el afloramiento del agua subterránea en superficie se debe a la descarga del (los) acuífero(s) a dichos cauces por una discontinuidad abrupta en del terreno.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**12 se muestra la ubicación de los manantiales registrados en las tres bases de datos.

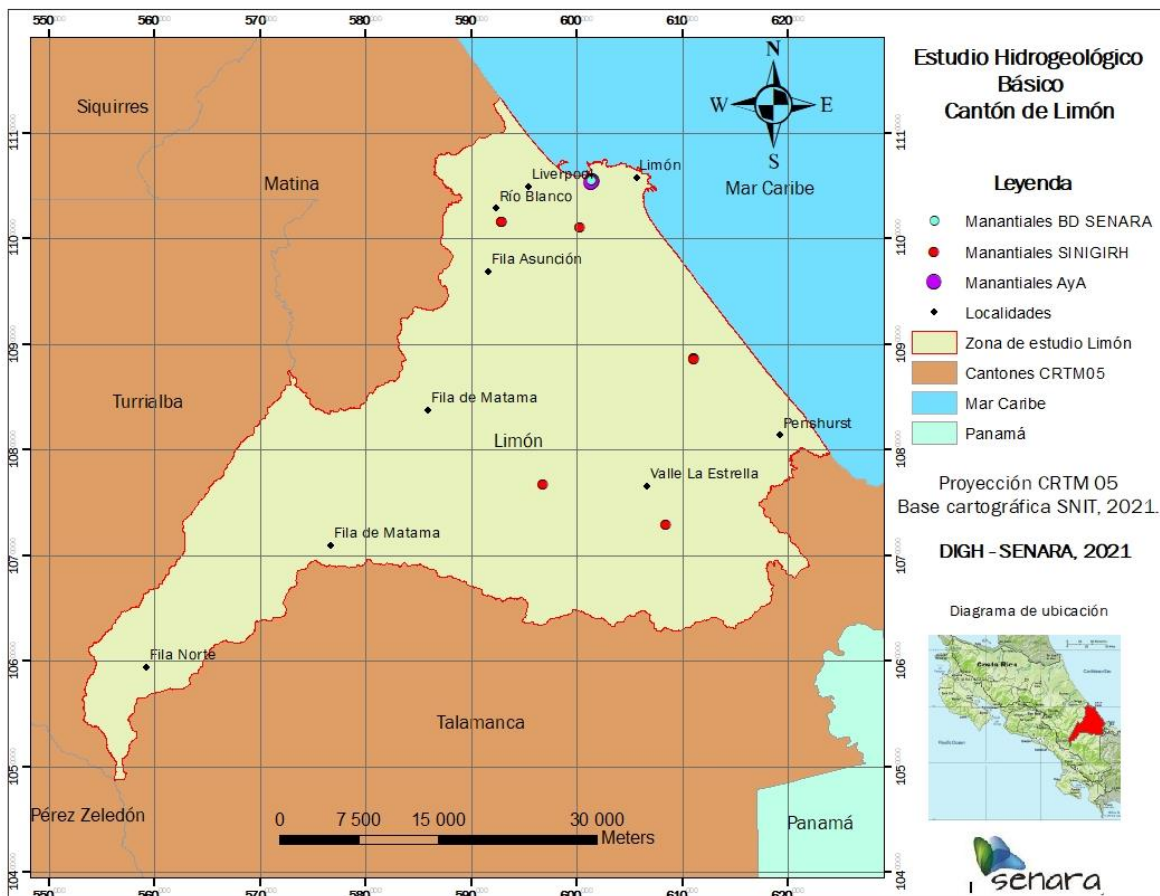


Figura 12. Mapa de ubicación de manantiales, fuentes SENARA (2021), SINIGIRG (2021) y Aya (2021).

4.5 Información de concesiones, base de datos SINIGIRH (DA – MINAE)

La información de expedientes de trámites, relacionados con concesiones para el aprovechamiento del recurso hídrico en el cantón de Limón, se obtuvo a través de la base de datos del Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SINIGIRH).

La ubicación de estos expedientes de concesiones se muestra en la figura 13, mientras que en el 5 se presentan ciertos datos referentes a las concesiones (número de expediente, coordenadas, propietario, caudal, tipo de fuente, tipo de expediente, estado del expediente). En total se registran 190 concesiones dentro del área de estudio.

Tabla 7. Concesiones y su estado, Dirección de Agua, MINAE.

