

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGÍA

“Estudio Hidrogeológico y Balance Hídrico de los acuíferos de Playa  
Potrero y Playa Brasilito, Santa Cruz, Guanacaste”

Tesis presentada para optar por el grado de Licenciatura en  
Geología

María Magdalena Monge Cordero

Carné: A53518

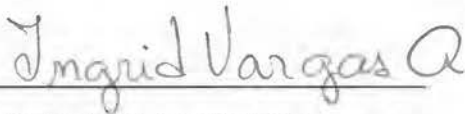
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2015

## Hoja de aprobación

Memoria sometida y aceptada por el Comité Evaluador de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado académico de Licenciatura en Geología.

### Comité Evaluador



M.Sc. Ingrid Vargas Azofeifa

Escuela Centroamericana de Geología

Directora



Lic. Jonathan Chinchilla Cortés

Servicio Nacional de Aguas Subterráneas,

Riego y Avenamiento

Co-Director



Dr. Marco Barahona Palomo

Escuela Centroamericana de Geología

Co-Director



M.Sc. Héctor Zúñiga Mora

Escuela Centroamericana de Geología

Lector



Dr. Mauricio Mora Fernández

Representante Decano de la Facultad de Ciencias

### Sustentante



María Magdalena Monge Cordero

Sustentante

## **Derechos de propiedad intelectual**

Yo, María Magdalena Monge Cordero, portadora de la cédula No. 3-0424-0174, conecedora de las sanciones legales con que la Ley Penal de la República de Costa Rica castiga el falso testimonio.

DECLARO bajo la fe de juramento lo siguiente: Que soy estudiante de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica y como requisito de graduación debo defender mi Tesis para optar por el grado académico de Licenciatura en Geología, la cual versa sobre el tema: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO Y BALANCE HÍDRICO DE LOS ACUÍFEROS DE PLAYA POTRERO Y PLAYA BRASILITO, SANTA CRUZ, GUANACASTE. Por lo que manifestamos que la misma ha sido elaborada siguiendo las disposiciones exigidas por la Universidad.

Además declaro solemnemente que dicha Tesis es fruto de mi esfuerzo e investigación en su totalidad, que en ella no han participado personas ajenas a mi Directora, Co-directores y Lector, instituciones ni organizaciones extrañas y que los documentos utilizados están respectivamente citados. ES TODO.

Firmo en la ciudad de San José a las 10 horas del día 10 de agosto del 2015.



---

María Magdalena Monge Cordero

Sustentante

## **Dedicatoria**

Primero a Dios, quien está a mi lado cada segundo de mi vida y no me abandona, quien me ama incondicionalmente.

A mis padres, quienes han dado todo en su vida para que yo sea una mejor persona, enseñando con el buen ejemplo. Ellos son mi inspiración a seguir en todo lo que haga.

A Ingrid Vargas Azofeifa, mi directora de tesis, quien primero fue mi tutora en todos los temas de la hidrogeología, siendo luego una gran amiga, cuyos consejos siempre son bien apreciados.



## Agradecimientos

A mi directora y mis co-directores de tesis, por su gran compromiso y entusiasmo como guías en el proceso de elaboración de esta investigación.

Se agradece a los compañeros del SENARA, Jonathan Chinchilla Cortés y Julio Elizondo Méndez, así como a Roberto Ramírez Chavarría, jefe de la Unidad de Investigación Hídrica, por su apoyo en la elaboración del proyecto y la aclaración de conceptos en hidrogeología.

Se agradece a la geóloga Viviana Ramos Sánchez, Master en Hidrogeología de la Dirección Área Funcional de Hidrogeología UEN de Gestión Ambiental de A y A, por todo el apoyo logístico y el aporte de personal de campo e información de la zona. En general por su apoyo en la elaboración de esta investigación.

A los técnicos Pedro Bermúdez Marín del SENARA, Marvin Gómez, Francisco Segura, Elicinio Segura, Carlos Murillo y el geólogo Christian Corrales del AyA por la recopilación de información en el campo y el apoyo en el levantamiento de la red de monitoreo.

A las geólogas Syra Carrillo y Andrea Barrantes de la Dirección de Agua del MINAE, Sofía Ramírez del AyA y Vanessa Solano por su apoyo en el campo.

Un especial agradecimiento a Jorge Méndez, Ronald Moreno y demás funcionarios de la ASADA de Potrero, por su colaboración en los controles de niveles mensuales; y a Greivin Dinarte y Luciano Rodríguez, de la ASADA de Brasilito, por su buena disposición para apoyar el trabajo durante las mediciones de niveles en pozos, así como su gestión en el levantamiento de la red de monitoreo de pozos de Playa Brasilito.

Al geólogo Juan Rojas por su apoyo incondicional en todo momento.

Finalmente, se agradece a todas las personas que con gusto nos permitieron realizar las mediciones en los pozos, y nos trataron como amigos en la zona.

## Resumen

Se realizó un estudio hidrogeológico en las cuencas de las playas Potrero y Brasilito, en los distritos de Cabo Velas y Tempate, del cantón de Santa Cruz, provincia Guanacaste, con el fin de establecer el modelo hidrogeológico de los acuíferos de la zona, determinar la disponibilidad de agua, conocer las características químicas del agua y establecer una zonificación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos. Las cuencas en estudio tienen un área de 51,48 km<sup>2</sup> y corresponden con los ríos Zapote y Cacao, los cuales desembocan directamente en el Océano Pacífico.

La geología del área de estudio se encuentra constituida tanto por materiales de origen ígneo como sedimentario. El basamento de esta secuencia lo constituyen basaltos, radiolaritas y gabros del Complejo de Nicoya, el cual es sobreyacido por aluviones recientes.

Se realizó un inventario de 82 pozos en la zona de interés. En general los pozos no superan los 48 m de profundidad y captan aguas de un acuífero somero compuesto por aluviones, gabros y basaltos fracturados, estos últimos en menor proporción. El acuífero es libre y la transmisividad varía entre 372 y 1581 m<sup>2</sup>/d debido a heterogeneidades en el medio.

A partir de los datos de la estación meteorológica Santa Cruz se determinó una precipitación anual en la zona de 1743,1 mm.

La recarga acuífera se calculó de dos formas: mediante el método de balance hídrico de suelos se estableció una recarga potencial al sistema acuífero de 458,54 L/s en Potrero y 199,59 L/s en Brasilito. Por otra parte, mediante el análisis de hidrogramas de pozos la recarga obtenida fue de 432,5 L/s para el año 2011 y de 353,84 L/S para el 2012 en Playa Potrero; y en Playa Brasilito la recarga se estimó en 186,6 L/s para el 2011 y 128,39 L/s para el 2012.

El caudal estimado de extracción de agua subterránea es de 151,1 L/s en Potrero y 141,1 L/s en Brasilito, a partir de los datos de concesiones del MINAE.

El rendimiento sostenible se estableció a partir de la recarga obtenida mediante la metodología de hidrogramas de pozos. Considerando exclusivamente la utilización de un 40% de esta recarga, se establece la existencia de un caudal utilizable de 173 L/s para Potrero y 74,64 L/s para Brasilito.

Se realizó un muestreo de agua en 15 pozos para analizar iones mayores. En cada sitio se midieron parámetros de campo (pH, temperatura, conductividad eléctrica, etc.) antes de recolectar la muestra. Las aguas subterráneas en estas cuencas se caracterizan como aguas bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas cálcicas magnésicas.

Según la metodología GOD, la vulnerabilidad de los acuíferos en las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito se determinó como media.

La información brindada en este estudio es clave para la toma de decisiones por parte de las instituciones del sector hídrico del país, tales como el SENARA, AyA, MINAE; así como la Municipalidad de Santa Cruz y administradores locales del recurso hídrico.

## Índice

Capítulo I: Introducción.....	1
1.1 Ubicación.....	1
1.2 Características generales del área de estudio .....	1
1.3 Objetivos .....	3
1.4 Justificación y antecedentes .....	4
1.5 Marco teórico.....	7
1.6 Metodología .....	17
Fase 1: Recopilación de información bibliográfica.....	18
Fase 2: Generación de información de campo .....	19
Fase 3: Análisis de información.....	19
Capítulo II: Geología.....	21
2.1 Geología Regional .....	21
Capítulo III: Geomorfología.....	29
3.1 Formas de origen denudacional.....	29
3.2 Formas de origen fluvial.....	31
3.3 Formas de origen marino.....	31
Capítulo IV: Climatología.....	33
4.1 Región climática y Datos climatológicos .....	33
Capítulo V: Hidrología .....	36
5.1 Rasgos hidrológicos y aforos.....	36
5.2 Parámetros hidráulicos del suelo.....	38
Capítulo VI: Hidrogeología .....	41
6.1 Geofísica.....	41
6.2 Rasgos hidrogeológicos de la zona de estudio.....	45
6.3 Disponibilidad de agua en los acuíferos.....	57
6.4 Caracterización química del agua .....	79
Capítulo VII: Vulnerabilidad del acuífero .....	87
7.1 Vulnerabilidad intrínseca del acuífero .....	87

7.2 Vulnerabilidad del acuífero a contaminación por intrusión salina .....	92
Conclusiones .....	98
Limitaciones .....	101
Recomendaciones .....	102
Referencias bibliográficas .....	103
ANEXOS .....	110

### Lista de tablas

**Tabla 1.1:** Parámetros utilizados para el cálculo de recarga potencial, metodología de Schosinsky (2006).

**Tabla 1.2:** Aniones y sustancias aniónicas mayores.

**Tabla 1.3:** Cationes y sustancias catiónicas mayores.

**Tabla 1.4:** Aniones y sustancias aniónicas menores más importantes.

**Tabla 1.5:** Cationes y sustancias catiónicas menores más importantes.

**Tabla 4.1:** Datos meteorológicos de la estación Santa Cruz.

**Tabla 6.1:** Usos de pozos inventariados en las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito.

**Tabla 6.2:** Resumen de parámetros hidrogeológicos para los acuíferos de la zona.

**Tabla 6.3:** Datos necesarios para la metodología de Schosinsky (2006).

**Tabla 6.4:** Resumen de balances hídricos – recarga potencial, según metodología de Schosinsky (2006).

**Tabla 6.5:** Parámetros para cálculo de recarga.

**Tabla 6.6:** Recarga de la cuenca de Potrero y Brasilito a partir de hidrogramas de pozos.

**Tabla 6.7:** Resumen de valores de recarga y comparación de metodologías.

**Tabla 6.8:** Variables para la estimación de caudal de extracción por pozo según uso reportado.

**Tabla 6.9:** Caudal utilizable en las cuencas de las playas Potrero y Brasilito.

**Tabla 6.10:** Clasificación química del agua en Potrero y Brasilito, a partir del diagrama triangular de Piper.

## **Lista de figuras**

**Figura 1.1:** Área de estudio de las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito.

**Figura 1.2:** Diagrama metodología de Schosinsky.

**Figura 1.3:** Diagrama de Piper y clasificación de las aguas según zonas del diagrama.

**Figura 1.4:** Ejemplos de diagramas de Stiff.

**Figura 1.5:** Parámetros utilizados en el método GOD.

**Figura 1.6:** Parámetros utilizados en el método SEA-GIndex.

**Figura 2.1:** Mapa geológico del área de estudio.

**Figura 2.2:** Columna estratigráfica del área de estudio.

**Figura 2.3:** Perfiles geológicos transversales de las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito.

**Figura 2.4:** Perfiles geológicos transversales de las cuencas de Playa Potrero (C-C').

**Figura 3.1:** Mapa geomorfológico de la zona de estudio.

**Figura 5.1:** Ubicación de los afloros realizados en Playa Potrero y Playa Brasilito.

**Figura 5.2:** Ubicación de los sitios de muestreo de suelos en la zona de Playa Potrero y Playa Brasilito.

**Figura 5.3:** Ubicación de las pruebas de infiltración en el área de estudio.

**Figura 6.1:** Ubicación de sondeos eléctricos verticales (SEV's) en Playa Potrero.

**Figura 6.2:** Ubicación de sondeos eléctricos verticales (SEV's) en Playa Brasilito.

**Figura 6.3:** Ubicación de pozos inventariados en el campo.

**Figura 6.4:** Ubicación de perfiles hidrogeológicos en el área de estudio.

**Figura 6.5:** Perfiles hidrogeológicos A-A' y B-B'.

**Figura 6.6:** Perfiles hidrogeológicos C-C' y D-D'.

**Figura 6.7:** Perfiles hidrogeológicos E-E' y F-F'.

**Figura 6.8:** Perfiles hidrogeológicos G-G' y H-H'.

**Figura 6.9:** Red de flujo en la cuenca de Playa Potrero.

**Figura 6.10:** Red de flujo en la cuenca de Playa Brasilito.

**Figura 6.11:** Clasificación de  $k_p$  a partir de las pendientes en la zona de estudio.

**Figura 6.12:** Clasificación de kv a partir del uso de suelo de las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito.

**Figura 6.13:** Zonificación utilizada para el cálculo de balance hídrico de suelos en el área de estudio.

**Figura 6.14:** Ubicación de pozos muestreados para análisis químico del agua.

**Figura 6.15:** Diagrama triangular de Piper con los resultados de las 15 muestras tomas en Potrero y Brasilito.

**Figura 6.16:** Modelo conceptual de los acuíferos en la zona.

**Figura 7.1:** Parámetro G para la metodología GOD.

**Figura 7.2:** Parámetro O para la metodología GOD.

**Figura 7.3:** Parámetro D para la metodología GOD.

**Figura 7.4:** Vulnerabilidad intrínseca del acuífero, método GOD.

**Figura 7.5:** Parámetro Nivel Piezométrico para la metodología SEA-GIndex.

**Figura 7.6:** Parámetro Litología para la metodología SEA-GIndex.

**Figura 7.7:** Parámetro Distancia al mar para la metodología SEA-GIndex.

**Figura 7.8:** Vulnerabilidad del acuífero a la contaminación lateral por agua de mar, metodología SEA-GIndex.

### **Lista de gráficos**

**Gráfico 1.1:** Precipitación promedio mensual para la Estación de Santa Cruz. Datos desde 1995 al 2010.

**Gráfico 4.1:** Precipitación vrs. Temperaturas para la estación Santa Cruz.

**Gráfico 6.1:** Valores de evapotranspiración potencial calculados para el área de estudio.

**Gráfico 6.2:** Porcentaje de volumen que recarga en cada cuenca de acuerdo a la litología de la zona.

**Gráfico 6.3:** Cambio de almacenamiento en pozos que captan gabros. Playa Potrero, para los años 2011 y 2012.

**Gráfico 6.4:** Cambio de almacenamiento en pozos que captan aluviones. Playa Potrero, para los años 2011 y 2012.

**Gráfico 6.5:** Cambio de almacenamiento en pozos que captan aluviones. Playa Brasilito, para los años 2011 y 2012.

**Gráfico 6.6:** Volumen que recarga en cada cuenca.

**Gráfico 6.7:** Estimación de la extracción en Playa Potrero y Playa Brasilito según los usos del agua.

**Gráfico 6.8:** Porcentaje de extracción según el uso del agua en Playa Potrero y Playa Brasilito.

### **Lista de anexos**

**Anexo 1:** Resultados de aforos realizados en los ríos de Playa Potrero y Playa Brasilito.

**Anexo 2:** Análisis de suelos en la zona de estudio.

**Anexo 3:** Pruebas de infiltración.

**Anexo 4:** Valores de ETP, según metodología de Hargreaves y Samani (1985)

**Anexo 5:** Cambios de almacenamiento en las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito.

**Anexo 6:** Inventario de pozos en Playa Potrero y Playa Brasilito.

**Anexo 7:** Análisis de variaciones de niveles en pozos con respecto a la precipitación.

**Anexo 8:** Estimación de la extracción en Playa Potrero y Playa Brasilito.

**Anexo 9:** Análisis químicos en Playa Potrero y Playa Brasilito.



## **Capítulo I: Introducción**

### **1.1 Ubicación**

El área de estudio se ubica entre las coordenadas 262 000-275 000 Norte y 338 000-348 000 Este, proyección Lambert Norte, de las hojas cartográficas Matapalo y Belén, escala 1:50 000. Con referencia a los límites políticos, se localiza en los distritos de Cabo Velas y Tempate, del cantón de Santa Cruz, en la provincia de Guanacaste (fig. 1.1). Abarca las localidades de Potrero, Brasilito y Surfside, con un área total de 51,48 km<sup>2</sup>.

### **1.2 Características generales del área de estudio**

La zona de estudio comprende las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito, las cuales presentan una forma alargada en dirección noreste – suroeste. La zona a investigar está delimitada por los cerros Guachipelín y Raspado del Burro hacia el norte; por la fila La Sierra hacia el este; la fila Palo de Arco al sur y el Océano Pacífico al oeste.

Con respecto al drenaje de agua superficial del sitio, se caracteriza por presentar pocas quebradas, y solamente dos ríos principales, el río Zapote en Brasilito y el río Cacao en Potrero. Tanto los ríos como las quebradas se encuentran secos o con un caudal mínimo durante la época seca, y poco caudal durante la época lluviosa. El río Zapote es el principal colector en la zona.

En el área de estudio las alturas varían entre 0 y 496 m.s.n.m. En general se pueden diferenciar 2 tipos de relieve: la zona montañosa cubre aproximadamente un 70% del área y se eleva a partir de la cota de 40 m.s.n.m.; y la zona de baja pendiente varía entre 0 m.s.n.m. hasta los 40 m.s.n.m. y cubre un 30% de la superficie del área total, limitando con la línea de costa.

