

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO EN LA ZONA DE MARBELLA

CUAJINIQUIL, SANTA CRUZ
PROVINCIA DE GUANACASTE



MSc. GEÓL. MARÍA GÓMEZ TRISTÁN

CGCR 286

MAYO, 2019

**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO EN LA ZONA DE MARBELLA
INFORME FINAL**

Realizado según términos de referencia del oficio UEN-GA-2018-01980

CASO: PROYECTO LOMAS DEL SOL-JARDINES DEL SOL

**Marbella, Cuajiniquil, Santa Cruz
Provincia de Alajuela**

**Profesional responsable
Geól. María Gómez Tristán
CGCR 286**



Mayo, 2019

Equipo Profesional:

María Gómez Tristán
Representante legal
MSc. Manejo del Recurso Hídrico e Hidrogeología

Dennis Sojo Rivera
MSc. Técnicas y Aplicaciones en Geología

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.0 Introducción	1
Metodología de trabajo	1
Ubicación	2
2.0 Geología	3
2.1 Geología regional	3
Acuífero Aluvial Depósitos Cuaternarios	4
2.2 Geología local	4
Litologías presentes en el área de estudio	5
2.3 Geomorfología	10
2.4 Geología estructural	12
3.0 Hidrogeología	13
3.1 Inventario de pozos y fuentes	14
Base de datos SENARA	14
3.2 Base de datos MINAE	14
3.3 Datos de fuentes según el levantamiento de campo	16
4.0 Modelo hidrogeológico conceptual	19
4.1 Información utilizada	19
4.2 Modelo hidrogeológico conceptual	21
Acuífero fracturado del Complejo de Nicoya	21
Acuífero Aluvial Depósitos Cuaternarios	22
Líneas equipotenciales	23
5.0 Balance hídrico de suelos	26
5.1 Datos meteorológicos	28
Precipitación	28
Evapotranspiración Potencial (ETP)	29
Pendiente del terreno (Parámetro kp)	30
Cobertura de suelo (parámetro kv)	32
Profundidad de raíces y retención de lluvia (PR y RT)	34
Propiedades de suelos (permeabilidad, K _{fc} , PM, CC y densidad aparente)	37
Permeabilidad (f _c) y capacidad de infiltración (k _{fc})	37
Coeficiente de infiltración (C _i)	42
Parámetros de suelos: Punto de marchitez, Capacidad de campo y densidad aparente	44

Aforos y condiciones de influencia y efluencia	45
Cálculo de la recarga potencial	48
Cálculo de la extracción y la disponibilidad hídrica en los acuíferos	49
Descarga según ley de Darcy.....	51
ANÁLISIS GEOFÍSICO Y EVALUACIÓN DE LA CUÑA DE INTRUSIÓN SALINA	54
Trabajo realizado.....	54
Sondeos eléctrico verticales.....	59
Secciones geo-eléctricas	67
Línea Joya.....	68
Línea Frijolar Norte	69
Línea Frijolar Sur	70
Línea Pithaya.....	71
Datos geofísicos derivados del estudio del AyA.....	72
Pozo Jardines del Sol (MA-51).....	74
- Análisis Pozo MA-6.....	75
Pozo Jardines del Sol (MA-51).....	76
Pozo MA-6	76
7. CALIDAD DE AGUAS SUBTERRANEAS.....	77
8.0 Ubicación posible perforación pozos.....	81
Ubicación y justificación de sitios para la perforación de pozos.....	81
Conclusiones y recomendaciones.....	85
Referencias.....	89

1.0 Introducción

El presente estudio se realizó de acuerdo con lo indicado según los términos de referencia dispuestos en el oficio **UEN-GA-2018-01980** del día 14 de noviembre del 2018 y aprobados por el Comité Técnico Interinstitucional conformado por SENARA, Dirección de Aguas y AyA, mediante sesión celebrada el día 15 de enero del año 2019, minuta CI-001-2019, para **el Estudio Hidrogeológico en la zona de Marbella, caso: proyecto Lomas del Sol-Jardines del Sol** en la localidad de Marbella, distrito 6 Cuajiniquil, cantón 3 Santa Cruz, provincia de Guanacaste.

Metodología de trabajo

La metodología de trabajo se dividió en cuatro etapas principales, las cuales se describen a continuación.

- Geología e hidrogeología
 - Compilación bibliográfica
 - Levantamiento de campo incluyendo geología básica, geología estructural, geomorfología
 - Cartografiado geológico
 - Elaboración del modelo hidrogeológico conceptual
- Balance de suelos
 - Realización de 20 ensayos de infiltración con el método de doble anillo
 - Toma de muestras para análisis de capacidad de campo y punto de marchitez en laboratorio
 - Realización de aforos diferenciales
 - Determinación del uso del suelo
 - Identificación de estación meteorológica para análisis de datos climáticos
 - Análisis mediante hoja electrónica y elaboración de mapas de balance hídrico de suelos de acuerdo con metodología de Schosinsky (2006)
- Prospección geofísica
 - Elaboración de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) con el arreglo Schlumberger
 - Análisis de datos geofísicos obtenidos en campo
 - Elaboración de perfiles geo eléctricos para determinar ubicación de cuña de intrusión salina
- Ubicación de posibles sitios de perforación
 - A partir del modelo geológico e hidrogeológico, se definen posibles sitios para la prospección geofísica y así determinar posibles sitios de perforación

Ubicación

El área de estudio (Figura 1) se sitúa en el sector suroeste de la provincia de Guanacaste, en el cantón de Santa Cruz, distrito de Cuajiniquil, a unos 40 km al Suroeste de la ciudad de Santa Cruz. Forma parte de la hoja topográfica Marbella de escala 1:50 000. El poblado de Marbella es el principal asentamiento de la zona. Colinda al oeste con la costa pacífica, al sur con el río Tabaco, al norte con el río Lagarto y Punta Coco y al Este con el cerro Los Novillos.



Figura 1. Ubicación del área de estudio.

2.0 Geología

2.1 Geología regional

Aflora a lo largo de la costa Pacífica en las penínsulas de Nicoya, Santa Elena, Osa y Burica, como también en los promontorios de Quepos y Herradura. Dengo (1962a, 1962b) realiza estudios en el Complejo de Nicoya e incluye varias unidades de rocas ígneas (diabasa, dioritas y gabros, dispuestos en diques, sills y stocks, como abundantes coladas de basaltos en almohadillas y peridotitas). La geología regional (figura 2) de la zona de estudio, se describen en el trabajo realizado por Denyer et al. (2014), específicamente en el mapa geológico de la hoja topográfica Marbella. Dichos autores indican que las litologías de la región corresponden con basaltos afaníticos asociados al Complejo de Nicoya, el cual presenta edades entre Jurásico y Cretácico, las cuales son sobreyacidas discordantemente por Depósitos de playa y por Depósitos aluviales de edad reciente (Cuaternario).

También es indicado por dichos autores que en el área de estudio sobresalen una serie de estructuras tipo “almohadilla” o bien “*pillow*”, las cuales son normalmente observadas en este tipo de litología debido a su formación y rápido enfriamiento en el piso oceánico.

Desde el punto de vista estructural *ibid.* señalan que al norte de la región se observan trazas de una posible estructura de falla y que en general la región forma parte de la superficie de erosión Sámara-Tamarindo. Esta estructura erosiva se asocia a períodos de quietud tectónica y a procesos erosivos durante el periodo en que los materiales han estado emergidos.

El desarrollo de las siguientes etapas de la presente investigación se basan en el contexto geológico regional descrito anteriormente.



Figura 2. Mapa geológico regional, tomado de Denyer et al., 2014.

Acuífero Aluvial Depósitos Cuaternarios

2.2 Geología local

Este apartado se desarrolla considerando lo indicado en el apartado de Geología Regional además de un levantamiento detallado de afloramientos en el campo (el detalle de los puntos levantados en el campo se presenta en el Anexo 1), observación de modelos de elevación del terreno, determinación de aspectos geomorfológicos y análisis de la información de reportes litológicos de pozos (archivo SENARA, 2018).

En términos generales, se integran los datos geomorfológicos, geológicos y estructurales de la zona.

La escala utilizada para el levantamiento geológico, geomorfológico y geológico estructural es de 1:18 500.

Litologías presentes en el área de estudio

Se determinó que en el área de estudio afloran 3 unidades geológicas; las cuales incluyen un basamento rocoso asociado a basaltos del Complejo de Nicoya sobreyacidos discordantemente por los depósitos Cuaternarios asociados a la acción fluvial y litoral.

La distribución espacial de estas unidades puede ser observada por medio del mapa geológico local, Figura 3. Las relaciones estratigráficas y otras características de las unidades geológicas y geomorfológicas se incluyen en los perfiles geológicos A-B y C-D, Figura 4.

En el perfil A-B, con rumbo N50°E y una longitud de 3500 m, se pueden observar los Depósitos de Playa frente a la línea de costa, los Depósitos Aluviales, así como zonas correspondientes con las Superficies de Aplanamiento 1, 2 y 3; correspondientes con basaltos del Complejo de Nicoya. En el perfil C-D, con rumbo S45°E, una longitud de 3200 m; se pueden observar Basaltos de Complejo de Nicoya con su respectiva Superficie de Aplanamiento No. 2 y 1, así como los Depósitos Aluviales asociados al río Tabaco.

Basaltos del Complejo de Nicoya

Los basaltos del Complejo de Nicoya corresponden con el basamento rocoso local. De acuerdo con el levantamiento de campo, se comprobó que dichos basaltos se encuentran como coladas de lava basáltica con tonalidades grisáceas así como la presencia de hialoclastitas.

Presenta abundantes estructuras en almohadilla, siendo esta una característica constante en la mayoría de afloramientos; principalmente los cortes de taludes (Fotografía 1) o bien en afloramientos en la zona de la costa.



Fotografía 1. Afloramiento de basalto en la coordenada 341435-231815, donde se observa basalto con estructuras en almohadilla, proyección Lambert Norte

Los materiales del Complejo de Nicoya en la zona de estudio, presentan en el caso de los basaltos una cobertura de alteración de arcilla y las hialoclastitas presentan minerales de alteración de

cloritoides. Se observan además bloques relictos de basaltos flotando en la matriz de arcilla asociada a la meteorización.

Los basaltos del Complejo de Nicoya son sobreyacidos mediante una discordancia angular por los depósitos de playa y los depósitos aluviales.



Fotografía 2. Basalto alterado. coordenada 341435-231815, proyección Lambert Norte

Depósitos Aluviales

La presencia de los Depósitos Aluviales están asociados principalmente a la dinámica del río Tabaco. Dicha Unidad geológica sobreyace discordantemente a los basaltos del Complejo de Nicoya y presenta un contacto lateral con los Depósitos de Playa.

Los Depósitos Aluviales están constituidos por intercalaciones de grava, arenas, bloques y arcillas. En general se observa que todos los granos de arena y los clastos de grava, están compuestos por materiales lávicos de tonalidad oscura.



Fotografía 3. Afloramiento de los depósitos aluviales donde se observan arcillas, arenas y gravas. Coordenada 343595-230285, proyección Lambert Norte

Según las observaciones de campo esta unidad presenta un espesor cercano a los 10-15 m, lo cual se pudo comprobar con Sondeos Eléctricos Verticales, como el sondeo SEV-Prosp-2 (esto se detallará más adelante).

Depósitos de Playa

Esta unidad sobreyace discordantemente a los basaltos y presenta un contacto lateral con los Depósitos Aluviales. Se compone principalmente por arenas de playa y en general presenta poco espesor, en el orden de los 5 m o menos.



Fotografía 4. Afloramiento del contacto entre los Depósitos de Playa y los basaltos, donde además se observa cierta descarga de agua en esta superficie. Coordenadas 341135-230470, proyección Lambert Norte



SIMBOLOGÍA














- | | | | |
|---|----------------------------|---|--|
|  | Área de estudio |  | Pozo sin información |
|  | Cuerpo de agua |  | Pozo con información litológica |
|  | Curva de nivel (cada 10 m) |  | Pozo con información litológica, armado, parámetros |
|  | Camino |  | Pozo con inf. de parámetros, litología, bombeo, etc. |
|  | Perfil geológico |  | Depósitos de Playa |
|  | Alineamiento |  | Depósitos Aluviales |
| | |  | Basaltos del Complejo de Nicoya |

Figura 3: Mapa de geología local del área de estudio

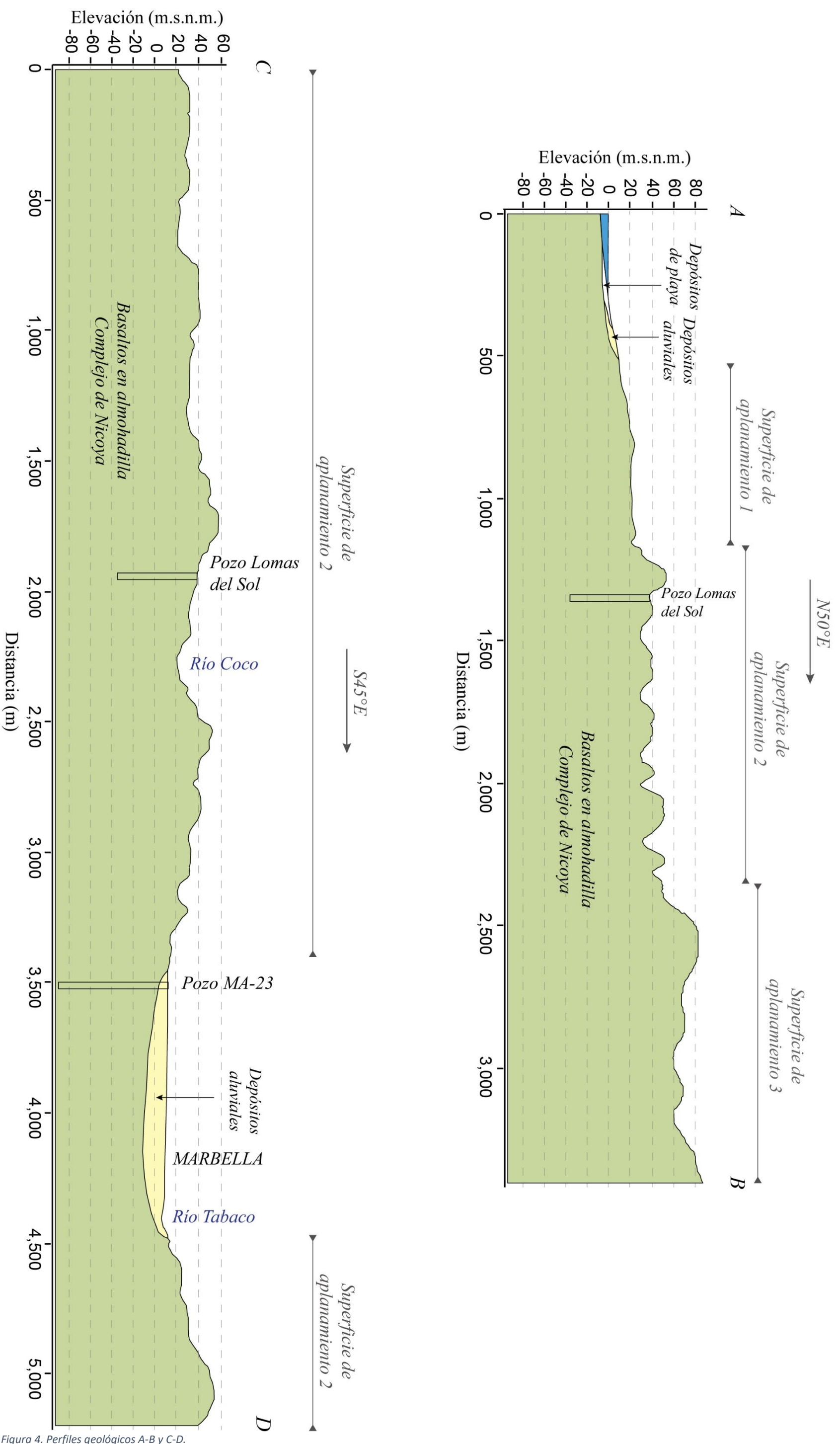


Figura 4. Perfiles geológicos A-B y C-D.

2.3 Geomorfología

Se determina que el área de estudio está compuesta por al menos 5 unidades geomorfológicas; tres de ellas asociadas a las superficies de erosión (superficie de Sámara-Tamarindo según Denyer et al., 2014) y dos unidades asociadas a la acción fluvial-litoral y marina, figura 5.

Superficie de erosión No. 3

Se trata de un sector del área de estudio que presenta morfología semiplana, pendientes bajas a moderadas (5-15%), patrón de drenaje dendrítico, con presencia de cerros relictos y con elevación promedio (entre 60 y 80 m.s.n.m.). Dicha Superficie de erosión corresponde con la superficie más alejada de la línea de costa.

Superficie de erosión No. 2

Esta unidad se presenta en la parte media del área de estudio, corresponde con una franja orientada NW-SE, con relieve muy ondulado. Presenta pendientes moderadas a fuertes (15-35%), patrón de drenaje dendrítico a rectangular y elevaciones promedio entre 30 y 60 m.s.n.m. El patrón de drenaje dendrítico a rectangular es de relevancia desde el punto de vista hidrogeológico ya que dicho patrón estaría asociado a un control estructural el cual a su vez sugiere la presencia de un fracturamiento secundario importante en la zona.

En la Superficie de erosión No. 2 la mayoría de los cerros asociados al Complejo de Nicoya presentan superficies planas.

Superficie de erosión No. 1

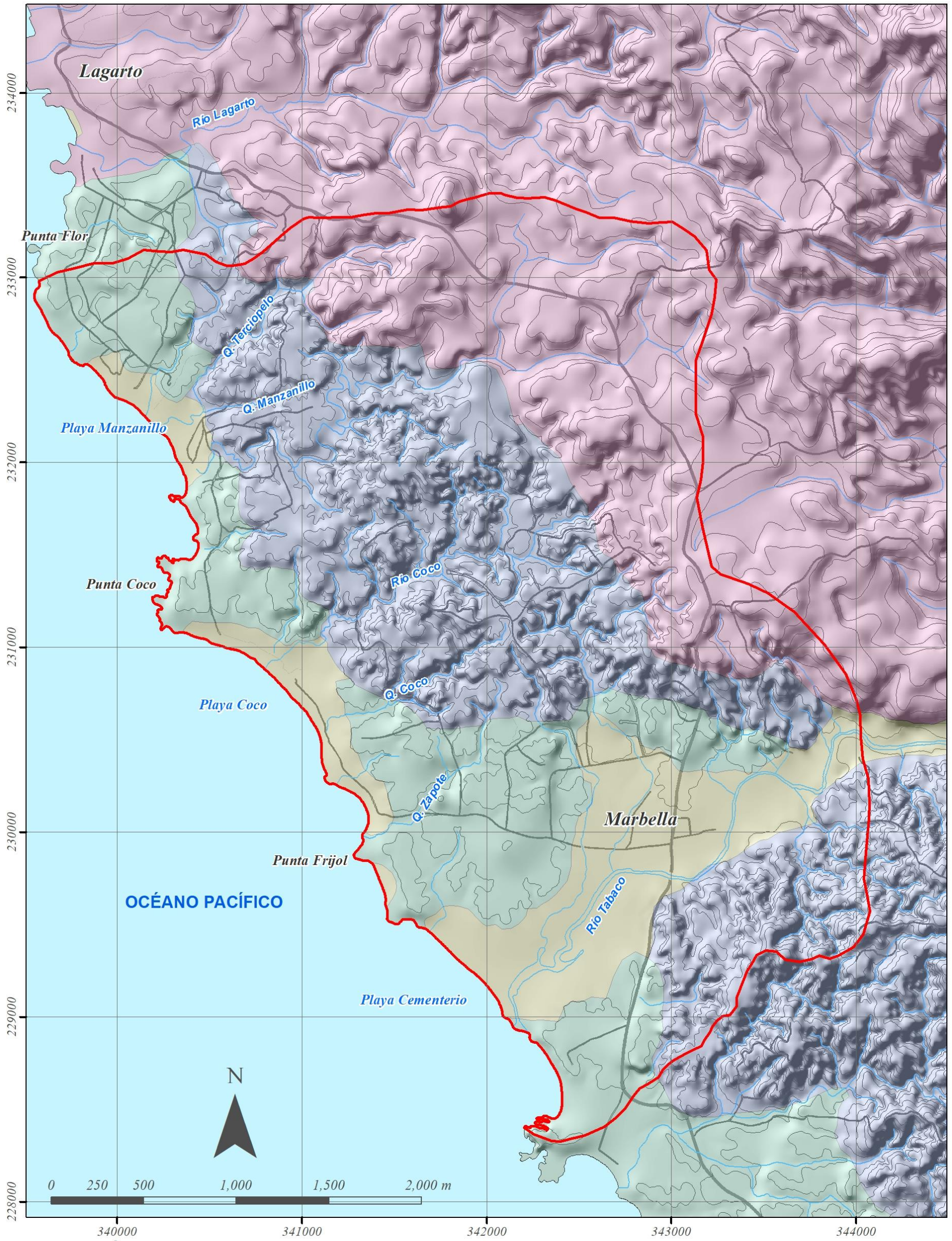
La Superficie de erosión No. 1 se encuentra cerca de la línea de costa, con elevaciones promedio menores a 20 m.s.n.m., relieve semiplano, con pendientes bajas (menores al 10%), sistema de drenaje incipiente.

Llanura Aluvial

Se trata de los materiales aluviales asociados principalmente a la actividad de los ríos Tabaco y Coco. En general presenta pendientes muy planas (menores al 3%) y patrón de drenaje meándrico en el caso del río Tabaco. Las elevaciones máximas son de 20 m.s.n.m., con topografía plana.

Depósitos de Playa (sistema litoral)

Los Depósitos de Playa incluyen las plataformas de abrasión que se observan en la costa. Se compone por bermas de arena con poco espesor, las cuales sobreyacen a la plataforma de abrasión. Se trata de depósitos localizados a lo largo de la línea de costa, con poca extensión y espesor



SIMBOLOGÍA

- Área de estudio
- Cuerpo de agua
- Curva de nivel (cada 10 m)
- Llanura aluvial-playa
- Superficie de erosión 1. Elevación promedio 10-20 m.s.n.m.. Patrón de drenaje incipiente, pendientes bajas
- Superficie de erosión 2. Elevación promedio 30-60 m.s.n.m.. Patrón de drenaje dendrítico a rectangular, pendientes fuertes
- Superficie de erosión 3. Elevación promedio 60-80 m.s.n.m.. Patrón de drenaje dendrítico, pendientes moderadas

Figura 5: Mapa geomorfológico regional

2.4 Geología estructural

De acuerdo con el levantamiento geológico local se observan una serie de alineamientos con orientación NE, los cuales se asocian a fracturas de esta misma orientación (Figura 4). Además es posible observar alineamientos de menor magnitud relacionados a los pares conjugados de la orientación de los esfuerzos.

En general se estima que los alineamientos de orientación NE corresponden con estructuras distensivas características del sector de la Península de Nicoya donde se encuentra la zona de estudio. Asociado a dichas estructuras distensivas se encuentra el “*graben*” de Nosara, situado a 16 km hacia el SE del área de estudio, con una orientación general hacia el NE. De esta manera, se considera que la llanura aluvial donde se encuentra el poblado de Marbella corresponda con una estructura de “*graben*” incipiente, al igual que el sector central del área de estudio (Cuenca del Río Coco), donde se observa la mayor cantidad de alineamientos, Figura 3, 4 y 5.

Durante el trabajo de campo se encontraron varios afloramientos que presentan estructuras asociadas a fracturas. Se determinó que en todos los afloramientos existen al menos 3 familias de fracturas, con orientaciones variadas, en general EW, NE y NNW (Fotografía 5).



Fotografía 5. Fracturas encontradas en la Superficie de erosión 2.

La mayoría de estas fracturas son distensivas, lo cual se pudo corroborar en algunos afloramientos donde se observó descarga de agua subterránea asociadas a dichas estructuras (Fotografía 6 y fotografía 7).



Fotografía 6. Plano de orientación EW en el río Coco, coordenadas 341760-231425, proyección Lambert Norte



Fotografía 7. Detalle del plano de la fotografía anterior donde se observa que las fracturas con orientación aproximada NS se presentan saturadas y se observa descarga de agua, coordenadas 341760-231425, proyección Lambert Norte

Las evidencias geomorfológicas, el levantamiento de datos estructurales en el campo, las observaciones de efluencia de agua subterránea por medio de fracturas y la deformación regional del sector indican que la localidad estudiada se encuentra afectada por una serie de estructuras con orientación principal NE y NNW. Dichas estructuras influyen la dinámica del flujo subterráneo, principalmente en sectores con mayor grado de deformación (cuencas del río Coco y del Río Tabaco).

3.0 Hidrogeología

En este apartado se presenta la compilación de datos bibliográficos y geoespaciales consultados en las bases de datos del MINAE y SENARA (2019). También se presentan los datos de fuentes de agua potable identificados en el campo. A partir de dicha información se definen las unidades hidrogeológicas de la zona de estudio.

3.1 Inventario de pozos y fuentes

Base de datos SENARA

A partir de la base de datos de pozos registrados en SENARA (2019) , se tienen un total de 15 pozos perforados registrados dentro del área de estudio (cuadro 1) y 2 pozos perforados no registrados (Anexo 2); los cuales incluyen el pozo de la ASADA de Marbella y el pozo de Lomas del Sol. No hay nacientes registradas en la zona de estudio.

Cabe aclarar que se utilizaron algunos pozos aledaños a la zona delimitada de estudio, sin embargo, el cuadro 1 como ya se indicó, incluye aquellos pozos que están dentro de la delimitación de la zona de estudio.

Cuadro 1. Inventario de fuentes según SENARA (2019).

POZO	Y	X	PROPIETARIO	PROF. (m)	Q (l/s)	USO
MA-60	230579	341432	3-101-557948, S.a.	60	0.05	DOMESTICO
MA-9	232900	339950	NONECO S.A	11	0.50	DOMESTICO
MA-8	232625	342600	ARMANDO JOR JAVIER	ND	0.50	DOMESTICO
MA-6	230960	341040	JASMINA AROUCHI	ND	0.50	DOMESTICO
MA-48	232721	342176	TECA Y MAR S.A	45	0.50	Varios
MA-49	229892	343456	MARBELLA HEIGHTS CENTRAL S.A.	40	1.00	Varios
MA-20	230900	343075	FRILANA DINARTE MATARRITA	30	1.00	DOMESTICO
MA-51	230382	341594	Jardines De Marbella, S.a.	30	1.30	Varios
MA-36	233180	340900	NONECO S.A	30	2.50	RIEGO
MA-29	231628	342241	FINCA MARBELLA DOS MIL DOS	40	2.50	Varios
MA-21	229077	342736	ALON SELA	45	2.50	DOMESTICO
MA-59	231468	343790	Bomba El Gallito, S.a.	30	3.00	Varios
MA-24	231538	342052	DESARROLLOS CALCOS DC S.A.	50	3.00	Varios
MA-30	231413	342195	DESARROLLOS CALCOS S.A	50	3.17	Varios
MA-23	230450	342550	LA FANTASIA DE MARBELLA JM S.A.	100	4.00	DOMESTICO
ASADA MARBELLA	230104	343274	ASADA MARBELLA	ND	6.00	ABAST. PUBLICO

ND: no hay dato.

3.2 Base de datos MINAE

Se consultó la base de datos de la Dirección de Aguas del MINAE y se determinó que existen un total de 12 fuentes registradas dentro del área de estudio y no hay registro de nacientes. A partir del inventario de fuentes (MINAE, 2019), se tienen dos expedientes cancelados por vencimiento, una fuente inscrita (pozo ASADA de Marbella), una fuente otorgada, 6 fuentes como solicitud nueva, una fuente inscrita como pozo artesanal y una fuente morosa, cuadro 2.