Estado del expediente	Cantidad
Otorgado	90
Cancelado por Vencimiento	13
Cancelado	8
Solicitud Nueva	38
Archivado sin más Trámite	0
Inscrito	16
Denegado	1
Moroso Pago de Canon	5
Resuelto	18
Inscrito-Artesanal	1
Perforación y/o Concesión	0
TOTAL	190

Sin embargo, por motivo de facilidad de visualización y análisis, se procedió a agrupar categorías similares: la primera corresponde a los expedientes que ya poseen una concesión autorizada o que el trámite ya fue completado (otorgado, inscrito, inscrito artesanal o resuelto), la segunda agrupa a los expedientes cuya concesión nunca fue dada o fue cancelada (denegado, archivado sin más trámite, cancelado o cancelado por vencimiento); la tercera categoría es para los trámites nuevos (solicitud nueva y perforación y/o concesión), finalmente la última categoría está compuesta solamente por las concesiones que se encuentran morosas del pago de canon. La figura 14 muestra la distribución geográfica de estas cuatro categorías.

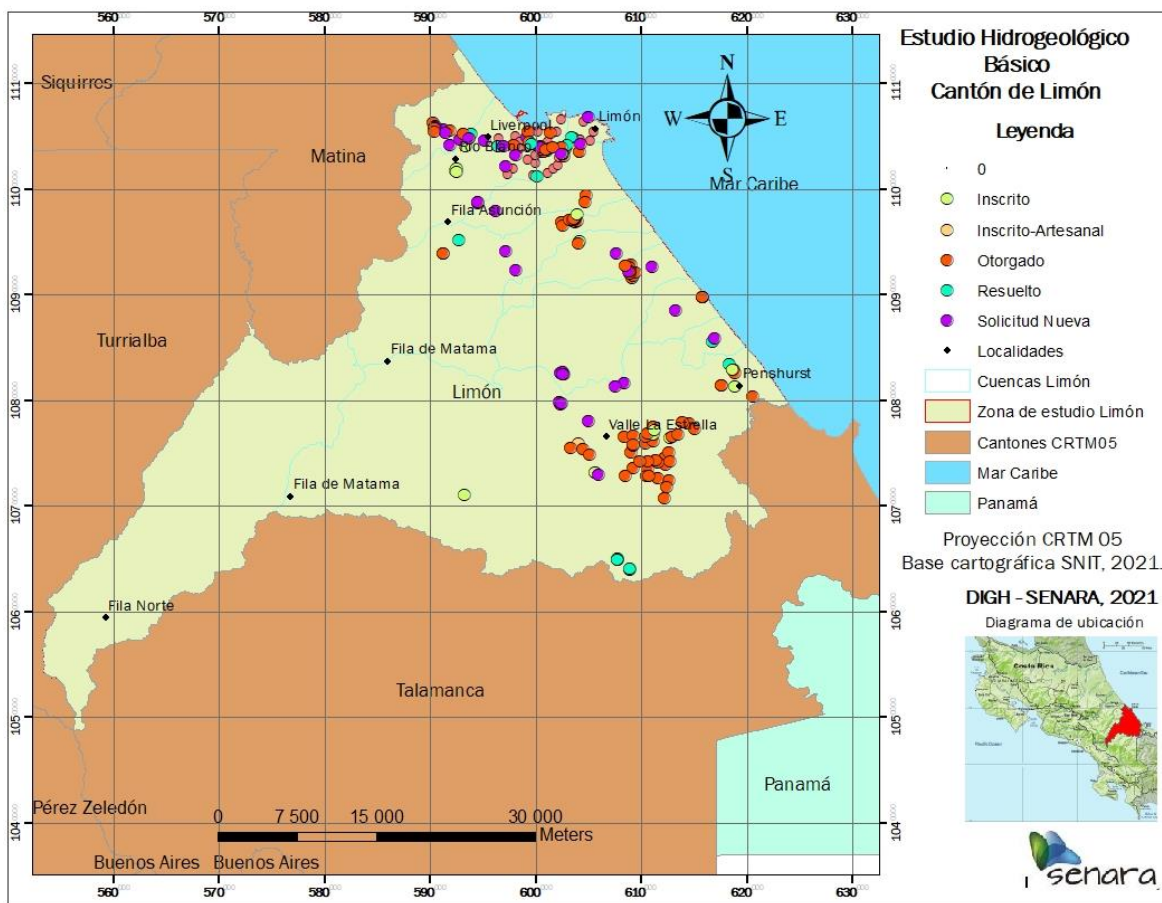


Figura 14. Estado de las concesiones por tipo de fuente.