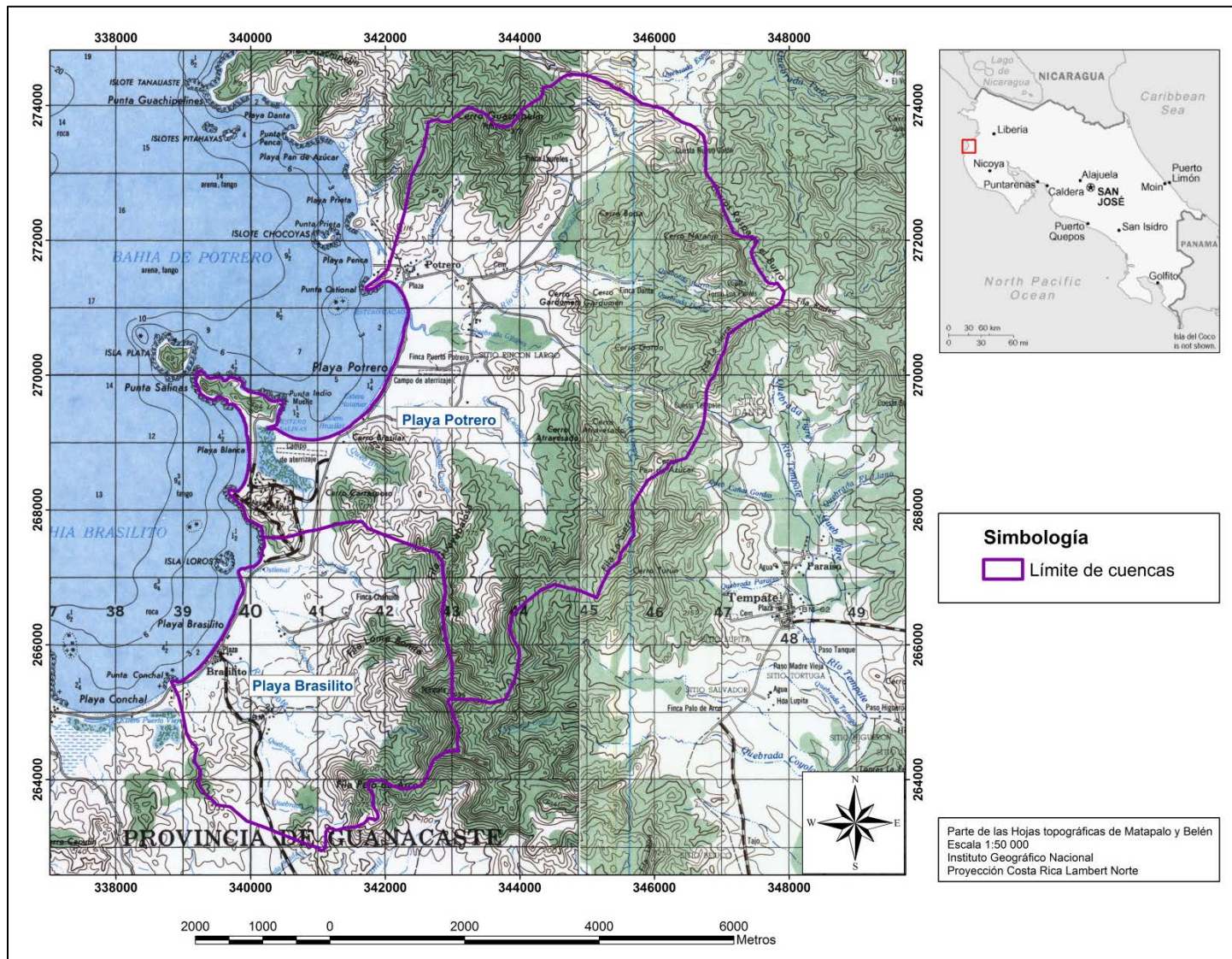


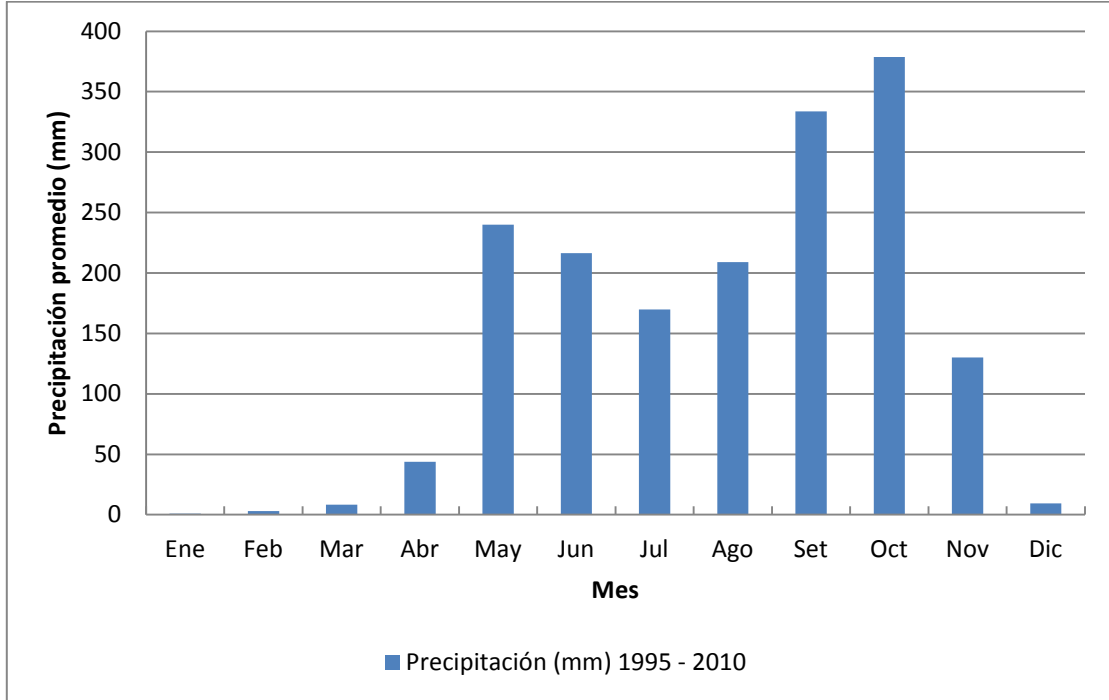
Figura 1.1: Área de estudio de las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito.

En cuanto al uso del suelo en la zona, se puede apreciar que el 56% de la superficie está cubierta por bosque secundario y algunos pastizales. Las construcciones se ubican en las zonas de baja pendiente, comunicadas por calles pavimentadas en los alrededores de Brasilito, y por calles de lastre en los alrededores de Potrero; existe una concentración de infraestructura en las cercanías de ambas playas y el sector de Flamingo. Actualmente se están desarrollando construcciones de hoteles y condominios en las partes altas de las cuencas.

Según la información del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) (s.f.), la Región del Pacífico Norte se caracteriza por un período seco entre diciembre y marzo, y por dos períodos lluviosos, separados entre ellos por un veranillo en los meses de julio y agosto. Durante la época seca precipita solamente el 4% de la lluvia anual, mientras que en el primer y segundo períodos precipita el 50% y el 46% respectivamente (íbid). La precipitación media anual de la región varía entre 1500 – 2000 mm y el promedio anual de días con lluvia es menor a 150 días (Instituto Meteorológico Nacional, 2009).

En cuanto a la temperatura de la región del Pacífico Norte, la temperatura máxima media anual alcanza los 33°C y la mínima media anual es mayor a 22°C; la temperatura media anual varía entre 26°C y 28°C (Instituto Meteorológico Nacional, 2009). Para todo el año, el promedio de horas de brillo solar es mayor a 7 horas por día. Los máximos valores se alcanzan en el mes de marzo (9 y 10 horas) y el mínimo es para el mes de junio (5 horas) (íbid).

El gráfico 1.1 muestra la precipitación promedio mensual para el período comprendido entre 1995 y 2010 en la estación de Santa Cruz. Se evidencia una época seca desde diciembre a marzo y la época lluviosa en los meses restantes, con un máximo de 378 mm en el mes de octubre y precipitación nula en el mes de enero.



**Gráfico 1.1:** Precipitación promedio mensual para la Estación de Santa Cruz. Período 1995 - 2010.

### 1.3 Objetivos

#### Objetivo general

Determinar el estado de los acuíferos en las playas Potrero y Brasilito, en la zona costera del cantón de Santa Cruz, Guanacaste, a partir de un estudio hidrogeológico.

#### Objetivos específicos

- Identificar y realizar un modelo hidrogeológico conceptual de los acuíferos presentes en la zona, y determinar las características hidráulicas mediante datos existentes.
- Establecer el flujo de aguas subterráneas y su dirección a partir de monitoreos mensuales en pozos, e identificar su conexión con el agua superficial a partir de aforos en ríos y quebradas.

- Estimar la recarga potencial de los acuíferos.
- Diferenciar las aguas de los acuíferos e identificar su calidad a partir de su caracterización química.
- Determinar la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de los acuíferos en el área de estudio.

#### 1.4 Justificación y antecedentes

En el área de interés existen varios estudios geológicos e hidrogeológicos. El SENARA (1992) realiza el diagnóstico hídrico subterráneo en la provincia de Guanacaste, a escala 1:50 000, y del cual se obtiene información básica referente a la geología y fallas de las playas de Potrero y Brasilito. Se menciona que posiblemente existe un potencial acuífero de las litologías identificadas, además incluye el trazo de isopotenciales y la vulnerabilidad en una pequeña zona del área.

Muñoz (1990) estudia la litología en la zona de Punta Conchal y Brasilito como parte del curso de Campaña Geológica. Describe 4 unidades: Basáltica, Radiolarítica, Intrusiva y la Unidad Reciente. En el ámbito estructural, los buzamientos de las radiolaritas son hacia el NE, con ángulos entre 25° y 60° de inclinación.

Villalta (1990) realiza un cartografiado geológico a escala 1:12 500 de Brasilito y Punta Conchal como parte del curso de Campaña Geológica. Identifica unidades de basalto, radiolaritas, gabros y materiales recientes. Al mismo tiempo realiza un análisis estructural y geomorfológico de la zona, donde concluye que las capas de radiolaritas forman isoclinales invertidos u homoclinales o ambos, y que las mismas estaban en estado plástico cuando sufrieron los esfuerzos que formaron el plegamiento.

La geología de la zona también fue trabajada por Denyer & Arias (1993), como parte del estudio de la Geología en la parte Norte de la Península de Nicoya. Las hojas cartográficas correspondientes a la zona de estudio son las hojas Belén y Matapalo, en una escala 1:50 000. Se identifican cuatro

litologías distintas: basaltos y radiolaritas del Complejo de Nicoya, el Intrusivo de Potrero y los depósitos recientes.

Morera (1995) lleva a cabo un Estudio de Intrusión Salina en Playa Potrero y Flamingo, donde, con base en el archivo de pozos del SENARA, propone que los espesores de los aluviones no sobrepasan los 20 m, e indica que en la zona se da la recarga directa, según pruebas de infiltración realizadas, y mediante análisis de las aguas se concluye que en la zona de Flamingo hay intrusión salina.

Arellano & Vargas (2001) reportan datos de conductividad eléctrica, temperatura, pH, oxígeno disuelto y niveles estáticos medidos en pozos durante los meses de abril y mayo de 1994, para acuíferos costeros de la Península de Nicoya, entre ellos Potrero, Brasilito y Flamingo. Algunos de los pozos medidos en esta zona presentan valores de conductividad eléctrica superiores a 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dando indicios de intrusión salina en Brasilito (íbid).

Calderón et al (2002), en 1999, realizan muestreos de agua en 15 pozos y un manantial en las localidades de Brasilito, Flamingo y Potrero, para determinar la influencia de las actividades humanas sobre el agua subterránea, evaluar la posibilidad de intrusión salina, así como la composición química y la calidad microbiológica del agua. Se determina que en el acuífero de Brasilito destaca la ocurrencia de un proceso incipiente de intrusión salina, probablemente inducido por sobreexplotación y construcción de pozos cercanos al mar (íbid). También identifican contaminación fecal en la mayoría de los pozos muestreados, al mismo tiempo que encuentran concentraciones altas de nitratos (íbid).

Arellano (2008) realiza un estudio hidrogeológico de la zona de Playa Potrero, y calcula la recarga potencial al acuífero en 372 L/s. La descarga en la costa es de 348 L/s, y el recurso disponible para el desarrollo de la zona, tomando solamente el 50% de la descarga, en 174 L/s (íbid).

Rodríguez (2011) estima una recarga de 54,1 L/s en la microcuenca de la quebrada Brasilar, ubicada dentro de la cuenca de Potrero. Al mismo tiempo realiza estudios de geofísica, suelos y

pruebas de infiltración en el sitio. El fin de esta investigación era determinar si los pozos MTP-123 y MTP-125, ubicados dentro de la microcuenca y previstos para ser utilizados en un condominio, pueden ser explotados a un mayor caudal del concesionado en la actualidad.

Arellano et al. (2011a) realizan un estudio hidrogeológico en Playa Potrero, con el objetivo de determinar el potencial explotable del acuífero de la zona. Se identifican aluviones de hasta 35 m de espesor cerca de la costa, sobreyaciendo rocas meteorizadas del Complejo de Nicoya, y hacia el interior de la cuenca los aluviones tienen espesores entre 10 y 15 m. Dichos autores estiman la recarga al acuífero, la descarga en la costa, el recurso disponible para el desarrollo de la zona, la capacidad de la ASADA de Potrero para suplir la demanda actual, y el análisis de vulnerabilidad intrínseca del acuífero (íbid). Se determina que la Asada no tiene la capacidad para suministrar agua a nuevos abonados, por lo que deben realizar un nuevo pozo con un caudal de al menos 9,3 L/s (íbid).

Arellano et al. (2011b) realizan un estudio hidrogeológico – geofísico de la zona de Brasilito, el cual incluyó la elaboración de 15 sondeos eléctricos verticales, donde se identifica un acuífero en materiales coluvio-aluviales y en una capa del Complejo de Nicoya, fracturadas o meteorizadas, en total con un espesor que varía entre 10 y 40 m. En este estudio se infiere la ubicación de la interfase de agua dulce – agua salada en la costa. Cabe mencionar que la información geofísica se tomará como complemento para la elaboración del modelo conceptual hidrogeológico de la zona.

El presente estudio surge de la necesidad de conocer las características hidrogeológicas y el comportamiento de los acuíferos en un sector del cantón de Santa Cruz, específicamente en las localidades de Potrero y Brasilito, donde en los años pasados se ha visto el incremento en el desarrollo turístico, y su consecuente aumento en la demanda del recurso hídrico para su abastecimiento.

Durante 2 años se realiza un monitoreo del acuífero para conocer el comportamiento del mismo durante las épocas seca y lluviosa en la zona, y al mismo tiempo estimar la recarga neta, directamente en el acuífero.

Debido al crecimiento en la demanda de agua en la zona, el SENARA, AyA y Dirección de Agua del MINAE, tienen interés en conocer el potencial de los acuíferos de Playa Potrero y Playa Brasilito, y en determinar la disponibilidad de agua en los mismos y su vulnerabilidad ante la contaminación, mediante análisis durante las diferentes épocas del año.

## 1.5 Marco teórico

### **Modelo hidrogeológico**

Un modelo hidrogeológico conceptual es una simplificación esquemática de la naturaleza, en la que se intentan representar las condiciones hidrogeológicas reales de la cuenca (Monreal et al., 2003). Este permite la identificación de unidades acuíferas y sus principales características geométricas, como extensión y espesores, direcciones de flujo, fuentes y posibles zonas de recarga, y la composición fisicoquímica del agua subterránea para determinar su calidad.

El modelo hidrogeológico conceptual es un esquema lógico, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo, que describe las propiedades, condiciones y procesos de los acuíferos, para predecir su comportamiento y determinar sus recursos explotables; además, es útil para prever posibles impactos ambientales sobre el sistema por su aprovechamiento, y para gestionar adecuadamente los recursos hídricos (INGEOMINAS, 2004). El modelo conceptual resulta del análisis e integración de la información geológica, geomorfológica, geofísica, hidrológica, de la hidráulica de aguas subterráneas, hidrogeoquímica, y otras herramientas utilizables. El modelo se “materializa” representándose por medio de perfiles hidrogeológicos, el mapa hidrogeológico, y otros mapas específicos, como mapas de isopotenciales (íbid).