Cuadro 2. Inventario de fuentes según MINAE (2019)

NUM EXP	TIPO EXP	ESTADO EXPEDIENTE	LATITUD (Y)	LONGITUD (X)	POZO	CLIENTE	USOS
9803	P	CANCELADO POR VENCIMIENTO	230960	341040	MA-06	ALBA MARBELLA S.A	n.d.
10606	P	CANCELADO POR VENCIMIENTO	232452	340037	MA-9	NONECO S.A	0,92 l/s: Riego / 0,08; Consumo humano
10606	P	CANCELADO POR VENCIMIENTO	233450	340450	MA-9	NONECO S.A	0,92 l/s: Riego / 0,08; Consumo humano
10606	P	CANCELADO POR VENCIMIENTO	233500	340412	MA-9	NONECO S.A	0,92 l/s: Riego / 0,08; Consumo humano
545	P	INSCRITO	230083	343257	P1- MARBELLA	ASADA MARBELLA SANTA CRUZ	0,92 l/s: Riego / 0,08; Consumo humano
12899	P	MOROSO PAGO CANON	231413	342195	MA-30	MARBELLA DOS MIL DOS S.A	n.d.
16838	P	OTORGADO	230534	341413	MA-60	3-101-557948 S.A	n.d.
16536	P	SOLICITUD NUEVA	228400	343600		INVESTMENTS MARBELLA BEACH, S.A.	n.d.
16536	P	SOLICITUD NUEVA	229892	343456		INVESTMENTS MARBELLA BEACH, S.A.	n.d.
13662	P	SOLICITUD NUEVA	229077	342736	MA-21	ALON SELA	n.d.
14549	P	SOLICITUD NUEVA	230327	341594	MA-51	JARDINES DE MARBELLA S.A	n.d.
14929	P	MOROSO PAGO CANON	228400	342600		PYXIS VEINTIUNO, S.A.	n.d.
16536	P	SOLICITUD NUEVA	229892	343456	MA-49	INVESTMENTS MARBELLA BEACH S.A.	n.d.
16891	P	SOLICITUD NUEVA	231468	343790	MA-59	BOMBA EL GALLITO S.A	n.d.
18187	P	SOLICITUD NUEVA	232648	341995	n.d.	3101476457 S.A	n.d.
18189	P	SOLICITUD NUEVA	230136	343458	n.d.	GATA VACA SRL	n.d.

*n.d.: No hay dato

3.3 Datos de fuentes según el levantamiento de campo

El levantamiento de pozos en el campo se realizó en conjunto con el personal UEN Gestión Ambiental del AyA; el día 20 de diciembre del año 2018, tanto para pozos artesanales, pozos perforados así como fuentes de abastecimiento público. Se ubicaron las fuentes con GPS y se midieron los niveles freáticos en aquellos pozos donde fue posible hacer las respectivas mediciones, figura 6.

Con base en los datos obtenidos en el campo, fue posible corroborar la ubicación de pozos adentro del área de estudio, registrados en las bases de datos de SENARA y MINAE. Además se identificaron como ya se indicó, dos pozos perforados no registrados en las bases de datos del SENARA y MINAE (2019). A partir del levantamiento de fuentes en el campo, se determinaron 11 pozos para realizar el muestreo de calidad de aguas, cuyas muestras fueron obtenidas el jueves 10 de enero del año en curso.

El cuadro 3 muestra el inventario de pozos identificados en el campo, figura 6. El pozo MA-18 está fuera del área de estudio pero fue posible medir el nivel estático en el campo.

Por otra parte, el cuadro 4 muestra el levantamiento de pozos artesanales en el campo. En total se ubicaron 14 pozos artesanales. En dichos pozos se midió el nivel estático pero no fue posible medir en todos los casos la profundidad de los pozos artesanales.

Cuadro 3. Inventario general del pozos según levantamiento de campo en diciembre 2018.

POZO	Y	X	PROPIETARIO	Nivel estático (m) Medido en campo 2018	USO
MA-9	339950	232900	Noneco, S.A.	11,0	Doméstico
MA-8	341598	232430	Armando Jor Javier	2,73	Doméstico
MA-60	341495	230577	3-101-557948, S.A.	n.d.	Doméstico
MA-6	340997	230851	Jasmina Arouchi	2,7	Doméstico
MA-59	343790	231468	Bomba El Gallito, S.a.	n.d.	Varios
MA-51	341594	230382	Jardines De Marbella, S.A.	No fue posible de medidr por las condiciones del pozo	Doméstico-Riego
MA-49	343456	229892	Marbella Heights Central S.A.	5,38	Abast. Publico
MA-48	341241	232445	Teca y Mar S.A	2,01	Doméstico-Riego
MA-36	340900	233180	Noneco, S.A.	n.d.	Riego
MA-30	342195	231413	Desarrollos Calcos S.A	n.d.	Riego-Domés-Turist.
MA-29	342241	231628	Finca Marbella Dos Mil Dos	n.d.	Riego-Domés-Turist.
MA-28	343653	232772	Invers. Y Desarrollos Mérida	4,36	Riego-Domés-Turist.
MA-24	342052	231538	Desarrollos Calcos DC S.A.	n.d.	Riego-Domés-Turist.
MA-23	342497	230391	Asada Posada del Sol	3,6	Doméstico
MA-21	342736	229077	Alon Sela	3,24	Doméstico
MA-20	343075	230900	Frilana Dinarte Matarriba	7,44	Doméstico
ASADA MARBELLA	343274	230104	ASADA de Marbella	4,84	Abast. Público

LOMAS DEL SOL	341578	231661	Pozo Lomas del Sol	20,15	Abast. Público
---------------	--------	--------	--------------------	-------	----------------

ND: no hay dato

Cuadro 4: Inventario de pozos artesanales, ubicados en campo mes de diciembre 2018.

Pozo	Longitud	Latitud	Descripción	N.E. tomado en campo (m)	Profundidad (m)
1	342156	230026	POZO ARTESANAL	4,6	ND
2	341197	230445	POZO ARTESANAL	1,55	ND
3	342156	230026	POZO ARTESANAL	4,6	ND
4	343048	230819	POZO ARTESANAL	4,09	20
5	342492	228740	POZO ARTESANAL	5,11	ND
6	342478	228501	POZO PLAYA CONCAVAS	2,09	ND
7	342445	229892	POZO ARTESANAL	3,06	5.8
8	341647	230078	POZO ARTESANAL	3,36	ND
9	341990	232541	POZO ARTESANAL NIKO	6,89	ND
10	342643	232577	POZO ARTESANAL	0,51	ND
11	343111	229965	POZO ARTESANAL D. ISABEL	6,03	6.9
12	343143	229969	POZO CARLOS	4,95	10.3
13	343161	230015	POZO ARTESANAL D.PINA	3,9	4.65
14	342463	229898	POZO ARTESANAL	0,63	ND

ND: no hay dato



SIMBOLOGÍA







- | | | | |
|---|----------------------------|---|---|
|  | Cuenca hidrográfica |  | Pozo registrado en SENARA con ubicación corroborada en el campo |
|  | Cuerpo de agua |  | Pozo artesanal según observaciones de campo |
|  | Curva de nivel (cada 10 m) | | |
|  | Camino | | |

Figura 6: Inventario de pozos levantados en campo

4.0 Modelo hidrogeológico conceptual

4.1 Información utilizada

El modelo hidrogeológico conceptual incluye datos de pozos incluidos en los cuadros 1,2,3 y 4. Sin embargo, se incluyeron algunos pozos aledaños al área delimitada de estudio ya que poseen datos de calidad.

La generación de líneas equipotenciales se realiza con base en los datos de nivel estático medidos en campo. Por otra parte, se consideran las observaciones realizadas en el campo incluyendo afloramientos y estratigrafía local y regional, figura 7.

Los datos de cada informe de perforación consultado en el presente informe se incluyen en el anexo 2.

Cuadro 5. Datos específicos de pozos para la elaboración del MHC.

Pozo	Litología	Armado	Observaciones	N.E. campo (diciembre 2018)	Propietario	Calidad aguas
MA-27	0-10 m: Pátina meteorización Complejo Nicoya / 10-138 m: Basaltos fracturados Complejo de Nicoya	n.d.	Fuera del área de estudio / Transmisividad: 1,02 m ² /día / Nivel estático: 37 m / Nivel dinámico: 64,5 m / Caudal: 2,0 l/s	No aplica	Crystal Rivers, S.A.	n.d.
MA-28	0-1 m: Suelo arcilloso / 1-40 m: Complejo Nicoya levemente fracturado	n.d.	Fuera del área de estudio // Caudal: 1,0 l/s / Nivel estático: 4,36 l/s / 5,29 m / Caudal: 2,5 l/s	No aplica	Invers. Y Desarrollos Mérida, S.A	n.d.
MA-54	0-5 m: Suelo color rojizo basaltos meteorizados / 5-21 m: Basaltos Complejo de Nicoya / 21-70 m: Basaltos Complejo Nicoya	Nivel estático: 11,4 m	Nivel estático: 11,4 m	n.d.	3-102-614655 S.R.L	n.d.
MA-29	0-1 m: Suelo / 1-40 m: Rocas Complejo Nicoya // Mayor aporte entre 20-40 m	0-6 m: Sello Sanitario concreto / 0-6 m: Tubería ciega PVC SDR-26 / 6-18 m: Tubería ranurada / 18-24 m: Tubería ranurada / 24-40 m: Tubería ciega PVC	Caudal prueba bombeo: 4,5 l/s / Nivel inicial: 4,36 m / Nivel final: 5,29 m	n.d.	Finca Marbella Dos Mil Dos, S.A.	n.d.
MA-30	0-7 m: Suelo limo arcilloso / 7-19 m: Formación Coluvio Aluvial Color Café / 19-50 m. Rocas fracturadas Complejo Nicoya	0-6 m: Sello sanitario concreto / 6-18 m: Tubería ranurada PVC SDR-26 / 18-24 m: Tubería ciega PVC / 24-30 m: Tubería ranurada / 30-36 m: Tubería ciega PVC SDR-26 / 36-48 m: Tubería ranurada PVC / 48-50 m: Cenicero /	Nivel estático: 8,10 m / N.Dinámico: 8,29 m	n.d.	Desarrollos Calcos S.A.	n.d.

MA-60	n.d.	n.d.	Tubería PVC 6 pulgadas / Pozo con tapón	n.d.	3-101-557948, S.A.	n.d.
MA-25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Guanacaste Land Development, S.A.	n.d.
MA-9	0-8 m: Material arcillo arenoso color café, P.A. baja. 8-11 m: Basamento rocoso fracturado. 11 : Basamento rocoso aparentemente se trata de lavas del complejo de Nicoya, color gris, P.A. baja	Sello sanitario de 0-2 m / 0-8 m: Tubería ciega / 8-11 m: Tubería ranurada	Capa entre 8 y 11 m	n.d.	Noneco, S.A.	n.d.
MA-8	n.d.	n.d.	n.d.	2,73 m	Armando Jor Javier	n.d.
MA-6	n.d.	17,0 m profundidad	n.d.	2,7 m	Jasmina Arouchi	Sí
MA-48	n.d.	n.d.	n.d.	2,01 m	Teca y Mar, S.A.	Sí
MA-46	0-8m: arcilla de color café oscuro 8-15 m: Basaltos del Complejo de Nicoya	Sello concreto de 0-10,0 m / Pozo abierto entre 10,0 a 15,0 m	Afuera área proyecto / N.E. : 10 m	n.d.	Big Blue Stem LTDA.	n.d.
MA-49	0-6: Suelo Negro. 6-41,2: Arcilla Café. 14,2-46,3: Basalto Negro. 46,3-68,4: Basaltos negros fracturados	Acuífero freático, fisural en lavas basálticas, fracturadas del Complejo de Nicoya, perforado en abril del 2008. Agua potable según estudios bacteriológicos y físico químicos.	Transmisividad: 10,34 m ² /día / Agua potable según análisis	5,38 m	Marbella Heights Central, S.A.	n.d.
MA-20	n.d.	n.d.	n.d.	7,44 m	Frilana Dinarte Matarrita	n.d.
MA-18	0-6: suelo negro. 6-14,2: arcilla café. 14,2-45,6: Basalto negro. 45,6-76: Basalto negro fracturado	Caudal: 7 l/s, Trans: 13,41 m ² /día, capacidad esp:0,79 l/s/m / N.E.: 4,8 m / N.D. : 16,6 m / Q: 7,0 l/s	n.d.	n.d.	Investments Marbella Beach, S.A.	n.d.
MA-51	0-4 m: Arcilla plasticidad alta / 4-13 m: Basaltos meteorizados color café C.N. / 13-27 m: Basaltos color gris con fracturas	Sello sanitario 0-3 m / Tubería ciega 0-12 m / Tubería ranurada 12-24 m / Sin armado entre 24 a 27 m	N.E.: 10,0 m / N.D. : 23,0 m / Caudal: 1,0 l/s a partir de los 20,0 minutos / T: 15 m ² /día	n.d.	Jardines de Marbella, S.A.	n.d.
MA-36	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Noneco, S.A.	n.d.

MA-21	0-4: Arenisca fina, color café claro moderadamente fracturadas. 4-45: basaltos toleíticos del Complejo de Nicoya, color gris verdoso y relativamente sanos. Fracturados a los 35-45 m de profundidad.	Caudal extraído: 2,5l/s, NE:6 m, ND:43 m	n.d.	3,24 m	Alon Sela	n.d.
MA-23	0-18m: Arcilla intercalada con arena. 18-42m: Roca alterada y meteorizada del Complejo de Nicoya. 42-100m: Roca masiva fracturada del Complejo de Nicoya.	Caudal: 4 l/s, NE:25, ND:42, T recuperación: 30 minutos	n.d.	3,6 m	La Fantasía de Marbella JM, S.A. / ASADA Posada del Sol	Sí
MA-11	n.d.	n.d.	Caudal: 15,0 l/s / Prof: 11 m / N.E.: 8 m		Noneco, S.A.	Sí
MA-41	n.d.	n.d.	N.E.: 8,0 m / Caudal: 15,0 l/s /		Bridgeport Property Brokers, S.A.	n.d.
MA-59	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Bomba El Gallito, S.A.	n.d.
MA-24	n.d.	n.d.	Pozo PVC 6 pulgadas sin equipo	2,37 m	Desarrollos Calcos, S.A.	n.d.
Lomas del Sol	n.d.	77,0 m profundidad / Sello sanitario de 0-12 m / Tubería ciega de 0-60 m / Tubería ranurada de 60-77 m	Pozo en Uso	20,15 m	Lomas del Sol	Sí
ASADA Marbella	n.d.	ra / Profundidad poz	Pozo en Uso	4,84 m	ASADA de Marbella	Sí
Jardines de Marbella	n.d.	bería PVC 6 pulgad	No se pudo medir nivel porque presenta fuga en cachera		Jardines del Mar	Sí

ND: no hay dato

4.2 Modelo hidrogeológico conceptual

A partir del análisis litológicos de los pozos registrados con información, se tienen en la zona dos unidades hidrogeológicas que incluyen el acuífero de origen ígneo del Complejo de Nicoya y el acuífero sedimentario de Depósitos Cuaternarios, figura 8, figura 9.

Acuífero fracturado del Complejo de Nicoya

El acuífero fracturado del Complejo de Nicoya corresponde con basaltos dispuestos en coladas de lava en almohadilla, los cuales a su vez corresponden con el basamento de la zona de estudio. Dicho acuífero posee un fracturamiento secundario el cual permite el flujo y almacenamiento de agua subterránea.

El espesor promedio para el acuífero ígneo del Complejo de Nicoya en la zona de estudio es de 45,5 m (de acuerdo con reportes de pozos MA-27, MA-28, MA-29, MA-30, MA-9, MA-46, MA-49, MA-18, MA-51, MA-21 y MA-23). Cabe aclarar que el pozo MA-54 aunque se encuentra a menos de 250 m al Norte afuera del área de estudio, se encuentra perforado en Complejo de Nicoya y tiene datos hidrogeológicos, figura 9 E, perfil E-E´.

El nivel estático promedio para el acuífero ígneo del Complejo de Nicoya de acuerdo con las mediciones realizadas en campo durante el mes de diciembre del año 2018 es de 6,67 m de profundidad.

A partir de las pruebas de bombeo registradas en SENARA así como los datos del reporte de prueba de bombeo en pozo Lomas del Sol; el acuífero del Complejo de Nicoya reporta valores de transmisividad de 1,02 m²/día (pozo MA-27), 50,4 m²/día (pozo Lomas del Sol) y 147,0 m²/día para el pozo MA-49 (valor re calculado con datos de prueba de bombeo).

Según lo observado en algunos sitios como el Río Coco, el acuífero presenta condiciones de efluencia e influencia en diferentes tramos, a partir de aforos diferenciales realizados en la zona de estudio, lo que se correlaciona con el grado de fracturamiento y a la diferencia de elevación entre las 3 superficies estructurales.

El cuadro 6 muestra los parámetros hidrogeológicos para el acuífero del Complejo de Nicoya.

Espesor acuífero promedio (m)	Transmisividad (m²/día)*	Permeabilidad acuífera (m/d)**	Gradiente hidráulico
45,5	50,4	0,994	0.02-0.01

Cuadro 6: Parámetros hidrogeológicos acuífero Complejo de Nicoya

*: Lomas del Sol, tomado de prueba bombeo reinterpretada

** : Lomas del Sol respectivamente, tomado de T: kxb / Considerando espesor saturado de 50,7 m y transmisividad de 50,4 m²/día

Acuífero Aluvial Depósitos Cuaternarios

El acuífero de Depósitos Cuaternarios corresponde con un acuífero de tipo poroso, constituido por depósitos aluviales asociados a la dinámica de los ríos Tabaco y el río Coco; ubicados a elevaciones menores a los 20 m.s.n.m. y topografía plana.

En dicho acuífero se encuentran perforados los pozos de la ASADA de Marbella (6,0 l/s), el pozo MA-6 y el pozo MA-23 (4,0 l/s). Además se encuentran numerosos pozos artesanales principalmente en la zona de playa Coco y el poblado de Marbella.

A partir de la información de pozos, observaciones de campo en el río Tabaco y a los datos obtenidos en el SEVP-1 y SEVP-2, se tiene un espesor promedio de Depósitos Aluviales de 11,5 m. El cuadro 7 muestra los parámetros hidrogeológicos para los Depósitos Aluviales, no se logró determinar la transmisividad de este acuífero debido a que no existen datos de pruebas de bombeo en pozos donde se tenga certeza de que únicamente se capta este acuífero.

En general, el gradiente hidráulico presenta dirección SW, con valor cercano a 0.01 (figura 7). Es importante considerar que únicamente el pozo de la ASADA de Marbella y el Pozo MA-23 están perforados en Depósitos Aluviales además de los pozos artesanales que también presentan dato de nivel de saturación.

La figura 8 muestra los perfiles hidrogeológicos realizadas en la zona de estudio. El cuadro 8 muestra los datos utilizados para la elaboración de las líneas equipotenciales, de acuerdo con el levantamiento en campo durante el mes de diciembre del año 2018, figura 7.

Espesor acuífero promedio (m)	Transmisividad (m²/día)*	Permeabilidad acuífera (m/d)**	Gradiente hidráulico (figura 7)
11,5 m*	No fue posible de determinar en pozo MA-23. Dato en Basaltos del Complejo de Nicoya	No fue posible de determinar en pozo MA-23.	0,012

Cuadro 7: Parámetros hidrogeológicos Depósitos Aluviales

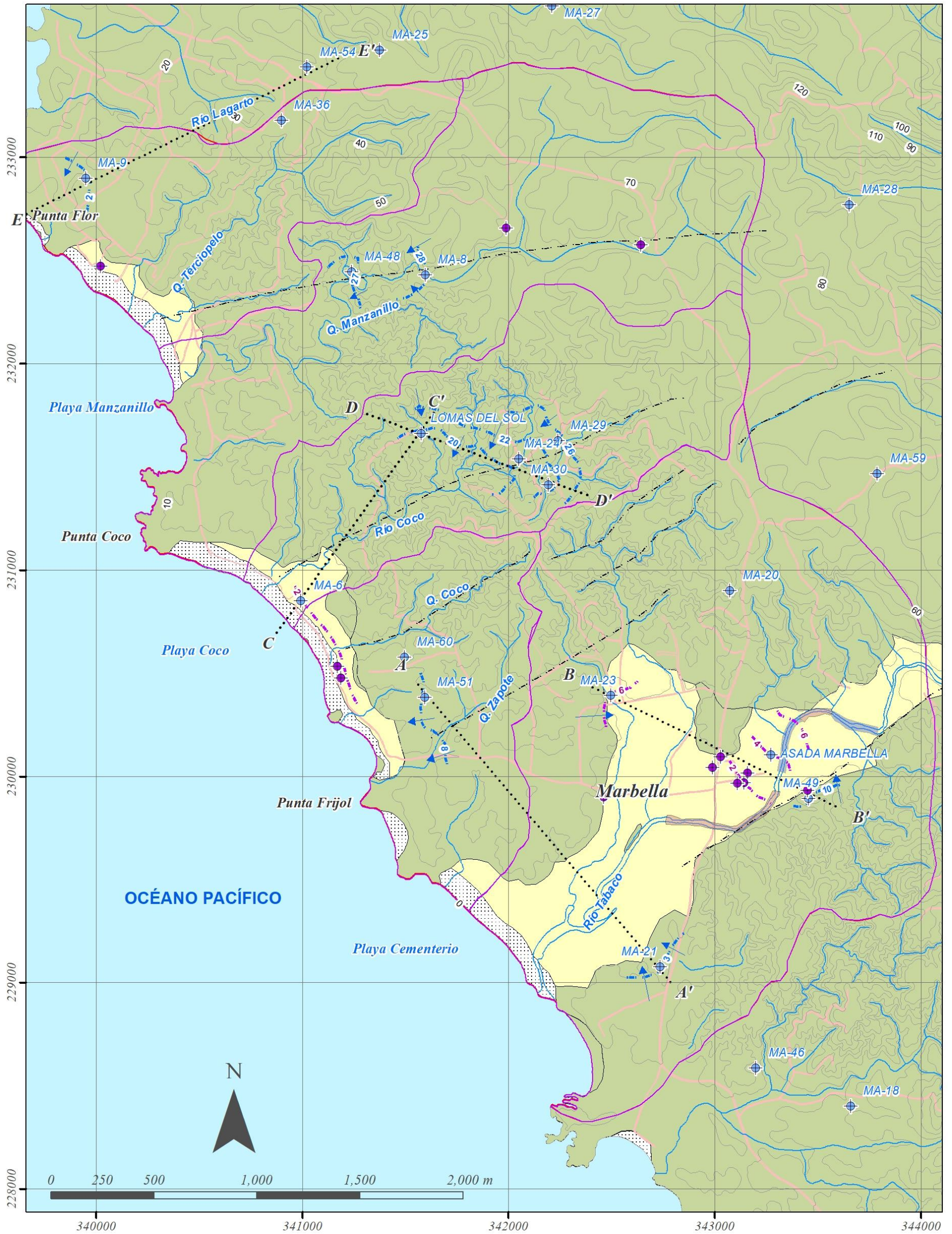
*Valor promedio a partir de los sondeos eléctricos de prospección SEVP-1 y SEVP-2

Líneas equipotenciales

En el cuadro 8 se incluyen los datos generales para la elaboración de las líneas equipotenciales en la zona de estudio tanto en la unidad de basaltos como en la unidad de aluviones.

Cuadro 8. Datos empleados en la elaboración de curvas equipotenciales en la zona de estudio

POZO	Y	X	N.E. (m)	ELEVACIÓN N.E. (m.s.n.m.)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)
MA-18	228400	343660	6	11	17
MA-21	229077	342736	6	3	9
MA-23	230391	342497	4	6	10
MA-28	232772	343653	4	74	78
MA-29	231628	342241	4	26	30
MA-30	231413	342195	8	22	30
MA-46	228585	343201	10	4	14
MA-48	232445	341241	2	27	29
MA-49	229892	343456	6	10	16
MA-51	230382	341594	10	8	18
MA-54	233438	341024	11	29	40
MA-8	232430	341598	3	27	30
MA-9	232900	339950	8	2	10
ASADA MARBELLA	230104	343274	5	4	9
LOMAS DEL SOL	231661	341578	20	20	40
ARTESANAL 12	229969	343143	5	2	7



SIMBOLOGÍA

- | | | | | | |
|--|----------------------------|--|---------------------------------------|--|---|
| | Cuerpo de agua | | Comportamiento efluente | | Cuencas hidrográficas |
| | Curva de nivel (cada 10 m) | | Comportamiento influente | | Depósitos de Playa |
| | Camino | | Dirección de flujo subterráneo | | Depósitos Aluviales |
| | Alineamiento | | Curva isofreática Acuífero de Basalto | | Basaltos del Complejo de Nicoya |
| | Sección hidrogeológica | | Curva isofreática Acuífero Aluvial | | Pozo registrado en SENARA con ubicación corroborada en el campo |
| | | | | | Pozo artesanal según observaciones de campo |

Figura 7. Mapa elementos hidrogeológicos

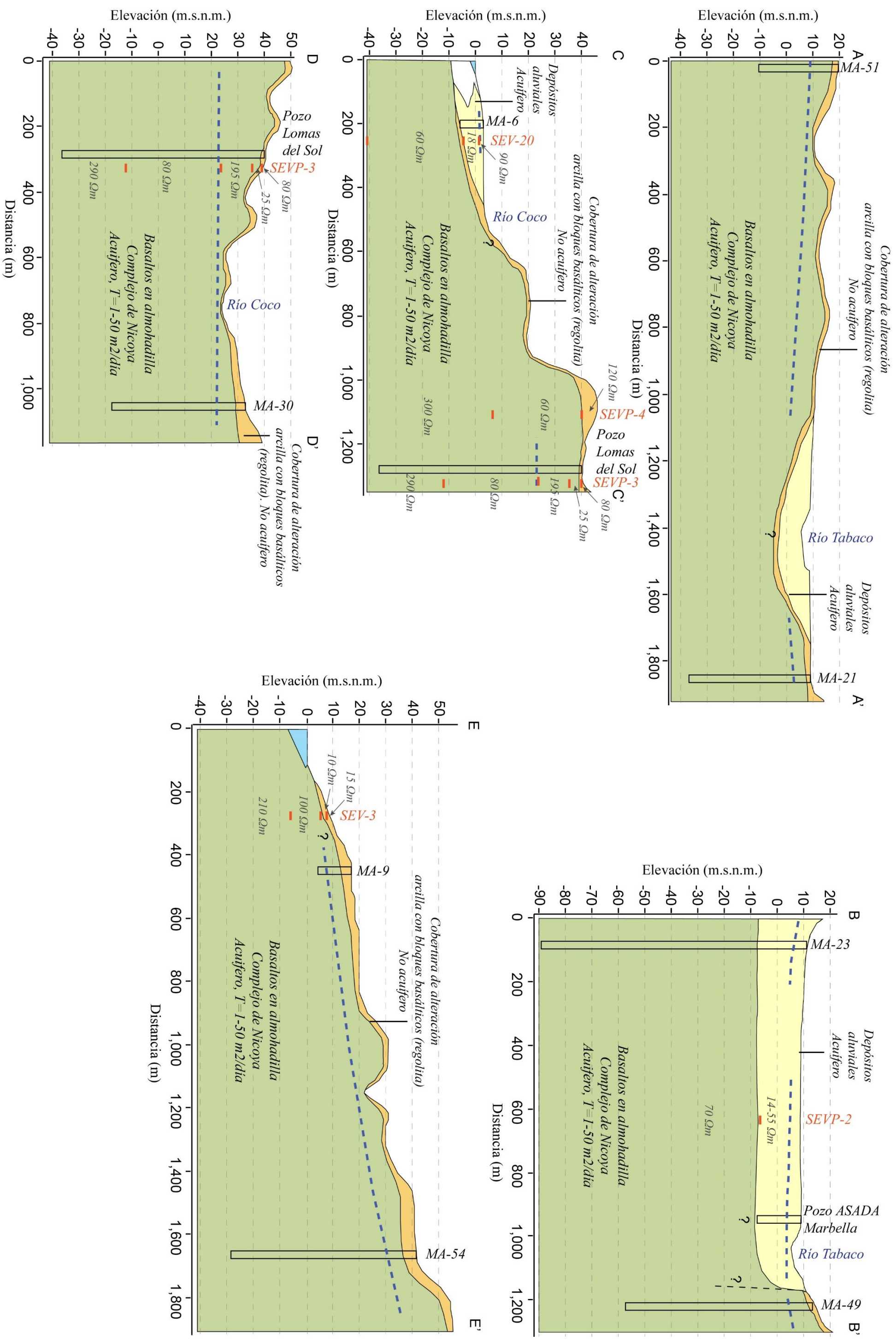


Figura 8. Perfiles hidrogeológicos

5.0 Balance hídrico de suelos

Se procedió a dividir las zona de estudio en las cuencas de Quebrada Terciopelo, Quebrada Manzanillo, Río Coco, Quebrada Zapote y Río Zapote (Figura9 y Cuadro 9).

Posteriormente se procedió a determinar la recarga potencial acuífera mediante la aplicación de la metodología propuesta por Schosinsky (2006), donde se consideran parámetros climáticos, características del relieve y características de los suelos. El cálculo de la recarga se estima para el área de cada cuenca, donde finalmente se obtiene la recarga potencial anual para cada una de éstas. Dichos datos son comparados con la explotación anual del acuífero por medio de pozos en cada cuenca (según los reportes de concesiones de la Dirección de Aguas). Finalmente se determinan las condiciones de explotación en cada cuenca.

Es importante indicar que además de considerar la metodología mencionada, se tomó como una referencia el documento aportado por AyA (2019), donde aparte de seguir la metodología de Schosinsky (2006) se incorpora la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG); entre otros temas, para determinar las zonas con distinto comportamiento de capacidad de infiltración y de esta manera realizar estimaciones más precisas de la recarga potencial de acuíferos.