4.6 Análisis preliminar de las concesiones, según BD del SINIGIRH (DA – MINAE)

Se procedió a analizar y comparar la información en términos porcentuales según el tipo de fuente y el tipo de expediente, tanto para la cantidad de concesiones como para los caudales concesionados. Con respecto al tipo de fuente, el 65% corresponde a acuífero, lo cual indica que más de la mitad de trámites han sido para extraer agua subterránea por medio de un pozo, un 15% de concesiones son de nacimientos en donde el agua subterránea aflora naturalmente en superficie, un 7% corresponde al tipo de fuente clasificado como pozo, un 9% y un 3% corresponden a ríos y quebradas respectivamente y en cuyo caso ambas fuentes son de aguas superficiales. A pesar que en el apartado anterior se indica que la categoría de “Pozo” dentro de tipo de fuente, es probablemente una nomenclatura previa a la utilización de “Acuífero”, se muestra el

porcentaje de concesiones por aparte dada la incertidumbre aun existente sobre dicha suposición. La información anterior se presenta en el gráfico 2.

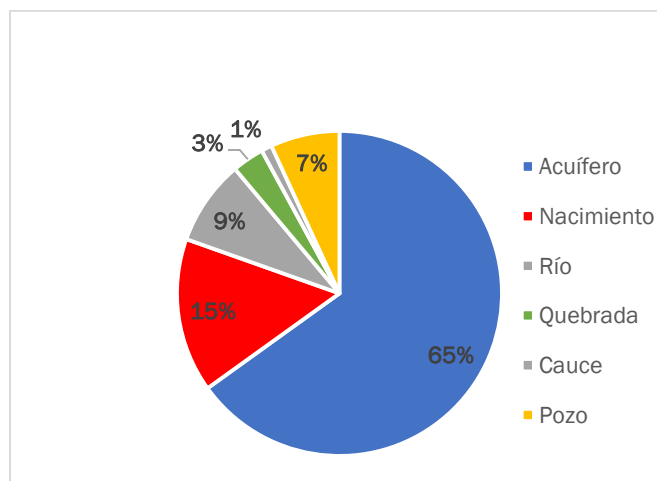


Gráfico 2. Cantidad de concesiones por tipo de fuente.

Del total del caudal de 3239,6 L/s concesionado, un 17,1% proviene de acuíferos, mientras que apenas un 0,5% proviene de nacimientos y un 1,8% proviene del tipo de fuente denominado “Pozo”, el restante 80,6% corresponde al caudal extraído de ríos y quebradas. Debido al interés del presente estudio es el agua subterránea, se enfocará en analizar el caudal de las concesiones cuya fuente son los acuíferos y nacimientos.

El mayor caudal de una concesión cuya fuente es un acuífero es de 50 L/s concesionado al AyA. En el caso concesiones cuya fuente son nacimientos, el valor de caudal máximo es de 7,93 l/s. Los gráficos 3a y 3b muestran los porcentajes de concesiones provenientes de acuíferos o nacimientos, cuyo caudal está dentro de los rangos propuestos. En la figura 8 se muestra gráficamente los caudales para estas concesiones cuya fuente son acuíferos o nacimientos.

Tal y como se puede observar, un gran porcentaje de las concesiones tienen caudales no asignados (indicados en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**⁵ y la base de datos del SINIGIRH como 0 l/s), que corresponden a solicitudes nuevas o porque la concesión esta cancelada, sin embargo estas se incluyen dentro del análisis ya que muchas de estas conexiones pueden estar operando actualmente, aunque no tengan la autorización de la DA. El segundo gran porcentaje de concesiones (aprox. 15% y 30%) tanto en el tipo de fuente acuífero como nacimiento, tienen caudales

menores a 1 l/s. En cuanto a los caudales mayores de 10 L/s, estos abarcan un 15% de las concesiones provenientes de acuíferos.