## Balance hídrico de suelos

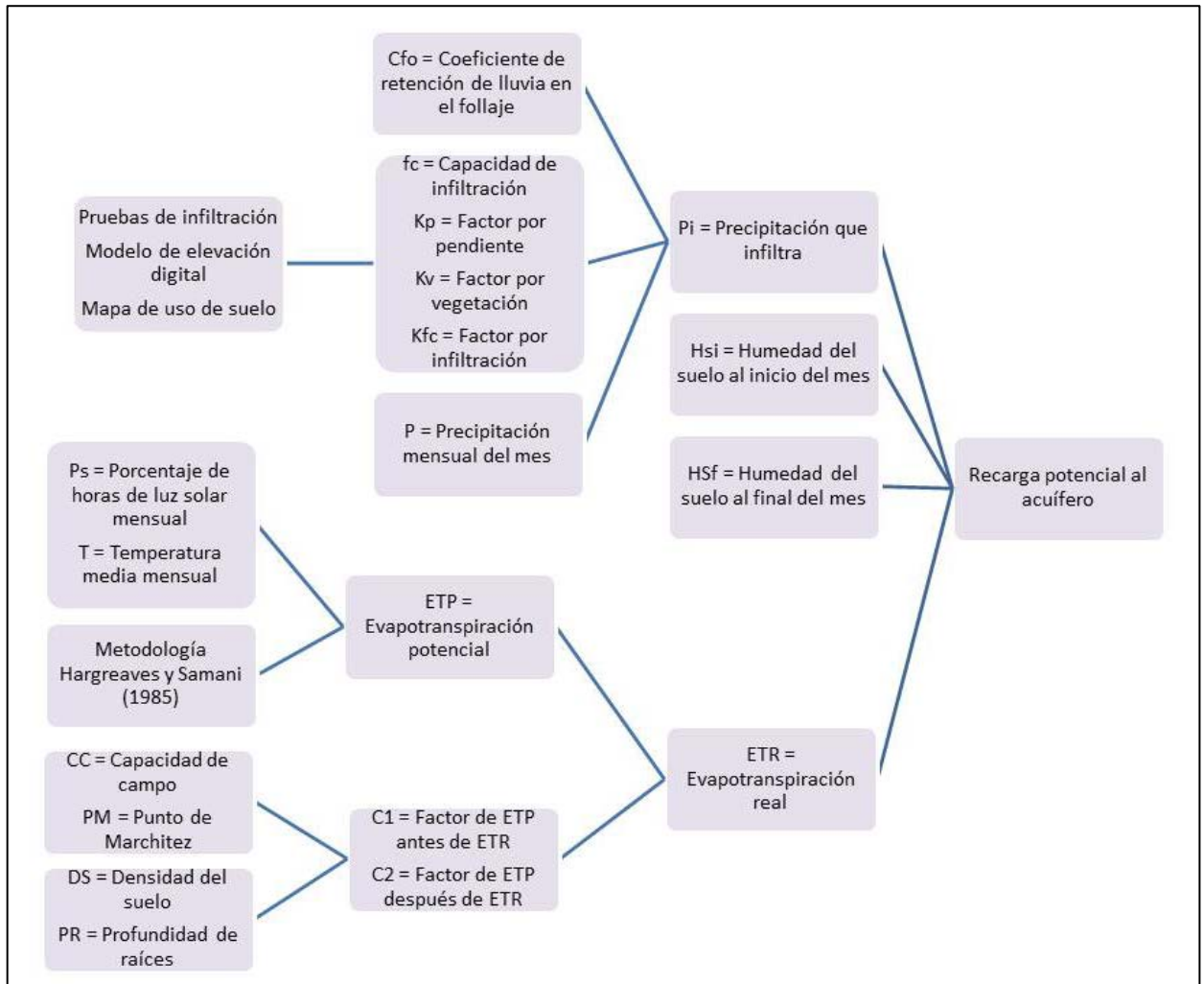
El balance hídrico de suelos nos permite estimar la cantidad de agua que se infiltra desde el suelo hacia el acuífero. En este trabajo se utilizará la metodología de Schosinsky (2006), la cual permite determinar la recarga potencial hacia el agua subterránea mediante un balance de las masas de agua que circulan en superficie, suelo y subsuelo. Los datos requeridos se resumen en la tabla 1.1.

**Tabla 1.1: Parámetros utilizados para el cálculo de recarga potencial, metodología de Schosinsky (2006).**

Datos necesarios	Fuente de los datos
Capacidad de infiltración Factor por infiltración	Pruebas de infiltración en campo
Capacidad de campo Punto de marchitez Densidad del suelo Humedad de suelo inicial	Análisis de muestras de suelo
Profundidad de raíces	Observación en campo y uso de suelo
Factor por pendiente	Modelo de elevación digital y reclasificación
Factor por vegetación	Uso de suelo y reclasificación
Precipitación media mensual	Datos IMN estación Santa Cruz
Evapotranspiración potencial	Metodología de Hargreaves y Samani (1985)

La figura 1.2 ilustra el proceso para el cálculo de la recarga potencial. Para realizar la estimación de la recarga se necesitan obtener los parámetros para el suelo, entre ellos la profundidad de raíces, la capacidad de infiltración, capacidad de campo, punto de marchitez, densidad, uso de suelo; también se necesita información climatológica de la zona y un modelo de elevación digital de la misma.

A partir de los datos anteriores se determina la evapotranspiración potencial y la real, la precipitación que infiltra, la humedad del suelo al inicio y al final del mes, y se repite el procedimiento para cada mes de forma consecutiva. Estos parámetros son los componentes principales para calcular la recarga potencial al acuífero.



**Figura 1.2:** Diagrama metodología de Schosinsky (2006) (Elaboración propia).

La recarga al acuífero ocurre cuando el agua que infiltra es suficiente para que el suelo esté a capacidad de campo y satisfaga la evapotranspiración de las plantas. La siguiente ecuación se utiliza para estimar la recarga potencial, según Schosinsky (2006):

$$R_p = P_i + H_{Si} - H_{Sf} - ETR$$

Donde:

$R_p$  = Recarga potencial mensual en mm/mes

$P_i$  = Precipitación que infiltra en mm/mes

$H_{Si}$  = Humedad del suelo al inicio del mes en mm

$H_{Sf}$  = Humedad del suelo al final del mes en mm

$ETR$  = Evapotranspiración real en mm/mes

### **Hidrogeoquímica**

El agua es considerada el disolvente universal, por lo que puede contener gran cantidad de sustancias disueltas. Este líquido tiene la capacidad de disolver sólidos, así como de mezclarse con otros líquidos o gases, y la forma iónica es la forma principal de encontrar las sustancias disueltas en el agua (Custodio, 2001a).

La composición química del agua subterránea es el resultado de la composición del agua que entra al acuífero, y la reacción con los minerales de las rocas por donde circula, la cual dependen del tiempo y el espacio (Appelo & Postma, 1999). Esta información es de gran interés debido a la importancia de asegurar la buena calidad del agua para consumo humano (ibid).

En el agua subterránea natural, la mayoría de sustancias disueltas se encuentran en un estado iónico (Custodio, 2001a). Los iones fundamentales en el agua subterránea se muestran en las tablas 1.2 y 1.3.

**Tabla 1.2: Aniones y sustancias aniónicas mayores (Tomado de Custodio, 2001a)**

Aniones y sustancias aniónicas	Rango típico de concentración	Origen
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	10 – 250 ppm en aguas dulces	Agua de lluvia. Puede proceder de gases y líquidos asociados a emanaciones volcánicas. Ambientes marinos
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	2 – 150 ppm en aguas dulces	Oxidación de sulfuros. Actividades urbanas, industriales y agrícolas
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) y Carbonato (CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> )	Bicarbonato: 50 – 3501 ppm en agua dulce  Carbonato: Si pH>8,3, hasta 50 ppm	Disolución de CO <sub>2</sub> atmosférico o del suelo. Disolución de calizas.
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,1 – 10 ppm	Bacterias nitrificantes. Abonos. Agua de lluvia. Raramente del lavado de minerales nitrogenados, emanaciones volcánicas, etc.

**Tabla 1.3: Cationes y sustancias catiónicas mayores (Tomado de Custodio, 2001a)**

<b>Cationes y sustancias catiónicas</b>	<b>Rango típico de concentración</b>	<b>Origen</b>
Sodio ( $\text{Na}^+$ )	1 – 150 ppm en aguas dulces, (>)	Ataque de minerales. Raras veces de emanaciones y procesos magmáticos. Agua de lluvia.
Potasio ( $\text{K}^+$ )	0,1 – 10 ppm en aguas dulces	Ataque de minerales. Abonos.
Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ )	10 – 250 ppm en aguas dulces	Disolución de calizas y cemento calcáreo de rocas.
Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ )	1 – 100 ppm en aguas dulces	Disolución de dolomías y calizas dolomíticas.

Los iones menores (tablas 1.4 y 1.5) son iones y sustancias disueltas que se encuentran en cantidades pequeñas, comparándolas con los iones anteriores (menos de 1% de iones totales).

**Tabla 1.4: Aniones y sustancias aniónicas menores más importantes (Tomado de: Custodio, 2001a)**

<b>Aniones y sustancias aniónicas</b>	<b>Rango típico de concentración</b>
Fluoruro ( $\text{F}^-$ )	0,1 – 1 ppm, hasta 10 – 50 ppm en aguas muy sódicas con poco calcio
Bromuro ( $\text{Br}^-$ )	<0,01 ppm en aguas dulces

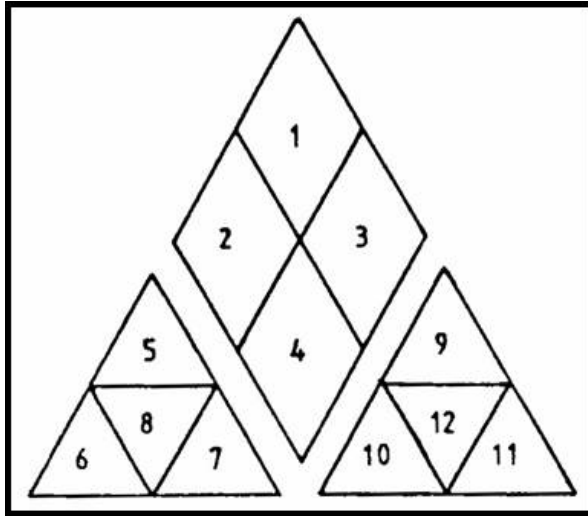
**Tabla 1.5: Cationes y sustancias catiónicas menores más importantes (Tomado de: Custodio, 2001a)**

Cationes y sustancias catiónicas	Rango típico de concentración
Manganeso ( $Mn^{++}$ )	<0,2 ppm, rara vez >1 ppm

### Métodos de clasificación del agua

Existen diferentes tipos de diagramas para representar las características químicas del agua, entre ellos los diagramas de Piper (Fetter, 2001).

- Diagramas triangulares: En estos se pueden representar tres componentes, donde cada uno de ellos ocupa un vértice de un triángulo equilátero. Los iones que se utilicen deben estar en su equivalente de %. La forma más usual es de % de los valores en meq/l. Los iones más representados son  $HCO_3^- + (CO_3^{--})$ ,  $SO_4^{--}$ ,  $Cl^- + (NO_3^-)$  y como cationes  $Na^+ + (K^+)$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ . El diagrama más empleado es el de Piper, que utiliza 2 diagramas separados para representar los aniones y los cationes colocados de diferentes formas y con un campo central romboidal o cuadrado donde se representa la intersección de los valores de aniones y cationes, para dar un nombre al agua (fig. 1.3).



1- Aguas sulfatadas y/o cloruradas, cálcicas y/o magnésicas.

2- Aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas.

3- Aguas cloruradas y/o sulfatadas sódicas.

4- Aguas bicarbonatadas sódicas.

5- Aguas magnésicas.

6- Aguas cálcicas.

7- Aguas sódicas.

8- Aguas magnésicas, cálcicas y sódicas.

9- Aguas sulfatadas.

10- Aguas bicarbonatadas.

11- Aguas cloruradas.

12- Aguas sulfatadas, bicarbonatadas y cloruradas.

**Figura 1.3:** Diagrama de Piper y clasificación de las aguas según zonas del diagrama (Tomado de: Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de La Pampa, s.f.)

La principal ventaja que tiene el uso de este diagrama es que refleja variaciones en la composición del agua, ya sea por mezclas o procesos químicos en la misma, por lo que permite ilustrar la evolución hidrogeoquímica del agua en un acuífero (Custodio, 2001a). También se pueden representar muchos análisis sin dar origen a confusiones, ya que las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas (íbid).

### **Vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos**

Dadas las condiciones de la zona de estudio en cuanto a desarrollo turístico, es importante identificar la vulnerabilidad del acuífero para determinar si las actividades que se desarrollan en los poblados de Potrero y Brasilito pueden afectar la calidad de las aguas subterráneas, ya sea por medio de infiltración de sustancias contaminantes o por intrusión salina.

La vulnerabilidad intrínseca de un acuífero está determinada por el entorno hidrogeológico natural. Esta intenta representar la sensibilidad de un acuífero a ser afectado en forma adversa por una carga contaminante impuesta (Foster et al, 2002).

En la actualidad se pueden encontrar diversas metodologías para determinar la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos, entre ellas se mencionan las siguientes:

- GOD (Foster et al., 2002)

Incluye tres variables, siendo estas G (Grado de confinamiento hidráulico), O (Ocurrencia del sustrato suprayacente) y D (Distancia al nivel del agua subterránea o al techo del acuífero). Estos factores anteriores se multiplican entre sí y resultan en un valor final que varía entre 0 y 1. En la figura 1.5 se observan los valores que se pueden asignar a estos tres parámetros.

Esta metodología es aplicable a áreas de trabajo con escasa información, con irregular distribución de datos o con incertidumbre de la información. La fórmula que se utiliza para calcular el índice final es la siguiente:

$$iV_{\text{GOD}} = \mathbf{G \times O \times D}$$





$h > 10$	$10 > h > 5$	$5 > h > 2.5$	$2.5 > h > 1$	$h < 1$	Nivel piezométrico (m)
0,3	0,6	0,8	0,9	1	
Loess Arenas eólicas Areniscas Rocas de baja permeabilidad Rocas Volcánicas Gravas y arenas Calizas Karst					Litología
0,3	0,6	0,8	0,9	1	
$d > 10$	$10 > d > 6$	$6 > d > 3$	$3 > d > 1.5$	$d < 1.5$	Distancia al mar (km)
0,2	0,4	0,7	0,9	1	
$V < 0,3$	$0,3 < V < 0,5$	$0,5 < V < 0,7$	$0,7 < V < 0,9$	$0,9 < V < 0,1$	Vulnerabilidad intrusión marina
insignificante	baja	moderada	alta	extrema	

Figura 1.6: Parámetros utilizados en el método SEA-GIndex. Modificado de Bocanegra et al. (2004).

## 1.6 Metodología

Para realizar el estudio hidrogeológico de las playas Potrero y Brasilito, se necesitó realizar inventarios de pozos y su respectiva medición de niveles de agua, así como los caudales extraídos de los mismos, para calcular la disponibilidad de agua en la zona. Con estos datos, es posible la construcción de mapas de isopotenciales y la determinación de las direcciones de flujo, para 1 o más acuíferos en el sitio.

Mediante las pruebas de infiltración y los análisis físicos de los suelos, se determinaron las características hidráulicas del suelo, que influyen en la recarga de los acuíferos. Al mismo tiempo, los análisis de suelos nos indican características como capacidad de campo y punto de marchitez, parámetros importantes para el cálculo de recarga potencial.

Los datos de aforos diferenciales permiten identificar la posible conexión de los ríos y quebradas del área con los acuíferos.

A partir del análisis de algunos parámetros físico-químicos del agua en pozos se clasificaron las mismas y se determinó la concentración de algunos de sus componentes químicos.

Utilizando la información geológica, ensayos en el suelo y pruebas en los acuíferos, así como el monitoreo de los niveles de agua, se puede elaborar un mapa hidrogeológico en el área de estudio.

El modelo conceptual integra la información generada y permite explicar el movimiento de las aguas subterráneas y la cantidad de agua que puede recargar en el área, así como la disponibilidad de agua en la zona.

Mediante la determinación de la vulnerabilidad de los acuíferos y el inventario de fuentes de contaminación, se identifican zonas que requieren más atención en cuanto a las actividades humanas que ahí se desarrollen.

Este trabajo se realizó en tres fases, las cuales se mencionan a continuación:

#### **Fase 1: Recopilación de información bibliográfica**

- Revisión bibliográfica de estudios geológicos e hidrogeológicos realizados en la zona de Potrero y Brasilito.
- Elaboración de mapas base (cartografía) a escala 1:50 000.
- Recopilación de información meteorológica para ser utilizada en el cálculo de recarga potencial.
- Compilación de caudales concesionados para pozos, por parte del MINAE.

## Fase 2: Generación de información de campo

- Escogencia de los pozos para monitoreo de niveles y recolección de información de campo.  
\* Se realizaron giras de campo para inventariar los pozos.
- Muestreos del agua de los pozos, para determinar las características de agua subterránea en el lugar.  
\*Se realizaron giras de campo para la toma de muestras de agua, escogiendo la época seca como la más representativa.
- Caracterización del agua subterránea, mediante diagramas de Piper.
- Aforos en lugares representativos del área, para identificar conexión de aguas subterráneas con aguas superficiales, en la época más seca del año.
- Realización de pruebas de infiltración y muestreo de suelos para identificar sus características hidráulicas, densidad, textura, capacidad de campo, punto de marchitez, etc.  
\*Las pruebas de infiltración se realizaron con el método de doble anillo, por parte de personal del AyA, y los análisis de muestras de suelo se efectuaron en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica.
- Recopilación de datos de 24 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's) para correlacionar con la información de pozos.
- Estimación de la cantidad de agua que se extrae de los acuíferos mediante pozos, a partir de las concesiones otorgadas por el MINAE y de la información recopilada en el campo.

## Fase 3: Análisis de información

- Realización de un mapa hidrogeológico de la zona y de mapas de isopotenciales; determinar el flujo de las aguas subterráneas y elaborar perfiles hidrogeológicos que ayuden a la diferenciación de los acuíferos en la zona.

\*Los mapas de isopotenciales se efectúan con la información de las elevaciones de los pozos y la profundidad del agua subterránea.

- Elaboración del modelo conceptual del acuífero.
- Preparación de un mapa de uso de suelo y un modelo de elevación digital para la asignación de factores de  $K_p$  y  $K_v$  para el balance hídrico de suelos.
- Calculo de la recarga potencial de los acuíferos de la zona mediante un balance hídrico y mediante la metodología de hidrograma de pozos.
- Determinación la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación mediante varios métodos.

## Capítulo II: Geología

### 2.1 Geología Regional

Se describen 4 unidades geológicas en el área de estudio, cuya distribución espacial se indica en la figura 2.1:

#### **Basaltos del Complejo de Nicoya**

Se asocian con la Unidad Matapalo y Esperanza, según Kuijpers (1979, 1980), o al Complejo Inferior (Gursky, 1989). Denyer et al. (2014) indican que estos basaltos forman parte del basamento local y regional, siendo la unidad de mayor distribución en la zona del Complejo de Nicoya y de la península.

Los basaltos son de color verde a gris oscuro con vetillas de calcedonia, zeolitas, ópalo y a veces calcita. Algunos basaltos presentan textura microscópica spinifex, siendo un indicio de enfriamiento rápido (Augusthis, 1978) (Denyer y Arias, 1993).