Cuadro 9. Datos generales de las cuencas hidrográficas dentro del área de estudio.

Cuenca	Nombre	Área (m2)
1	Cuenca Quebrada Terciopelo	1 558 522
2	Cuenca Quebrada Manzanillo	3 029 886
3	Cuenca Río Coco	1 971 153
4	Cuenca Quebrada Zapote	1 394 727
5	Cuenca Río Tabaco	4 809 141

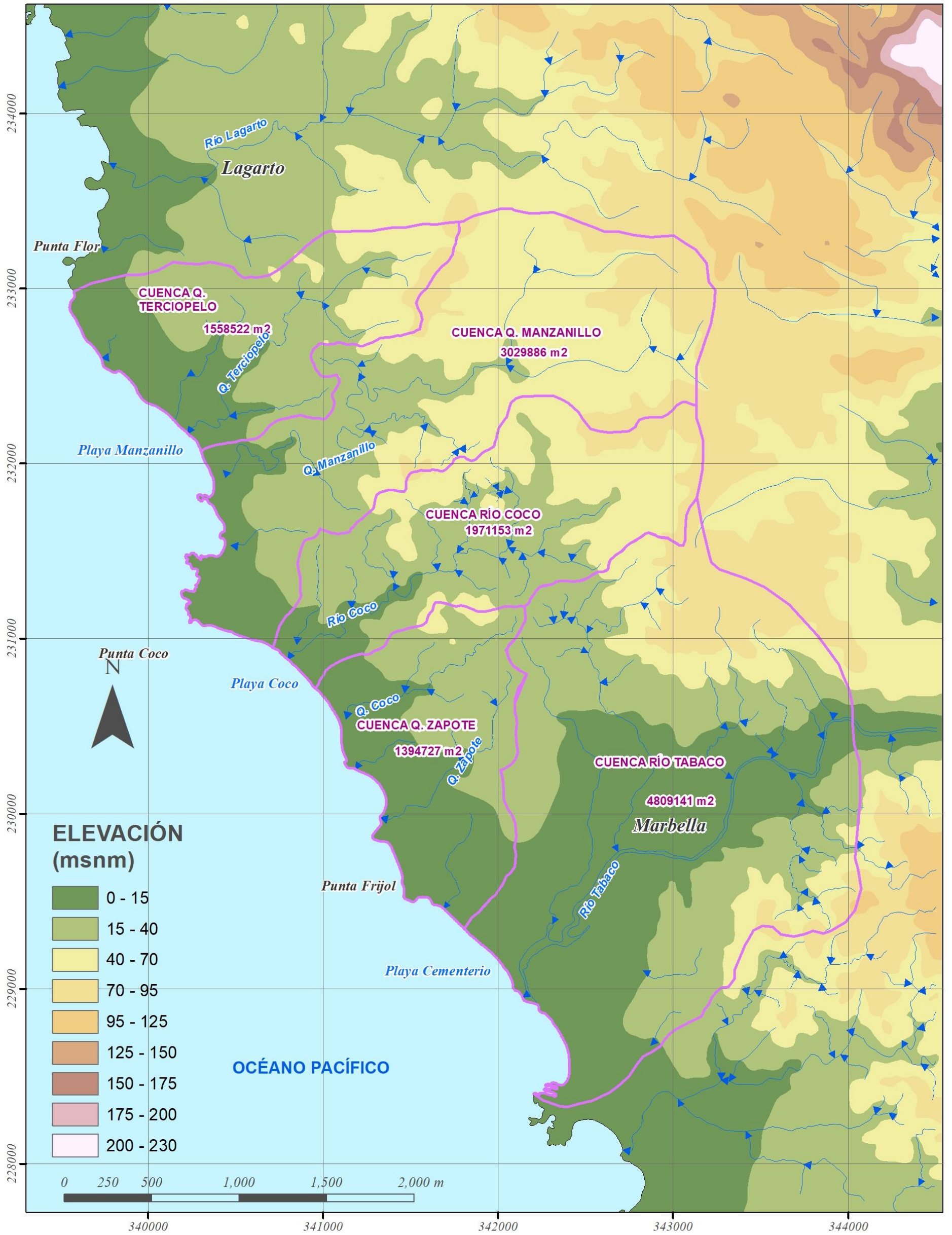


Figura 9. Cuencas hidrográficas en el área de estudio

5.1 Datos meteorológicos

Precipitación

Para determinar la tasa de precipitación promedio mensual para el área de estudio, se utilizó como referencia los datos registrados en la estación hidrometeorológica No. 72149 San José, Pinilla; del Instituto Meteorológico Nacional (2019), localizada entre las coordenadas 10°15'N Latitud - 85°50'O, ubicado aproximadamente a 39,6 km al Norte del área de estudio, Anexo 3. Esta estación ha registrado datos de precipitación para la zona durante el período comprendido entre el año 2004 y 2017. En el cuadro 10 se muestran los datos de precipitación promedio mensual registrados, mientras que en el gráfico 1 se presenta la tabulación de dichos datos, en donde se puede observar cómo los meses que presentan los valores máximos de precipitación son setiembre y octubre, superando los 250 mm, mientras que los meses más secos corresponden con enero, febrero y marzo, donde la precipitación es inferior a los 5 mm.

Cuadro 10. Datos meteorológicos de precipitación según IMN.

Mes	Precipitación promedio mensual (mm)
Enero	0,3
Febrero	0,7
Marzo	2,8
Abril	25,5
Mayo	173,4
Junio	165,2
Julio	154,8
Agosto	248,7
Setiembre	291,5
Octubre	430,4
Noviembre	83,9
Diciembre	15,4
Precipitación total	1592,6

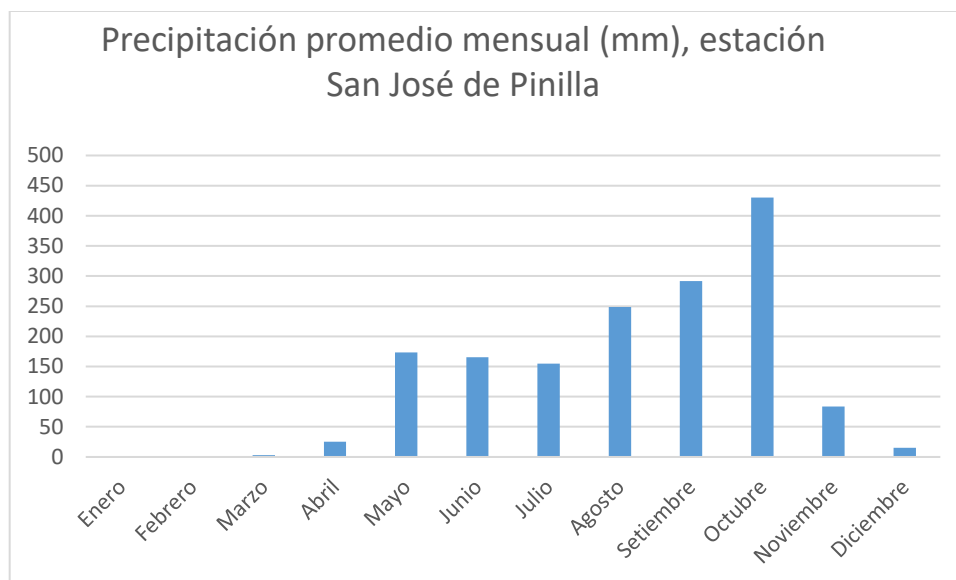


Gráfico 1: Precipitación media mensual, estación San José de Pinilla (IMN, 2019).

Evapotranspiración Potencial (ETP)

El método empleado para la estimación del ETP fue el desarrollado por Hargreaves y Samani (1985), esto debido a que es el método sugerido en la reglamentación hidrogeológica del país, por medio del Acuerdo 60-2012 MINAE.

La información referente a la temperatura promedio mensual para el área de estudio fue tomada de la misma estación de San José de Pinilla para el período de 2004 a 2017. Para la elaboración de los cálculos de ETP también se consideró la cantidad de horas luz que presenta el país.

A continuación se presenta la tabla de datos básicos utilizados y los respectivos cálculos, donde además se incluye la referencia bibliográfica del método y una breve explicación del mismo junto con las fórmulas empleadas, figura 10.

ETP MENSUAL (mm) = (K*RA*RAIZ(ΔT))*(0.0075)*(32+1.8°C)*n												
K=CONSTANTE PARA CLIMAS HÚMEDOS, 0.18												
RA= RADIACIÓN EXTRATERRESTRE AL TOPE DE LA ATMOSFERA (mm/d) PARA LA LATITUD 10°												
ΔT= DIFERENCIA DE TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA PROMEDIO MENSUAL (°C)												
C= TEMPERATURA MEDIA (°C)												
n= CANTIDAD DE DÍAS DEL MES												
MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
n	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
RA	13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9
T MAX	33.1	34	34.6	34.7	32.7	31.4	31.9	31.5	30.8	30	30.9	32
T MIN	23.5	24.1	24.8	25.1	24.3	23.7	23.5	23.3	23.2	23.2	22.7	22.8
ΔT	9.6	9.9	9.8	9.6	8.4	7.7	8.4	8.2	7.6	6.8	8.2	9.2
C°	23.5	23.9	24.2	24.6	24.3	23.9	23.8	23.7	23.6	23.4	23.4	23.4
K	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
ETP (mm/mes)	134.2	133.7	159.9	158.6	150.3	136.2	146.6	146.4	134.3	125.5	123.4	128.1
Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. <i>Applied Eng. in Agric.</i> , 1(2): 96-99.												

Figura 10: Cálculo de ETP mediante método de Hargreaves y Samani (1985).

Pendiente del terreno (Parámetro kp)

Para la evaluación de la pendiente del terreno correspondiente al área de interés, se procedió a realizar un modelo de elevación digital del terreno a partir de la base cartográfica del mapa del IGN. Una vez obtenido el modelo de elevación digital se procedió a realizar un mapa de clasificación de pendientes mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica (SIG), siguiendo para ello la metodología de Schosinsky, tal y como se muestra en el cuadro 11, figura 11.

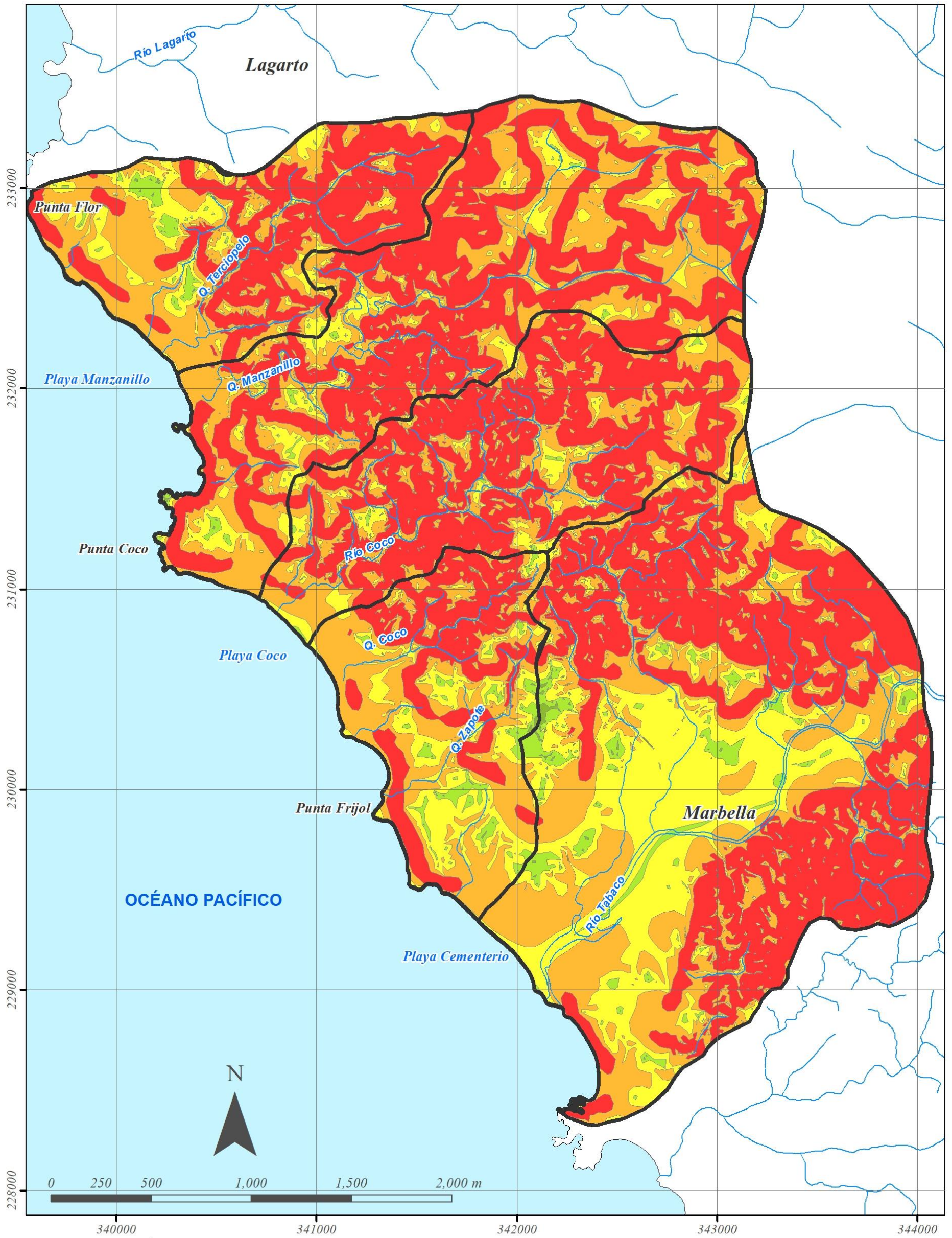
Cuadro 11. Clasificación de pendientes según metodología Schosinsky (2006)

Tipo pendiente	Por pendiente (%)	Kp
Muy plana	0,02-0,06	0,3
Plana	0,06-0,4	0,2
Algo plana	0.4 -2,0	0,15
Promedio	2,0-7,0	0,1
Fuerte	Mayor que 7	0,06

Para la elaboración del mapa de pendientes se utilizó el programa Arcgis 10.2, inicialmente se procedió a realizar un Modelo de Elevación del Terreno (MET) a partir de los datos de elevación de las curvas de nivel, posteriormente se utilizó la herramienta “*slope*” para crear el mapa de pendientes general, indicando que se trata de pendiente en porcentaje, posteriormente se utilizó la herramienta “*reclassfy*” para obtener una capa basada en los rangos de pendiente indicados por Schosinsky (2006).

La Figura 11 muestra el mapa de pendientes, donde se puede apreciar que el rango de pendiente predominante es el mayor que el 7%, también es posible apreciar que el rango de pendiente predominante en la zona donde se encuentran los sedimentos aluviales es el de 0.4-2%. Otro aspecto sobresaliente es que los sectores asociados a la Superficie de erosión 1 presentan rangos predominantes de pendiente de 2-7%. El rango de pendiente menor que 0.06% es casi nulo, aparece en sectores de muy poca extensión, mientras que el rango de 0.06-0.4% aparece en algunas zonas aluviales y en sectores asociados a la superficie de erosión 2 principalmente.

Según lo anterior se determina que los valores de kp a utilizar en la estimación de la recarga son kp=0.06 (pendiente mayor que 7%) para el caso de los basaltos y kp=0.15 (0.4-2%) para el caso de los depósitos aluviales.



SIMBOLOGÍA








- | | | | |
|---|-----------------------|---|----------------|
|  | Cuenca hidrográfica |  | Cuerpo de agua |
| kp | | | |
|  | 0.3 (Menor que 0.06%) | | |
|  | 0.2 (0.06-0.4%) | | |
|  | 0.15 (0.4-2%) | | |
|  | 0.1 (2-7%) | | |
|  | 0.06 (Mayor que 7%) | | |

Figura 11. Mapa de pendientes en el área de estudio según metodología Schosinsky (2006).

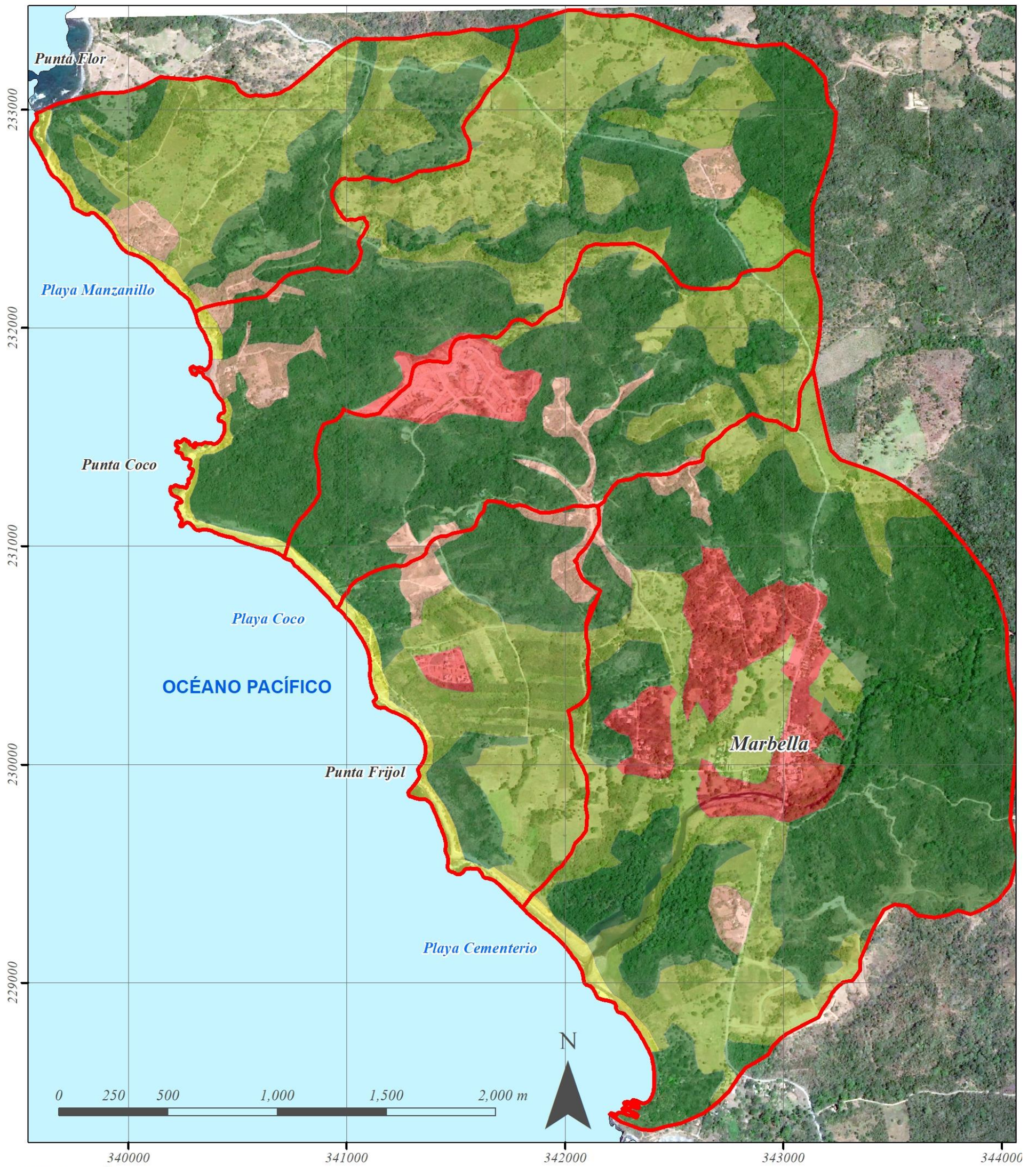
Cobertura de suelo (parámetro kv)

Uno de los aspectos a tomar en consideración dentro de la metodología de Schosinsky (2006) es la cobertura o uso de suelo. Para el caso del área de estudio se procedió a delimitar los distintos usos de suelo promedio a partir de la visualización de imágenes satelitales tomadas de Google Earth (imagen captada en junio del 2017), así como también mediante la corroboración de campo efectuada.


A partir de la definición de los distintos usos de suelo es posible determinar según lo establece la metodología los coeficientes de infiltración por cobertura de suelo (Kv), tal y como se muestran en el cuadro 12, figura 12.

Cuadro 12. Coeficiente de infiltración por cobertura vegetal (Kv)


Cobertura vegetal	Kv
Cobertura con zacate menos del 50%	0,09
Terrenos cultivados	0,1
Cobertura con pastizal	0,18
Bosques	0,2
Cobertura con zacate más del 75%	0,21




SIMBOLOGÍA


 Cuenca hidrográfica

kv

 Boscoso ($kv=0.20$)

 Pastizales ($kv=0.18$)

 Playa ($kv=0$)

 Zacate mayor que 75% ($kv=0.21$)


 Zacate menor que 50% ($kv=0.09$)

Figura 12. Uso del suelo y valor de kv según Schosinsky (2006).

Para el área de estudio, según el análisis efectuado, se determinó la presencia de tres usos de suelo principales que son: terrenos cultivados, bosque y zonas suburbanas. La delimitación de cada uno de los usos de suelo definidos y su correspondiente valor de Kv se muestran en la figura 12, fotografía 8 y 9.



Fotografía 8: Uso de suelo bosque de reforestación, plantaciones de teca



Fotografía 9: Terrenos con pastos

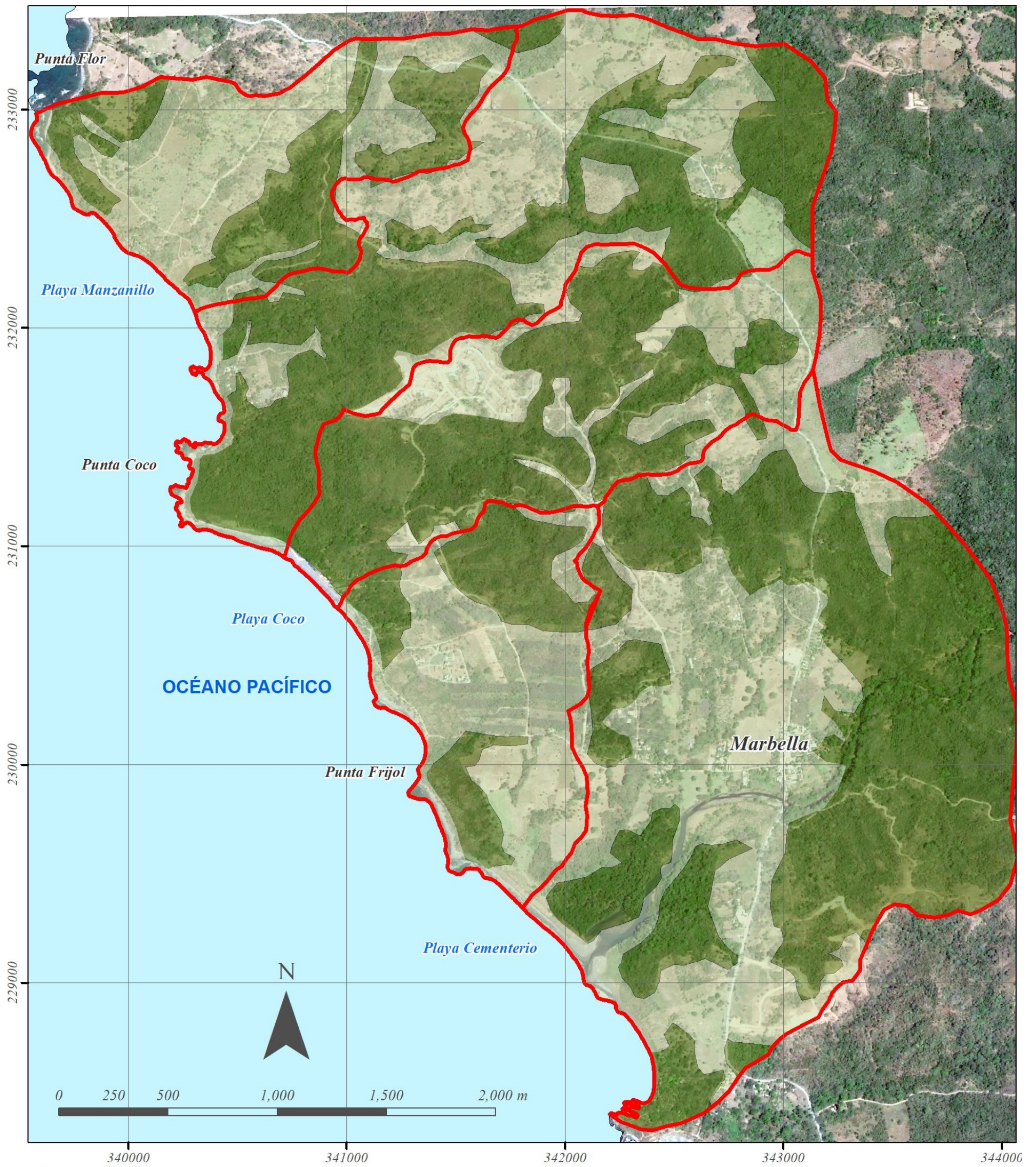
Profundidad de raíces y retención de lluvia (PR y RT).

Considerando los rangos de valores indicados por la metodología consultada en el caso de la Lluvia Retenida (únicamente dos clasificaciones; 0.2 para Bosque y 0.12 para cualquier otro uso del suelo) se define que el área de estudio puede ser analizada en este sentido por medio de las dos clasificaciones del RT, tal y como se muestra en la figura 13. De esta misma manera se tiene que la profundidad de raíces puede ser asociada a dicha clasificación, donde se observó en el campo que la profundidad de raíces de árboles de teca (uso bosques) ronda los 1500 mm


mientras que la profundidad de raíces de los arbustos, zacate y el pasto plantado en los potreros no supera los 400 mm, fotografía 10, figura 13.



Fotografía 10: Pasto en potreros, zona de playa Pitahaya



SIMBOLOGÍA

 Cuenca hidrográfica

Lluvia retenida y profundidad de raíces



-  Bosque $R_t=0.2$, Profundidad de raíces 1500 mm (principalmente teca)
-  "Otros", $R_t=0.12$, Profundidad de raíces 400 mm (principalmente pasto)

Figura 10. Retención de lluvia y profundidad de raíces.

Propiedades de suelos (permeabilidad, K_{fc}, PM, CC y densidad aparente)

La metodología de Schosinsky (2006) incluye además la evaluación de algunas características o parámetros de suelo que influyen en la capacidad de infiltración del agua en el suelo y por ende en la recarga a las unidades acuíferas. Algunos de los parámetros tomados en cuenta por dicha metodología son: permeabilidad o capacidad de infiltración, la densidad del suelo, la capacidad de campo y el punto de marchitez, Anexo 5.

Permeabilidad (f_c) y capacidad de infiltración (k_{fc})

Para la obtención del parámetro de capacidad de infiltración, se procedió a realizar una serie de pruebas de infiltración utilizando la metodología de doble anillo. En total se realizaron 20 pruebas de infiltración con el método de doble anillo (anexo 4, catálogo de datos básicos de ensayos de doble anillo), donde se detallan las generalidades de cada prueba, se suministran los datos de medidas tomadas en el campo y se muestran las gráficas y cálculos. Las pruebas fueron distribuidas espacialmente en toda el área de estudio, tal y como se muestra en la figura 14. De la totalidad de las pruebas de infiltración, 15 fueron realizadas en Complejo de Nicoya y 5 fueron realizadas en Depósitos Aluviales. El cuadro 13 muestra los resultados de las 5 pruebas realizadas en Depósitos Aluviales y Complejo de Nicoya.

Cuadro 13. Resultados generales de los ensayos de infiltración

Prueba	Geología	Cuenca	Latitud	Longitud	Infiltración (cm/min)	Infiltración (mm/d)	K _{fc} (0.01%)
PDA-1	QAL	R. TABACO	229897	342577	0,083	1195,2	0,98
PDA-2	CN	Q. ZAPOTE	230575	341639	0,035	504	0,86
PDA-3	QAL	Q. ZAPOTE	230485	341160	0,05	720	0,9
PDA-4	CN	Q. ZAPOTE	229903	341514	0,095	1368	1
PDA-5	QAL	R. COCO	230033	343268	0,071	1022,4	0,96
PDA-6	CN	R. TABACO	229509	342907	0,018	259,2	0,72
PDA-7	CN	Q. TERCIPELO	232737	339866	0,003	43,2	0,68
PDA-8	QAL	R. TABACO	229460	342859	0,016	230,4	0,71
PDA-9	CN	R. TABACO	228855	342487	0,06	864	0,94
PDA-10	CN	R. TABACO	230655	342359	0,045	648	0,9
PDA-11	CN	R. TABACO	231143	342163	0,025	360	0,8
PDA-12	CN	R. COCO	231579	342400	0,016	230,4	0,69
PDA-13	CN	Q. TERCIPELO	232586	340890	0,18	2592	1
PDA-14	CN	R. TABACO	230998	343150	0,083	1195,2	0,98
PDA-15	CN	Q. MANZANILLO	232505	342785	0,033	475,2	0,85
PDA-16	QAL	R. TABACO	229978	343465	0,08	1152	0,97
PDA-17	CN	R. COCO	231841	343154	0,075	1080	0,96
PDA-18	CN	R. COCO	231608	341773	0,014	201,6	0,66
PDA-19	CN	Q. MANZANILLO	231478	340485	0,022	316,8	0,78
PDA-20	CN	Q. MANZANILLO	233216	341842	0,026	374,4	0,8

* QAL: Depósitos Aluviales / CN: Basaltos del Complejo de Nicoya



SIMBOLOGÍA









- | | |
|--|--|
|  Cuenca hidrográfica |  Cuerpo de agua |
|  Estación de aforo |  Curva de nivel (cada 10 m) |
|  Ensayo Doble Anillo y toma de muestras de suelo para análisis de laboratorio | |
|  Depósitos de Playa | |
|  Depósitos Aluviales | |
|  Basaltos del Complejo de Nicoya | |

Figura 14. Ubicación de pruebas de infiltración.