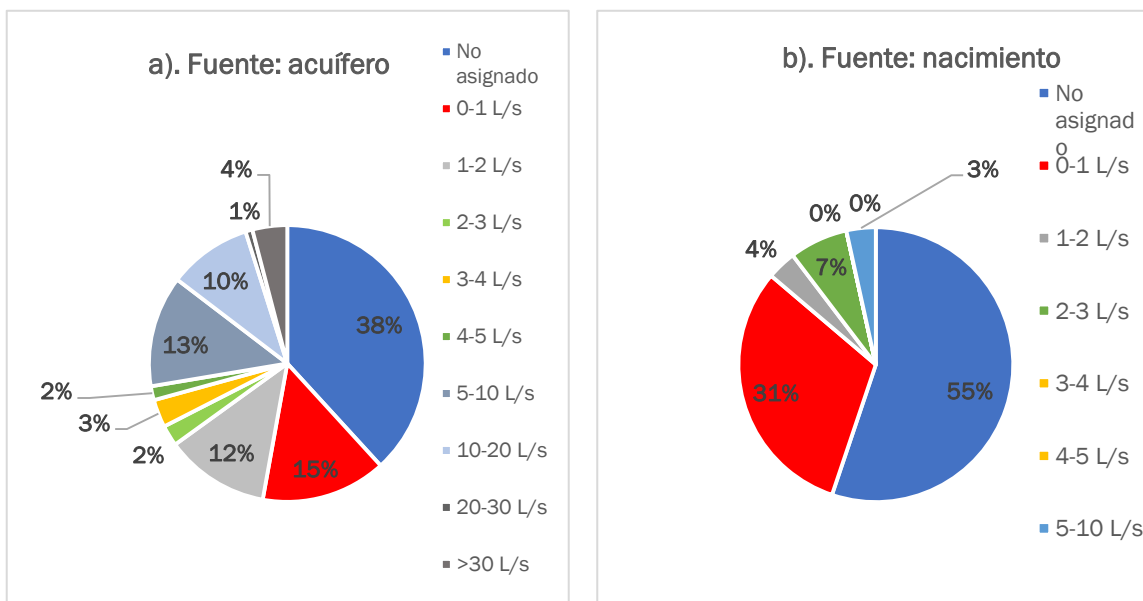


Gráfico 3. Frecuencia de caudales según el tipo de fuente.

Como se mencionó al inicio de este apartado, también se decidió analizar las concesiones según tipo de expediente, ya que esta información está ligada al carácter administrativo del concesionario (entes públicos encargados de abastecimiento, administradores privados, etc.). Del total de concesiones, un 48% corresponden expedientes de pozos, los cuales son de índole privados o de instituciones públicas que utilizan el agua para fines distintos al abastecimiento de la población.

Un 13% son expedientes de aguas superficiales, las cuales están asociadas a captaciones de manantiales, ríos o quebradas. El 35% de las concesiones corresponden a expedientes denominados de acueducto rural, que abarcan a las ASADAS y al AyA, por lo que el agua es utilizada para abastecimiento poblacional, en este caso el recurso puede provenir tanto de pozos como de manantiales. Los expedientes de pozos de amnistía y obra en cauce tienen un 2% cada una del total de concesiones. Los gráficos 4a y 4b, muestran visualmente la distribución de los tipos de expedientes entre concesiones.

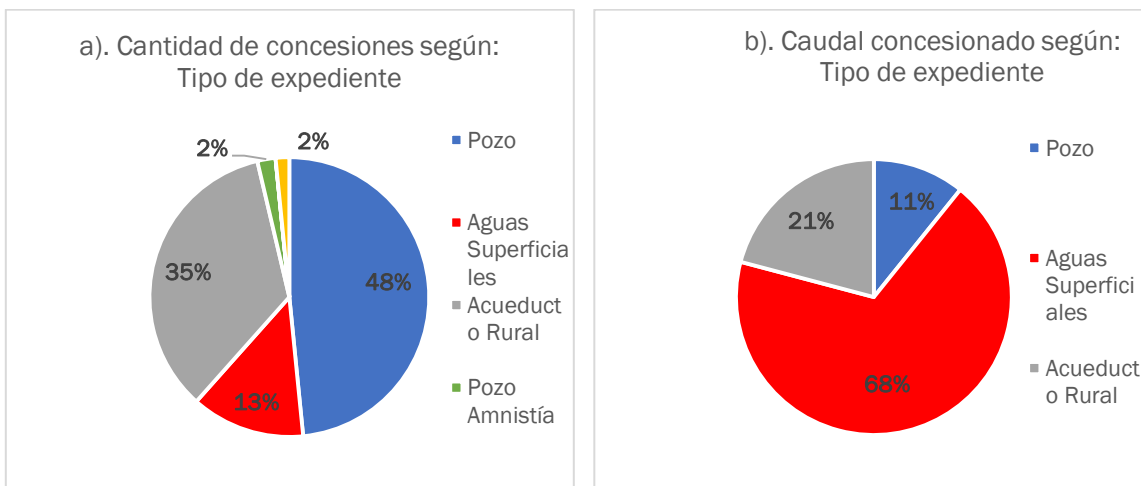


Gráfico 4. Distribución de expedientes por concesiones y caudal.

También se procedió a analizar los caudales conexiónados según el tipo de expediente y tipo de fuente, ya que como se mencionó anteriormente, el tipo de expediente está asociado al carácter del administrador de las concesiones mientras que el tipo de fuente corresponde al origen del recurso hídrico, por lo que puede haber tipos de expedientes que aprovechan el agua de distintas fuentes. El gráfico 5 presenta la proporción del caudal total para cada tipo de expediente, de acuerdo a la fuente de donde proviene.