Denyer et al. (2014) describen flujos de basaltos masivos, cruzados por fracturas y vetillas de zeolitas y sílice; así como basaltos en almohadilla. También se pueden asociar brechas a los basaltos, formadas como autobrechas o como brechas de explosión de las almohadillas (íbid). Denyer et al. (2014) comentan que los basaltos presentan dificultad para reconocerlos de otras litologías de similitud geoquímica, como los cuerpos intrusivos, debido a la meteorización, y que están intensamente fracturados, lo que indica que han sido sometidos a un intenso tectonismo.

La mayoría de los basaltos se originaron en una dorsal medio oceánica (Wildberg, 1987) y otra parte se formaron por volcanismo interplaca (Meschede et al., 1988). Denyer et al. (2014) mencionan que estos basaltos forman parte del CLIP (Caribbean Large Igneous Province) y se

originan por un engrosamiento de la corteza, producto del paso de la placa Farallón por un punto caliente, que produjo intrusiones y derrames lávicos.

Denyer et al. (2014) indican que las dataciones radiométricas de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  se agrupan en 3 grupos: entre 139-133 Ma y entre 119-111 Ma, según Hoernle et al. (2004); y entre 95-88 Ma con dataciones de Sinton et al. (1997) y Hauff et al. (2000).

Las muestras de suelos producto de la meteorización de los basaltos, tomadas en el campo, presentan texturas limo arenosas y limo arcillosas, con porosidades entre 48,5% y 51,6%.

### **Radiolaritas del Complejo de Nicoya**

Son rocas pelágicas de grano fino a muy fino, estratificadas y con variedad de colores rojo, verde, amarillo, blanco, gris y negro (Denyer & Arias, 1993; Denyer et al, 2014). Se encuentran replegadas, con pliegues cerrados, isoclinales y tipo chevron, con alto grado de fallamiento (íbid).

Se diferencian 2 secuencias de radiolaritas por su contenido mineral: Radiolaritas manganesíferas, de edad entre Jurásico Medio al Cretácico Superior; y las “ferro-radiolaritas” de edad Cretácico Superior (Denyer et al., 2014).

Están asociadas con mineralizaciones de Mn-Fe producto de alteración hidrotermal, transformando las radiolaritas en jaspes y pedernales, y también existen mineralizaciones de nódulos de manganeso (Denyer & Arias, 1993). De acuerdo con Denyer y Kuijpers (1979), estas radiolaritas se relacionan con vulcanismo exhalativo de fondo oceánico.

Denyer & Baumgartner (2006) consideran que “las radiolaritas del Jurásico Inferior al Cretácico Inferior corresponden con grandes masas radiolaríticas flotando en una masa ígnea de gabros, microgabros y doleritas”, mientras que las ferro-radiolaritas corresponden con capas delgadas de radiolaritas que cubren y se intercalan dentro de los basaltos.

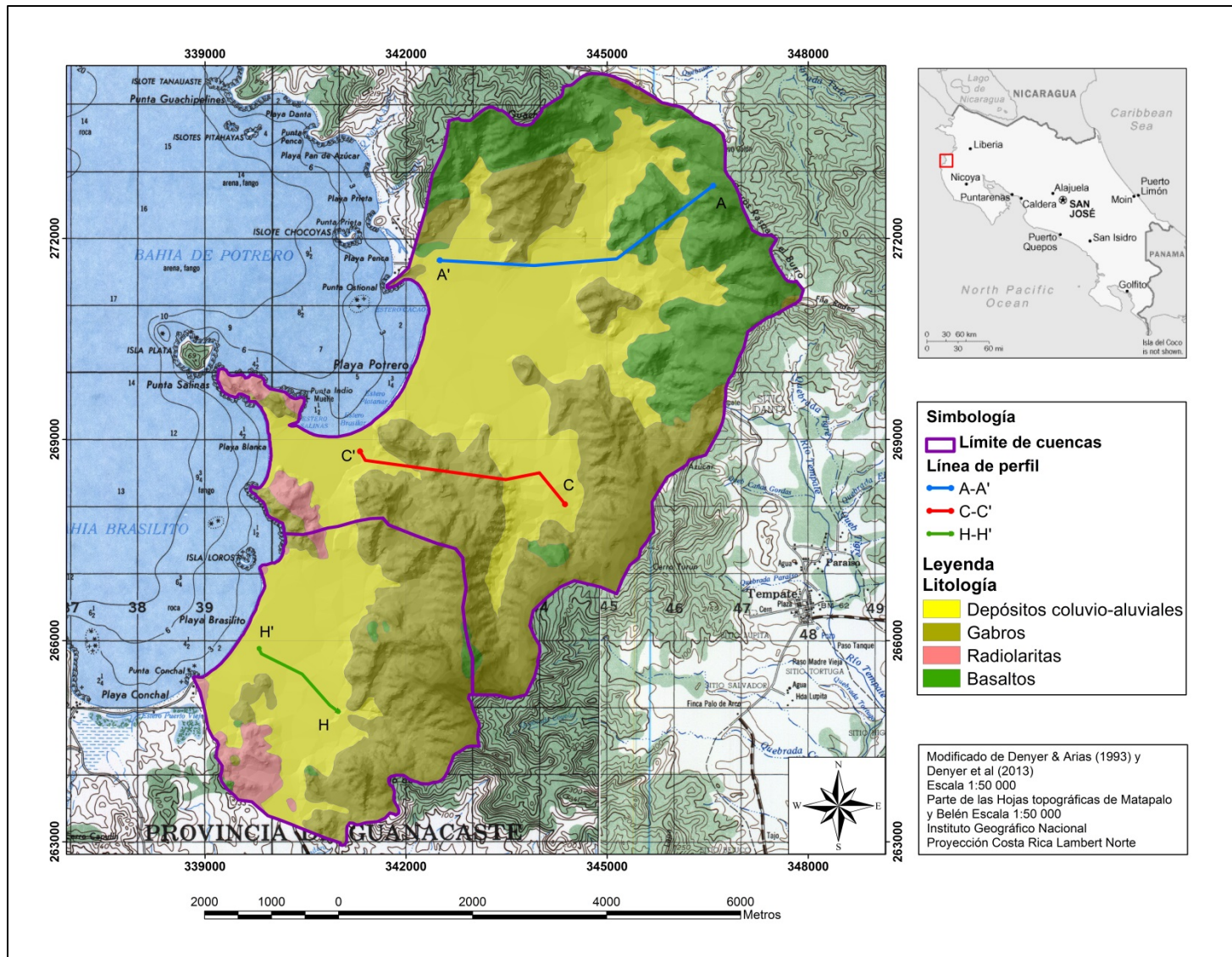


Figura 2.1: Mapa geológico del área de estudio. Modificado de Denyer & Arias (1993) y Denyer et al (2013).



Gursky & Gursky (1989) comentan que las radiolaritas del Noroeste de la península de Nicoya presentan una recristalización que afecta los radiolarios y la matriz, lo que ocasiona una transformación a pedernales, pérdida de estructura primaria y la roca empalidece, así como texturas de relleno de poro, evidenciando procesos diagenéticos en condiciones termometamórficas.

Baumgartner (1984, 1987) concluye que las edades de las radiolaritas van desde el Jurásico Medio hasta el Jurásico Superior – Cretácico Inferior. Denyer & Baumgartner (2006) indican que las radiolaritas más antiguas son del Jurásico Medio y las más jóvenes son las ferro-radiolaritas del Coniaciano-Santoniano.

Denyer & Baumgartner (2006) interpretan que las radiolaritas se depositaron sobre un fondo oceánico antiguo, las cuales se separaron de este durante los eventos magmáticos del CLIP mientras aún estaban húmedas y plásticas, incorporándose dentro de las rocas ígneas.

### **Intrusivo Potrero**

Compuesto por gabros (microgabros o diabasas), doleritas y algunos plagiogranitos, según Denyer & Arias (1993). Denyer et al. (2014) incluyen solamente gabros, microgabros y doleritas. Son de color oscuro, con textura porfirítica, y poseen acumulaciones esferoidales de piroxenos (Denyer & Arias, 1993). A nivel macroscópico pueden ser difíciles de diferenciar de los basaltos, pero presentan una meteorización en forma de arenitización (íbid). Microscópicamente tienen textura holocristalina – hipidiomórfica – intergranular a ligeramente subofítica con fenocristales de plagioclasa, augita titanífera, rara vez apatito, olivino, y cloritas y nontronitas como minerales de alteración (Denyer & Arias, 1993).

Están relacionados a diques de doleritas tipo leopard, y se asocian con intrusiones generadas en puntos calientes, dorsales, dorsales asísmicas y fallas transformadas (Phinney & Morrison, 1988). Denyer & Baumgartner (2006) indican que el Intrusivo de Potrero forma parte del grupo magmático del Complejo de Nicoya, que muestra un plateau de tierras raras, con una misma fuente mantélica.

Según dataciones de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , los intrusivos tienen una edad entre 84 a 83 Ma (Sinton et al., 1997).

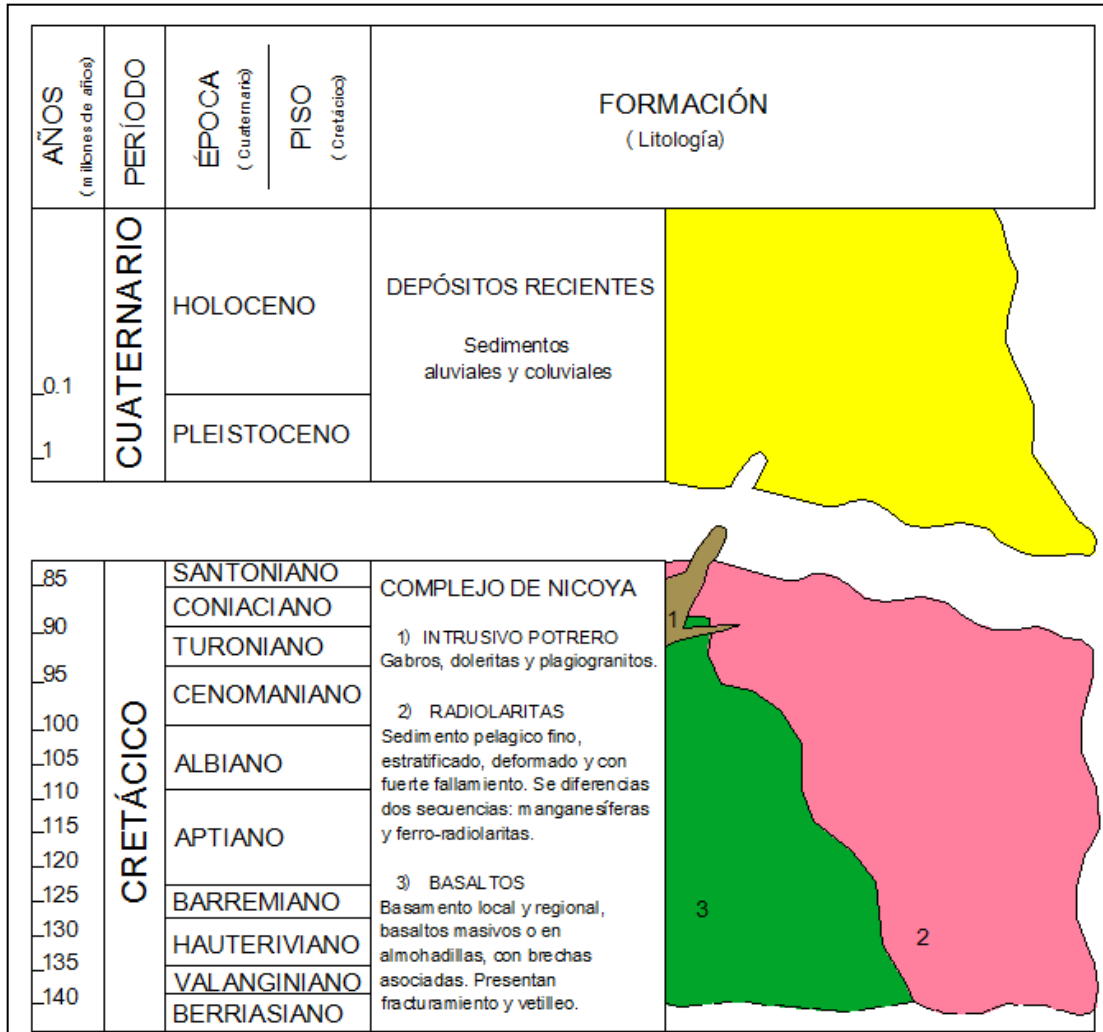
El suelo generado por esta formación es de textura arcillosa y arcillo-arenosa, con porosidades entre 27,5% y 51,6%. Las densidades aparentes varían de 1,59 g/cm<sup>3</sup> a 1,69 g/cm<sup>3</sup>.

### **Depósitos recientes**

Son sedimentos aluviales recientes que cubren gran parte del área de estudio. Los espesores máximos se localizan al norte de Filadelfia y al este de Belén, con valores de 70 y 60 m respectivamente. En la hoja Matapalo y Punta Gorda el espesor no pasa de 20 m (Denyer & Arias, 1993).

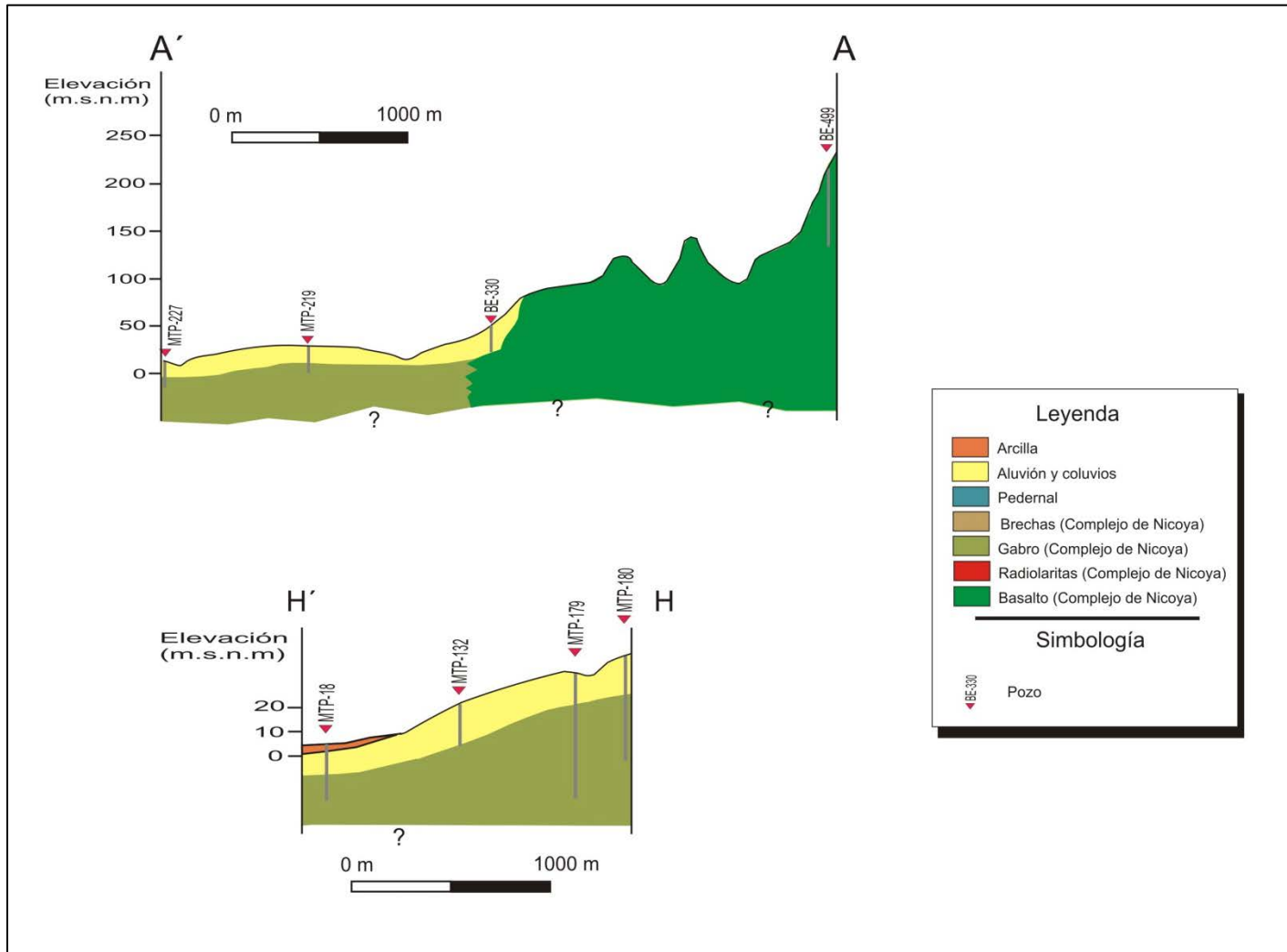
Este material se clasificó como arcillo arenoso y arcilloso, con porosidades entre 26,2% y 60,9%. La densidad aparente varía entre 1,01 g/cm<sup>3</sup> y 1,89 g/cm<sup>3</sup>.

La relación entre estas litologías se muestra en la columna estratigráfica de la figura 2.2.