Los valores de infiltración obtenidos en general variaron entre los 0.013 cm/s y 0.187 cm/s. En el anexo 4 se adjunta el catálogo con los datos básicos de cada ensayo realizado.

Uno de los factores que más influyen en la infiltración de la lluvia en el suelo es el coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo (K_{fc}), el cual está dado por la siguiente ecuación (Schosinsky & Losilla, 2000):

$$K_{fc} = 0,267\ln(fc) - 0,000154fc - 0,723$$

Donde:

K_{fc} (adimensional) = Coeficiente de infiltración (fracción que infiltra por textura de suelo)

F_c (mm/día) = Infiltración básica del suelo

Cabe mencionar que la aplicación de la ecuación anterior aplica exclusivamente para el caso de rangos de f_c comprendidos entre 16 a 1568 mm/día. Para valores de f_c menores a 16 mm/día se debe aplicar la relación: $K_{fc} = 0,0148f_c/16$, mientras que para valores de f_c mayores a 1568 mm/día se debe asignar un valor de $K_{fc} = 1$.

Inicialmente se procedió a verificar si existe alguna relación entre la tasa de infiltración y la unidad geológica y el tipo de suelo en que se realiza cada ensayo, lo cual puede ser analizado por medio de la figura 15, donde se muestra que no existe una relación entre los resultados de los ensayos realizados y el tipo de unidad geológica. Si bien existen un par de datos extremos en los ensayos realizados dentro del Complejo de Nicoya se interpreta que esto puede deberse a que en esta unidad se realizó la mayor cantidad de pruebas, figura 15.

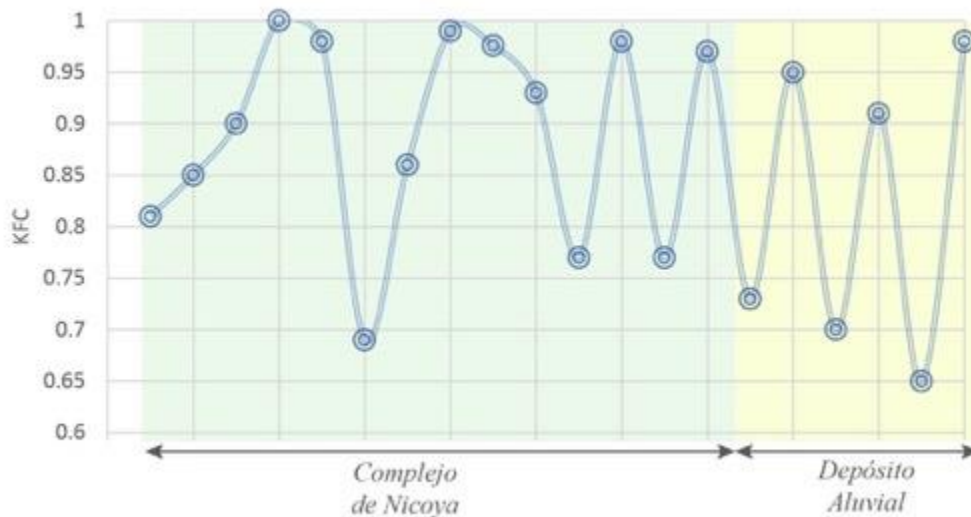


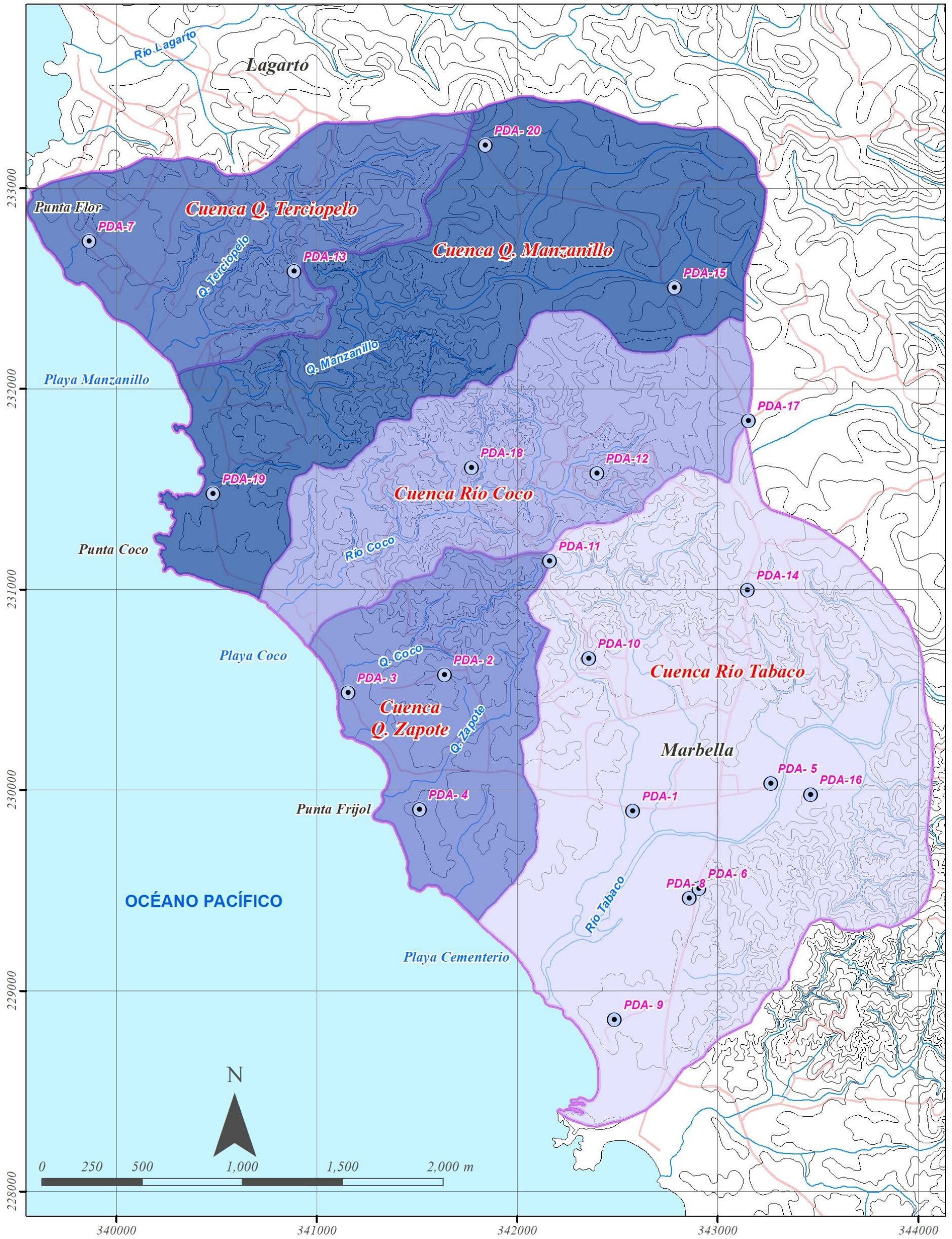
Figura 15. Tendencia de valores de K_{fc} respecto a la unidad geológica.

Dado que no existe una tendencia definida entre los valores de K_{fc} , se realiza la separación de valor de K_{fc} por cuenca hidrográfica. A partir de dicho análisis, se obtiene una diferencia representativa entre los valores. El cuadro 14 y figura 15 muestran dichas variaciones.

Cuadro 14. Valores a emplear de kfc por cuenca hidrográfica.

CUENCA	Kfc promedio (0.01)
Q. TERCIPELO	0.84
Q. MANZANILLO	0.81
R. COCO	0.82
Q. ZAPOTE	0.92
R. TABACO	0.88

En la Figura 16 se muestran los valores obtenidos de infiltración básica promedio y de coeficiente de por textura de suelos (Kfc) para las cuencas definidas para el área de estudio.



SIMBOLOGÍA

- Cuenca hidrográfica
 - Cuerpo de agua
 - Curva de nivel (cada 10 m)
 - Ensayo Doble Anillo y toma de muestras de suelo para análisis de laboratorio
- K_{fc}**
- Cuenca del río Tabaco. K_{fc} promedio=0.88 (fc 570 mm/d)
 - Cuenca del río Coco. K_{fc} promedio=0.82 (fc 425 mm/d)
 - Cuenca del Qbda. Zapote. K_{fc} promedio=0.92 (fc 715 mm/d)
 - Cuenca del Qbda. Manzanillo. K_{fc} promedio=0.81 (fc 420 mm/d)
 - Cuenca del Qbda. Terciopelo. K_{fc} promedio=0.84 (fc 465 mm/d)

Figura 16. Mapa de K_{fc} a emplear en cálculos del BHS.

Coeficiente de infiltración (C_i)

Además del coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo (K_{fc}), influye la pendiente del terreno (K_p) y la vegetación (K_v). Estos coeficientes vienen a conformar el coeficiente de infiltración del suelo (C_i) el cual se basa en la siguiente relación (ONU, 1972):

Si $K_p+K_v+K_{fc}$ es mayor a 1, $C_i=1$

Si $K_p+K_v+K_{fc}$ es menor o igual a 1, entonces $C_i=K_p+K_v+K_{fc}$

Donde:

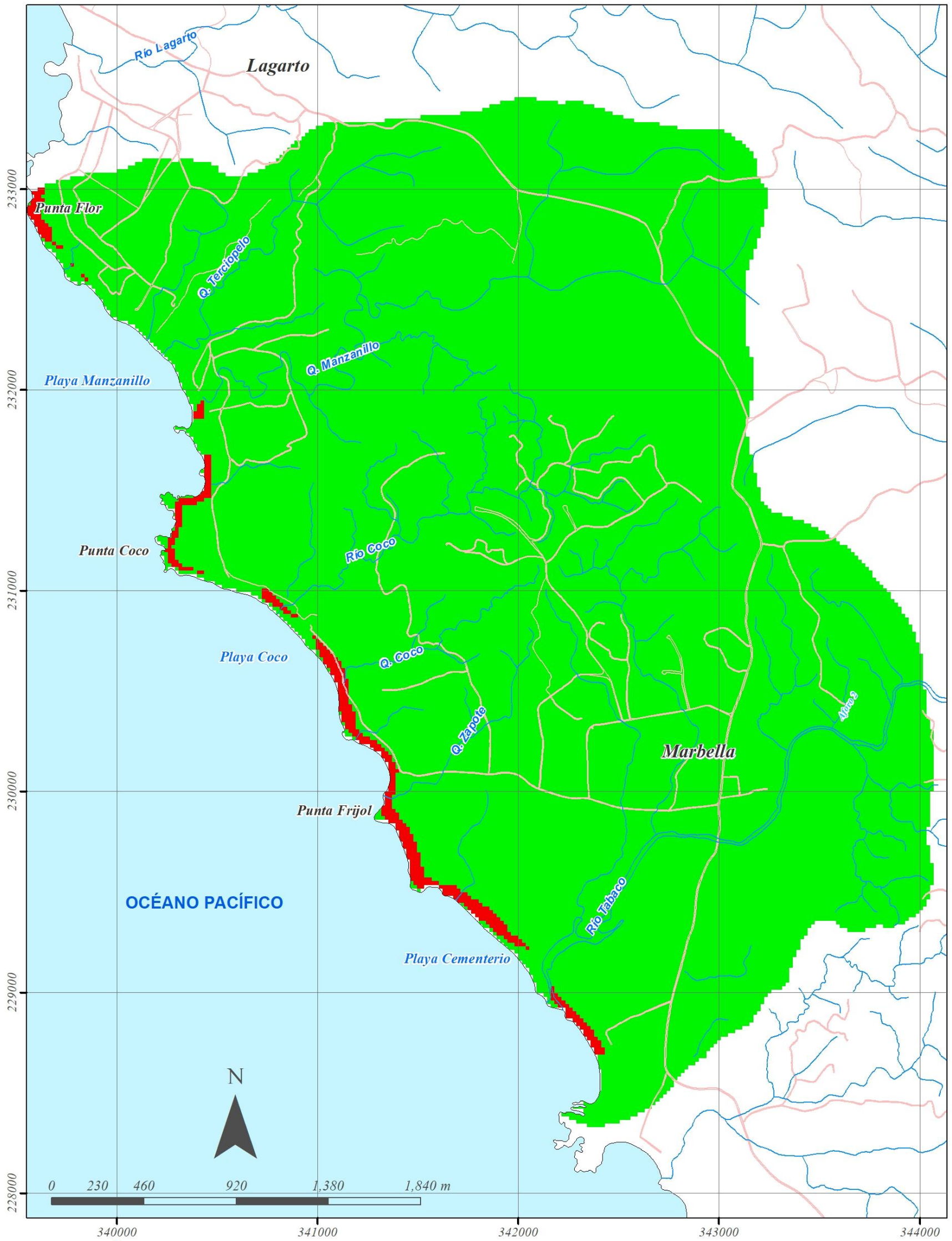
C_i =Coeficiente de infiltración (adimensional)

K_p = Fracción que infiltra por efecto de la pendiente (adimensional)

K_v = Fracción que infiltra por efecto de la vegetación (adimensional)

K_{fc} =Fracción que infiltra por textura del suelo (adimensional)

El coeficiente de infiltración es el factor por el cual hay que multiplicar la precipitación mensual para obtener el agua que se infiltra mensualmente hacia el suelo (Schosinsky, 2006). En la figura 17 se muestra el mapa correspondiente al coeficiente de infiltración C_i correspondiente con el área de estudio.



SIMBOLOGÍA

- Cuenca hidrográfica
- Cuerpo de agua
- Curva de nivel (cada 10 m)

CI2
CI (adimensional)

	0.91 - 0.99
	0.99 - 1.41

Figura 17. Mapa de coeficiente de infiltración según metodología empleada.

Parámetros de suelos: Punto de marchitez, Capacidad de campo y densidad aparente

En cada uno de los sitios donde se realizaron ensayos de permeabilidad con el método de doble anillo se tomaron muestras de suelos para análisis de laboratorio para la estimación del balance hídrico, según la metodología Schosinsky (2006). Se tomaron muestras para el análisis de datos que incluyen la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y la densidad aparente de los suelos. En todos los casos se procedió a tomar una muestra en un cilindro de 10 cm de altura y 5 cm de diámetro aproximadamente junto con al menos 0.5 kg de suelo en una bolsa. Cada muestra fue enviada al laboratorio de suelos AGROANÁLISIS S.A., Anexo 5, donde se efectuaron los análisis de los resultados generales del laboratorio.

A continuación se presenta el cuadro 16 con los resultados para cada muestra ensayada con los códigos de identificación en campo, figura 18.

Cuadro 16. Resultados del análisis de laboratorio.

Prueba	Código Agroanálisis	Cuenca	Geología	CC (%)	PM (%)	Da (g/cm ³)
PDA-7	M1A DA1A	R. Terciopelo	CN	28	15.7	1.3
PDA-14	M1B DA1B	R. Tabaco	CN	32	18.7	1
PDA-9	M2A DA2A	R. Tabaco	CN	29	16.5	1.1
PDA-2	M2 DA2	Q. Zapote	CN	29	16.5	1.2
PDA-12	M3A DA3A	R. Coco	CN	36	21.6	1.1
PDA-20	M3B DA3B	Q. Manzanillo	CN	29	16.5	0.8
PDA-4	M4 DA4	Q. Zapote	CN	32	18.7	1.1
PDA-6	M6 DA6	R. Tabaco	CN	30	17.2	0.9
PDA-10	M10 DA10	R. Tabaco	CN	32	18.7	1.1
PDA-11	M11 DA11	R. Tabaco	CN	32	18.7	0.9
PDA-13	M13 DA13	Q. Terciopelo	CN	31	17.9	0.8
PDA-15	M15 DA15	Q. Manzanillo	CN	30	17.2	1
PDA-17	M17 DA17	R. Coco	CN	32	18.7	1
PDA-18	M18 DA18	R. Coco	CN	33	19.4	1.5
PDA-19	M19 DA19	Q. Manzanillo	CN	24	12.8	1.6
PDA-1	M1 DA1	R. Tabaco	QAL	21	10.5	1.6
PDA-16	M2B DA2B	R. Tabaco	QAL	29	16.5	1.2
PDA-3	M3 DA3	Q. Zapote	QAL	22	11.3	1.4
PDA-5	M5 DA5	R. Coco	QAL	24	12.8	1.1
PDA-8	M8 DA8	R. Tabaco	QAL	38	23.1	0.8

Características de suelos

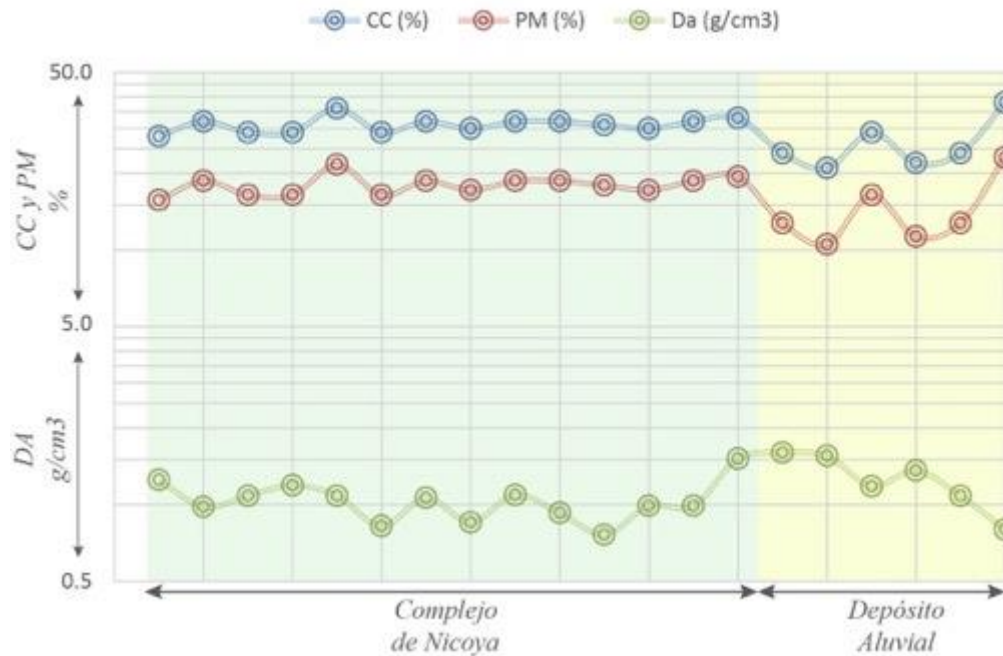


Figura 18. Tendencia de características de suelos en función del tipo de geología

Como se puede observar en la figura 18, existe cierta diferenciación entre las características de las muestras correspondientes a suelos derivados de basaltos y a suelos derivados de Depósitos Aluviales. Dicha diferencia es de esperar considerando que las primeras proceden de suelos residuales, desarrollados *insitu* mientras que el segundo grupo de muestras corresponden con materiales transportados por la acción fluvial, la cual presenta comportamiento variable, donde es evidente cierto grado de anisotropía, posiblemente asociada a cambios laterales de facies, suelos alterados, cambios de energía, entre otros.

Según lo anterior, y debido a que en ambos grupos de muestras es posible observar una tendencia, se considera representativo utilizar el promedio de cada uno de los parámetros para cada grupo. El cuadro 16 muestra los valores promedio para cada unidad geológica.

Cuadro 16. Datos de suelos a emplear en el cálculo de balance hídrico de suelos.

Geología	CC (%)	PM (%)	Da (g/cm ³)
CN	30.6	17.6	1.1
QAL	26.8	14.8	1.2

Aforos y condiciones de influencia y efluencia

En la zona de estudio, durante el mes de enero del año 2019, se realizaron un total de 20 aforos utilizando un molinete. En el Anexo 6 se muestran los datos y análisis de cada uno de los 20 aforos realizados.

El cuadro 17 muestra los datos obtenidos a partir de los 20 aforos realizados, Anexo 6.

Cuadro 17: Aforos realizados en la zona de estudio, Anexo 6.

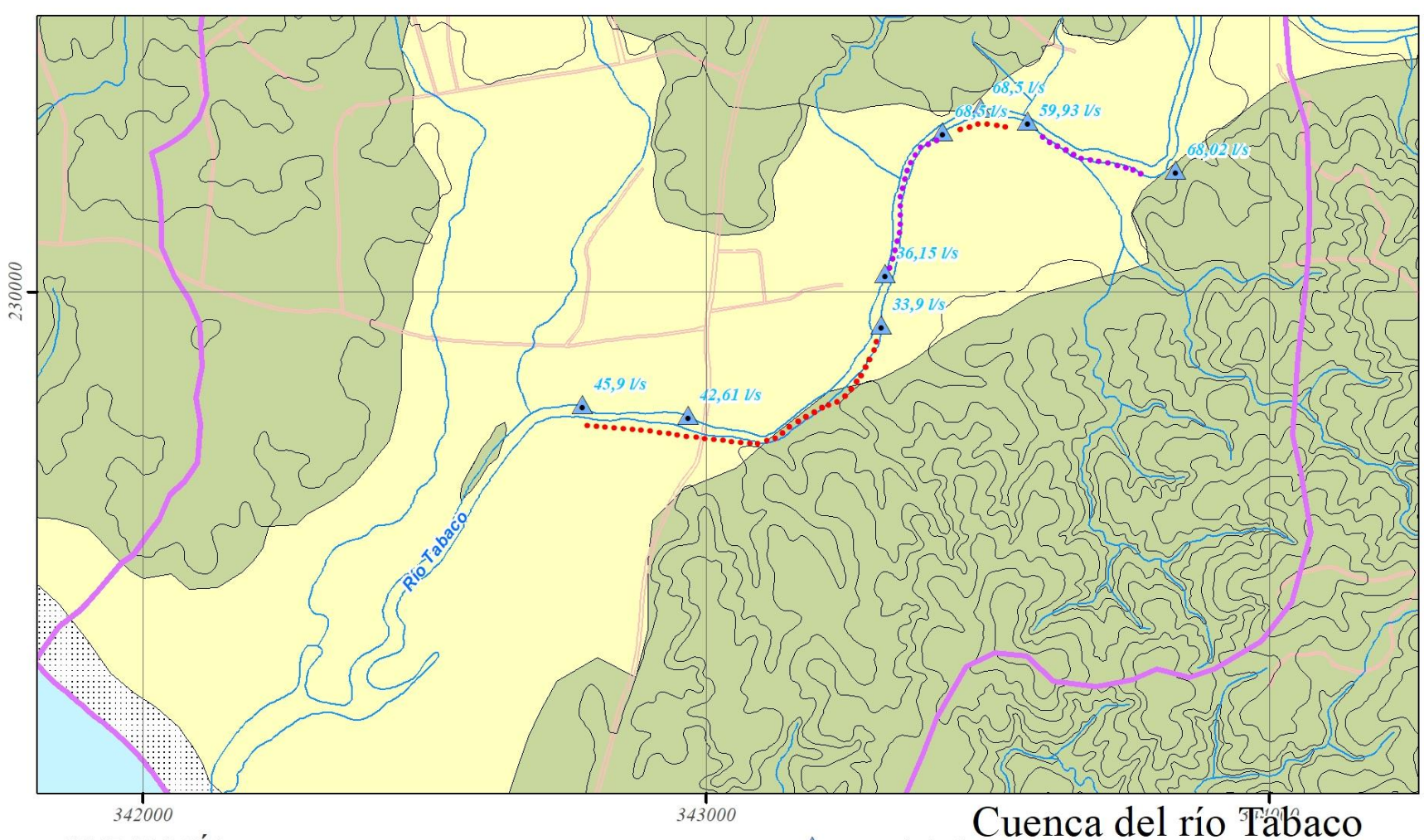
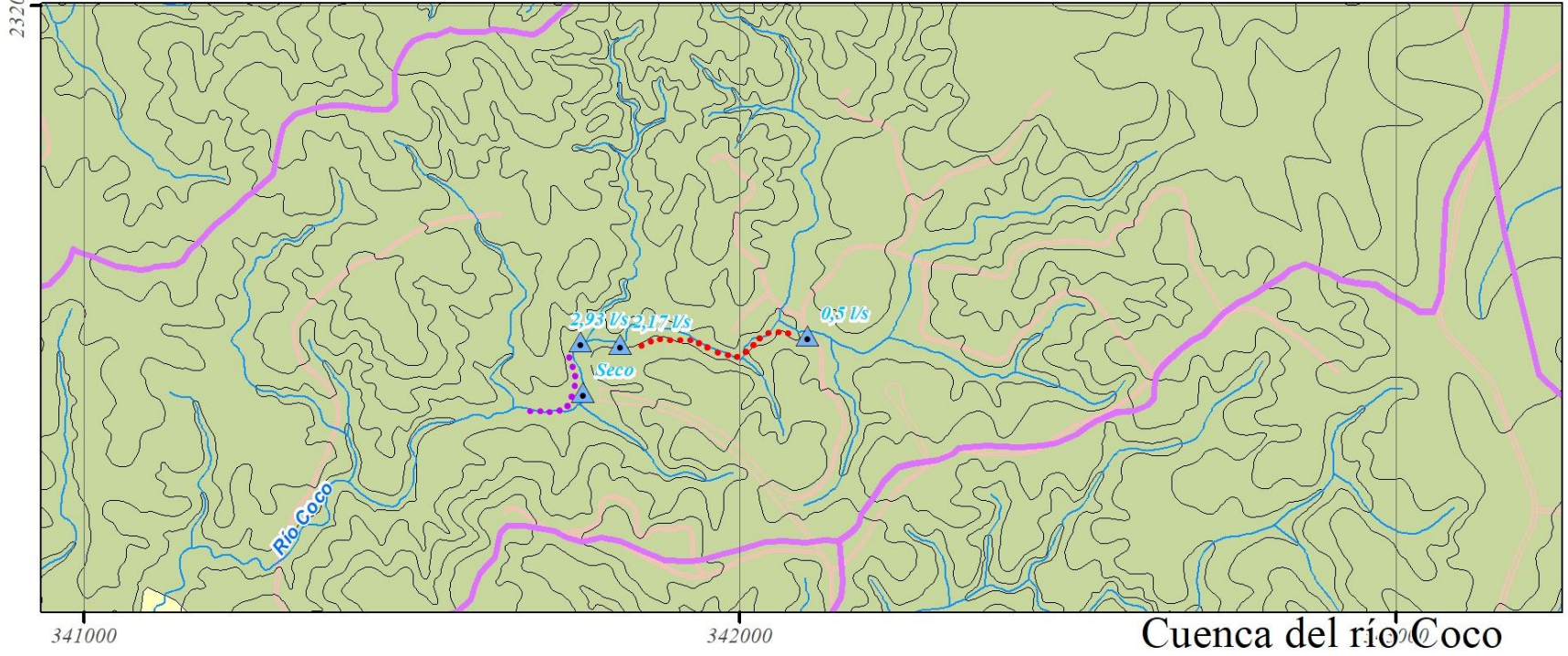
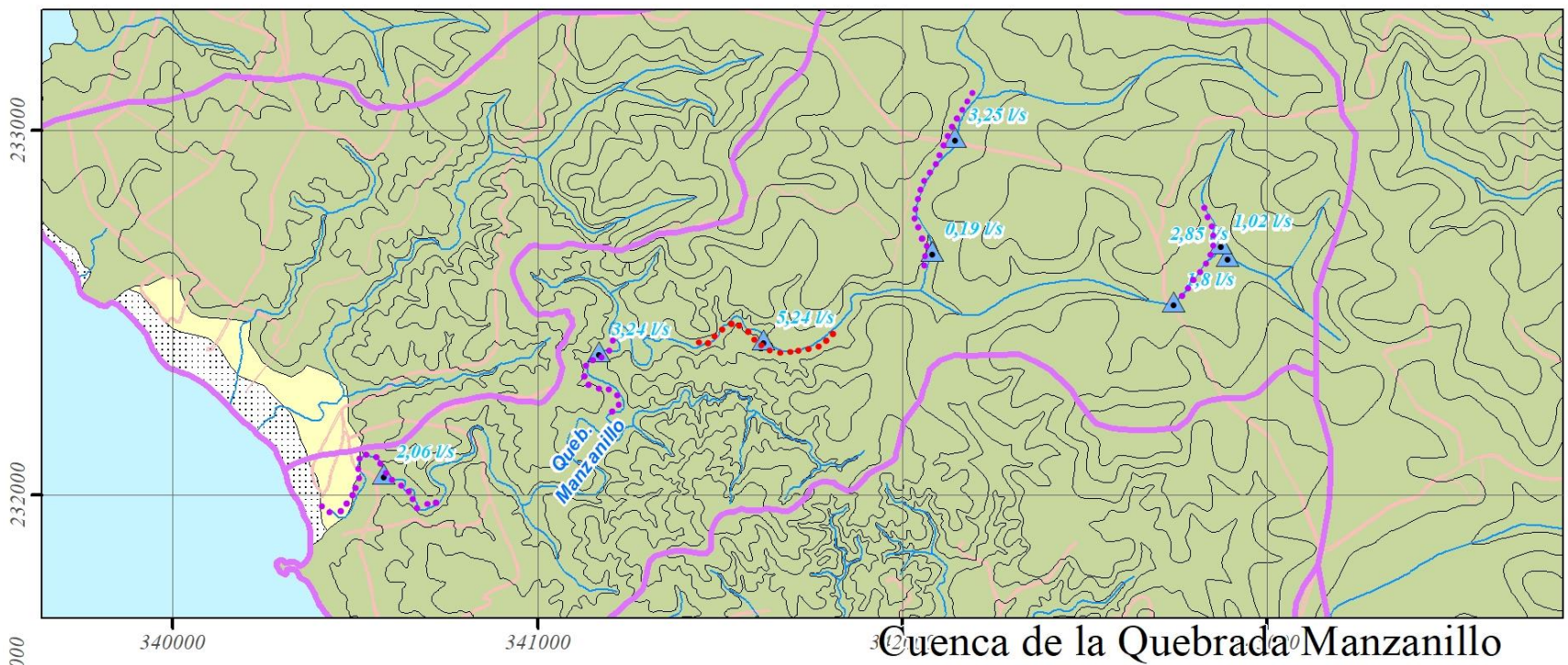
Aforo	Latitud	Longitud	Caudal (l/s)	Fuente
No. 1	230215	343833	68,02	Río Tabaco
No. 2	230302	343570	59,93	Río Tabaco
No. 3	230325	343488	68,5	Río Tabaco
No. 4	230282	343420	68,55	Río Tabaco
No. 5	230037	343310	36,15	Río Tabaco
No. 6	229938	343326	33,9	Río Tabaco
No. 7	229814	342792	45,9	Río Tabaco
No. 8	229786	342980	42,61	Río Tabaco
No. 9	232528	342743	1,8	Queb. Sin Nombre
No. 10	232652	342892	2,85	Queb. Sin Nombre
No. 11	232688	342872	1,02	Queb. Sin Nombre
No. 12	232978	342145	3,25	Queb. Sin Nombre
No. 13	232667	342082	0,19	Queb. Manzanillo
No. 14	232423	341619	5,24	Queb. Manzanillo
No. 15	232391	314167	3,24	Queb. Manzanillo
No. 16	232056	340578	2,06	Queb. Manzanillo
No. 17	231487	341758	2,93	Río Coco
No. 18	231483	341818	2,17	Río Coco
No. 19	231409	341761	Seco	Río Coco
No. 20	231495	342104	0,5	Río Coco

A partir de la figura 19, se analiza el comportamiento de las cuencas en función de los aforos realizados. Los aforos fueron realizados con el método de área-velocidad, con el método de la sección media; utilizando un molinete tipo hélice marca Geo Packs modelo MFP 51, con una precisión de 0,05 m/s. La profundidad de la medición en las verticales se realizó al 80% de la profundidad total.