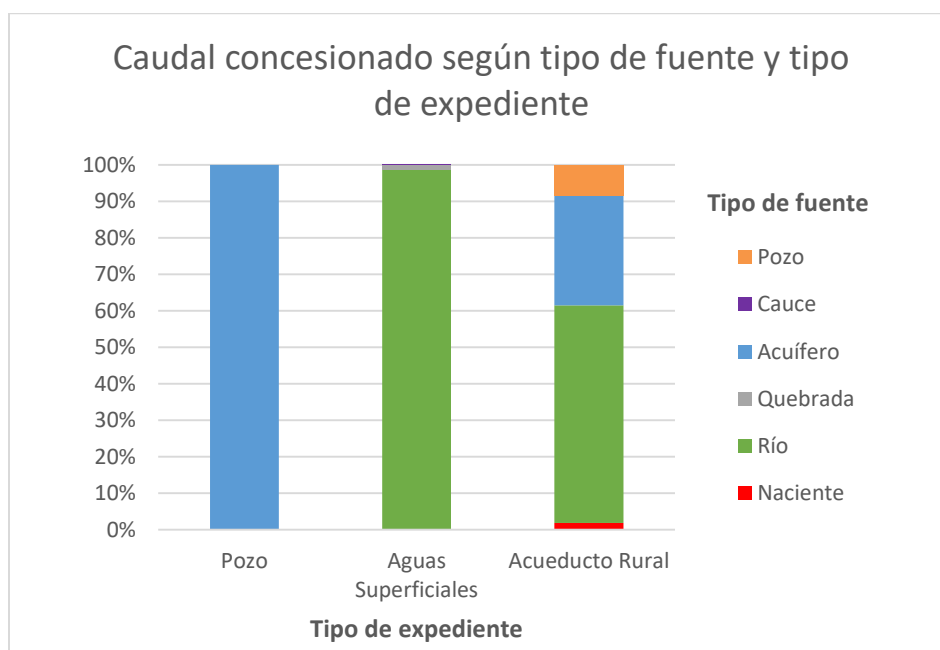


Gráfico 5. Caudal concesionado según tipo de fuente y expediente.

Tal y como es lógico, todo el caudal concesionado a los expedientes de pozos proviene de acuíferos. En el caso de las concesiones con el tipo de expediente de aguas superficiales, casi el total del caudal proviene de ríos (98,5%), con apenas un 0,2% proveniente de nacimientos y un 1,2% de quebradas; dentro de esta categoría existe un error en el SINIGIRH.

Con respecto a los expedientes tipo acueducto rural, un 59,7% del caudal concesionado proviene de ríos, mientras que un 1,8% aprox. procede de nacimientos, en el restante 38,5% se incluye el caudal concesionado tanto del tipo de fuente acuíferos como de pozo.

Finalmente, como se observa en el gráfico 5 las obras en cauce no tienen caudales asignados, debido propiamente al carácter ingenieril de la concesión; en cuanto a los pozos de amnistía, estos no tienen caudales registrados debido a que estos trámites son nuevos y todavía están en proceso.

Para concluir con este apartado de análisis de las concesiones registradas en la base de datos del SINIGIRH, se presenta a continuación el gráfico 6 con los porcentajes de las concesiones que se encuentran bajo las 11 categorías del estado de los expedientes. Se observa que un 47% está otorgado, mientras que un 7% se encuentra cancelado por vencimiento al cual se le suma un 4% de expedientes cancelados. Un 20% corresponden a solicitudes nuevas, un 8% a expedientes inscritos y 9% a expedientes resueltos. El restante 5% se distribuye entre las demás categorías de estado.

Ahora bien, no se realiza el análisis de caudales según el estado del expediente, ya que a pesar de que en primera instancia serían aquellas concesiones activas las que más interesan, la realidad es que muchas de las concesiones canceladas, denegadas o nuevas, están extrayendo parte del recurso aún sin contar con la debida autorización.