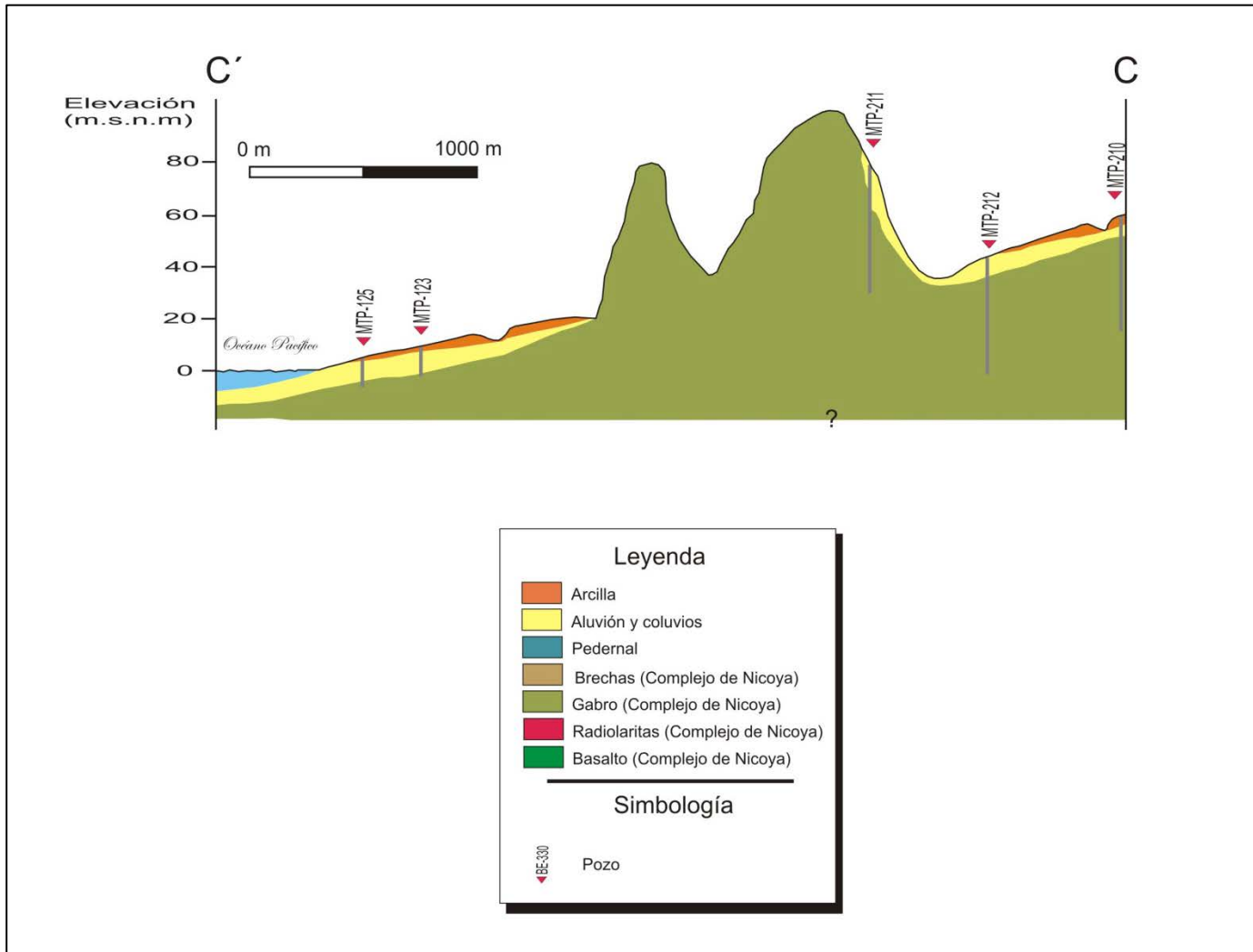


**Figura 2.2:** Columna estratigráfica del área de estudio.

A continuación se presentan los perfiles geológicos transversales A-A' y C-C' para la cuenca de Playa Potrero y el H-H' para la cuenca de Playa Brasilito, los cuales se realizaron a partir de la información de pozos de la Base de Datos del SENARA y la geología en superficie (fig. 2.3 y 2.4).



**Figura 2.3:** Perfiles geológicos transversales de las cuencas de Playa Potrero (A-A') y Playa Brasilito (H-H').



**Figura 2.4:** Perfiles geológicos transversales de las cuencas de Playa Potrero (C-C').

## Capítulo III: Geomorfología

Utilizando la clasificación de van Zuidam (1986), se identifican las siguientes morfologías en la zona de estudio (Fig. 3.1):

### 3.1 Formas de origen denudacional

#### **Cerros denudacionales, pendiente moderada**

Abarca los cerros Guachipelín, parte del Atravesado, Pan de Azúcar, Carrasposo Raspado del Burro y Brasilar, así como las filas Guayabalosa, parte de La Sierra, Loma Bonita y Palo de Arco.

Las pendientes van de 20° a 30°, cuentan con un drenaje dendrítico y están formadas por gabros y basaltos del Complejo de Nicoya.

Al noreste de la cuenca de Potrero se observa un alineamiento en los cerros Raspado del Burro, con dirección NW-SE, asociado a una falla de movimiento vertical.

#### **Cerros denudacionales, pendiente leve**

Se identifican en los cerros Naranja y Gordo, al norte de Potrero y al sur de Brasilito, así como parte de las filas La Sierra y Guayabalosa, y la localidad de Flamingo.

Tienen pendientes de 10° a 20°, con un drenaje dendrítico. Se componen de gabros del Complejo de Nicoya.

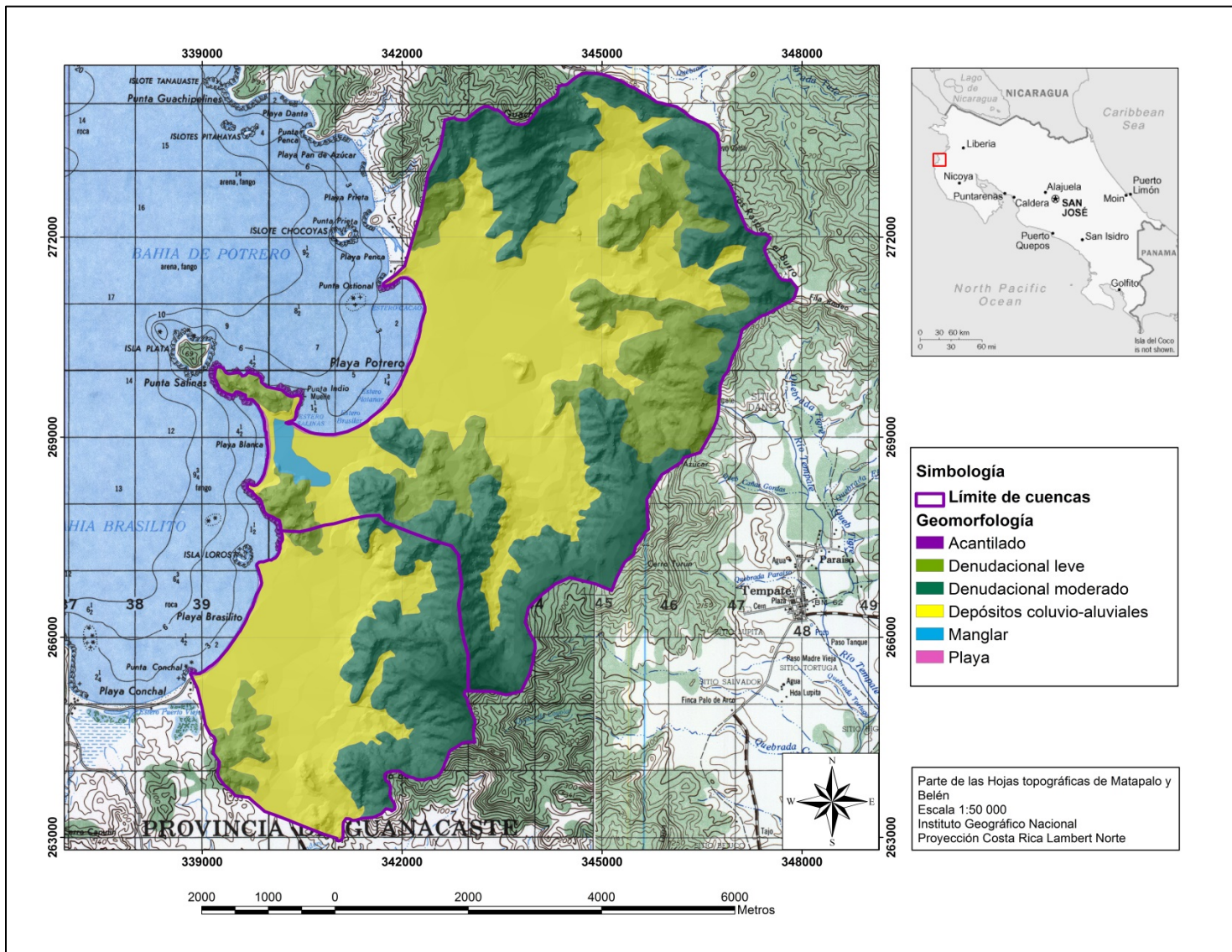


Figura 3.1: Mapa geomorfológico de la zona de estudio.

## 3.2 Formas de origen fluvial

### Depósitos Coluvio – Aluviales

El área de esta morfología es de 8,325 km<sup>2</sup> en Brasilito, y 16,695 km<sup>2</sup> en Potrero, y corresponden con las partes más planas de la zona, con una gradiente entre 0° y 10°. La pendiente puede incrementarse en las bases de los cerros, donde se pueden encontrar coluvios.

Está formada por los depósitos aluviales de los ríos Zapote y Cacao, y las quebradas Rejoya, Canelo, Ceiba, Madera, Brasilar, Cucaracha, Cusuca, Guapes, Nancital, Danta, Burro y Pilas. Estos ríos y quebradas tienen muy poca sinuosidad.

## 3.3 Formas de origen marino

### Playas

Se refiere a la línea de playas Potrero, Brasilito y Blanca. En Potrero se extiende al menos 3,7 km, mientras que en Brasilito y Playa Blanca se extienden por 2 km y 1,3 km respectivamente.

En Playa Potrero desemboca el río Cacao, en el estero del mismo nombre, mientras que en Brasilito desemboca el río Zapote, formando un pequeño manglar.

Estas playas tienen forma de herradura, aunque en Playa Brasilito es más longitudinal. Tienen acantilados a los extremos y pendientes muy suaves. El material es fino, con algunos sectores donde se deposita grava fina.

### Manglar

Se encuentra al sureste de Flamingo, desembocando al Estero Salinas. Tiene un área aproximada de 376 m<sup>2</sup>, con topografía muy plana.



## **Acantilado**

Es posible encontrar acantilados en Punta Ostional, Punta Conchal, al sur de Playa Blanca, y en Flamingo.

Esta unidad presenta pendientes fuertes, con alturas de más de 20 m, y están conformados por gabros y radiolaritas principalmente, con algunos sectores de basaltos.

## Capítulo IV: Climatología

### 4.1 Región climática y Datos climatológicos

Como se mencionó anteriormente, el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) (s.f.) describe las condiciones climáticas de la Región del Pacífico Norte, la cual se caracteriza por un período seco que va de diciembre a marzo, y por dos períodos lluviosos, separados entre sí por un veranillo en los meses de julio y agosto. Durante la época seca precipita solamente el 4% de la lluvia anual, mientras que en el primer y segundo períodos precipita el 50% y el 46% respectivamente. Los meses que tienen mayores precipitaciones son setiembre y octubre, mientras que enero y febrero son los meses más secos (íbid).

En cuanto a la temperatura de la región del Pacífico Norte, la temperatura máxima media anual alcanza los 33°C y la mínima media anual es mayor a 22°C, para una temperatura media anual entre 26°C y 28°C (Instituto Meteorológico Nacional, 2009). Para todo el año, el promedio de horas de brillo solar es mayor a 7 horas por día, y estando entre 9 y 10 horas para el mes de marzo y mayor a 5 horas para el mes de junio (íbid).

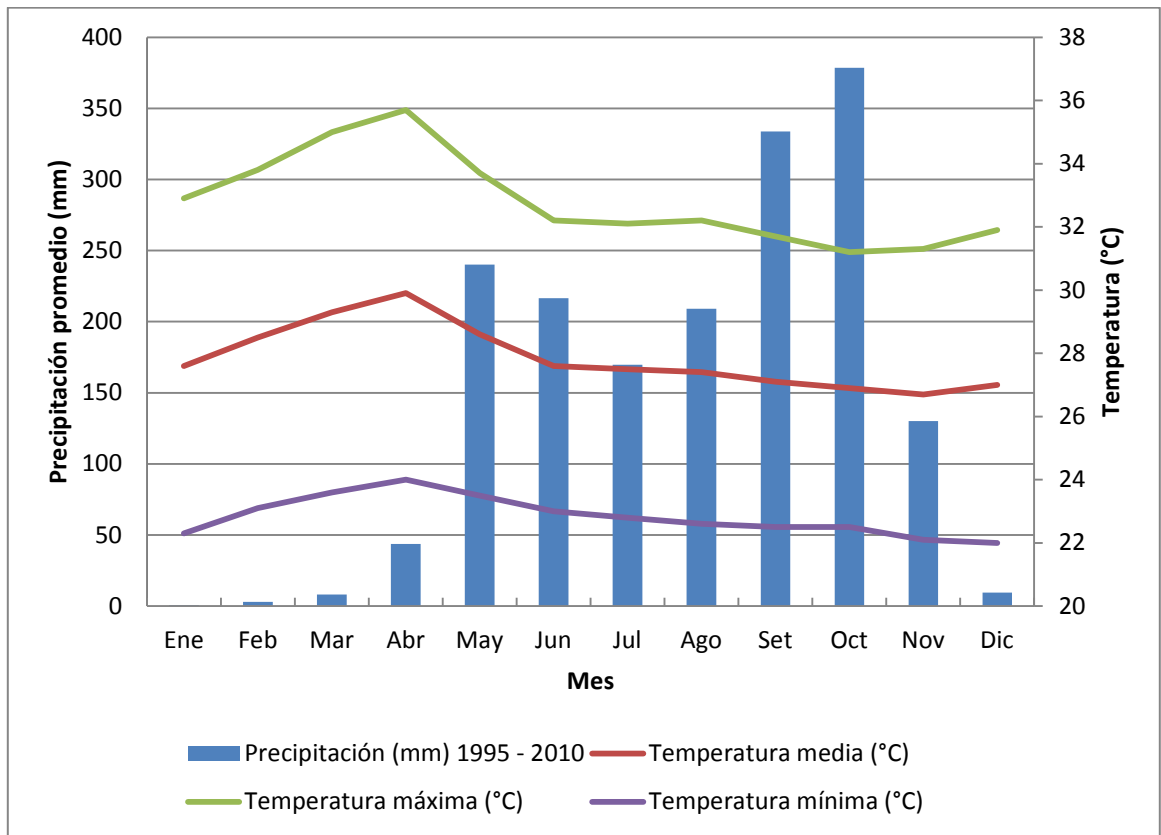
La precipitación media anual de la región está entre 1500 – 2000 mm y el promedio anual de días con lluvia es menor a 150 días (Instituto Meteorológico Nacional, 2009) (Tabla 4.1).

Según la información del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), la temperatura media anual para los años 1995 – 2010 es de 27,8°C. En el gráfico 4.1 se muestra la relación de temperaturas y precipitación para la estación Santa Cruz (IMN, 2011). Se observa que para la época seca hay una tendencia de aumento de la temperatura, alcanzando las temperaturas más altas en abril, y una respectiva disminución de la misma para la época lluviosa.

**Tabla 4.1: Datos meteorológicos de la Estación Santa Cruz  
(Promedios mensuales de datos climáticos para el período 1995-2010).**

Estación No. 74053 Lat. 10° 17' N Long. 85° 25' O Altitud 285 m.

<b>Mes</b>	<b>Precipitación (mm) 1995 - 2010</b>	<b>Temperatura máxima (°C)</b>	<b>Temperatura mínima (°C)</b>	<b>Temperatura media (°C)</b>
Enero	0,8	32,9	22,3	27,6
Febrero	2,9	33,8	23,1	28,5
Marzo	8,2	35	23,6	29,3
Abril	43,7	35,7	24	29,9
Mayo	240,1	33,7	23,5	28,6
Junio	216,5	32,2	23	27,6
Julio	169,7	32,1	22,8	27,5
Agosto	209,1	32,2	22,6	27,4
Setiembre	333,8	31,7	22,5	27,1
Octubre	378,6	31,2	22,5	26,9
Noviembre	130,2	31,3	22,1	26,7
Diciembre	9,5	31,9	22	27
<b>ANUAL</b>	<b>1743,1</b>	<b>32,8</b>	<b>22,8</b>	<b>27,8</b>



**Gráfico 4.1:** Precipitación vrs. Temperatura, para la estación de Santa Cruz.

## Capítulo V: Hidrología

### 5.1 Rasgos hidrológicos y aforos

La cuenca de playa Brasilito es drenada por el río Zapote y las quebradas Rejoya, Canelo, Madera, Cascajal y Ceiba, mientras que la cuenca de Playa Potrero es drenada por el río Cacao y las quebradas Brasilar, Cusuca, Cucaracha, Guapes, Danta, Burro, Nancital y Pilas.

El drenaje en la zona es dendrítico, y en las partes de menor pendiente los ríos y quebradas se vuelven menos sinuosos y más rectilíneos.

Gracias al apoyo de la Dirección Área Funcional de Hidrogeología UEN Gestión Ambiental del AyA, se obtuvo la información de 36 aforos en algunos de los ríos y quebradas de las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito. Los mismos se realizaron entre el 5 y 7 de abril del 2011, durante la época más seca de la zona (fig. 5.1).

De los 36 aforos, solamente en 2 sitios fue posible realizar una medición de caudal, mientras que en los otros, el resultado obtenido fue de 0 (quebradas y ríos secos). En el punto intermedio de la Quebrada Madera, en Brasilito, se obtiene un caudal de 0,2 L/s. En la parte inferior del Río Cacao, en la cuenca de Potrero, el caudal medido fue de 40 L/s.

A partir de esta información se interpreta que los ríos y quebradas en la zona son efluentes debido a que en los sitios donde se obtuvieron valores de 0,2 y 40 L/s, se tienen niveles de agua subterránea más superficiales y se consideran efluentes durante la época seca. Durante la época lluviosa se consideran los ríos y quebradas como efluentes, debido a que el aumento de los niveles en el acuífero produce una descarga en los mismos.