En la cuenca de la quebrada Manzanillo, el comportamiento de la quebrada hacia el Noreste de la zona es de descarga o se comporta influente. Hacia el Sur – Centro de la cuenca, la quebrada gana agua del acuífero. Aguas abajo en dirección hacia la costa, la quebrada pierde agua y se seca, comportándose como influente.

En el caso de la cuenca del río Coco, se tiene a partir de los 4 aforos realizados, el río tiene un comportamiento de efluencia entre aforo No. 20 y No. 18 y de influencia entre los aforos No. 18, No. 19 y No. 20; siendo el aforo No. 20 donde se seca el río por completo. Cabe incluir que a lo largo del río Coco se observan fracturamiento secundarios del Complejo de Nicoya así como inclinaciones con direcciones preferenciales.

A partir de los resultados de los 8 aforos realizados en el río Tabaco, se tiene un caudal inicial medido aguas arriba de 68,021 l/s. El aforo No. 8 medido en el punto donde el río Tabaco se une con el manglar, reporta un caudal de 42,61 l/s. A partir de los aforos realizados en dicho río, se tiene un tramo entre los aforos No. 4 y No. 6, el río está descargando 22,0 l/s hacia el acuífero.



SIMBOLOGÍA

- | | | | | | |
|-------|----------------------------|---|---------------------------------|---|---------------------|
| | Comportamiento efluente | □ | Cuenca hidrográfica | ▲ | Estación de aforo |
| | Comportamiento influente | — | Cuerpo de agua | ▨ | Depósitos de Playa |
| — | Curva de nivel (cada 10 m) | ■ | Basaltos del Complejo de Nicoya | ■ | Depósitos Aluviales |



Figura 19: Análisis de comportamiento efluencia e influencia en cuenca

Cálculo de la recarga potencial

Una vez recopilada la totalidad de la información requerida por la metodología de Schosinsky (2006) referente a la precipitación, pendiente de terreno, cobertura y propiedades del suelo, se procedió a realizar el respectivo cálculo de la recarga potencial a los acuíferos de la zona.

Para el cálculo de la recarga potencial, se siguió el procedimiento establecido por Schosinsky (2006) mediante la utilización de un modelo de cálculo mediante hoja electrónica, en el cual, se determinó que el CI de es 1 para todo el área de estudio (a excepción de las playas), por lo que estos datos no variaran (k_p, K_v, K_{fc}), se colocaran en las tablas, sin embargo serán representativos, pues CI no aumentará. Dado lo anterior, los datos que se deben de ingresar a la tabla son la profundidad de raíces, el Hsi, CC, PM, DA, lluvia retenida y el número de mes con que inicia Hsi. El mes escogido para Hsi fue el mes de noviembre (esto debido a que el mes con mayor precipitación es octubre). Los datos de CC, PM y DA se tomaron de la sección anterior para aluvión y basaltos. Los datos de lluvia retenida y de profundidad de raíces se utilizarán según lo mencionado en el apartado respectivo, donde se hará una clasificación para Bosques y para "otros" (refiriéndose a cualquier otro uso del suelo).

Lo anterior será considerado en los cálculos del balance, donde además se hará una separación por unidad geológica. También se hizo una separación por cuenca, sin embargo esta es representativa, ya que los valores de recarga no varían en cada cuenca, esto debido a los altos valores de CI.

Según lo anterior, únicamente se observará varianza en los cálculos de recarga debido a la unidad geológica (varían PM, CC, DA, K_p) y por retención de lluvia y profundidad de raíces (los resultados varían notablemente entre bosques y "otros"), siendo así se obtuvieron los siguientes datos de recarga potencial de suelos, cuadro 18.

Cuadro 18. Resultados generales de la estimación de recarga potencial.

GEOLOGÍA/USO	RP (mm/año)
BASALTO/BOSQUES	303,52
BASALTO/"OTROS"	481,20
ALUVIAL/BOSQUES	302,83
ALUVIAL/"OTROS"	480,36

Como se observa en el cuadro anterior, los resultados varían principalmente respecto a la profundidad de raíces y a la retención de lluvia. La recarga es levemente mayor en los basaltos, sin embargo la diferencia por litología es mínima. Los datos básicos de cada cálculo así como las hojas electrónicas donde se realizaron los mismos se presentan en el Anexo 7.

Una vez obtenidos los datos de recarga potencial según las 4 clasificaciones se procedió a efectuar los cálculos del volumen de recarga por cada cuenca, donde la extensión de cada una de las mismas tomará un papel preponderante. Es importante señalar las cuatro subclases no se encuentran en todas las cuencas, lo cual también se ve reflejado en los cálculos del cuadro 19.

Cuadro 19. Resultados de la estimación de la recarga por cuenca según clasificación señalada.

CUENCA	USO SEGÚN GEOLOGÍA	ÁREA (m ²)	RECARGA (mm/año)	RECARGA (m/año)	RECARGA (m ³ /año)	RECARGA (l/s)
TERCIOPELO 1558522 m ²	BASALTO BOSQUE	642596	303.52	0.30352	195040.7	6.2
	BASALTO "OTROS"	783271	481.20	0.4812	376910.0	12.0
	ALUVIAL "OTROS"	132655	480.36	0.48036	63722.2	2.0
Recarga total: 20.2 l/s						
MANZANILLO 3029886 m ²	BASALTO BOSQUE	1660721	303.52	0.30352	504062.0	16.0
	BASALTO "OTROS"	1369165	481.20	0.4812	658842.2	20.9
Recarga total: 36.9 l/s						
COCO 1971153 m ²	BASALTO BOSQUE	1145761	303.52	0.30352	347761.4	11.0
	BASALTO "OTROS"	720952	481.20	0.4812	346922.1	11.0
	ALUVIAL BOSQUE	104440	302.83	0.30283	31627.6	1.0
Recarga total: 23.0 l/s						
ZAPOTE 1394727 m ²	BASALTO BOSQUE	390340	303.52	0.30352	118476.0	3.8
	BASALTO "OTROS"	824147	481.20	0.4812	396579.5	12.6
	ALUVIAL BOSQUE	71498	302.83	0.30283	21651.7	0.7
	ALUVIAL "OTROS"	108742	480.36	0.48036	52235.3	1.7
Recarga total: 18.7 l/s						
TABACO 4809141 m ²	BASALTO BOSQUE	2043001	303.52	0.30352	620091.7	19.7
	BASALTO "OTROS"	1379290	481.20	0.4812	663714.3	21.0
	ALUVIAL BOSQUE	659860	302.83	0.30283	199825.4	6.3
	ALUVIAL "OTROS"	726990	480.36	0.48036	349216.9	11.1
Recarga total: 58.1 l/s						

Cálculo de la extracción y la disponibilidad hídrica en los acuíferos

Para la estimación de la extracción de agua de los acuíferos en la zona de estudio se ha tomado como referencia la información disponible en los registros de concesiones que se encuentran en las bases de datos de la Dirección de Aguas del MINAE así como los datos registrados en SENARA. A la fecha del 7 de Febrero de 2019, tomando en consideración las extracciones mediante pozos y captaciones de nacientes y/o quebradas, se realiza el análisis respectivo. Cabe aclarar que se utilizaron los datos registrados de acuerdo con los registros de concesiones de la Dirección de Aguas (MINAE, 2019). Se incluyó sin embargo, los datos de extracción del pozo de Lomas del Sol, Asada Posada del Sol y Lomas del Sol.

De acuerdo con el tipo de uso referido para cada una de las concesiones se procedió a establecer el régimen de bombeo respectivo, a partir de lo cual fue posible obtener la extracción en m³/año y l/s; para cada uso y para cada una de las 5 cuencas analizadas. Posteriormente se calculó la extracción total correspondiente para la totalidad del área de estudio.

En los cuadros 20 a 24 se muestran los resultados obtenidos a partir del cálculo de la extracción total para cada cuenca, según la información de concesiones y datos de la Dirección de Aguas disponible. En el caso de los pozos de la ASADA de Marbella y Posada del Sol, se incluyeron los caudales y bombeos reportados por los encargados de dichas fuentes en el campo. Se determina que para la totalidad del área de interés, la mayor parte de la extracción se da por abastecimiento público. Cabe aclarar que hay pozos que no están registrados en la Dirección de Aguas para la obtención de la concesión por cuenca.

Los cuadros 20, 21, 22, 23 y 24 muestran el análisis de extracción hídrica por bombeo para cada cuenca de estudio.

Para el caso de la cuenca de la quebrada Terciopelo, cuadro 20, no se tienen concesiones registradas de acuerdo con la base de datos de MINAE (2019). Sin embargo, los pozos MA-9 y MA-36 tienen registrados en SENARA (2019), un caudal de 0,5 l/s para el pozo MA-9 y 2,5 l/s para el pozo MA-36, por lo que dichos caudales se incluyen en cuadro 20. Se establece un régimen estimado de 8 horas diarias de extracción durante todo el año.

Cuadro 20: Extracción para la cuenca Quebrada Terciopelo

Cuenca	Uso	Regimen horas/día	Bombeo (meses)	Caudal por uso (m ³ /año)	Caudal (L/s)
Quebrada Terciopelo	Riego y doméstico	8	24	31 536	3,0

Para el caso de la cuenca de la quebrada Manzanillo cuadro 21, se tiene el pozo MA-48 con respectiva concesión. El MA-48 extrae 2,0 l/s, según concesión.

Cuadro 21: Extracción para la cuenca Quebrada Manzanillo.

Cuenca	Uso	Regimen Horas/día	Bombeo (meses)	Caudal por uso (m ³ /año)	Caudal (L/s)
Quebrada Manzanillo	Doméstico	8	24	21 024	2

En el caso de la cuenca Río Coco, los pozos MA-29, MA-30 y MA-24 no tienen concesiones registradas y activas en la Dirección de Aguas. Por otra parte, para dichos pozos no se considera el caudal registrado en SENARA ya están en desuso. Para el pozo MA-6, sí se considera el caudal de extracción reportado en la prueba de bombeo del SENARA (0,5 l/s); cuadro 22.

Se considera una extracción de 8,0 l/s durante 12 horas diarias para el pozo Lomas del Sol.

Cuadro 22: Extracción para la cuenca río Coco

Cuenca	Uso	Regimen horas/día	Bombeo (meses)	Caudal por uso (m ³ /año)	Caudal (L/s)
Río Coco	Doméstico Condominio	12	24	134 028	8,5

En el caso de la cuenca de la quebrada Zapote, se incluye la extracción reportada de 0,05 l/s del pozo MA-60, cuadro 23.

Cuadro 23: Extracción para la cuenca Quebrada Zapote

Cuenca	Uso	Regimen (horas/día)	Bombeo (meses)	Caudal por uso (m3/año)	Caudal (L/s)
Quebrada Zapote	Doméstico Condominio	18 horas	24	525,6	0,05

En el caso de la cuenca del río Tabaco, se consideran los caudales de 4,7 l/s para el pozo de la ASADA de Marbella y de 7,0 l/s para el pozo MA-23 correspondiente con el pozo de la ASADA Posada del Sol, con una extracción de 18 horas de bombeo diarias. Dichos caudales fueron reportados en el campo por los encargados de las ASADAS respectivas; cuadro 24.

Cuadro 24: Extracción para la cuenca Río Tabaco

Cuenca	Uso	Régimen (horas/día)	Bombeo (meses)	Caudal por uso (m3/año)	Caudal (L/s)
Río Tabaco	Abast. Publico	18 horas/día	24	276 728,4	11,7 l/s

A partir de los datos de extracción en pozos según registro de la Dirección de Aguas (MINAE, 2019) y la extracción de los pozos de las ASADAS de la zona de estudio, se reportan una extracción total de 25,25 l/s.

Descarga según ley de Darcy

Los cuadros 25, 26, 27, 28 y 29 muestran el análisis de descarga al mar de cada una de las 5 cuencas estudiadas en el área de estudio, aplicando la ecuación:

$$Q: T \times i \times L$$

Se obtuvieron los valores de gradiente cercanos a la línea de costa, considerando niveles estáticos, niveles base y aforos; para cada cuenca. En el caso de la cuenca de Tercipelo se utilizó la equipotencial del pozo MA-9 y línea de costa. En la cuenca Manzanillo se utilizó la equipotencial del pozo MA-8 y la línea de costa. Para la cuenca Río Coco se utilizó la equipotencial del pozo MA-30 y la línea de costa. En la cuenca Zapote la equipotencial del pozo MA-51 y la línea de costa y para la cuenca Tabaco la equipotencial de pozo MA-21 y la línea de costa.

Cuadro 25 Cálculo de la descarga hacia el mar, cuenca Terciopelo

Longitud (L)	Transmisividad (m ² /día)*	Gradiente (i)	Caudal (m ³ /día)	Caudal (l/s)	Caudal (m ³ /año)
1150	50,4	0,025	1449	16,77	10 703,6

*: Pozo Lomas del Sol (Prueba de bombeo año 2013)

Cuadro 26: Cálculo de la descarga hacia el mar, cuenca Manzanillo

Longitud (L)	Transmisividad (m ² /día) *	Gradiente (i)	Caudal (m ³ /día)	Caudal (l/s)	Caudal (m ³ /año)
750	50,4	0,015	567	6,56	206 955

*: Pozo Lomas del Sol (Prueba de bombeo año 2013)

Cuadro 27: Cálculo de la descarga hacia el mar, cuenca Río Coco

Longitud (L)	Transmisividad (m ² /día) *	Gradiente (i)	Caudal (m ³ /día)	Caudal (l/s)	Caudal (m ³ /año)
700	50,4	0,0147	518,7	6,00	189 326

*: Pozo Lomas del Sol (Prueba de bombeo año 2013)

Cuadro 28: Cálculo de la descarga hacia el mar, cuenca quebrada Zapote

Longitud (L)	Transmisividad (m ² /día) *	Gradiente (i)	Caudal (m ³ /día)	Caudal (l/s)	Caudal (m ³ /año)
1525	15	0,018	411,75	4,77	150 288,8

*: pozo MA-51 (Prueba de bombeo año 2011)

Cuadro 29: Cuadro de la descarga hacia el mar, cuenca río Tabaco

Longitud (L)	Transmisividad (m ² /día) *	Gradiente (i)	Caudal (m ³ /día)	Caudal (l/s)	Caudal (m ³ /año)
1200	147,0	0,012	2116,8	24,5	772 632

*: pozo MA-49 (Prueba de bombeo replanteada por autor)

El cuadro 30 muestra la descarga hacia el mar total en m³/día y l/s, de cada una de las cuencas así como la descarga total hacia el mar, así como en m³/año.

Cuadro 30: Descarga hacia el mar para cada cuenca

Cuenca	Caudal (m ³ /día)	Caudal (l/s)
Terciopelo	1449	16,77
Manzanillo	567	6,56
Río Coco	518,7	6,0
Zapote	411,75	4,77
Tabaco	2116,8	24,5
TOTAL	5063,25	58,6

El cuadro 31 muestra el balance de agua disponible para los acuíferos del área de estudio, según los resultados obtenidos para del cálculo de la recarga potencial (balance hídrico de suelos). A partir de dicho análisis, se tiene una recarga potencial para el área de estudio de **156,9 l/s**. El total de la extracción por pozos es de **22,05 l/s** y la descarga hacia el mar es de **15,39 l/s**. La extracción total y descarga hacia el mar es de **37,44 l/s** correspondiente con el **23,86 %** de la recarga total potencial por infiltración.

Cuadro 31: Relación de recarga, descarga al mar y extracción hídrica

Cuenca	Recarga (m ³ /año)	Recarga potencial (l/s)	Descarga mar (m ³ /año)	Descarga mar (l/s)	Extracción hídrica pozos (m ³ /año)	Extracción hídrica pozos (l/s)	Recaga final (Rp - descarga al mar y extracción hídrica en l/s)
TERCIOPELO	635672,9	20,2	10 703,6	16,77	31 536	3,0	0,43
MANZANILLO	1162904,2	36,9	206 955	6,56	21 024	2,0	28,34
COCO	726311,0	23	189 326	6,0	134 028	8,5	8,5
ZAPOTE	588942,6	18,7	150 288,8	4,77	525,6	0,05	13,88
TABACO	1832848,3	58,1	772 632	24,5	276 728,4	11,7	21,9

A partir del cuadro 31, se tiene que las cuencas de Terciopelo, El Coco y Zapote son las cuencas que presentan menor recarga potencial hídrica y a su vez, las cuencas de Manzanillo y Tabaco las que presentan mayor recarga potencial.

La mayor descarga hídrica hacia el mar se da en la cuenca Manzanillo con una descarga anual de 206 955 m³/año, seguida de la cuenca El Coco con una descarga de 189 326 m³/año.

La cuenca con mayor extracción hídrica corresponde con la cuenca del río Tabaco, la cual a su vez corresponde con la cuenca de mayor recarga potencial y mayor descarga hídrica al mar.

A partir del análisis de la recarga final; se tiene la mayor disponibilidad hídrica en la cuenca Manzanillo, seguida de la cuenca Tabaco con un caudal disponible de 21,9 l/s. La cuenca Terciopelo cuenta con la menor recarga final, con un equivalente a 0,43 l/s.

ANÁLISIS GEOFÍSICO Y EVALUACIÓN DE LA CUÑA DE INTRUSIÓN SALINA

Trabajo realizado

Mediante acuerdo mutuo entre el equipo consultor y el equipo técnico del AyA; se definieron varios sectores para el análisis y ubicación para efectuar los sondeos geofísicos. Por parte del equipo consultor se realizaron sondeos en 4 sectores, mediante la prospección geofísica con el método geoeléctrico, específicamente por medio de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) con el arreglo Slumberger. Por parte del equipo técnico del AyA se realizaron SEVs en 2 sectores perpendiculares a la línea de costa, Anexo 8 y Anexo 9, figura 20.

Los sectores donde se realizaron sondeos eléctrico verticales para prospección incluyen la zona de Joya, Playa Frijolar Norte, Frijolar Sur y la zona de Pithaya (Figuras 21, 22,23 y 24). En cada sector se realizaron al menos 3 SEV, dependiendo de las condiciones del terreno, ubicación de barreras como cercas eléctricas o acantilados y/o permisos por parte de propietarios.

Para la línea de SEVs ubicada en la localidad de Joya se realizaron 3 SEV; para la línea localizada en Playa Frijolar Norte se realizaron 5 SEVs, en la línea de playa Frijolar Sur se realizaron 5 SEVs y en la línea ubicada en la localidad de Pithaya se realizaron 6 SEVs.

Por otra parte, se realizó un sondeo para calibración del modelo geofísico y tres para la prospección de potenciales sitios de perforación y caracterización geométrica de las unidades geológicas. La ubicación de los sondeos eléctrico verticales se muestran en la figura 20, donde se observa de manera general la ubicación de las líneas de sondeos geoeléctricos y los SEV de prospección, mientras que las figuras 21, 22, 23 y 24 muestran la ubicación detallada de cada uno de los SEV en las líneas donde se analizó el proceso de intrusión salina.



SIMBOLOGÍA







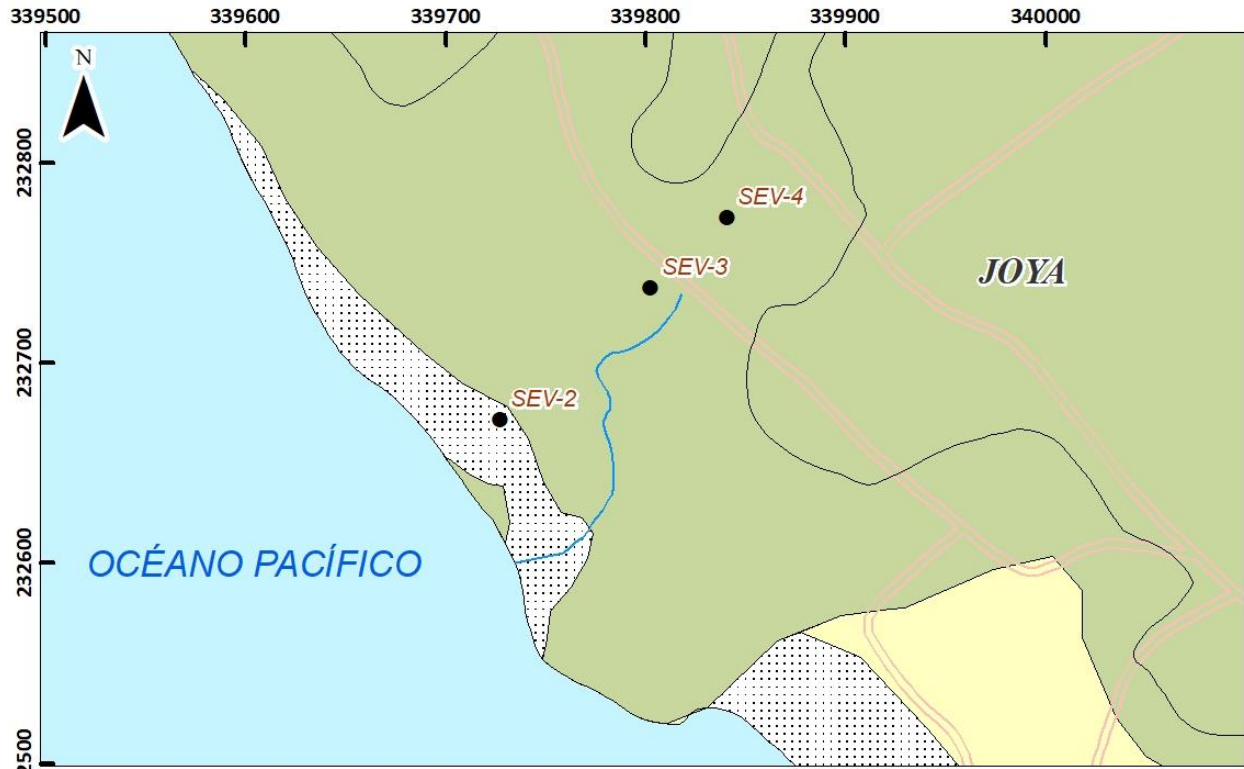



-  Cuenca hidrográfica
-  Cuerpo de agua
-  Curva de nivel (cada 10 m)
-  Depósitos de Playa
-  Depósitos Aluviales
-  Basaltos del Complejo de Nicoya




Figura 20. Ubicación general de los SEVs



SIMBOLOGÍA

-  *Cuerpo de agua*
-  *Camino*
-  *Curva de nivel (cada 10 m)*

● *Sondeo eléctrico vertical (SEV)*

-  *Depósitos de Playa*
-  *Depósitos Aluviales*
-  *Basaltos del Complejo de Nicoya*

Sist. Coord.
Lambert Norte
0 20 40 80 m

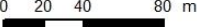
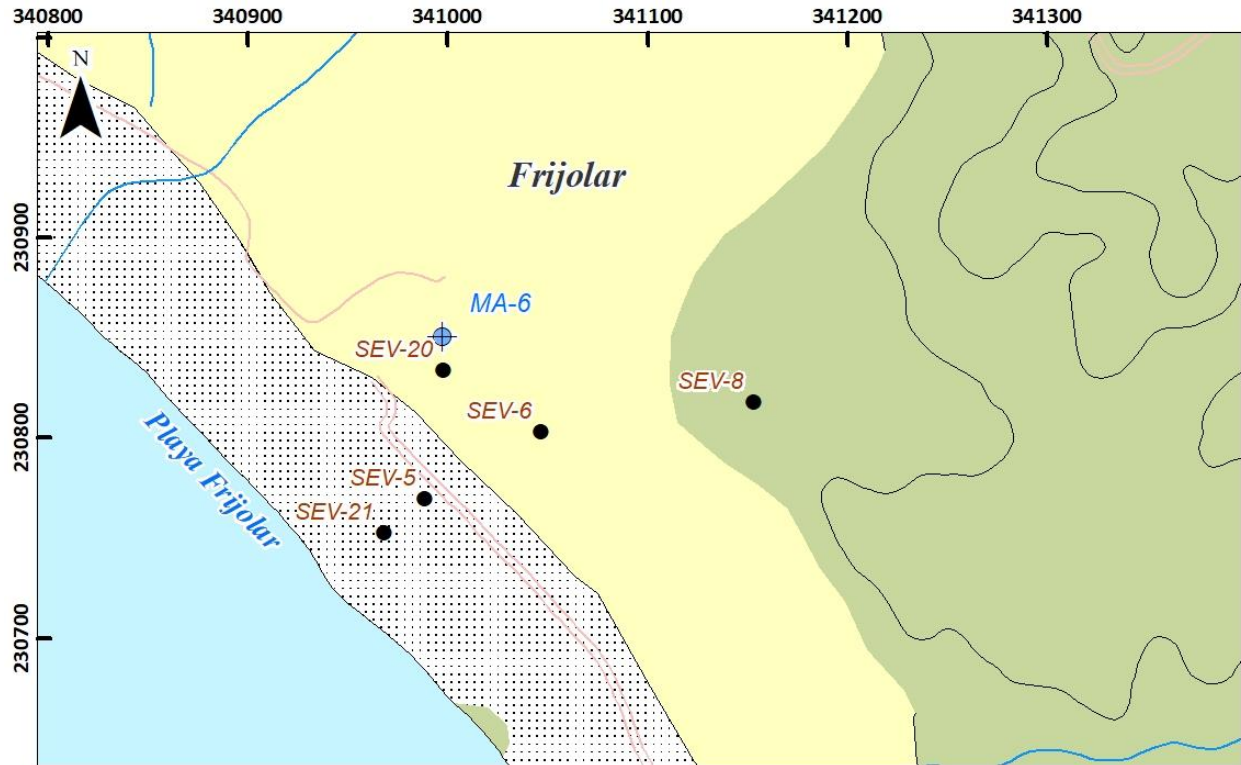