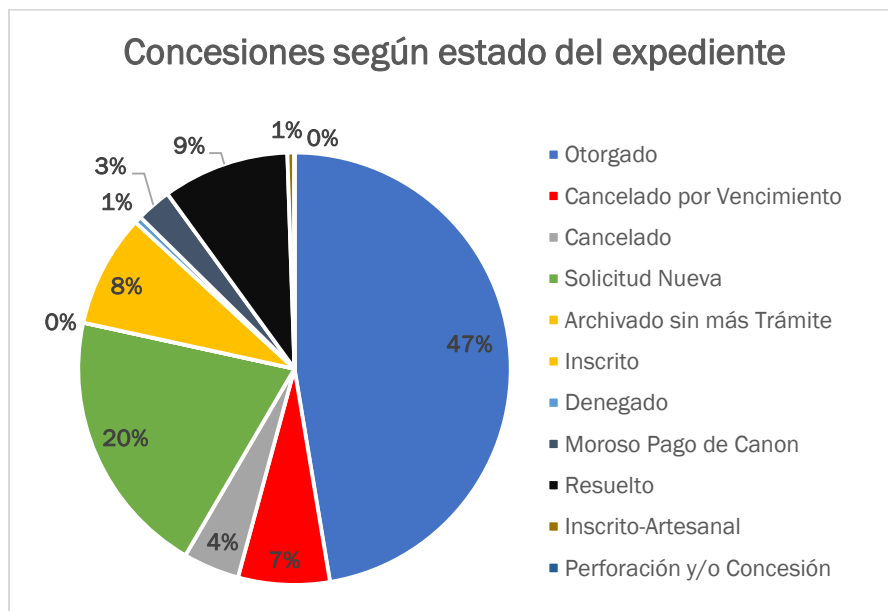


Gráfico 6. Distribución de concesiones según el estado de los expedientes.

5. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

5.1 Insumos para el Balance Hídrico de Suelos

A partir de la revisión y análisis de estudios hidrogeológicos desarrollados por SENARA y de posgrado, se determina que, si bien es cierto que las zonas investigadas se traslapan con la presente área, solo los datos de las pruebas de infiltración de la tesis de Ramos (2005), son útiles, por cuanto las realizadas por Vásquez (2005) y Guzmán (2006), no indican la ubicación.

Con respecto a los valores de Capacidad de Campo, Punto de Marchitez y de Densidad Aparente, tampoco son útiles por cuanto no constan los resultados de laboratorio, y los criterios que establecieron para asignarlos no son claros. Es así, que solo se considera la clasificación de suelos (SUCS), de las muestras tomadas por Ramos (2005). En la figura 15 se muestra la ubicación de las pruebas de infiltración realizadas por Ramos (2005) y en el anexo 6 los resultados de las pruebas la clasificación de los suelos.

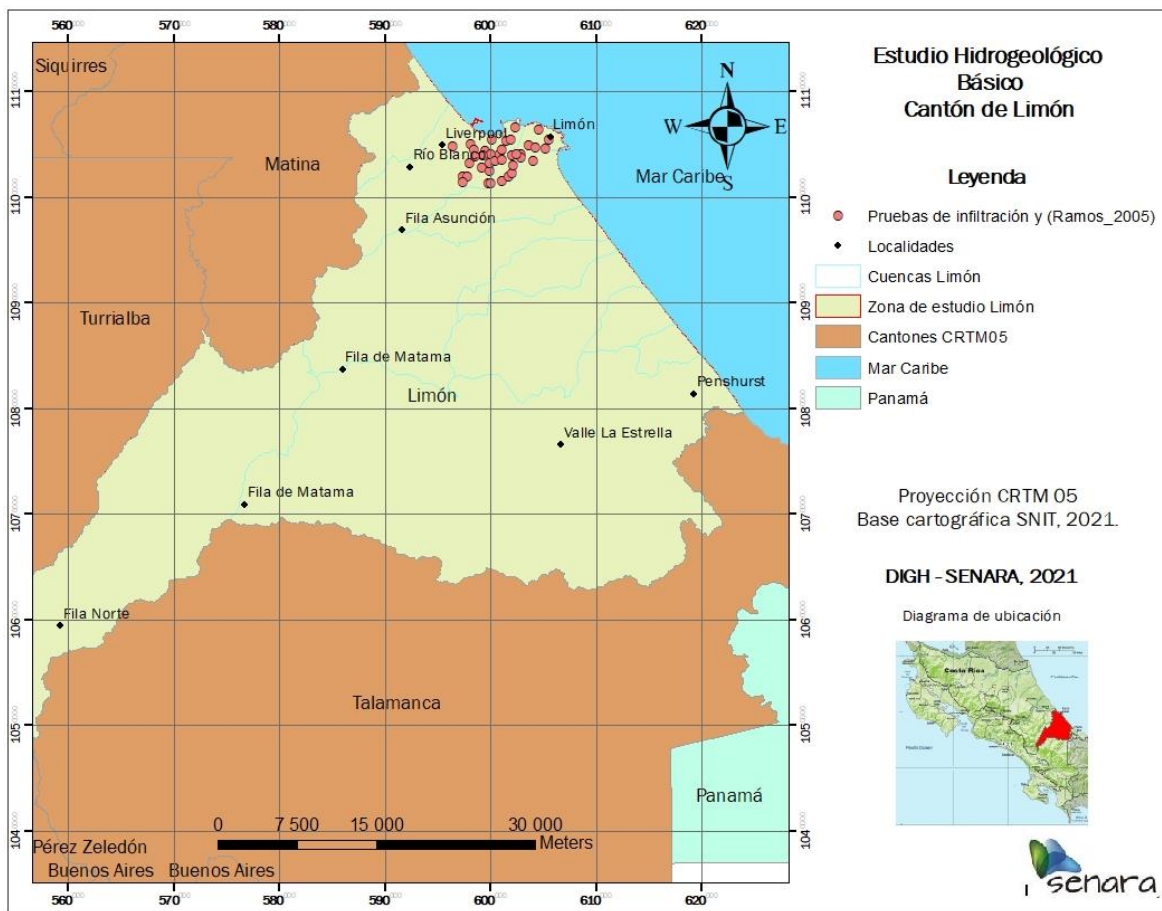


Figura 15. Ubicación de pruebas de infiltración y muestras de suelo, tomadas por Ramos(2005).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del análisis de la información existente en el cantón de Limón, se determina que:

- La información geológica existente describe a nivel regional las formaciones de roca que afloran en el cantón de Limón, no obstante, los rasgos hidrogeológicos disponibles son escasos, muy generales o muy puntuales, con pocos insumos para generar un mayor detalle.

- La distribución tan heterogénea y escasa de pozos, afloros, pruebas de bombeo y la presencia de muchas áreas silvestres protegidas, podrían ser una limitante para la caracterización de las potenciales unidades acuíferas presentes en la zona de estudio. A su vez, los pozos existentes en las formaciones de Depósitos Recientes, Calizas del Pleistoceno y Río Banano solo permiten una caracterización más puntual que regional y específicas para ciertas litologías.

- Para la caracterización a detalle de las unidades hidrogeológicas se va a requerir de la perforación y armado de piezómetros en sitios clave, ejecución de pruebas de bombeo para poder determinar los tipos de acuíferos existentes (libre, semiconfinado o confinado), la vulnerabilidad de estos y así poder girar los lineamientos y recomendaciones para su protección y uso racional.

- Es fundamental que, de previo al planteamiento del estudio hidrogeológico detallado, se desarrollen procesos de socialización para incorporar las necesidades de las comunidades, gobiernos locales, turismo, comercio e industria dentro de los alcances del estudio. El empoderamiento de las fuerzas vivas en estos procesos fortalece los alcances de los estudios, se plantean objetivos realistas y acordes a las necesidades hídricas de la zona.

7. REFERENCIAS

AGUILAR, T & DENYER, P., 2021: Estratigrafía sedimentaria Cretácico-Paleógeno de la cuenca de Limón Sur, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 65: 1-23.

ALFARO, A., DENYER, P., ALVARADO, G.E., GAZEL & CHAMORRO, C., 2018: Estratigrafía y prteografía de las rocas ígenas en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 58: 7-36.

ALVARADO, GE., KUSSMAUL, S., CHIESA, S., GILLOT, P-Y., APPEL, H., WÖRNER, G & RUNDLE, C., 1992: Resumen cronoestratigráfico de las rocas ígens de Costa Rica basado en dataciones radiométricas. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol.6 No.3. pp 151-168. Gran Bretaña.

ASTORGA, A., FERNÁNDEZ, J.A., BARBOZA, G., CAMPOS, L., OBANDO, J, AGUILAR, A & OBANDO, L.G., 1991: Cuencas sedimentarias en Costa Rica, evolución geodinámica y potencial de hidrocarburos. *Revista Geológica de América Central*, 13: 25-59.

AZEMBRE, B. & TOURNON, J., 1977: Les intrusions basiques alcalines du Río Reventazón (Costa Rica). - *C.R. Som. Soc.Geol. France* 2: 104-107.

BELLÓN, H. & TOURNON, 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., 2016: Tratado de sedimentología de la cuenca Limón Sur-Costa Rica: evolución tectono-sedimentaria, secuencia y reconstrucción paleogeográfica. 180 págs. Univ. Costa Rica. [Tesis Licenciatura].

BOTTAZZI, J.A., GONZALEZ, G & VARGAS, J., 1987: Sedimentología del borde norte y noreste de la cuenca Limón Sur. - 85 págs. (informe técnico de RECOPE).

DENGO, G., 1962: Tectonic-igneous sequence in Costa Rica. In: *A Volume to Honor A.F. Budinton: A GSA Special Volume* (edited by A.E. J. Engel, H. L. James, y B.F. Leonard), pp. 133-161. Geological Society of America, Boulder, CO, USA.

CAMPOS, L., 1996: Contribuciones al conocimiento geológico en regiones de interés para el ICE. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Electricidad. - Informe Técnico.33 págs.

DENYER, P. & ALVARADO, G.E., 2007: Mapa geológico de Costa Rica. - Editado por la Librería Francesa. Escala 1:400.000.

DENYER, P & ARIAS, O., 1991: Estratigrafía de la región central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 12:1-59.

DENYER, P, ARIAS, O & ARIAS, M., 1994: Esfuerzos y Paleoesfuerzos de la Cuenca de Limón. *Revista Geológica de América Central*, vol.esp: 53-60.