La información completa se presenta en el anexo 1.

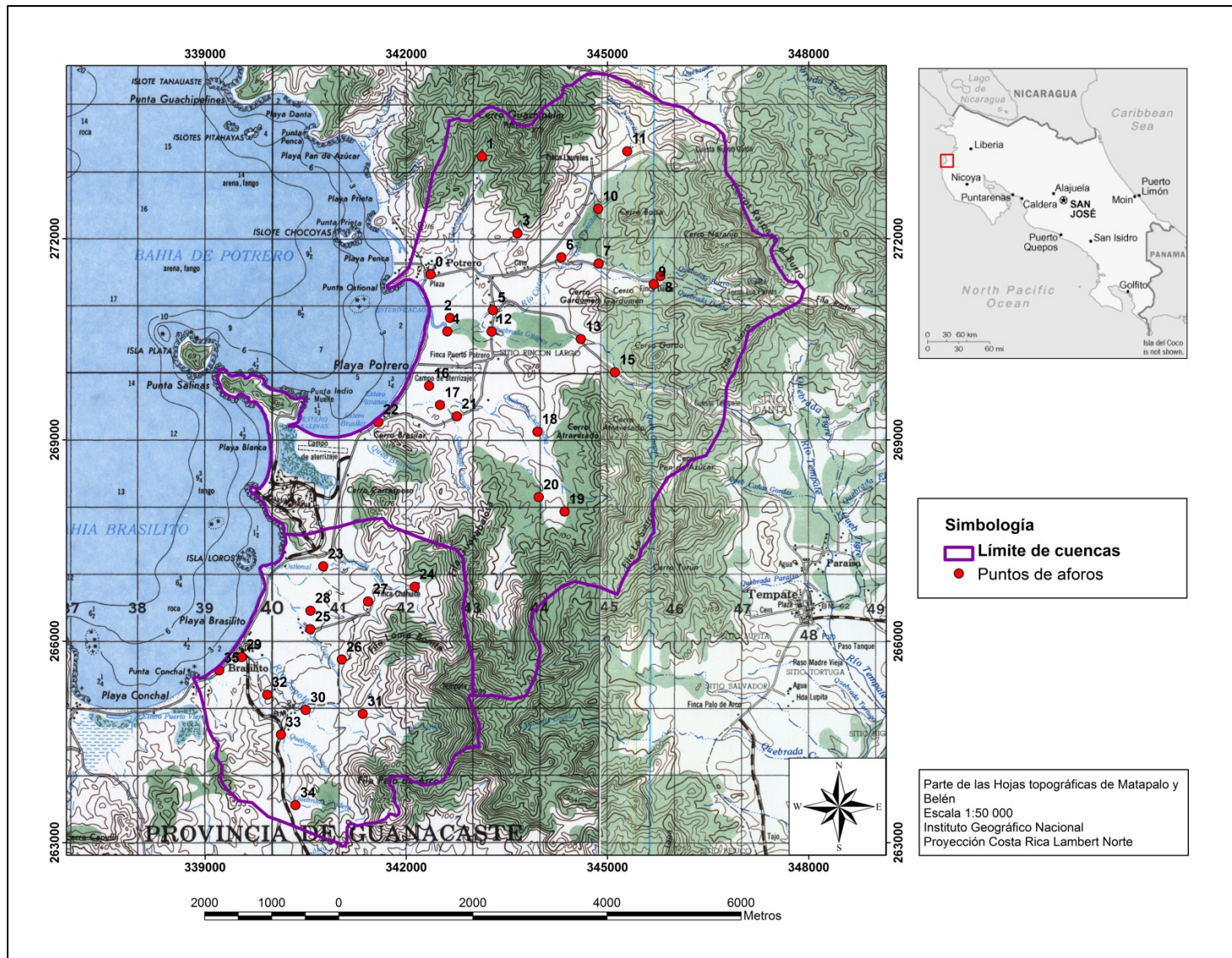


Figura 5.1: Ubicación de aforos realizados en Playa Potrero y Playa Brasilito (Fuente: AyA, 2011).

## 5.2 Parámetros hidráulicos del suelo

Para la determinación de las características físicas de los suelos en la zona de estudio, se realizaron 54 pruebas de infiltración y se tomaron 20 muestras de suelo, para las litologías encontradas. También se tomaron los datos de suelos y de infiltración de 3 pruebas realizadas por Arellano et al (2011b), para basaltos y gabros.

Las muestras de suelos fueron tomadas para realizar análisis de textura, porcentaje de humedad, porosidad, capacidad de campo y punto de marchitez, y las mismas fueron analizadas por el Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), de la Universidad de Costa Rica.

La ubicación de las muestras de suelos se observa en la figura 5.2 y los resultados obtenidos se dan en el anexo 2. Para algunos parámetros de los basaltos y gabros se utilizaron 3 resultados de las muestras tomadas por Arellano et al. (2011a).

En cuando a las pruebas de infiltración, estas se realizaron mediante el método de doble anillo, en la superficie del terreno. Estos ensayos se llevaron a cabo gracias a la colaboración de la Dirección Área Funcional de Hidrogeología UEN de Gestión Ambiental de AyA, realizados el 2011.

La ubicación de las pruebas de infiltración se observa en la figura 5.3 y los resultados obtenidos se dan en el anexo 3.



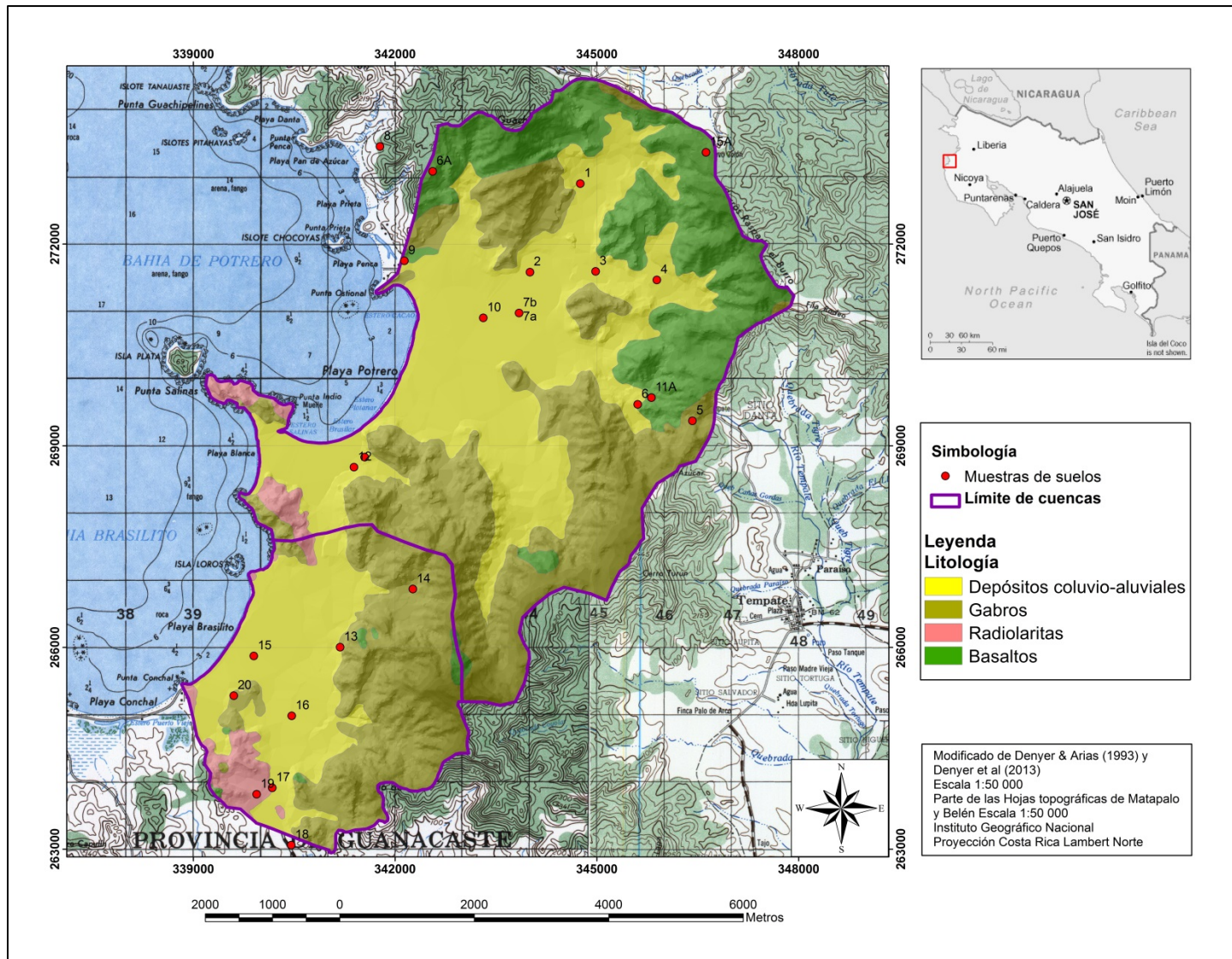


Figura 5.2: Ubicación de los sitios de muestreo de suelo en la zona de Playa Potrero y Playa Brasilito.



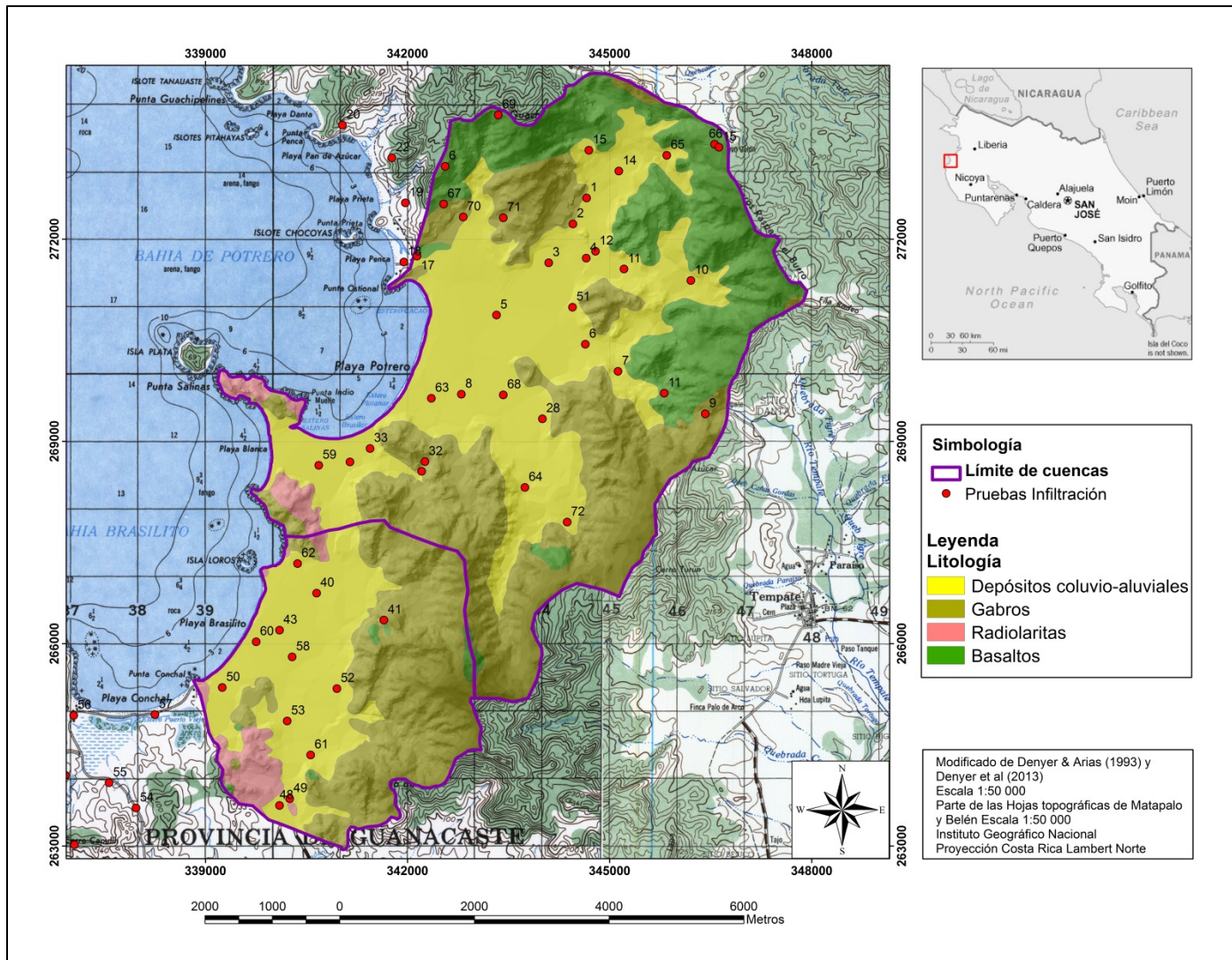


Figura 5.3: Ubicación de las pruebas de infiltración en la zona de Playa Potrero y Playa Brasilito. Método doble anillo.

## Capítulo VI: Hidrogeología

En este apartado se propone un modelo conceptual hidrogeológico de los acuíferos en Playa Potrero y Playa Brasilito, a partir del análisis de la información de geofísica y pozos en la zona. También se realiza una estimación de la recarga a los acuíferos mediante el método de Balance Hídrico de Suelos y el método de Hidrograma de pozos, y una caracterización química de las aguas subterráneas.

### 6.1 Geofísica

Para esta sección se hace una recopilación de la información geofísica que se encuentra en las cuencas de Potrero y Brasilito y se correlaciona con la geología.

En la cuenca de Potrero se cuenta con datos de prospección geofísica realizada por Arellano et al. (2011 a), donde se efectuaron 9 sondeos eléctricos verticales con la configuración Schlumberger y un AB/2 de 120m, formando 3 perfiles geoeléctricos (fig. 6.1).

Para el perfil 1, Arellano et al. (2011a) interpreta un espesor de aproximadamente 35 m de arenas con influencia marina, en la parte más cercana a la costa, mientras que al centro de la sección se distinguen 20 m de espesor de aluviones, y en el extremo del perfil se encuentran 15 m de limos y 30 m de aluvión subyaciendo los limos. A más de los 40 m del sondeo 3, se identifica el Complejo de Nicoya meteorizado.

En el perfil 2, al igual que en el 1, en el extremo más cerca al mar se describe una capa de aproximadamente 27 m de espesor de arenas con influencia marina, y a medida que se avanza al interior de la cuenca de Potrero, el aluvión tiene un espesor de entre 15,77 y 15,84 m, sobreyaciendo 15 m de Complejo de Nicoya meteorizado. Por debajo de esta litología meteorizada se encuentra el Complejo de Nicoya sano (Arellano et al., 2011a).

El perfil 3 se ubica en el interior de la cuenca, donde el espesor de los aluviones es de entre 10,71 y 10,82 m, sobreyaciendo el Complejo de Nicoya meteorizado. Este material meteorizado alcanza unos 10-15 m de espesor, sobreyaciendo el Complejo de Nicoya sano (Arellano et al., 2011a).

En resumen, cerca de la costa los materiales arenosos tienen una influencia del agua marina, lo cual se refleja en las bajas resistividades encontradas en los SEV's (entre 1 y 4  $\Omega$ m), y hacia el interior de la cuenca el espesor del aluvión es de entre 10 y 30 m.

En el sector de Brasilito existe otro estudio realizado por Arellano et al. en el 2011 (b), solicitado por el AyA, donde se llevan a cabo 15 sondeos eléctricos verticales con la configuración Schlumberger y un AB/2 de 150 m, formando 5 perfiles geoeléctricos (fig. 6.2).

En el perfil 1 se identifica una capa de suelos, rellenos y materiales coluviales entre 5 y 18 m de espesor, y por debajo de ellos un basamento fracturado o meteorizado de entre 15 y 20 m de espesor, y un basamento sano que forma parte del Complejo de Nicoya (Arellano et al., 2011b).

En el perfil 2 se inicia con el sondeo 4 en las cercanías de la playa de Brasilito, donde se determina una capa de sedimentos saturados de agua salada (Arellano et al., 2011b). Hacia el interior de la cuenca se identifica una capa de suelos, sedimentos y rellenos de aproximadamente 10 m de espesor, con presencia de agua dulce o salobre (íbid). Por debajo de estos sedimentos se observa el basamento fracturado o meteorizado, de entre 5 y 10 m de espesor, y el basamento sano, ambos del Complejo de Nicoya (Arellano et al., 2011b).

Para los perfiles 3 y 4 se identifican las mismas litologías de los perfiles anteriores, o sea, una capa de suelos y sedimentos en superficie, y un basamento fracturado o meteorizado y un basamento sano, ambos del Complejo de Nicoya. Sin embargo, en estos perfiles se ve reflejado un incremento en el espesor del basamento fracturado o meteorizado hacia el interior de la cuenca de Brasilito (Arellano et al., 2011b).