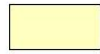


Figura 21. Ubicación SEVs, La Joya



SIMBOLOGÍA

-  *Cuerpo de agua*
-  *Camino*
-  *Curva de nivel*
(cada 10 m)

-  *Sondeo eléctrico vertical (SEV)*
-  *Depósitos de Playa*
-  *Depósitos Aluviales*
-  *Basaltos del Complejo de Nicoya*


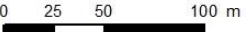
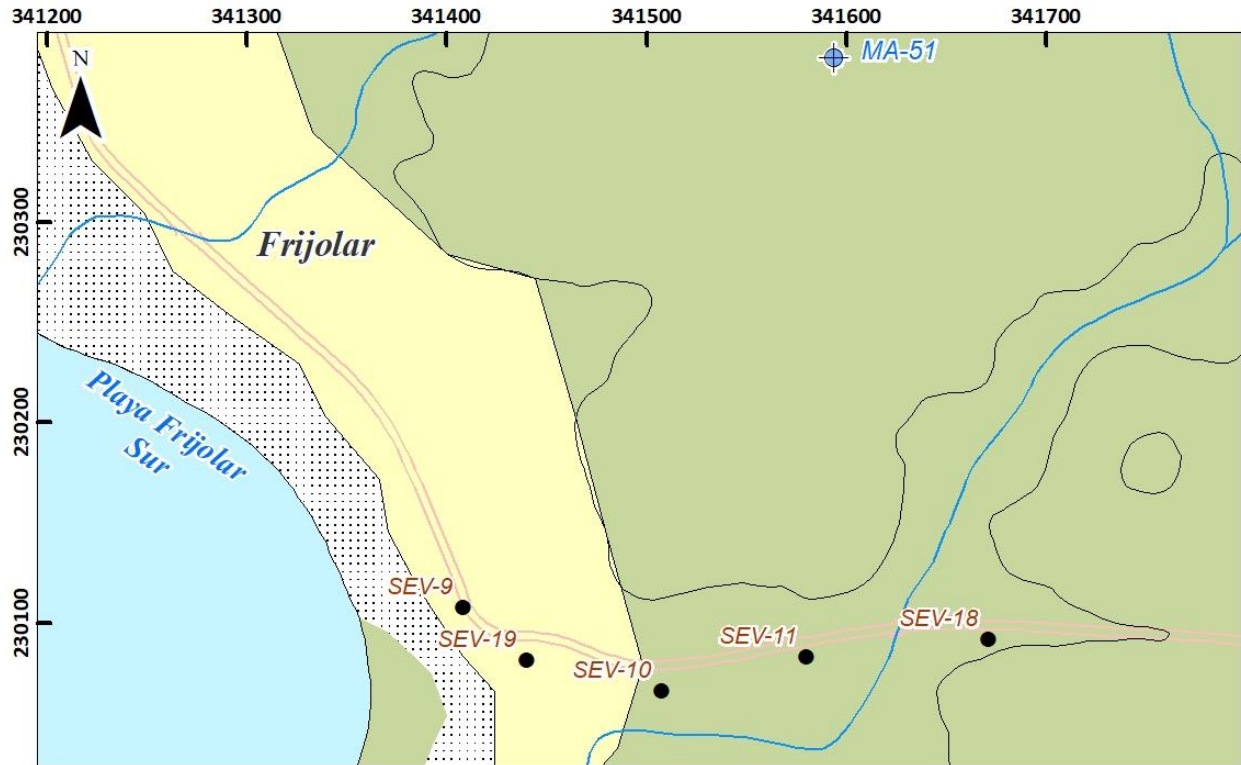
-  *Pozo SENARA*
- Sist. Coord.
Lambert Norte
- 

Figura 22: Ubicación SEVs playa Frijolar Norte



SIMBOLOGÍA

- *Cuerpo de agua*
- *Camino*
- *Curva de nivel (cada 10 m)*
- Depósitos Aluviales*
- Depósitos de Playa*
- Basaltos del Complejo de Nicoya*
- Sondeo eléctrico vertical (SEV)*
- Pozo SENARA*

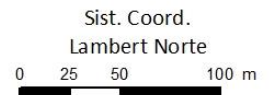
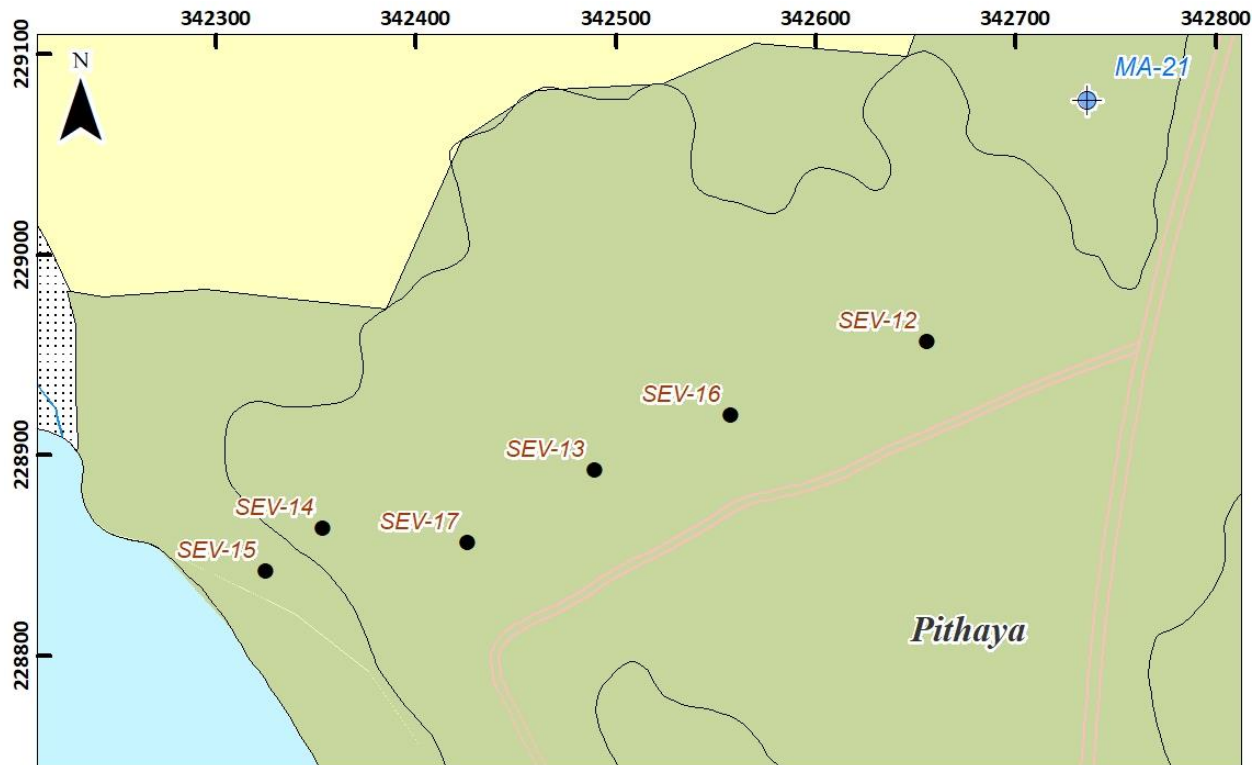


Figura 23: Ubicación SEVs playa Frijolar Sur



SIMBOLOGÍA

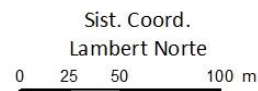
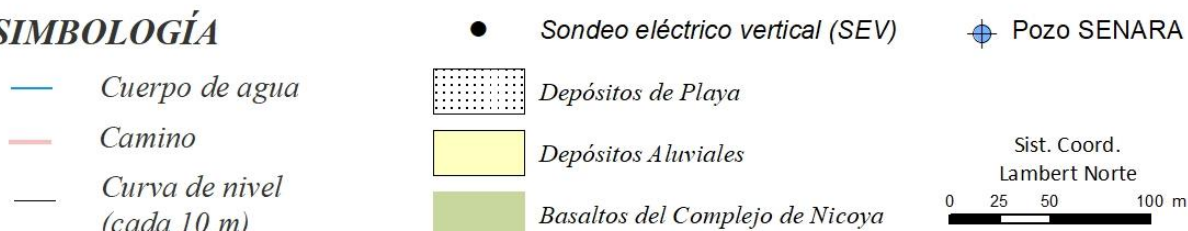


Figura 24. Ubicación de sondeos eléctrico verticales zona de playa Pithaya

Sondeos eléctrico verticales

Durante el mes de enero, febrero y marzo del año 2019 se realizaron sondeos eléctrico verticales en la zona de estudio, los datos de campo, registros fotográficos, información geoespacial y Anexo 8. En caso de todos los sondeos, se realizó un arreglo cuadrípolar tipo **Schlumberger**.

- Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 2); Sitio Línea La Joya, Cuenca Terciopelo

El AB del sondeo fue de 200 m (SEV 2 La Joya). La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 232671 latitud – 339727 longitud a una elevación de 1,5 m.s.n.m., con un rumbo N30W.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen cuatro capas geológicas principales, que incluyen arenas de playa secas con una profundidad hasta de 1,5 m y resistividades de 30,5 Ω -m. A partir de 1,5 m hasta 2,82 m de profundidad aparecen arenas húmedas con agua salina y/o salobre y resistividad de 5,99 Ω -m. A partir de los 2,82 m hasta 19,7 m de profundidad aparecen basaltos sanos con fracturamiento secundario del Complejo de Nicoya, con resistividades de 61,6 Ω -m. A partir de 19,7 m aparece un basamento rocoso denso con resistividad de 202 Ω -m.

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 1,5 m de profundidad. El modelo planteado contempla un error del 19% (este es el SEV con mayor error de los que se realizaron), este error se asocia a la alta varianza entre las medidas realizadas, las cuales si presentan una tendencia o bien una curva, sin embargo existe error elevado debido a la diferencia de magnitud entre las últimas medidas.

- Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 3); Sitio Línea La Joya, Cuenca Terciopelo

El AB máximo del sondeo fue de 500 m (SEV 3 La Joya), con un rumbo N20W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 232737 latitud – 339802 longitud a una elevación de 9,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen cuatro capas geológicas principales, que incluyen suelos con una profundidad hasta 1,0 m y resistividad de 14,6 Ω -m. A partir de 1,0 m hasta 2,7 m de profundidad aparecen basaltos meteorizados del Complejo de Nicoya con presencia de agua y resistividad de 9,17 Ω -m. A partir de los 2,7 m hasta 15,2 m de profundidad aparecen basaltos sanos con fracturamiento secundario del Complejo de Nicoya, con resistividad de 98,6 Ω -m. A partir de 15,2 m de profundidad aparece un basamento rocoso denso asociado a basaltos sanos y sin fracturamiento del Complejo de Nicoya; con resistividad de 210 Ω -m.

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 1,0 m de profundidad. El error en este sondeo es de 9.87%, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 4); Sitio Línea La Joya, Cuenca Terciopelo

El AB del sondeo fue de 200 m (SEV 4 La Joya), con un rumbo N20W.

La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 232772 latitud – 339840 longitud; a una elevación de 14,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen tres capas geológicas principales, que incluyen suelos con una profundidad hasta 2,0 m y resistividad de 20 Ω -m. A partir de 2,0 m hasta 4.27 m de profundidad aparecen basaltos meteorizados del Complejo de Nicoya con presencia de agua dulce y resistividad de 12,0 Ω -m. A partir de los 4.27 m hasta aparecen basaltos sanos sin fracturamiento secundario del Complejo de Nicoya, con resistividad de 250 Ω -m. De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 2,0 m de profundidad.

El error en este sondeo es de 10.3 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 21); Línea Frijolar Norte, Cuenca Río Coco

El AB del sondeo fue de 200 m (SEV 21 Frijolar Norte), con un rumbo N40W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 230752 latitud – 230752 longitud; a una elevación de 0,5 m.s.n.m. Dicho sondeo fue realizado en la línea de costa.

De 0,0 m a 1,0 m se encuentran arenas secas de playa con resistividad de 18,0 Ω -m. A partir de 1,0 m hasta 2,5 m de profundidad, aparecen arenas de playa con agua salada y resistividad de 6,53 Ω -m. A partir de los 2,5 m a 43,2 m aparecen basaltos fracturados asociados al Complejo de Nicoya con resistividad de 34 Ω -m y presencia de agua salada – salobre?. A partir de 43.2 m de profundidad aparecen basaltos sanos con resistividad de 250 Ω -m.

El error en este sondeo es de 10.7 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 5); Línea Frijolar Norte, Cuenca Río Coco

El AB del sondeo fue de 200 m (SEV 5 Frijolar Norte), con un rumbo N40W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 230769 latitud – 340988 longitud; a una elevación de 1,5 m.s.n.m. Dicho sondeo fue realizado en terreno frente a la playa.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen cuatro capas geológicas principales, que incluyen arenas secas con una profundidad hasta 1,73 m y resistividad de 100,0 Ω -m. A partir de 1,0 m a 3,8 m de profundidad aparecen arenas de playa con agua salobre y resistividad de 12,7 Ω -m. A partir de los 3,8 m a 54,4 m aparecen basaltos meteorizados asociados al Complejo de Nicoya con resistividad de 60 Ω -m. A partir de 54,4 m de profundidad aparecen basaltos sanos con resistividad de 156 Ω -m.

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 1,0 m de profundidad; dato correccionable con el nivel estático del pozo MA-6 medido en campo.

El error en este sondeo es de 10.6 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 20); Línea Frijolar Norte, Cuenca Río Coco

El AB del sondeo fue de 200 m (SEV20 Frijolar Norte), con un rumbo S40W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 230833 latitud – 340997 longitud; a una elevación de 2,0 m.s.n.m. Dicho sondeo fue realizado en terreno frente a la playa.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen cuatro capas geológicas principales, que incluyen arenas y gravas secas con una profundidad hasta 2,0 m y resistividad de 90,0 Ω -m. A partir de 2,0 m hasta 6,0 m de profundidad aparecen depósitos coluvio aluviales con resistividad de 18 Ω -m y presencia de agua salobre. Dicha condición se puede corroborar con el análisis físico químico realizado por Laboratorio Nacional de Aguas, 2019.

A partir de los 6,0 m a 56,0 m aparecen basaltos meteorizados asociados al Complejo de Nicoya con resistividad de 60 Ω -m. Desde 56,0 m de profundidad aparecen basaltos sanos con resistividad de 195 Ω -m.

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 1,0 m de profundidad; dato corregible con el nivel estático del pozo MA-6 medido en campo.

El error en este sondeo es de 9.2 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 6); Línea Frijolar Norte, Cuenca Río Coco**

El AB del sondeo fue de 150 m (SEV 6 Frijolar Norte), con un rumbo S50W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 230802 latitud – 341046 longitud; a una elevación de 2,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen cinco capas geológicas principales, que incluyen suelo hasta 2,0 m de profundidad y resistividad de 15,1 Ω -m. A partir de 2,0 m hasta 5,0 m de profundidad aparecen depósitos coluvio aluviales secos con resistividad de 31,7 Ω -m. A partir de 5,0 m hasta 10,0 m se encuentra Depósitos Coluvio Aluviales con agua dulce y resistividad de 16,9 Ω -m. A partir de los 10 a los 61,0 m aparecen Basaltos fracturados con resistividad de 95,3 Ω -m. A partir de 61,0 m de profundidad aparecen basaltos sanos del Complejo de Nicoya con resistividad de 253,0 Ω -m.

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 5,0 m de profundidad. El error en este sondeo es de 6.54 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 8); Línea Frijolar Norte, Cuenca Río Coco**

El AB del sondeo fue de 200 m (SEV 8 Frijolar Norte), con un rumbo S70W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 230817 latitud – 341153 longitud; a una elevación de 7,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen cuatro capas geológicas principales, que incluyen suelo hasta 3,0 m de profundidad y resistividad de 32,0 Ω -m. A partir de 3,0 m hasta 10,0 m de profundidad aparecen depósitos coluvio aluviales con agua con resistividad de 15,0

Ω -m. A partir de 10,0 m hasta 34,8 m se encuentran Basaltos fracturados con resistividad de 77,0 Ω -m. A partir de 34,8 m de profundidad aparecen basaltos sanos del Complejo de Nicoya con resistividad de 207,0 Ω -m.

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 5,0 m de profundidad. El error en este sondeo es de 8.34 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 9); Frijolar Sur, Cuenca Río Coco**

El AB del sondeo fue de 100 m (SEV 9 Frijolar Sur), con un rumbo N50W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 230081 latitud – 341398 longitud; a una elevación de 1,5 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen tres capas geológicas principales, que incluyen suelo seco hasta 3.87 m de profundidad y resistividad de 82 Ω -m. A partir de 3.87 m hasta 23.9 m se encuentran basaltos meteorizados saturados del Complejo de Nicoya con una resistividad de 36.9 Ω -m. A partir de los 24 m se espera encontrar basaltos sanos con resistividad de 207 Ω -m. A

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 2,0 m de profundidad. El error en este sondeo es de 3,4 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 19); Frijolar Sur, Cuenca Río Coco**

El AB del sondeo fue de 150 m (SEV 19 Frijolar Sur), con un rumbo N75W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 230104 latitud – 341440 longitud; a una elevación de 2,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen tres capas geológicas principales, que incluyen suelo seco hasta 2,0 m de profundidad y resistividad de 55,0 Ω -m. A partir de 2,0 m hasta 26,0 m se encuentran basaltos meteorizados saturados y se espera encontrar agua a los 2,0 m de profundidad; con una resistividad de 20,0 Ω -m. A partir de los 26,0 m se espera encontrar basaltos sanos con resistividad de 199 Ω -m. A

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 2,0 m de profundidad. El error en este sondeo es de 7,95 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 10); Frijolar Sur, Cuenca Río Coco**

El AB del sondeo fue de 200 m (SEV 10 Frijolar Sur), con un rumbo N50W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 230065 latitud – 341507 longitud; a una elevación de 2,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen cinco capas geológicas principales, que incluyen suelo seco hasta 1,0 m de profundidad y resistividad de 23,7 Ω -m. A partir de 1,0 m hasta 2,5 m se encuentran basaltos meteorizados saturados; se espera encontrar agua a los 1,0 m de profundidad; con una resistividad de 11,0 Ω -m. Entre 2,5 y 9,5 m de profundidad se espera encontrar basaltos meteorizados y resistividad de 65 Ω -m. Entre 9,5 y 27,5 m se espera encontrar basaltos meteorizados con agua dulce y resistividad de 14 Ω -m. A partir de 27,5 m de profundidad, aparecen basaltos con resistividades de 200 Ω -m.

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 2,0 m de profundidad. El error en este sondeo es de 9,69 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 11); Frijolar Sur, Cuenca Río Coco**

El AB del sondeo fue de 200 m (SEV 11 Frijolar Sur), con un rumbo N50W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 230082 latitud – 341580 longitud; a una elevación de 2,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen tres capas geológicas principales, que incluyen suelo seco hasta 5,0 m de profundidad y resistividad de 12 Ω -m. A partir de 5,0 m hasta 13,0 m se encuentran basaltos meteorizados saturados; se espera encontrar agua a partir de 5,0 m de profundidad; con una resistividad de 80,0 Ω -m. A partir de 13 m se espera encontrar basaltos sanos del Complejo de Nicoya con resistividad de 270 Ω -m.

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 2,0 m de profundidad. El error en este sondeo es de 9,64 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 18); Frijolar Sur, Cuenca Río Coco**

El AB del sondeo fue de 200 m (SEV 18 Frijolar Sur), con un rumbo N50W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 230091 latitud – 341671 longitud; a una elevación de 4,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen tres capas geológicas principales, que incluyen suelo seco hasta 3,0 m de profundidad y resistividad de 14 Ω -m. A partir de 3,0 m hasta 16,0 m se encuentran basaltos meteorizados saturados con agua dulce del Complejo de Nicoya; se espera encontrar agua a partir de 3,0 m de profundidad; con una resistividad de 87,0 Ω -m. A partir de 16 m se espera encontrar basaltos sanos del Complejo de Nicoya con resistividad de 250 Ω -m.

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 2,0 m de profundidad. El error en este sondeo es de 7,13 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 15); Línea Pithaya, Cuenca río Tabaco**

El AB del sondeo fue de 200 m (SEV 15 Pithaya), con un rumbo N30W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 228841 latitud – 342324 longitud; a una elevación de 6,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen cuatro capas geológicas principales, que incluyen suelo hasta 2,0 m de profundidad y resistividad de 40,0 Ω -m. A partir de 2,0 m hasta 4,0 m se encuentran basaltos meteorizados del Complejo de Nicoya y se espera encontrar agua a los 2,0 m de profundidad; con una resistividad de 17,0 Ω -m. Entre los 4,0 m a los 18,0 m aparecen basaltos fracturados con resistividad de 40,0 Ω -m. A partir de 18,0 m de profundidad aparecen basaltos sanos del Complejo de Nicoya con resistividad de 191 Ω -m.

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 2,0 m de profundidad. El error en este sondeo es de 9.27 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 14); Línea Pithaya, Cuenca río Tabaco**

El AB del sondeo fue de 150 m (SEV 14 Pithaya), con un rumbo N30W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 228863 latitud – 342353 longitud; a una elevación de 10,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen tres capas geológicas principales, que incluyen suelo arcilloso hasta 3,0 m de profundidad y resistividad de 40,0 Ω -m. A partir de 3,0 m hasta 15 m se encuentran basaltos meteorizados del Complejo de Nicoya y se espera encontrar agua a los 2,0 m de profundidad. Dicha capa presenta una resistividad de 15,0 Ω -m. A partir de 15,0 m de profundidad aparecen basaltos sanos del Complejo de Nicoya con resistividad de 250 Ω -m.

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 2,0 m de profundidad. El error en este sondeo es de 6.9 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 17); Línea Pithaya, Cuenca río Tabaco**

El AB del sondeo fue de 200 m (SEV 14 Pithaya), con un rumbo N30W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 228855 latitud – 342426 longitud; a una elevación de 11,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen tres capas geológicas principales, que incluyen suelo arcilloso hasta 5,06 m de profundidad y resistividad de 16,4 Ω -m. A partir de 5,06 m hasta 19,7 m se encuentran basaltos meteorizados del Complejo de Nicoya con resistividad de 34,3 Ω -m. Se espera encontrar agua a los 5,06 m de profundidad. A partir de 19,7 m de profundidad, se espera encontrar basaltos sanos con resistividad a partir de los 162 Ω -m.

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 5,06 m de profundidad.

El error en este sondeo es de 6.6 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 13); Línea Pithaya, Cuenca río Tabaco**

El AB del sondeo fue de 300 m (SEV 14 Pithaya), con un rumbo S50W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 228892 latitud – 342489 longitud; a una elevación de 11,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen tres capas geológicas principales, que incluyen suelo arcilloso hasta 2,0 m de profundidad y resistividad de 47,5 Ω -m. A partir de 2,0 m hasta 20,5 m se encuentran basaltos meteorizados del Complejo de Nicoya con resistividad de 25,4 Ω -m. Se espera encontrar agua a los 2,0 m de profundidad. A partir de 20,5 m de profundidad, se espera encontrar basaltos sanos con resistividad a partir de los 215 Ω -m.

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 2,0 m de profundidad. El error en este sondeo es de 6.6 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 16); Línea Pithaya, Cuenca río Tabaco**

El AB del sondeo fue de 200 m (SEV 16 Pithaya), con un rumbo S50W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 228919 latitud – 342557 longitud; a una elevación de 11,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen tres capas geológicas principales, que incluyen suelo con alto contenido aparente de arcilla corroborado en el campo hasta 2,0 m de profundidad y resistividad de 14,9 Ω -m. A partir de 2,0 m hasta 21,0 m se encuentran basaltos meteorizados del Complejo de Nicoya con resistividad de 20,0 Ω -m. Se espera encontrar agua a los 2,0 m de profundidad. A partir de 21,0 m de profundidad, se espera encontrar basaltos sanos con resistividad a partir de los 250 Ω -m.

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 2,0 m de profundidad. El error en este sondeo es de 9.27 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 12); Línea Pithaya, Cuenca río Tabaco**

El AB del sondeo fue de 150 m (SEV 12 Pithaya), con un rumbo S50W. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 228956 latitud – 342655 longitud; a una elevación de 11,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen tres capas geológicas principales, que incluyen suelo arcilloso aparente de arcilla corroborado en el campo hasta 3,0 m de profundidad y resistividad de 40,0 Ω -m. A partir de 3,0 m hasta 15,0 m se encuentran basaltos meteorizados del Complejo de Nicoya con resistividad de 15,0 Ω -m. Se espera encontrar agua a los 3,0 m de profundidad. A partir de 15,0 m de profundidad, se espera encontrar basaltos sanos con resistividad a partir de los 350 Ω -m.

De acuerdo con el análisis geofísico, se espera encontrar un nivel estático a 3,0 m de profundidad. El error en este sondeo es de 6 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. También se debe de considerar que el modelo planteado es una de las posibilidades que se pueden dar con los datos recolectados. Se escogió este modelo considerando las observaciones de campo y el contexto geológico en que se realiza el sondeo.

Secciones geo-eléctricas

En este apartado se detallarán las interpretaciones realizadas en cada una de las líneas o secciones cruzadas, para posteriormente determinar la geometría y ubicación de la interfaz de intrusión salina.

Se presenta en cada sub apartado la sección geoelectrica y la pseudosección respectiva.

Línea Joya.

En la localidad de joya se realizaron únicamente 3 sondeos eléctrico verticales; debido a las características del terreno y la existencia de cercas eléctricas en la zona de estudio donde se pretendió realizar los sondeos eléctricos. A continuación se presenta la sección cruzada derivada de los modelos de cada SEV y de las observaciones de campo, figura 25. La profundidad alcanzada por el SEV-2 ronda los 60 m, para el SEV-3 una profundidad promedio a 200 m y el SEV-4 una profundidad de 40 m con una apertura total de 250 m.

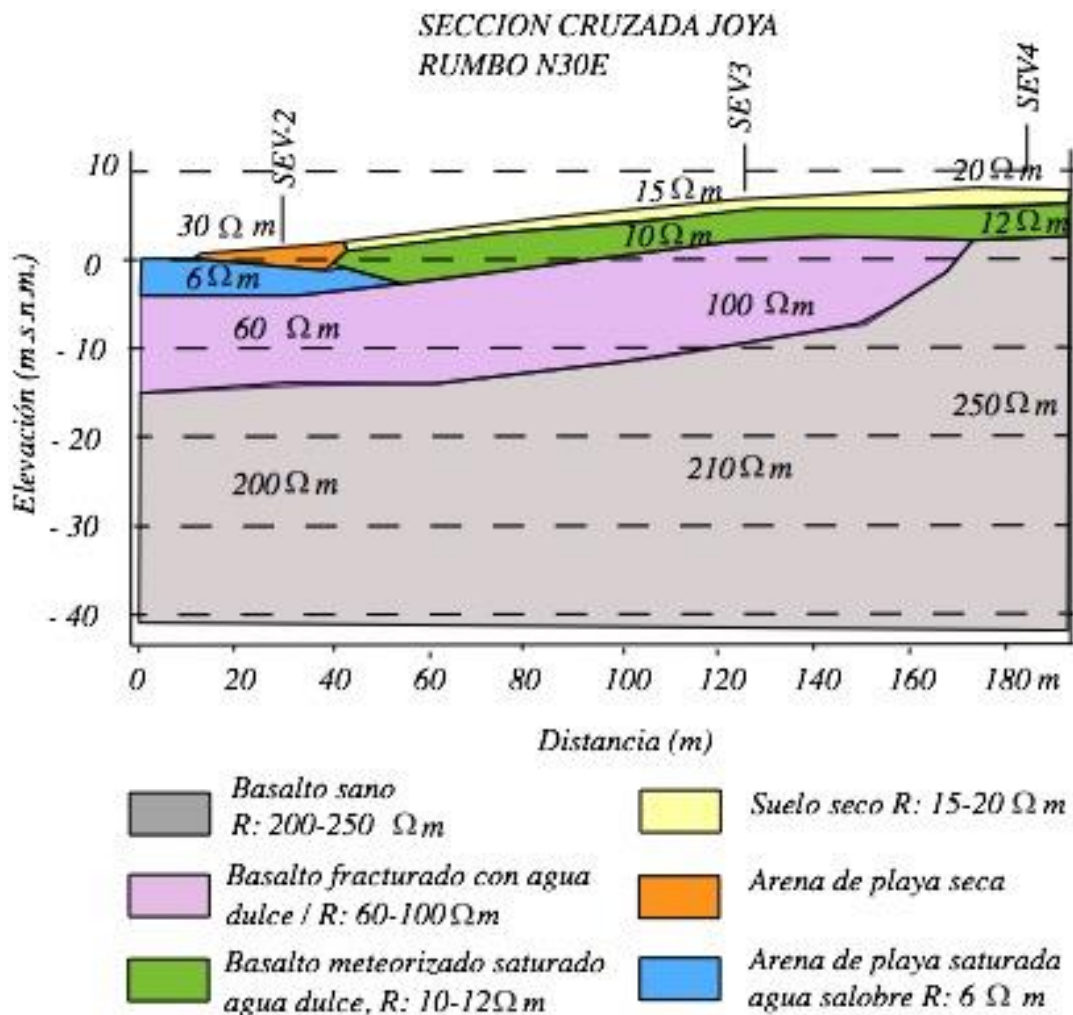


Figura 25. Perfil geoelectrico La Joya

A partir del análisis de la figura 25, correspondiente con el perfil geoelectrico para Línea La Joya, se tiene un basamento correspondiente con basaltos sanos del Complejo de Nicoya con resistividades entre 200 a 250 Ωm . Subyaciendo dicho basalto se encuentran basaltos fracturados saturados con agua dulce, un espesor aproximado de 10,0 m con resistividades entre 60 y 100 Ωm . En la zona del sondeo SEV-2, ubicado sobre la playa, sobreyaciendo los basaltos

fracturados se tiene una capa de arena con agua salobre subyacida a su vez por arena seca con resistividad de $30 \Omega\text{-m}$. En el caso de la zona de los SEV 3 y 4, no aparecen arenas de playa. Por el contrario, sobreyaciendo los basaltos fracturados con presencia de agua dulce se encuentra una capa de basaltos meteorizados saturados con agua dulce sobreyacida por suelo. Se espera el nivel estático se encuentre entre la capa de suelo y los basaltos meteorizados, a una profundidad promedio de 2,0 m.