FERNÁNDEZ, J.A., 1987: Geología de la Hoja Topográfica Tucurrique. – 206 págs, Tesis de Licenciatura en Geología, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.

FERNÁNDEZ, J.A., BOTTAZZI, G., BARBOZA, G & ASTORGA, A., 1994: Tectónica y Estratigrafía de la Cuenca Limón Sur. Revista Geológica de América Central, vol.esp: 15-28.

GAZEL, E., 2003: Las series alcalinas del Plioceno de Costa Rica: distribución espacial y relación con una fuente mantélica tipo OIB. Revista Geológica de América Central, 29: 87-94.

GUZMÁN, G., 2006: Estudio de contaminación por hidrocarburos tipo BTEX, en el Plantel de RECOPE, Moín, Limón, Costa Rica. 220 págs. Univ. Costa Rica. [Tesis de Maestría].

HENNINGSEN, D., 1965: La Fila Costeña del Pacífico y su posición dentro del sistema montañoso centroamericano meridional. -90 págs.

HOFFSTETTER, R., DENGU, G., DIXON, C.G., MEYER-ABICH, H., WEYL, R., WOODRING, W.P & ZOPPIS BRACHI, L., 1960: Lexique Stratigraphique International, vol, Amérique Latine; fasc. 2a : Amérique Centrale. 368 págs, 8 cartes; Centre Nationale de la Recherche Scientifique, Paris.

KRUSHENSKY, R.D., 1972: Geology of the Istarú Quadrangle, CRz. Geol. Survey Bull, 1358, 49 págs., Washignton.

LINKIMER, L. Y AGUILAR, T. (2000). Estratigrafía sedimentaria. En: P. Denyer y S. Kussmaul (Eds.), Geología de Costa Rica (pp. 63-86). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

LLOYD, J. J. (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 -3.

MADRIGAL, R., 1972: Resumen de la estratigrafía de Costa Rica. Escuela Centroamericana de Geología, San José, Costa Rica.

MONTERO, W., 2001: Neotectónica de la región Central de Costa Rica: frontera Oeste de la micro-placa de Panamá. Revista Geológica de América Central, 24: 29-56.

MORA, D., 1980: Delimitación de la unidad hidrogeológica y zona de recarga fuentes Moín.

Mora, S., 1979: Estudio geológico de una parte de la región sureste del Valle del General, Provincia de Puntarenas, Costa Rica. - 185 págs (vol. 1). Univ. de Costa Rica. [Tesis Lic.]

Olsson, A., 1922: The Miocene of northern Costa Rica, part 1-2. Bulletin America Paleontology, (39): 179-460, pl. 1-32. Ithaca.

RAMOS, V., 2005: Estudio hidrogeológico y vulnerabilidad del Acuífero Moín, Limón, Costa Rica. 206 págs. Univ. Costa Rica. [Tesis de Maestría].

SENARA, 2003: Diagnóstico de los recursos hídricos en la región Atlántica, Limón, Costa Rica. 48 págs.

SENARA, 2005. Diagnóstico de las aguas subterráneas en las hojas Estrella y Cahuita, Limón, Costa Rica. 20 págs.

SENARA, 2017. Estudio hidrogeológico de la cuenca del río Blanco y la protección de los pozos de abastecimiento público de la ASADA de Río Blanco, Limón, Costa Rica. 48 págs.

SPRECHMANN, P. (Ed.) (1984). Manual de Geología de Costa Rica. San José, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.

TAYLOR, G., 1975: The geology of the Limon área of Costa Rica. 116 págs. Univ. Louisiana, USA [Tesis doctoral].

TOURNON, J., 1984: Magmatisme du Mesozoique a l'actuel en Amérique Central: L'exemple de Costa Rica, des Ophiolites aux Andésites. 335 págs. Univ. Curie, Paris8 [Tesis doctoral].

TOURNON, J. & ALVARADO, G., 1997: Mapa geológico de Costa Rica. Ed. Tecnológica de Costa Rica. - 79 págs.

VÁSQUEZ, M., 2005: Evaluación del potencial hidrogeológico del acuífero La Bomba, cuenca del río Banano, Limón, Costa Rica. 241 págs. Univ. Costa Rica. [Tesis de Maestría].

8. ANEXOS

ANEXO 1: Datos estaciones meteorológicas, IMN.

ANEXO 2: Información de aforos.

ANEXO 3: Información de pozos, base de datos SENARA.

ANEXO 4: Información de pozos, base de datos AyA.

ANEXO 5: Información de expedientes de concesiones, SINIGIRH, base de datos DA.

ANEXO 6: Información pruebas de infiltración.