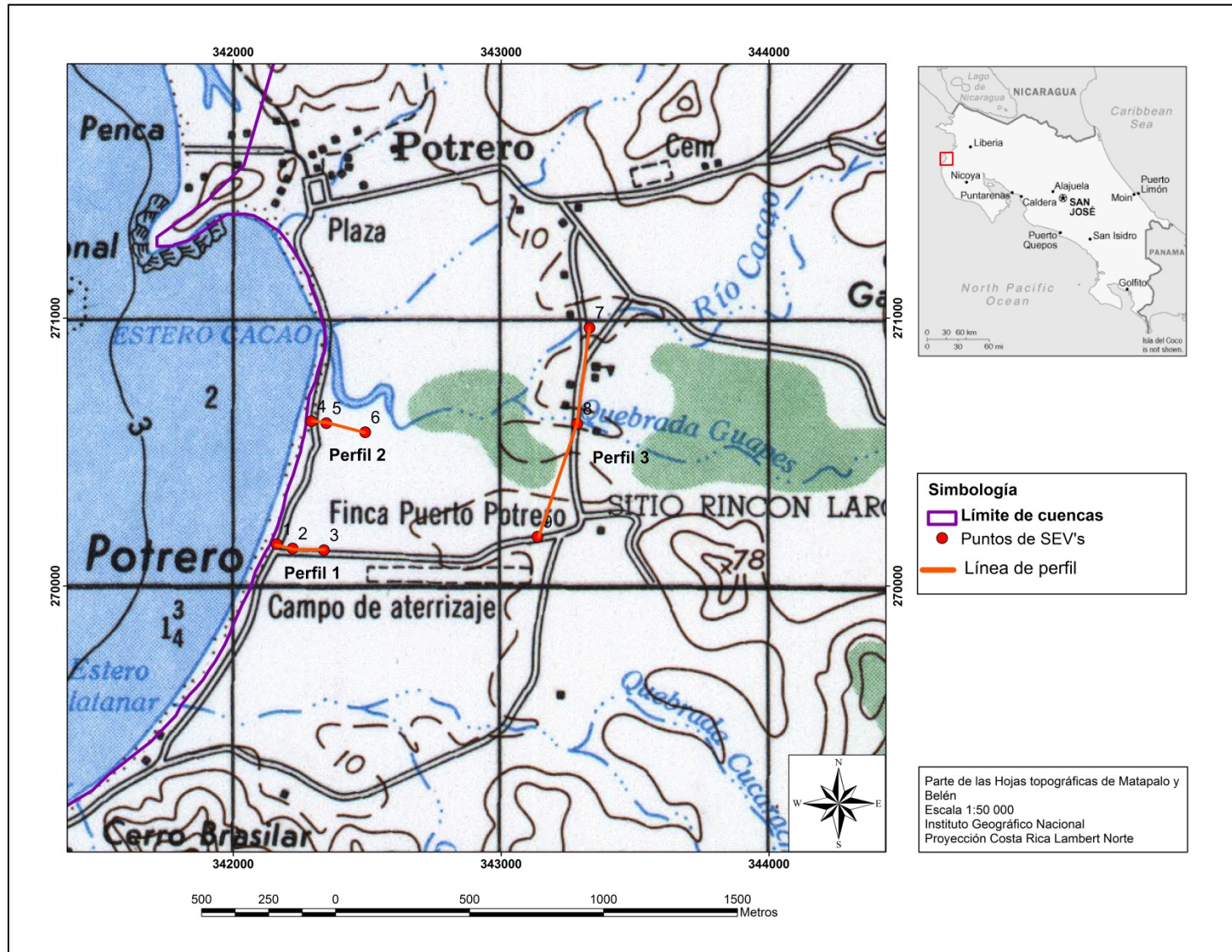


Figura 6.1: Ubicación de sondeos eléctricos verticales (SEV's) en Playa Potrero. Tomados de Arellano et al. (2011a).

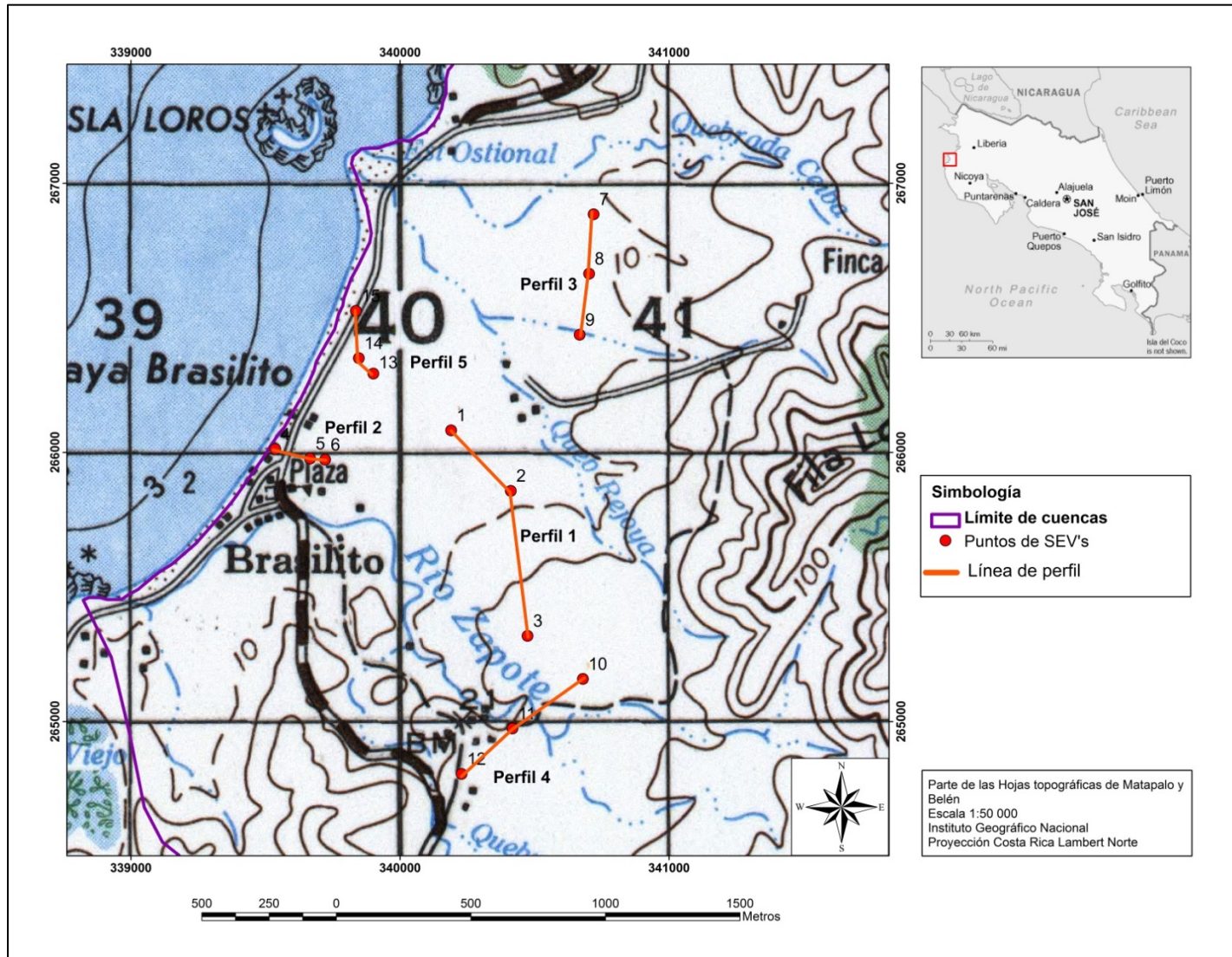


Figura 6.2: Ubicación de sondeos eléctricos verticales (SEV's) en Playa Brasilito. Tomados de Arellano et al. (2011b).

Dado que el perfil 5 también se encuentra muy cercano al mar, al igual que el perfil 2 se identifican sedimentos saturados de agua salada en las cercanías de la playa (Arellano et al., 2011b). También se interpreta una capa superficial de suelos y sedimentos saturados de agua dulce, de entre 5 y 10 m de espesor, y por debajo de este material el basamento fracturado o meteorizado del Complejo de Nicoya, con un espesor de entre 5 y 25 m de espesor, y el basamento sano (íbid). Solamente en este perfil se evidencia una capa de sedimentos salobres y arcillosos, que corresponden a depósitos de manglar ubicados a aproximadamente 250 m de la playa (Arellano et al., 2011b).

En resumen, en la cuenca de Brasilito se evidencia una cobertura superficial de suelos, que está por encima de un acuífero formado por materiales coluvio - aluviales, y una capa del Complejo de Nicoya, fracturado o meteorizado, con un espesor estimado entre 10 y 40 m. El basamento de la zona consiste en materiales sanos del Complejo de Nicoya.

En los sondeos realizados cerca de la playa, se infiere una interfase de agua dulce – agua salada, aproximadamente a unos 5 – 10 m de profundidad.

## **6.2 Rasgos hidrogeológicos de la zona de estudio**

Para construir el modelo hidrogeológico del sitio se obtuvo información de pozos de las bases de datos, la geología en superficie, datos geofísicos, el análisis de pruebas de bombeo, aforos en ríos, las pruebas de infiltración, el muestreo de suelos y el balance de suelos, así como el monitoreo de los pozos inventariados en la zona.

Con el fin de conocer el comportamiento de los acuíferos de Playa Potrero y Playa Brasilito, se realizó un inventario de pozos a partir de las bases de datos del SENARA, la Dirección de Aguas del MINAET y el AyA, así como de pozos localizados en el campo (fig. 6.3).



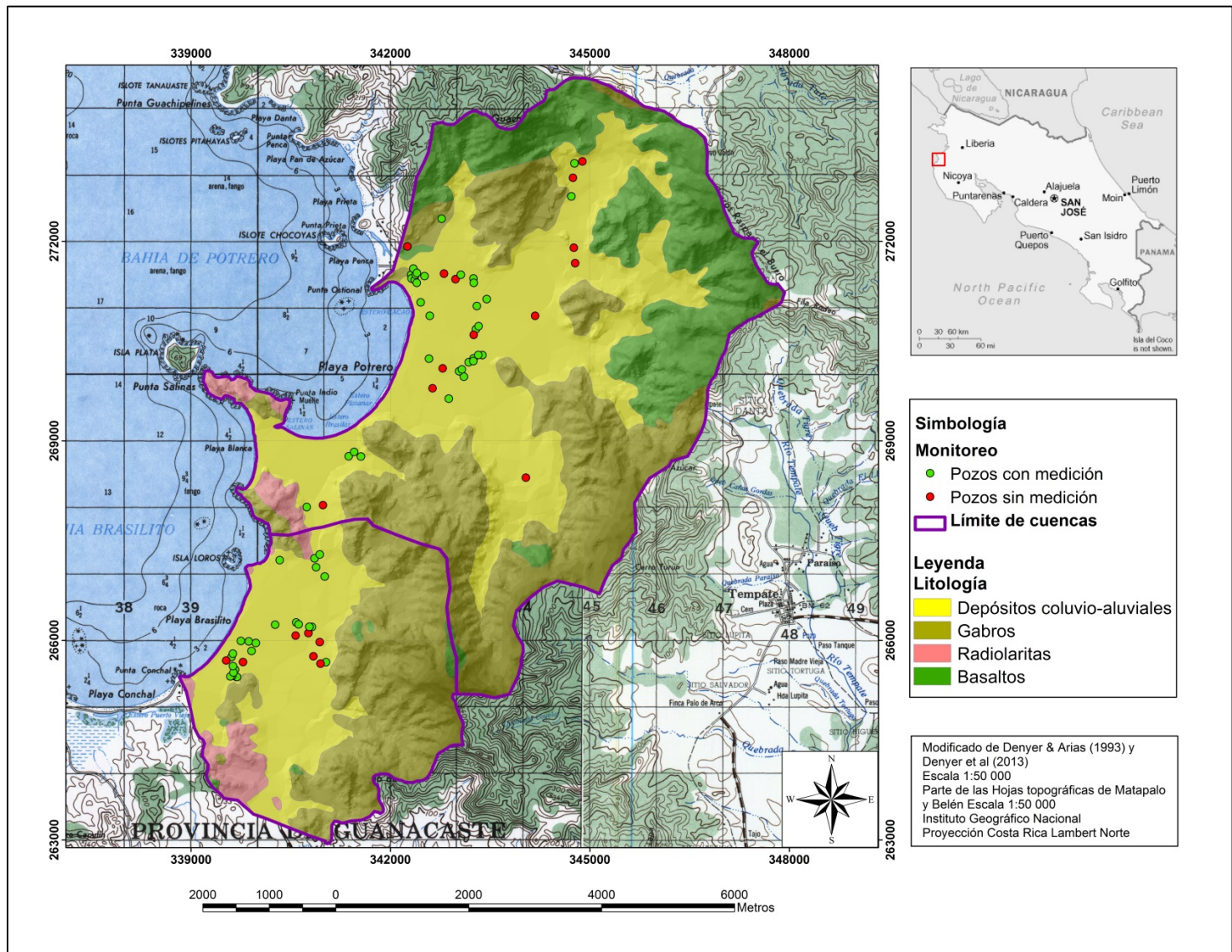


Figura 6.3: Ubicación de pozos inventariados en el campo.

Se ubicaron 82 pozos en el campo, de los cuales 49 son perforados, 31 son excavados y 2 no se conocen sus características (ya que están cerrados). De los 82 pozos, solamente se pueden realizar mediciones de niveles en 59 de ellos, de los cuales 28 perforados y 31 excavados.

Los usos de los pozos inventariados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 6.1: Usos de pozos inventariados en las cuencas de Potrero y Brasilito. Fuente: SENARA, 2012 y datos de campo.**

**Playa Potrero**

Tipo de pozo	Número de pozos	Uso por pozo						Varios
		Acueducto	Agropecuario	Doméstico	Industrial	Riego	Turismo	
Perforado	26	6	1	5	-	-	7	7
Excavado	22	-	1	13	-	-	-	8
<b>Total</b>	<b>48</b>							

**Playa Brasilito**

Tipo de pozo	Número de pozos	Uso por pozo						Varios
		Acueducto	Agropecuario	Doméstico	Industrial	Riego	Turismo	
Perforado	15	3		3	-	-	1	8
Excavado	19			2	-	-	9	8
<b>Total</b>	<b>34</b>							

En la figura 6.4 se ubican los perfiles hidrogeológicos realizados en ambas cuencas, para identificar los niveles de agua subterránea y la interacción con las diferentes litologías. Las figuras de la 6.5 a la 6.8 muestran los perfiles hidrogeológicos elaborados.

En cada cuenca se identifica un acuífero, compuesto por aluviones en la parte superficial y de gabros fracturados y basaltos en profundidad. En algunos sitios se encuentran radiolaritas intercaladas, que también aportan agua al acuífero. Estas litologías presentan conexión hidráulica entre sí.



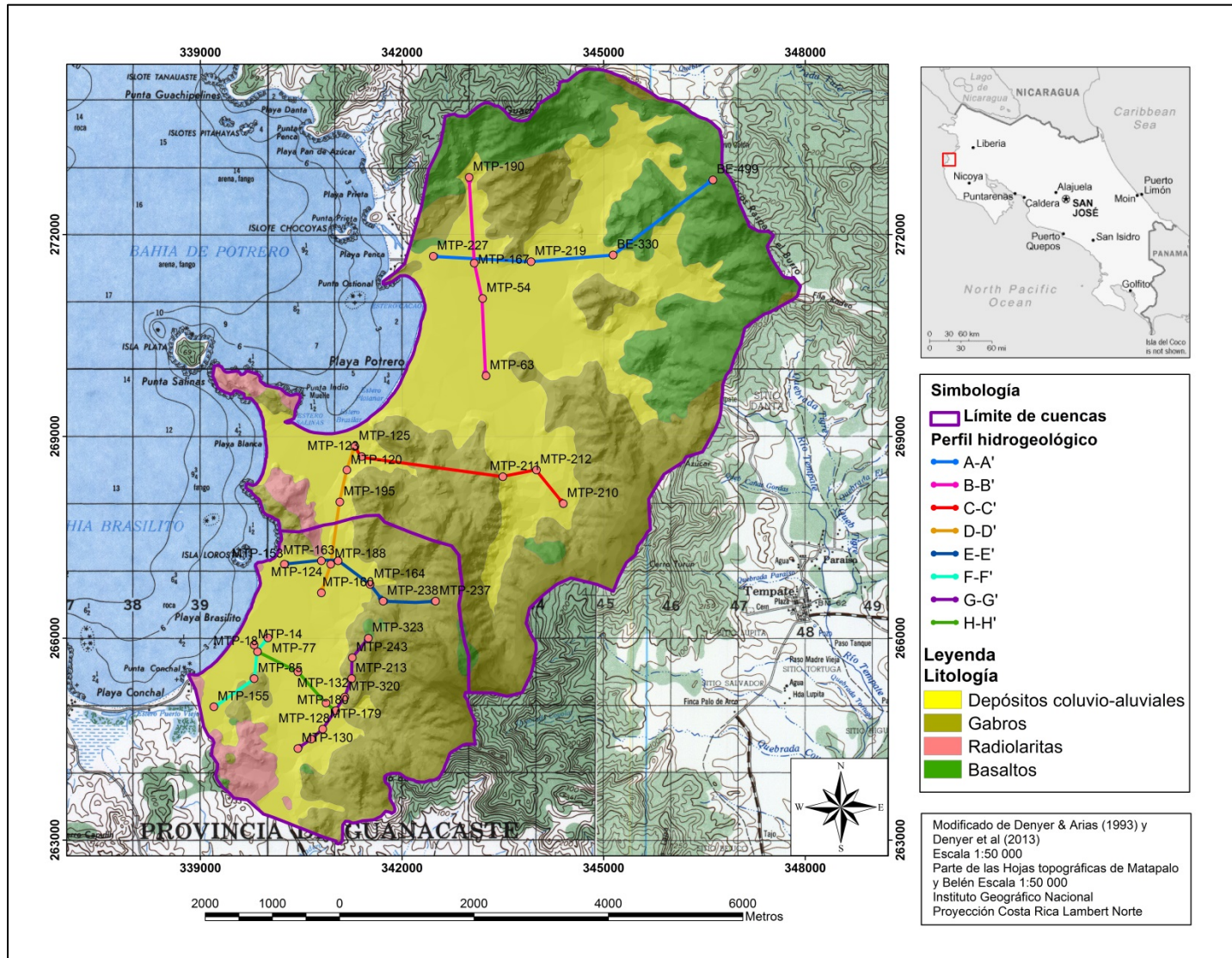


Figura 6.4: Ubicación de perfiles hidrogeológicos en el área de estudio.