Línea Frijolar Norte

En esta localidad se realizaron 5 SEVs y además se contó con la medida de nivel de saturación del pozo MA-6. La figura 26 muestra el análisis de la sección cruzada para playa Frijolar Norte, de acuerdo con los sondeos eléctrico verticales realizados.

En general se observa un basamento rocoso correspondiente con basaltos sanos, compactos, con resistividades altas (mayores a 156 a $250 \Omega\text{-m}$), sobreyacidos por basaltos fracturados los cuales están saturados con agua dulce y presentan resistividades entre 35 a $95 \Omega\text{-m}$.

Tanto el sondeo SEV-21 y SEV-5 fueron realizados sobre la playa, por lo que presentan una capa de arena seca. En el caso del SEV-21, dicha capa está subyacida por arenas saturadas con agua salobre ($6 \Omega\text{-m}$). En la zona de los SEV-5, SEV-20 y SEV-6; sobreyaciendo los basaltos fracturados saturados con agua dulce, se encuentran Depósitos Aluviales sobreyacidos por arena de playa seca (SEV-5) y con suelo (SEV-20 y SEV-6).

El SEV-8 fue realizado sobre basaltos; presenta una capa de suelo sobreyaciendo los basaltos meteorizados del Complejo de Nicoya, los cuales a su vez sobreyacen a los basaltos fracturados saturados con agua dulce y basaltos sanos del Complejo de Nicoya correspondientes con el basamento.

La variación en los valores de resistividad eléctrica no tienen el suficiente contraste entre sí para determinar la ubicación de una posible zona de interfase entre agua salina agua dulce.

El perfil de playa Frijolar Norte muestra el nivel estático, el cual se espera encontrar entre el contacto de suelo y los basaltos meteorizados del Complejo de Nicoya.

El pozo MA-6 se encuentra hacia el Norte de la línea de Frijolar Norte, donde el valor de conductividad eléctrica obtenido a partir de los análisis de calidad de aguas, consideran un valor traza; lo cual se correlaciona con el análisis geofísico de dicha zona.

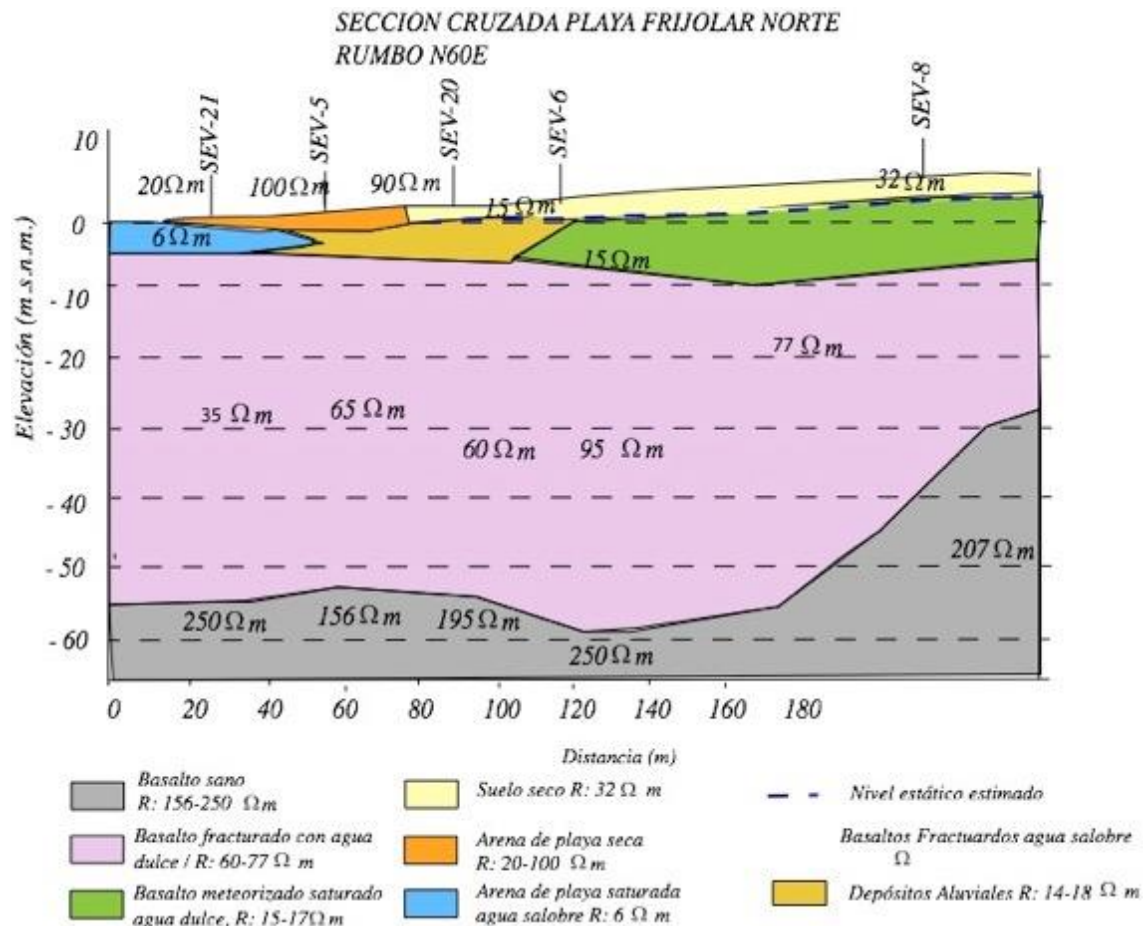


Figura 26. Perfil geo eléctrico sección Frijolar Norte

Línea Frijolar Sur

En esta localidad se realizaron 5 SEVs; que incluyen el SEV 9, SEV 10, SEV 11, SEV 18 y SEV 19. A partir de los 5 SEVs realizados en la línea Frijolar Sur, de acuerdo con los análisis respectivos y la figura 27, se tiene un perfil geo eléctrico con una longitud total de 340 m, con rumbo W-E. A partir de dicha interpretación, se tiene hacia el Este una cobertura de alteración no saturada con resistividades entre 11 a 14 Ω-m subyacida por basaltos fracturados y saturados con agua dulce; con resistividades entre 14 y 87 Ω-m. En el SEV-10 dicho la resistividad de los basaltos fracturados desciende a 14 Ω-m, dada la cercanía con el estero de la quebrada Zapote. Subyaciendo dicha unidad se encuentran basaltos sanos, con resistividades entre 200 y 270 Ω-m, figura 27. Los valores de resistividad no indican variaciones considerables donde se pueda definir una posible interferencia entre agua salada y agua dulce.

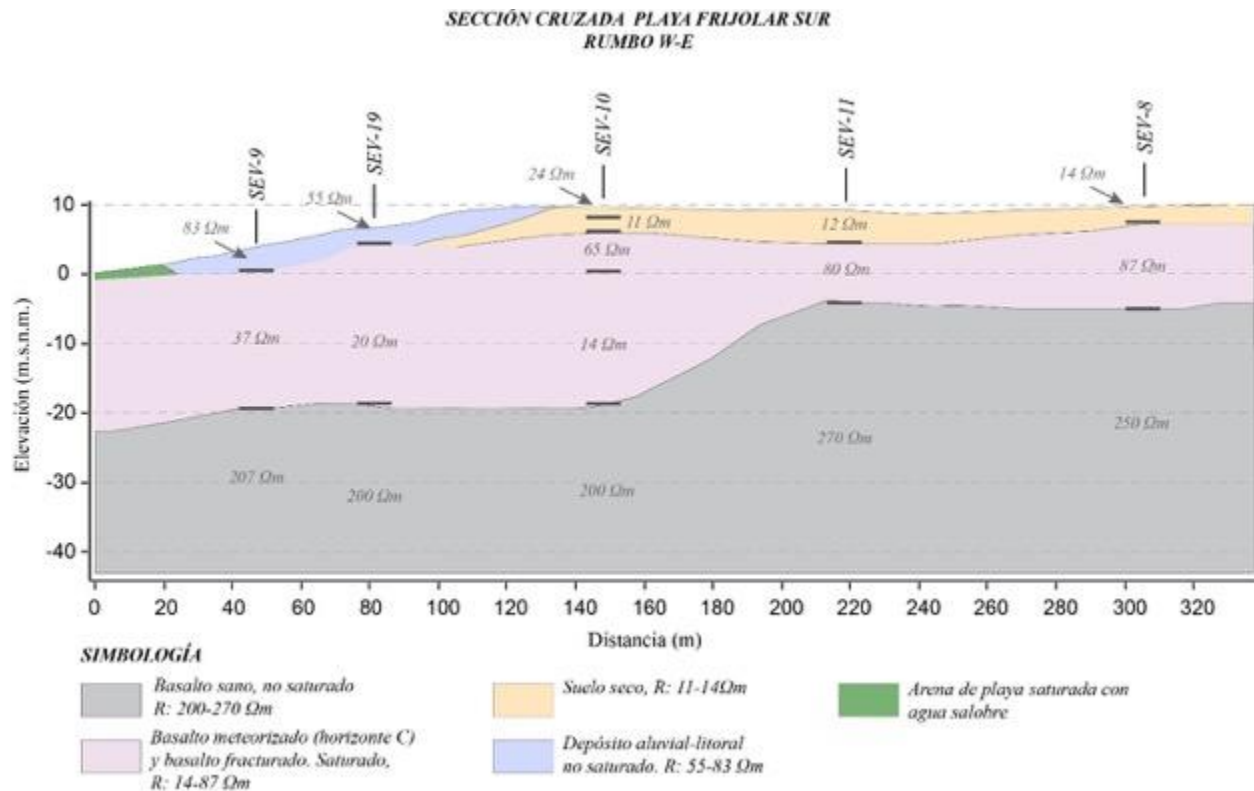


Figura 27. Perfil geo eléctrico sección Frijolar Sur

Línea Pithaya

En la localidad de Pithaya se realizaron 6 SEVs. Se debe de considerar que todos los sondeos fueron realizados sobre materiales asociados al Complejo de Nicoya, debido a que el terreno forma parte de la Superficie de Erosión 1, donde el contacto con el mar se da de manera brusca, por medio de un acantilado con 6 m de altura.

Según lo determinado en los modelos de cada SEV y las observaciones de campo (figura 28), se interpreta una sección conformada por un basamento rocoso de basaltos sanos, compactos, con resistividades entre a 250 162 $\Omega\text{-m}$, los cuales son sobreyacidos por basaltos fracturados, saturados con dulce y un espesor cercano a los 20 m con valores de resistividad entre 15 $\Omega\text{-m}$ y 60 $\Omega\text{-m}$. Estos materiales son sobreyacidos por la cobertura de alteración (suelo), con espesor cercano a 2,0 m y valores de resistividad entre 17 y 47 $\Omega\text{-m}$.

A partir de la línea de sondeos geofísicos realizado en la zona de playa Pithaya; no se logra obtener una línea definida con la zona de interfase de agua salada-agua dulce.

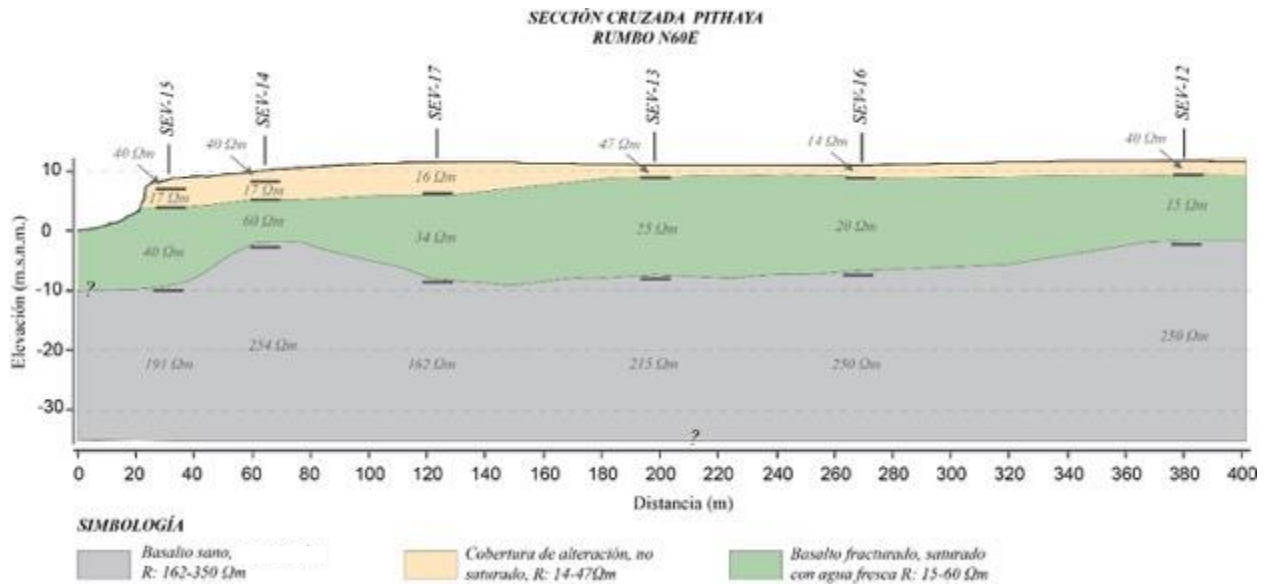


Figura 28. Perfil geo eléctrico sección Pithaya

- Sondeo Eléctrico Vertical (SEV P3); Pozo Lomas del Sol (cuenca río Coco)

El Sondeo SEV P- fue realizado en las inmediaciones del pozo Lomas del Sol. La apertura (AB) del sondeo SEV P3 fue de 200 m con un rumbo N30E. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 231684 latitud – 341498 longitud; a una elevación de 43,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen cinco capas geológicas principales, donde se incluyen materiales de relleno secos hasta 0,5 m de profundidad con resistividad de 83,0 Ω-m, los cuales fueron observados en el sitio.

A partir de 0,5 m hasta 4,0 m de profundidad se encuentran suelos arcillosos no saturados con resistividad de 25,0 Ω-m. Entre 4,0 m hasta 16,0 m se encuentran basaltos meteorizados del Complejo de Nicoya no saturados, con resistividad de 195,0 Ω-m. A partir de 16,0 m hasta 48,0 m se encuentra basaltos fracturados del Complejo de Nicoya los cuales están saturados y presentan resistividad de 82 Ω-m. A partir de 48,0 m se espera encontrar basaltos sanos del Complejo de Nicoya con resistividad mínima de 290 Ω-m. El nivel estático estaría a 16,0 m de acuerdo con el SEV realizado, lo cual se corroboró con el nivel medido en pozo Lomas del Sol, a 19,0 m en promedio (diciembre, 2018).

El error en este sondeo es de 7,36 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. El modelo considera la geología de campo y contexto geológico local.

Datos geofísicos derivados del estudio del AyA.

En este apartado se analiza la información derivada de la prospección geofísica realizada por el AyA. Las generalidades de estos datos se presentan en el ANEXO 9. A continuación se presenta la interpretación de dichos datos.

En las pseudosección de las dos líneas realizadas por dicha institución se observan cambios laterales de resistividad aparente.

En la sección geoelectrica “ Línea 2” se puede apreciar la presencia de un basamento rocoso con resistividades bajas a intermedias, con valores de 65-70 Ω -m, lo cual se interpreta como basalto saturado con agua salobre, el cual es sobreyacido por basaltos saturados con agua dulce, con valores de resistividad de 100-150 Ω -m. Sobre estos materiales se tiene una cobertura de alteración de basalto meteorizado, saturado con agua dulce y arenas de playa saturada con agua salobre.

En la sección geoelectrica “Línea 4” se puede apreciar la presencia de un basamento rocoso con resistividades bajas a intermedias, con valores de 65-70 Ω -m, lo cual se interpreta como basalto saturado con agua salobre, el cual es sobreyacido por basaltos saturados con agua dulce, con valores de resistividad de 100-150 Ω -m y por basaltos meteorizados, con resistividad de 60 Ω -m. Sobre estos materiales se tiene una cobertura de alteración de basalto meteorizado, saturado con agua dulce y arenas de playa saturada con agua salobre.

En las pseudosecciones asociadas a cada una de las líneas realizadas, se pueden observar los cambios laterales de resistividad aparente los cuales son consecuentes con lo indicado en las secciones geoelectricas. En términos generales, se definen basaltos fracturados con presencia de agua dulce subyacidos por basaltos sanos correspondientes con el basamento de la zona. Cabe aclarar que los sondeos SEV 1 y 2 para ambas líneas fueron realizados propiamente en la playa.

- Análisis de intrusión salina por medio análisis método Glover

El análisis de la intrusión salina generalmente se analiza desde el punto de vista estático (Herzberg) o dinámico (Glover). El presente análisis se realiza con relación al pozo de Jardines del Sol, ubicado a 357 m de la línea de costa en la cuenca Zapote, a una elevación de 17 m.s.n.m. y el pozo MA-6, ubicado a 122 de la línea de costa.

La metodología Glover utiliza ecuaciones que analizan el comportamiento de la intrusión salina de una manera dinámica, por lo tanto, en el siguiente análisis se utiliza la metodología de Glover para evaluar el flujo horizontal.

El valor de transmisividad correspondiente al acuífero del Complejo de Nicoya en pozo Jardines del Sol, tiene un valor de 15 m²/día, dato obtenido con base prueba de bombeo del pozo, según prueba de bombeo año 2011.

El análisis se realiza con base en los datos de la cuenca Zapote.

Los parámetros utilizados en el análisis de Glover se muestran en el cuadro 32.

Cuadro 32: Parámetros utilizados en análisis de Glover

Pozo	T (m ² /día)	b (m)	K (m/día)	Distancia entre pozo y el mar (m)
Jardines del Sol (MA-51)	15,0*	23,0	0,65	357,0
MA-6	50,4**	14,3	3,52	122,0

*: tomado prueba de bombeo, pozo Jardines del Sol

** : transmisividad de pozo Lomas del Sol; calculada del replanteamiento de prueba de bombeo, pozo Lomas del Sol, ubicado en cuenca río Coco

Pozo Jardines del Sol (MA-51)

De acuerdo a la ecuación de Glover, se tiene lo siguiente:

$$(1) Z_{xy} = (G \cdot q' / k) + \sqrt{(2 \cdot G \cdot x \cdot q' / k)}$$

$$(2) X_o = - G \cdot q' / 2 \cdot K$$

Donde G: 40

q: caudal (m³/día)

X: 357 m

K: 0,65 m/día, a partir de T: 15 m²/día y b: 23 m, de acuerdo con armado pozo Jardines del Sol

$$(3) h = \sqrt{2 \cdot q' \cdot X / G \cdot K}$$

Aplicando la ecuación de Darcy; se tiene:

$$(4) Q = T \cdot i \cdot L = 15,0 \text{ m}^2/\text{día} \cdot 0,018 \cdot 1\text{m} = 0,27 \text{ m}^3/\text{día}$$

Donde G: 40

q: caudal (m³/día)

X: 357,0 m

K: 0,65 m/día, a partir de T: 15 m²/día y b: 23 m, de acuerdo con armado pozo Jardines del Sol.

El caudal ecuación evaluado en Glover se obtiene de la ecuación (4), obtenido a partir del gradiente entre pozo Jardines del Sol y línea de costa.

La distancia entre la línea de costa y el pozo Lomas del Sol es de 357,0 m.

Por lo tanto:

$$(5) X_o = - G \cdot q' / 2 \cdot K = (-40 \cdot 0,27 \text{ m}^3/\text{día}) / 2 \cdot 0,65 \text{ m/día} = \mathbf{8,32 \text{ m}}$$

$$X = 0; G \cdot q' / K = (40 \cdot 0,27 \text{ m}^3/\text{día}) / 0,65 \text{ m/día} = \mathbf{16,62 \text{ m}}$$

$$(6) x = 357,0; Z_{xy}: G \cdot q' / K + \sqrt{(2 \cdot G \cdot q' \cdot x) / K} =$$

$$\mathbf{(16,62 \text{ m})} + \sqrt{(2 \cdot 40 \cdot 0,27 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 357 \text{ m}) / 0,65 \text{ m/día}} = 16,62 + 108,91 = \mathbf{125,54 \text{ m}}$$

La profundidad de la capa de agua salada:

$$H_s = H_{xy} + Z_{xy}, \text{ donde } H_{xy} = i \cdot X$$

Por lo tanto,

$$H_{xy} = 0,018 \cdot 357,0 \text{ m} = \mathbf{6,43 \text{ m}}$$

$$(8) H_s = 9,99 \text{ m} + 125,42 \text{ m} = \mathbf{135,53 \text{ m}}$$

$$(9) h = \sqrt{2 \cdot q' \cdot X / G \cdot K} = \sqrt{2 \cdot 0,27 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 357 \text{ m} / 40 \cdot 0,65 \text{ m}/\text{día}} = \mathbf{2,72 \text{ m}}$$

- Análisis Pozo MA-6

Pozo ubicado a 122,0 m de la línea de costa.

$$(1) Z_{xy} = (G \cdot q' / k) + \sqrt{2 \cdot G \cdot x \cdot q' / k}$$

$$(2) X_0 = - G \cdot q' / 2 \cdot K$$

Donde G: 40

q: caudal (m³/día)

X: 122 m

K: 3,52 m/día, a partir de T: 50,4 m²/día obtenida a partir de prueba de bombeo pozo Lomas del Sol; transmividad utilizada en análisis de dicha cuenca (Río Coco). La profundidad del pozo MA-6 es de 17,0 m (Senara, 2019) y el nivel estático medido en campo es 2,7 m. El espesor saturado (B) es de 14,3 m.

$$(3) h = \sqrt{2 \cdot q' \cdot X / G \cdot K}$$

Aplicando la ecuación de Darcy; se tiene:

$$(4) Q = T \cdot i \cdot L = 50,4 \text{ m}^2/\text{día} \cdot 0,016 \cdot 1\text{m} = 0,8064 \text{ m}^3/\text{día}$$

Donde G: 40

q: caudal (m³/día)

i: gradiente entre pozo MA-6 y línea de costa: 0,016

X: 122,0 m

K: 3,52 m/día, a partir de T: 50,4 m²/día y b: 14,3 m, de acuerdo con registro del pozo MA-6.

El caudal ecuación evaluado en Glover se obtiene de la ecuación (4), a partir del gradiente obtenido para dicha cuenca.

La distancia entre la línea de costa y el pozo MA-6 es de 122,0 m.

Por lo tanto:

$$(5) X_0 = - G \cdot q' / 2 \cdot K = (-40 \cdot 0,8064 \text{ m}^3/\text{día}) / 2 \cdot 3,52 \text{ m}/\text{día} = 4,58 \text{ m}$$

$$X = 0; G \cdot q' / K = (40 \cdot 0,8064 \text{ m}^3/\text{día}) / 3,52 \text{ m}/\text{día} = \mathbf{9,16 \text{ m}}$$

$$(6) x = 122,0; Z_{xy}: G \cdot q' / K + \sqrt{2 \cdot G \cdot q' \cdot x} / K = \mathbf{9,16} + (2 \cdot 40 \cdot 0,8064 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 122,0) / 0,65 \text{ m}/\text{día} = \mathbf{9,16} + \mathbf{110,0} = \mathbf{119,2 \text{ m}}$$

La profundidad de la capa de agua salada:

$$H_s = H_{xy} + Z_{xy}, \text{ donde } H_{xy} = i \cdot X$$

Por lo tanto,

$$H_{xy} = 0,016 \cdot 122,0 \text{ m} = \mathbf{1,95 \text{ m}}$$

$$(8) H_s = 1,95 \text{ m} + 119,2 \text{ m} = \mathbf{121,2 \text{ m}}$$

$$(9) h = \sqrt{2 \cdot q' \cdot X / G \cdot K} = \sqrt{2 \cdot 0,8064 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 122 \text{ m} / 40 \cdot 0,65 \text{ m}/\text{día}} = \mathbf{2,75 \text{ m}}$$

- Comparación del análisis intrusión salina por medio análisis método Glover y geofísica

Pozo Jardines del Sol (MA-51)

A partir del análisis de intrusión salina utilizando la ecuación de Glover para el pozo MA-51, ubicado a 357 m de la línea de costa, se tiene que la interfase de agua dulce-salada estaría a una profundidad de **125,42 m del nivel del mar bajo el pozo MA-51. Para que dicha interfase se mantenga a la profundidad de 125,42 m, el nivel mínimo dinámico del pozo debe mantenerse a 8,53 m sobre el nivel del mar.**

Al comparar los resultados obtenidos mediante método Glover y a partir de los 5 sondeos eléctricos de la línea 4, realizado por el AyA (2019) Anexo 9; en el camino a Jardines del Sol, se tiene una profundidad de la interfase de intrusión salina a una profundidad de aproximadamente de 25,0 m; a una distancia horizontal desde la línea de costa hacia el Este de 160,0 m. A partir de dicho perfil geofísico, se puede estimar que a 357,0 m de la línea de costa (pozo MA-51), la cuña de intrusión o interfase puede estar aproximadamente a 60,0 m de profundidad. A partir del análisis físico químico del pozo MA-51, se tienen valores traza de conductividad mayores al máximo admisible como también para el sodio. Dichos valores son mayores al valor máximo admisible sin embargo, se consideran valores traza ya que su concentración no es representativa para corroborar intrusión salina dentro del pozo MA-51.

Pozo MA-6

A partir del análisis de intrusión salina utilizando la ecuación de Glover par el pozo MA-6, ubicado a 122,0 m de la línea de costa, se tiene que la interfase de agua dulce-salada estaría a una profundidad de **119,2 m del nivel del mar bajo el pozo MA-6. Para que dicha interfase se mantenga a la profundidad de 119,2 m el nivel mínimo dinámico del pozo debe mantenerse a 2,75 m sobre el nivel del mar.**

Al comparar los resultados obtenidos mediante método Glover y a partir de los 5 sondeos eléctricos de la línea Frijolar Norte, Anexo 8; se tiene una profundidad de la interfase de agua dulce salada; a una profundidad de aproximadamente de 55,0 m a una distancia horizontal desde la línea de costa hacia el Este de 60 m. Por lo tanto, es probable que a 122,0 m de la línea de costa, a partir de los resultados de geofísica, la interfase está a profundidad.

De acuerdo con el análisis mediante método Glover, el análisis geofísico y el resultado físico químico del pozo MA-6, no se puede corroborar la presencia de intrusión salina o una interfase agua salada – agua dulce definida.

Cabe recordar que conductividad eléctrica obtenida en pozo MA-6 no sugiere la presencia de agua salina, ya que se considera un valor traza que no excede los valores mínimos requeridos de conductividad para el agua salina.

7. CALIDAD DE AGUAS SUBTERRANEAS

El día 10 de enero del año 2019, se realiza por parte del personal del Laboratorio Nacional de Aguas, AyA, la toma de muestras en 10 distintos pozos, de los cuales 3 son artesanales. Los sitios de muestreo corresponden con sitios viables para la obtención de las muestras necesarias para los respectivos análisis. Los datos generales derivados de este análisis se presentan como ANEXO 10 y a continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos.

Análisis microbiológico

El cuadro 33 muestra la hora de muestreo así como la presencia de cloro residual, coliformes fecales y la presencia de E. coli., Anexo 10, figura 29. Cabe aclarar que el análisis del pozo MA-8 corresponde con el pozo MA-6.

A partir de los datos obtenidos de los análisis bacteriológicos de las fuentes muestreadas, se tiene la presencia de coliformes fecales en los pozos artesanales No. 12 y No. 2; además de los pozos de Lomas del Sol, pozo MA-6 y pozo MA-48. Hay presencia de E. Coli en el pozo artesanal No. 12, además del pozo MA-6 y el pozo MA-48; donde las condiciones no son de agua potable.

Cuadro 33. Resumen de resultados de análisis de aguas.

Punto de muestreo	Fuente	Hora muestreo	Cloro residual (mg/l)	Coliformes fecales x100 MI ⁻¹	E. Coli
ASADA Posada del Sol	MA-23	9:30	n.d.	Negativo	Negativo
Pozo Costa Dorada	MA-49	10:08	0,23	Negativo	Negativo
Pozo ASADA Marbella	Pozo perforado	10:41	n.d.	Negativo	Negativo
Pozo artesanal Omar	Poz artesanal 12	11:13	n.d.	613,1	32,7
Pozo Lomas del Sol	Pozo perforado	11:46	n.d.	8,6	Negativo
Pozo MA-8 (campo MA-6)	Pozo MA-6	12:21	n.d.	1413,6	3,1
Pozo Jardín del Sol	Pozo perforado	12:54	n.d.	Negativo	Negativo
Pozo Artesanal 2	Pozo artesanal 2	13:26	n.d.	28,2	Negativo
Pozo MA-48	Pozo Perforado	14:03	n.d.	8,5	8,5
Pozo Juan	MA-36	15:09	n.d.	Negativo	Negativo

A partir de los resultados del conteo de coliformes fecales, se tiene agua de calidad regular para el pozo Lomas del Sol, pozo MA-48 y pozo MA-48. El pozo artesanal Omar tiene calidad mala mientras que el pozo MA-8 (campo MA-6) presenta calidad muy mala.

Análisis físico químico

A partir de los análisis físico químicos realizados en los 10 pozos ubicados a lo largo del área de estudio, se tienen valores fuera del máximo admisible. A continuación se indican los pozos que presentan dichos valores, cuadro 34.

Cabe aclarar sin embargo, que desde el punto de vista físico químico, todos los pozos analizados corresponden con pozos cuya calidad de aguas cumple con el Reglamento para la Calidad del



SIMBOLOGÍA







- | | | | |
|---|----------------------------|---|---|
|  | Cuenca hidrográfica |  | Pozo registrado en SENARA con ubicación corroborada en el campo |
|  | Cuerpo de agua |  | Pozo artesanal según observaciones de campo |
|  | Curva de nivel (cada 10 m) | | |
|  | Camino | | |

Figura 29. Ubicación pozos donde se tomaron muestras para definir calidad de aguas

Agua, según lo dispuesto en Laboratorio Nacional de Aguas según decreto No. 38924-S., excepto el pozo MA-6 (muestreo identificado como MA-8) y pozo Jardines del Sol (MA-51).

- Condominio Lomas del Sol

A partir del informe AyA-ID-0088-2019, se tiene un valor de conductividad de 430 γ S/cm (Valor admisible: 400 γ S/cm) y una concentración de sodio de 50,5 mg/l (Valor admisible: 25 mg/l).

Los valores mayores al valor admisible tanto en conductividad y sodio se consideran como valores traza.

- Pozo MA-8 (pozo MA-6)

A partir del informe AyA-ID-0089-2019, se tiene un valor de conductividad de 463 γ S/cm (Valor admisible: 400 γ S/cm), una concentración de sodio de 28,5 mg/l (Valor admisible: 25 mg/l) y una concentración de manganeso de 187,9 mg/l (Valor admisible: 100 mg/l). La turbidez tiene un valor de 19,3 UNT. La concentración de hierro reportada es de 2016,6 mg/l (Valor máximo admisible: 300 mg/l).

Los valores mayores al valor admisible tanto de conductividad eléctrica, sodio y manganeso corresponden con valores traza. La alta concentración en hierro se deba posiblemente a que el pozo se utiliza casualmente (según lo consultado en campo); lo cual sugiere la presencia de bacterias ferrosas. Se considera que la alta concentración de hierro afecta la turbidez del pozo.

A partir del reporte elaborado por el Laboratorio Nacional de Aguas (Anexo 9), las altas concentraciones de hierro y manganeso no cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable No. 38924-S.

Parámetro	Pozo MA-23 / ASADA Posada del Sol	Pozo Costa Dorada / MA-49	Pozo Asada de Marbella / Perforado	Pozo Artesanal Omar / No. 12	Pozo Lomas del Sol / Perforado	Pozo MA-6 / Perforado	Pozo Jardín del Sol / Perforado	Pozo Artesanal No. 2	Pozo MA-48 / Perforado	Pozo Juan / MA-36
Alcalinidad (mg/L)	128	186	174	114	221	263	203	141	163	130
Aluminio (µg/L)	11,8	16,4	13,8	9	8,8	5,6	55,2	6,5	12,5	13,4
Antimonio (µg/L)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Arsénico (µg/L)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cadmio (µg/L)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Calcio (mg/L)	27,4	39,8	32	23,9	33,7	53	3,6	29,9	34,2	28,3
Cloro Residual	n.d.	n.d.	0,23	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4,14	
Cloruros (mg/L)	2,5	2,62	9,73	5,28	3,75	32,67	7,25	9,8	n.d.	4,47
Cobre (µg/L)	n.d.	n.d.	9,6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Color Aparente (Upt-Co)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Conductividad (µS/cm)	265	358	351	264	430	563	423	296	319	269
Cromo (µg/L)	n.d.	4,5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dureza de Calcio (mg/L)	68	99	80	60	84	132	9	75	85	71
Dureza total (mg/L)	122	1778	150	111	148	272	190,0	139	159	127
Fluoruros (mg/L)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,3	n.d.	n.d.	n.d.
Hierro (µg/L)	45,3	48,4	99,3	9,1	3,7	2016,6	558,5	14,8	31,5	12
Magnesio (mg/L)	13,1	19	17	12,5	15,7	34	n.d.	15,7	18	5
Manganeso (µg/L)	n.d.	4,6	13,4	n.d.	4,2	187,9	7,4	n.d.	24,3	13,7
Mercurio (µg/L)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Níquel (µg/L)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nitratos (mg/L)	n.d.	n.d.	1,31	1,92	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nitritos (mg/L)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Olor	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
pH	6,51	6,61	7,2	6,73	7,67	6,98	8,76	6,84	7,07	6,52
Plomo (µg/L)	n.d.	n.d.	3,1	n.d.	0,8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Potasio (mg/L)	n.d.	n.d.	n.d.	nd.	n.d.	2,4	n.d.	nd.	n.d.	n.d.
Selenio (µg/L)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sodio (mg/L)	10,2	12,2	35	14,2	50,5	28,5	117,6	12,9	10,9	9,8
Sulfatos (mg/L)	3,97	2,25	3,69	9,26	7,27	5,78	8,54	3,64	2,38	4,01
Temperatura °C	29,1	28,7	28,2	29,3	30,5	28,1	29,1	28,7	29,1	28,7
Turbiedad (UNT)	0,64	0,22	0,51	0,27	0,23	19,3	3,5	n.d.	0,32	0,43
Zinc (µg/L)	5,6	7	24,9	53,6	13,1	7,1	64,4	6,1	6,2	24,8

Cuadro 34: Resultados físico químicos, Laboratorio Nacional de Aguas (2019)

- **Pozo Jardines del Sol**

A partir del informe AyA-ID-0090-2019, se tiene un valor de conductividad de 423 γ S/cm (Valor admisible: 400 γ S/cm), una concentración de sodio de 117,6 mg/l (Valor admisible: 25 mg/l), una concentración de hierro de 558,5 mg/l (Valor máximo admisible: 100 mg/l). El valor de pH de este pozo es de 8,76. (Valor admisible: 8,0). Durante la toma de muestras para este pozo, se observó agua con color rojiza, asociada al alto contenido de hierro en la muestra.

Los altos valores de conductividad así como del sodio, se consideran valores traza. En el caso de las concentraciones altas de hierro, se tiene que el pozo actualmente no está en uso, por lo que se infiere éstas estarían asociadas al crecimiento de bacterias ferrosas en las rejillas del pozo.

A partir del reporte elaborado por el Laboratorio Nacional de Aguas, la suma de las concentraciones de hierro y manganeso no cumplen con el Reglamento para la Calidad de Agua Potable, No. 38924-S.

8.0 Ubicación posible perforación pozos

Ubicación y justificación de sitios para la perforación de pozos

Se realizaron cuatro sondeos de prospección, figura , donde la cuenca del río Tabaco corresponde con la que mayor recarga presenta según el balance hídrico realizado y la cuenca EL Coco la cuarta cuenca con mayor recarga.

Dos sondeos fueron realizados en Depósitos Aluviales (SEVP1 y SEVP2); en la cuenca río Tabaco considerada la cuenta con mayor capacidad hídrica y dos fueron realizados en basaltos del Complejo de Nicoya (SEVP3 y SEVP4); en la cuenca del río Coco, figura 30 y cuadro 35.

Es importante mencionar que la ubicación de estos sondeos se determinó considerando las cuencas que evidenciaron las condiciones hidrogeológicas más favorables para el desarrollo de perforación de pozos.

Las figuras 9B, 9C y 9D muestran los resultados obtenidos en cada uno de dichos sondeos y su relación con el modelo hidrogeológico planteado.

Cuadro 35. Datos generales, SEVs prospección.

Sondeo	Latitud	Longitud	Distancia a línea costa
SEV P1	229711	342831	1194 m
SEV P2	229975	342926	1232,2
SEV P3	231684	341498	1081 m
SEV P4	231473	341314	839 m

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV P1); Margen Izquierda río Tabaco, finca Caliche (Cuenca río Tabaco)**

El AB del sondeo fue de 250 m (SEV P1 Finca Caliche ,margen izquierdo río Tabaco), con un rumbo EW. La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 229711 latitud – 342831 longitud; a una elevación de 6,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen tres capas geológicas principales, que incluyen suelo arcilloso con algunos bloques hasta 5,0 m de profundidad y resistividad de 15,0 Ω -m. A partir de 5,0 m hasta 20,0 m de profundidad se encuentran Depósitos Aluviales saturados con resistividad de 55 Ω -m. A partir de 20,0 m de profundidad se encuentran basaltos meteorizados saturados del Complejo de Nicoya, con resistividad de 101 Ω -m. Se espera encontrar un nivel estático a 5,0 m de profundidad.

El error en este sondeo es de 6,8 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. El modelo considera la geología de campo y contexto geológico local.

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV P2); Margen Derecha río Tabaco, finca Caliche (Cuenca río Tabaco)**

El AB del sondeo fue de 80 m (SEV P2 Finca Caliche, margen derecha río Tabaco), con un rumbo EW. .La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 229975 latitud – 342926 longitud; a una elevación de 7,0 m.s.n.m.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen cuatro capas geológicas principales, que incluyen materiales correspondientes con suelos de 0 a 2,5 m con una resistividad de 14,0 Ω -m. A partir de 2,5 m hasta 8,0 m de profundidad se encuentran Depósitos Aluviales secos con una resistividad de 55 Ω -m. A partir de 8,0 m hasta 16,0 m se tienen Depósitos Aluviales saturados con resistividad de 13 Ω -m. A partir de los 16,0 m se espera encontrar basaltos fracturados del Complejo de Nicoya con resistividad de 70 Ω -m.

El error en este sondeo es de 3,9 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. El modelo considera la geología de campo y contexto geológico local

- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV P4); al Este de pozo Lomas del Sol (cuenca río Coco)**

El AB del sondeo fue de 200 m (SEV P3 Finca Lomas del Sol), con un rumbo N30E..La ubicación central del sondeo se encuentra entre las coordenadas 231684 latitud – 341498 longitud; a una elevación de 43,0 m.s.n.m. Dicho sondeo se realizó para calibración.

De acuerdo con la interpretación del mismo, se tienen tres capas geológicas principales, que incluyen materiales correspondientes con suelos de 0 a 6,0 m con una resistividad de 122 Ω -m. A partir de 6,0 m hasta 41,0 m de profundidad se encuentran basaltos saturados meteorizados y fracturados del Complejo de Nicoya. A partir de 41,0 m se espera encontrar basaltos sanos del Complejo de Nicoya con una resistividad de 327 Ω -m. Se espera encontrar un nivel estático a 6,0 m de profundidad.

El error en este sondeo es de 9,13 %, un error aceptable para este tipo de arreglo. El modelo considera la geología de campo y contexto geológico local.

De manera conservadora, se recomienda no utilizar el sitio 3 de prospección para la perforación de un pozo ya que éste se ubica a una distancia menor de 1000 m de la línea de costa.



SIMBOLOGÍA

- Cuenca hidrográfica
- Cuerpo de agua
- Curva de nivel (cada 10 m)
- Depósitos de Playa
- Depósitos Aluviales
- Basaltos del Complejo de Nicoya

Figura 30. Ubicación de cuatro sondeos de prospección para sitios de probables de perforación

A partir de los dos sondeos eléctricos realizados sobre Depósitos Aluviales, se tiene un espesor promedio de dichos depósitos de 1,75 m con resistividades entre 7,0 y 16,5 Ω -m. El nivel freático se encuentra a una profundidad de 1,5 m en promedio. Subyaciendo dichos materiales se espera encontrar basaltos saturados meteorizados del Complejo de Nicoya.

El cuadro 36 muestra los espesores correspondientes con los SEV P1 y SEV P2.

Litología	SEV P1	SEV P2
Suelo	5,0 m / 15 13 Ω -m	1,0 m / 14 Ω -m
Depósitos Aluviales	15,0 m / 55 Ω -m	8,0 m / 13 Ω -m
Complejo Nicoya saturado; motorizado, fracturado	Aparece a los 20,0 m de profundidad	Aparece a los 16,0 m de profundidad

Cuadro 36: Espesores de materiales en SEV P1 y SEV P2.

A partir de los cuatro sondeos geofísicos, se recomienda realizar una perforación con una profundidad inicial máxima de 20,0 m en el sitio donde se realizó el sondeo SEV P1 (342831-229711), ubicado en la margen izquierda del río Tabaco. La profundidad de perforación puede llegar a ser mayor; en función del estado de los basaltos meteorizados y fracturados que se esperan encontrar a los 20,0 m de profundidad. Si dichos materiales son productores, es durante el proceso de perforación cuando se define la profundidad final en función de la litología encontrada.

Características recomendadas para pozo

Perforado en 12 pulgadas y armado en 8 pulgadas, tubería PVC, SDR-21

0-6 m: Sello sanitario

Tubería ciega 0-6 m

Tubería ranurada: 6-20 m

El armado final así como la profundidad final de perforación se define durante el proceso de perforación del pozo.

Conclusiones y recomendaciones

- 1) El presente Estudio hidrogeológico se realiza en la zona de Marbella, distrito 6 Cuajiniquil, cantón 3 Santa Cruz, provincia de Guanacaste.
- 2) La metodología de trabajo se divide en cuatro etapas, incluyendo geología e hidrogeología, balance de suelos, prospección geofísica y ubicación de posibles sitios de perforación.
- 3) El poblado de Marbella se encuentra a 40 km al Suroeste de Santa Cruz. El área de estudio tiene un área aproximada de 12 km².
- 4) La geología regional incluye basaltos del Complejo de Nicoya los cuales presentan lavas en almohadilla así como Depósitos Aluviales y Depósitos de Playa.
- 5) La geología local incluye basaltos del Complejo de Nicoya sobreyacidos discordantemente por los depósitos Cuaternarios asociados a la acción fluvial y litoral.
- 6) La geomorfología de la zona de estudio incluye 5 unidades geomorfológicas de las cuales tres están asociadas a las superficies de erosión (superficie de Sámara-Tamarindo según Denyer et al., 2014) y dos unidades asociadas a la acción fluvial-litoral y marina.
- 7) De acuerdo con el levantamiento geológico local, se observan una serie de alineamientos con orientación NE, los cuales se asocian a fracturas distensivas de esta misma orientación. Además, es posible observar alineamientos de menor magnitud relacionados a los pares conjugados de la orientación de los esfuerzos.
- 8) Se identificaron pozos en campo, tanto perforados como excavados. Se midieron niveles estáticos en aquellos pozos que fue posible medir en campo. En total hay 15 pozos registrados en SENARA (2019), de las cuales 12 están registrados en la base de datos de MINAE (2019). Se ubicaron además 14 pozos artesanales en campo.
- 9) A partir del modelo hidrogeológico conceptual, se tiene un acuífero de origen ígneo asociado a basaltos del Complejo de Nicoya con un nivel estático promedio de 6,67 m para el mes de diciembre del año 2018. El caudal promedio para los pozos perforados en Complejo de Nicoya es de 2,36 l/s; con transmisividades de 1,02 m²/día (pozo MA-27), 15,0 m²/día (pozo Jardines del Sol) y 50,4 m²/día (pozo Lomas del Sol). El espesor de dicho acuífero en promedio es de 45,5 m con permeabilidad acuífera entre 0,00797 – 1,74.

- 10) Subyaciendo al acuífero del Complejo de Nicoya se tiene el acuífero Aluvial de Depósitos Cuaternarios con caudales promedio de 4,0 l/s. A partir de sondeo SEV-Prospección 2, se tiene un espesor de 10,0 m. Los pozos MA-6, MA-23 y pozo de ASADA de Marbella están perforados en dicho acuífero.
- 11) La zona de estudio se dividió en 5 cuencas, las cuales son Cuenca quebrada Terciopelo con un área de 1 558 522 m², Cuenca quebrada Manzanillo (3 029 886 m²), Cuenca río Coco 1 971 153 m², Cuenca quebrada Zapote 1 394 727 m², y Cuenca río Tabaco 4 809 141 m². La descarga de dichas cuencas es hacia el Océano Pacífico.
- 12) La estación hidrometeorológica utilizada para el balance hídrico (Schosinsky, 2006) es la No. 72149 San José, Pinilla; del Instituto Meteorológico Nacional (2019), localizada entre las coordenadas 10°15'N Latitud - 85°50'O, ubicado aproximadamente a 39,6 km al Norte del área de estudio, con una precipitación promedio mensual de 1592,6 mm.
- 13) Se realizaron hojas de cálculo para determinar las distintas variables que incluyen el balance hídrico de suelos, incluyendo evapotranspiración, pendiente, cobertura de suelo, profundidad de raíces, retención de lluvia, entre otros.
- 14) Se tomaron análisis de suelos para análisis de capacidad de campo, punto de marchitez. Dichas muestras fueron analizadas por el laboratorio Agroanálisis (2019).
- 15) Se realizaron 20 pruebas de infiltración con método de doble anillo, de las cuales 15 se realizaron en basaltos de Complejo de Nicoya y las restantes en Depósitos Aluviales. Se realizaron aforos diferenciales en río Coco, quebrada Manzanillo, río Coco.
- 16) El cuadro 37 muestra el análisis realizado de recarga potencial, descarga hacia el mar y análisis de extracción por pozos para cada una de las cinco cuencas analizadas dentro del área de estudio.

CUENCA	RECARGA (l/s)	DESCARGA (MAR) (l/s)	Extracción hídrica pozos l/s)	Recaga final (Rp - descarga al mar y extracción hídrica en l/s
TERCIOPELO	20,2	16,77	3,0	0,43
MANZANILLO	36,9	6,56	2,0	28,34
COCO	23	6,0	8,5	8,5
ZAPOTE	18,7	4,77	0,05	13,88
TABACO	58,1	24,5	11,7	21,9

Cuadro 37: Análisis del volumen de recarga potencial por cada cuenca, descarga total hacia el mar y extracción hídrica por pozos

- 17) Se realizaron 20 sondeos eléctricos verticales utilizando método geo eléctrico, mientras que el AyA realiza 10 sondeos eléctrico verticales. A lo largo de la zona de estudio, se realizaron secciones geo eléctricas donde pretende la ubicación de intrusión salina y/ó interfase agua dulce-salada. A partir de dichos sondeos, se logra determinar la presencia agua salobre la cual en la zona de La Joya se extiende a los 102 m hacia el Este. En el caso de Frijolar Norte, la interfaz agua dulce-salada extiende hacia el Este un máximo de 60,0 m. En el caso de Frijolar Sur, dicha interfaz se extiende hasta 200 m hacia el Este. Cabe aclarar que los valores de resistividad eléctrica resultante en aguas salobres son bastante altos para corresponder con agua salada, por lo que se concluye a partir del análisis de datos geofísicos y análisis de calidad de aguas; que existen zonas aledañas a la línea de costa donde hay mezcla de agua salada-dulce, resultando agua salobre; la cual presenta resistividades entre 14 a 60 Ω -m y conductividades máximas de 463 γ S/cm (resultado de pozo MA-8 (pozo MA-6)).
- 18) A partir del análisis de Glover, se tiene la ubicación de la interfase agua dulce-salada a una profundidad calculada de 125,54 m bajo el pozo Jardines de Marbella, cuenca Zapote.
- 19) A partir de los análisis físico químicos analizados en el Laboratorio Nacional de Aguas del AyA, se tienen concentraciones puntuales de conductividad eléctrica mayores al valor admisible y valores alerta en pozos MA-8 (463 γ S/cm), Lomas del Sol (430 γ S/cm) y Jardines del Sol (423 γ S/cm) se consideran como valores trazas. Para los mismos pozos, la

concentración de sodio de 50,5 mg/l para pozo Lomas del Sol, 28,5 mg/l para pozo MA-8 (MA-6 en campo) y 117,6 mg/l para Jardines del Sol corresponden a su vez con valores traza.

- 20) A partir de la integración de los resultados de laboratorio (análisis físico químico), análisis de geofísica así como interpretación de Intrusión salina mediante método Glover, se tiene que en la zona de estudio no se concluye la presencia de intrusión salina, dado que no se obtuvieron contrastes considerables en los resultados obtenidos de resistividad aparente. Los valores de resistividad aparente obtenidos en los basaltos saturados no se consideran lo suficientemente bajos para corresponder con la presencia de agua salobre en zonas afuera de la línea de costa. Por otra parte, a partir de los resultados de los análisis de laboratorio en muestras de aguas obtenidas en distintos pozos a lo largo de la zona de estudio, los valores obtenidos en conductividad eléctrica corresponden con trazas.
- 21) A partir de los análisis bacteriológicos en las mismas fuentes donde se realizaron análisis físico químicos, se tiene la presencia de coliformes fecales en los pozos artesanales No. 12 y No. 2 así como en los pozos de Lomas del Sol, MA-6 y MA-48. Hay presencia de E. Coli en el pozo artesanal No. 12, además del pozo perforado MA-6 y el pozo MA-48. Con base en los resultados del conteo de coliformes fecales, se tiene agua de calidad regular para el pozo Lomas del Sol, pozo MA-48 y pozo MA-48. El pozo artesanal Omar tiene calidad mala mientras que el pozo MA-8 (campo MA-6) presenta calidad muy mala. Bajo dichas condiciones, las fuentes de agua no son potables hasta no ser desinfectados.
- 22) Se realizaron tres sondeos de prospección en distintos sitios, de los cuales 3 están a una distancia mayor a 1000 m y un punto está ubicado a 839 m de la línea de costa. A partir de dicha información así como análisis hidrogeológico general, se define el sitio SEV-Prosp-1 (342831- 229711) como la mejor opción para perforación, con una profundidad mínima inicial de 20,0 m; correspondiente con la profundidad máxima de investigación a partir del sondeo eléctrico vertical realizado. Cabe aclarar que la profundidad del pozo puede ser mayor, sin embargo, se debe verificar conforme avance la perforación.

Referencias

AGROANALISIS, 2019: Análisis de punto de marchitez, capacidad de campo y densidad aparente.

AyA, informe interno, 2019: Datos geofísicos y análisis de aguas.

Denyer, P., Motero, W. y Aguilar, T., 2014. Geología de la Península de Nicoya. Editorial Universidad de Costa Rica. San José.

Dirección de Aguas, MINAE, 2019: Inventario de fuentes en la zona de Marbella, Cuajiniquil, Santa Cruz, Guanacaste

Servicio Nacional de Riego, Avenamiento y Aguas Subterráneas SENARA 2019: Inventario de fuentes en la zona de Marbella, Cuajiniquil, Santa Cruz, Guanacaste

ANEXO

Anexo 1: Inventario afloramientos en campo

Anexo 2: Catálogo de pozos

Anexo 3: Estación meteorológica San José Pinilla

Anexo 4: Catálogo de pruebas de infiltración

Anexo 5: Resultados Agroanálisis

Anexo 6: Catálogo de aforos

Anexo 7: Hojas de cálculo balance hídrico de suelos

Anexo 8: Datos de geofísica

Anexo 9: Datos de geofísica derivados del trabajo del AyA.

Anexo 10: Calidad de Aguas (AyA, 2019)

Anexo 1: Inventario de afloramientos en el campo

Afloramiento	Latitud	Longitud	Observaciones
1	231661	341580	Pozo Lomas del Sol / N.E.:19,76
2	231638	341596	Yurro sin agua / C.N.
3	231624	341619	Foto aguas abajo quebrada
4	Inf-1		
5	231679	341823	Yurro sin agua / C.N.
6	231758	341876	Afloram Lomas del Sol / C.N.
7	231807	341415	Afloramiento Lomas del Sol / C.N.
8	231634	341088	Limite finca
8.1	231340	341385	reance aroro en cantanama
9	231141	341283	Quebrada Coco Rio
10	230970	341366	Aforo realizado
11	230459	341601	Foto suelo CN
12	230479	341589	
13	230541	341451	Pozo MA-60
14	230441	341188	Coluvio aluvial
15	230445	341197	Pozo artesanal / N.E.
16	230448	341159	Tomografía
17	230036	341523	Quebrada Zapote
18	INF-4		
19	229874	341490	C.N. meteorizado
20	230087	343275	Pozo ASADA Marbella
21	230103	343323	Río Tabaco / AFORO
22	INF-5		
23	230108	343238	Río Tabaco / Depósitos Aluviales
24	229885	343283	Río Tabaco / Estratificación arenas, gravas, aluviones
25	229751	342994	Río Tabaco / AFORO
26	INF-6		Cosa Dorada 2 pozos
27	228974	342746	Con candado Pozo MA-21
28	228723	342722	Divisoria / Posible re planteo
29	INF-7		C.N. meteorizado
30	INF-8		Aluvión
31	230416	342913	Pozo tapado
32	INF-9		
33	230386	342485	Pozo ASADA Posada del SOL
34	INF-10		
35	230783	342334	Afloramiento CN
36	230870	342285	Yurro sin agua / C.N.
37	231489	342094	Sitio para aforo
38	231471	342094	Poz 6 pulgadas PVC / Blanco / N.E: 2,0 m
39	231621	342314	C.N meteorizado
40	231883	342314	C.N afloramiento
41	231950	342529	Quebrada seca C.N
42	231950	342529	Quebrada seca C.N
43	230090	341400	Tomografía 2
44	230320	341596	Pozo MA51
45	229888	342568	INF-12
46	232093	343615	Quebrada on agua
46.1	343595	230285	Arcillas, arenas y gravas, Río Tabaco
47	232776	343683	Pozo Jeff Montaña / Comundiad Manzanillo lo quiere
48	232238	343309	CN / Fracturamiento y meteorización / Camino finca
49	232230	342715	Quebrada Coco con agua / CN
50	INF-14		
51	232960	342122	Quebrada con Agua
52	INF-15		
53	232979	340581	La Joya de Lagarto / CN afloramiento
54	INF-16		
55	INF-17		
56	232794	42013	Quebrada Niko sin agua
57	232713	341974	Niko afloramiento basaltos
58	INF-18		
59	229730	343105	Afloramientos de C.N. en quebrada
60	230421	343032	Afloramientos de C.N.taludes
61	231743	341455	Basaltos y almohadillas, playa Frijolar
62	231090	341286	Zona playa Manzanilla, Complejo Nicoya
63	231915	340405	Playa Coco, basaltos

Anexo 2: Catálogo de pozos

Anexo 3: Estación meteorológica San José Pinilla

Anexo 5: Resultados Agroanálisis

Anexo 6: Catálogo de aforos

Anexo 7: Hojas de cálculo balance hídrico de suelos

Anexo 8: Datos de geofísica

Anexo 9: Datos de geofísica derivados del trabajo del AyA.

Anexo 10: Calidad de Aguas (AyA, 2019)