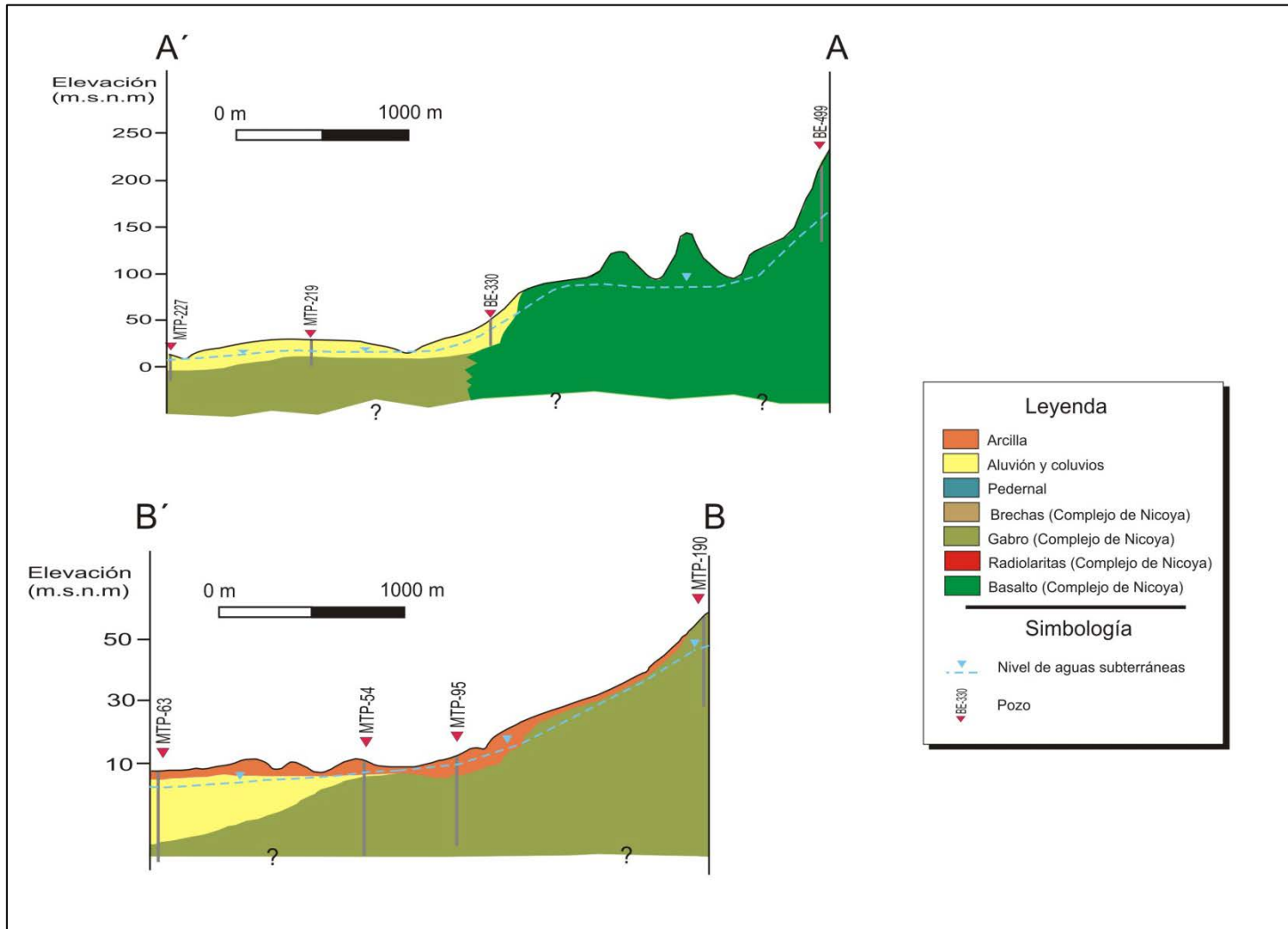


Figura 6.5: Perfiles hidrogeol3gicos A – A' y B – B'.

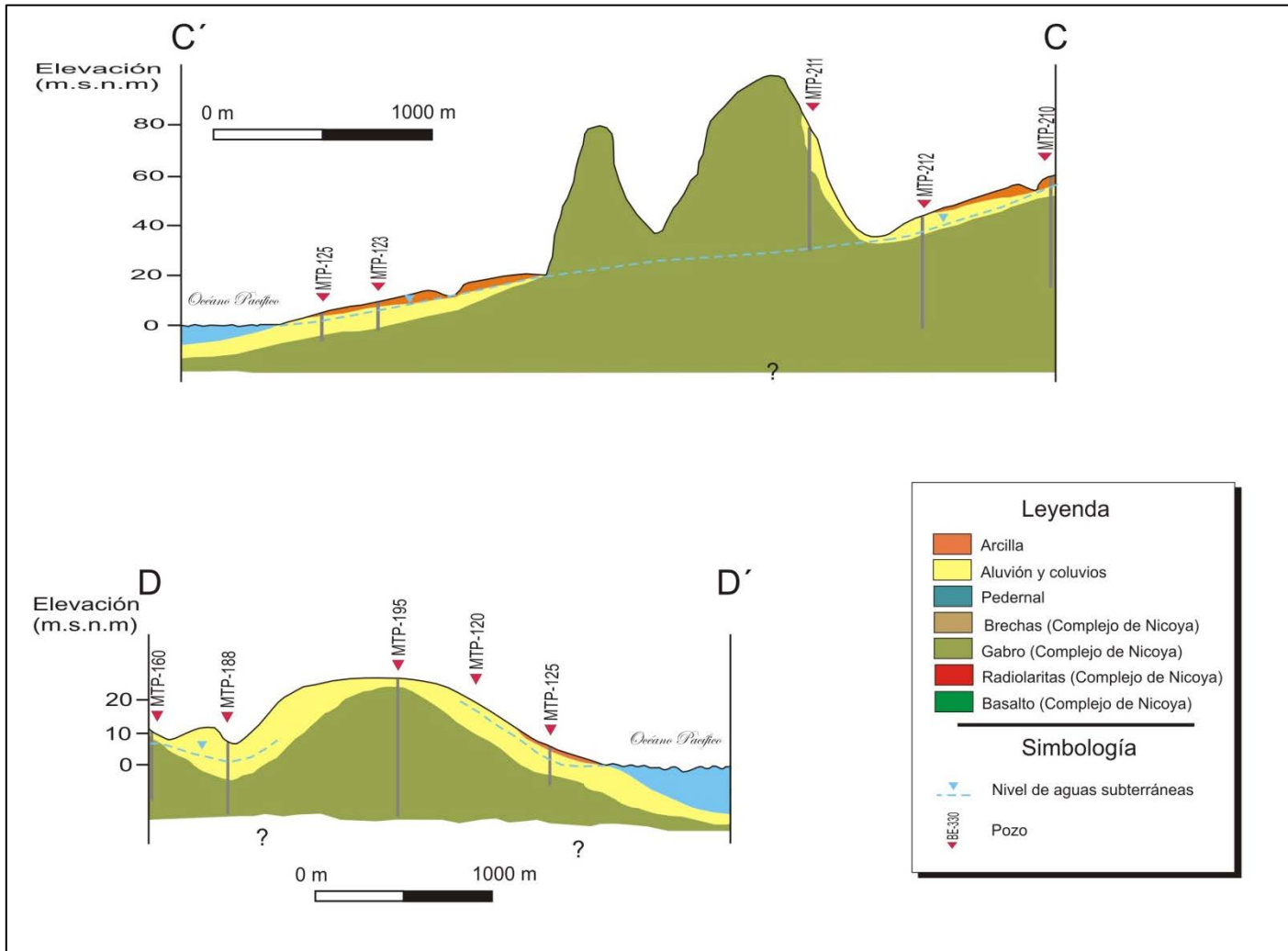


Figura 6.6: Perfiles hidrogeológicos C – C' y D – D'.

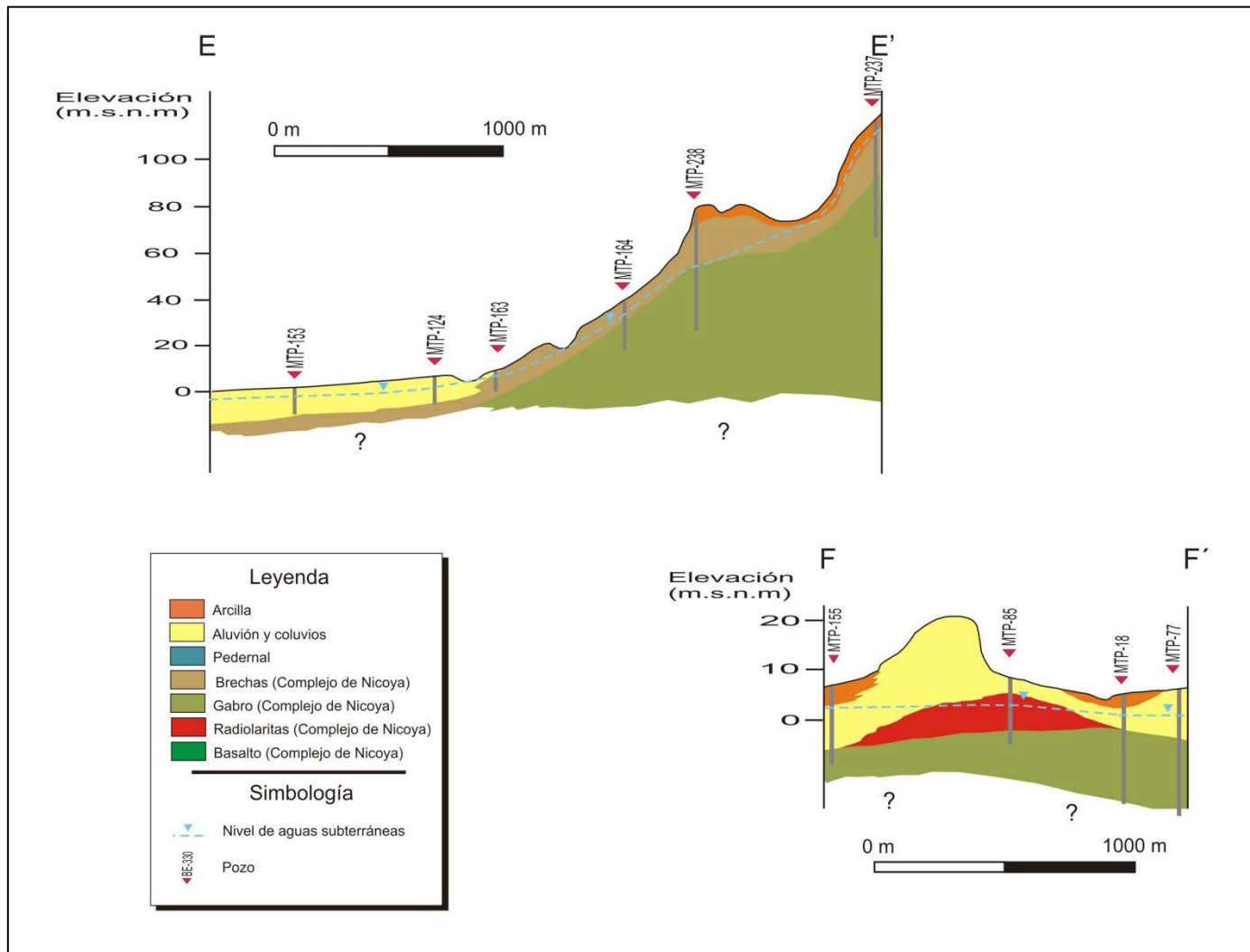
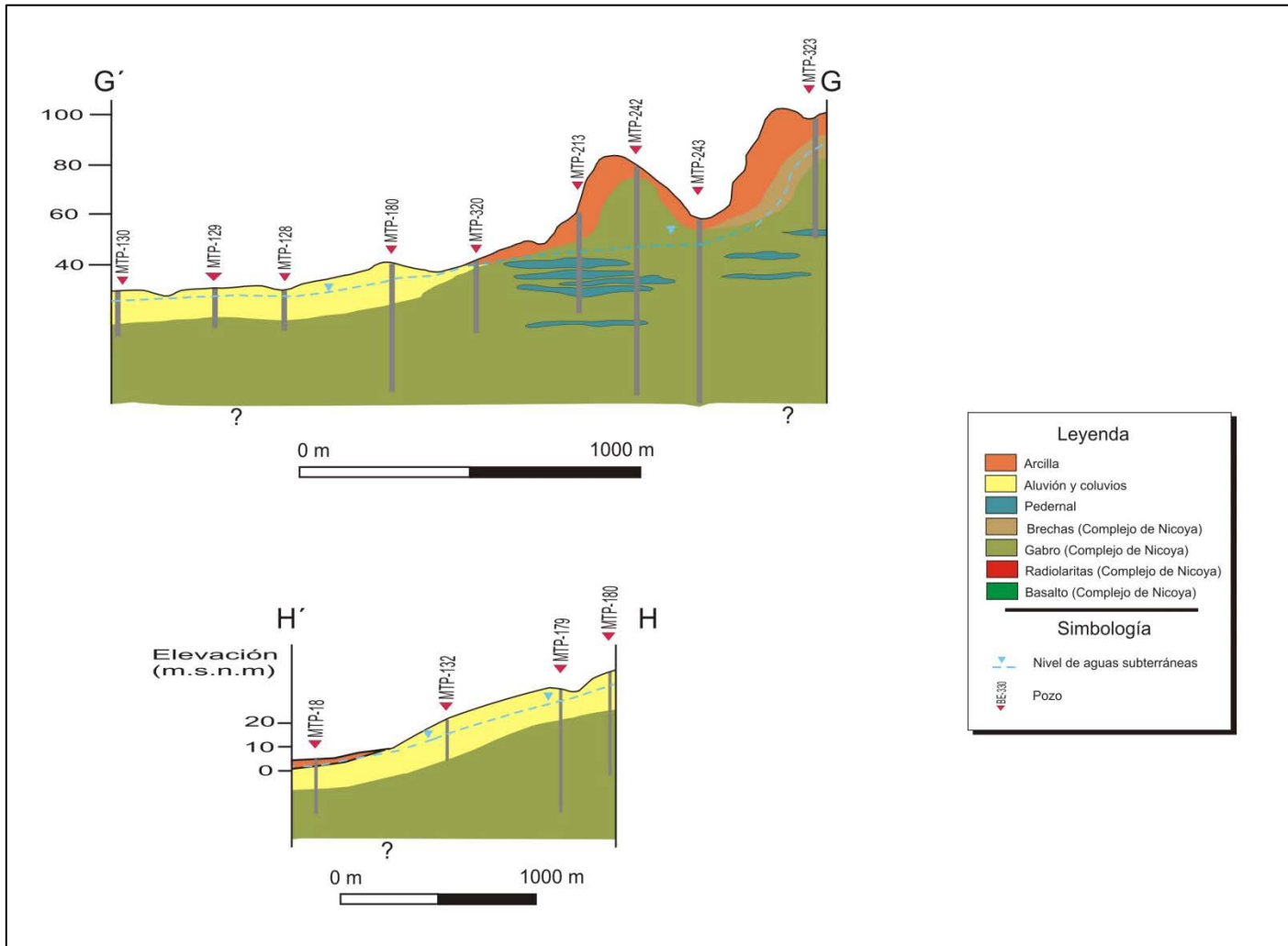


Figura 6.7: Perfiles hidrogeológicos E – E' y F – F'.



**Figura 6.8: Perfiles hidrogeológicos G – G' y H – H'.**

### **Hidrogeología en la cuenca de Playa Potrero**

En esta cuenca se identificaron niveles de agua superficiales en los pozos que intersectan aluviones y gabros; los espesores varían entre 2 y 19 m para los aluviones, y entre 10 y 37 m para los gabros. En la parte alta de esta cuenca se identifica un pozo captando basaltos del Complejo de Nicoya, con un espesor de 90m.

Al hacer una diferenciación de los pozos según la litología captada, se observa que las equipotenciales concuerdan para gabros y aluviones, por lo que se considera que existe un solo acuífero que se extiende entre las litologías presentes. A partir de esto, los niveles de agua se encuentran entre 2,22 y 63,5 m.s.n.m., con una dirección de flujo hacia el suroeste – oeste para descargar al mar, y un gradiente de entre 0,006 y 0,04 (fig. 6.9).

El acuífero se considera como libre, ya que según las descripciones de los pozos en la base de datos de SENARA, no se evidencia confinamiento durante las perforaciones.

En los meses más secos, el nivel del agua en los pozos puede descender entre 0,5 m y 7 m en las partes más altas, según se comprobó con las mediciones bimensuales realizadas en la red de monitoreo.

Según pruebas de bombeo en el registro de pozos del SENARA, la transmisividad está entre 372 y 1581 m<sup>2</sup>/d, y la conductividad hidráulica de 15,5 – 205,3 m/d.

### **Hidrogeología en la cuenca de Playa Brasilito**

A partir de la información de los pozos se determinó que los espesores saturados mínimos se ubican entre 4 y 72 m para los gabros, y entre 3 y 11 m de espesor para los aluviones. Los niveles de agua se encuentran entre 5 y 112,2 m.s.n.m. considerando indistintamente pozos que captan

aluviones, gabros y basaltos, con una dirección de flujo hacia el oeste – noroeste y un gradiente entre 0,014 – 0,09 (fig. 6.10)

En los meses más secos, el nivel puede disminuir entre 1 m hasta casi 9 m.

Según pruebas de bombeo en el registro de pozos del SENARA, la transmisividad varía entre 62,7 y 1248 m<sup>2</sup>/d, y la conductividad hidráulica entre 8,2 – 51,3 m/d.

Aunque no se reportan valores de coeficiente de almacenamiento, se considera que el acuífero es libre.



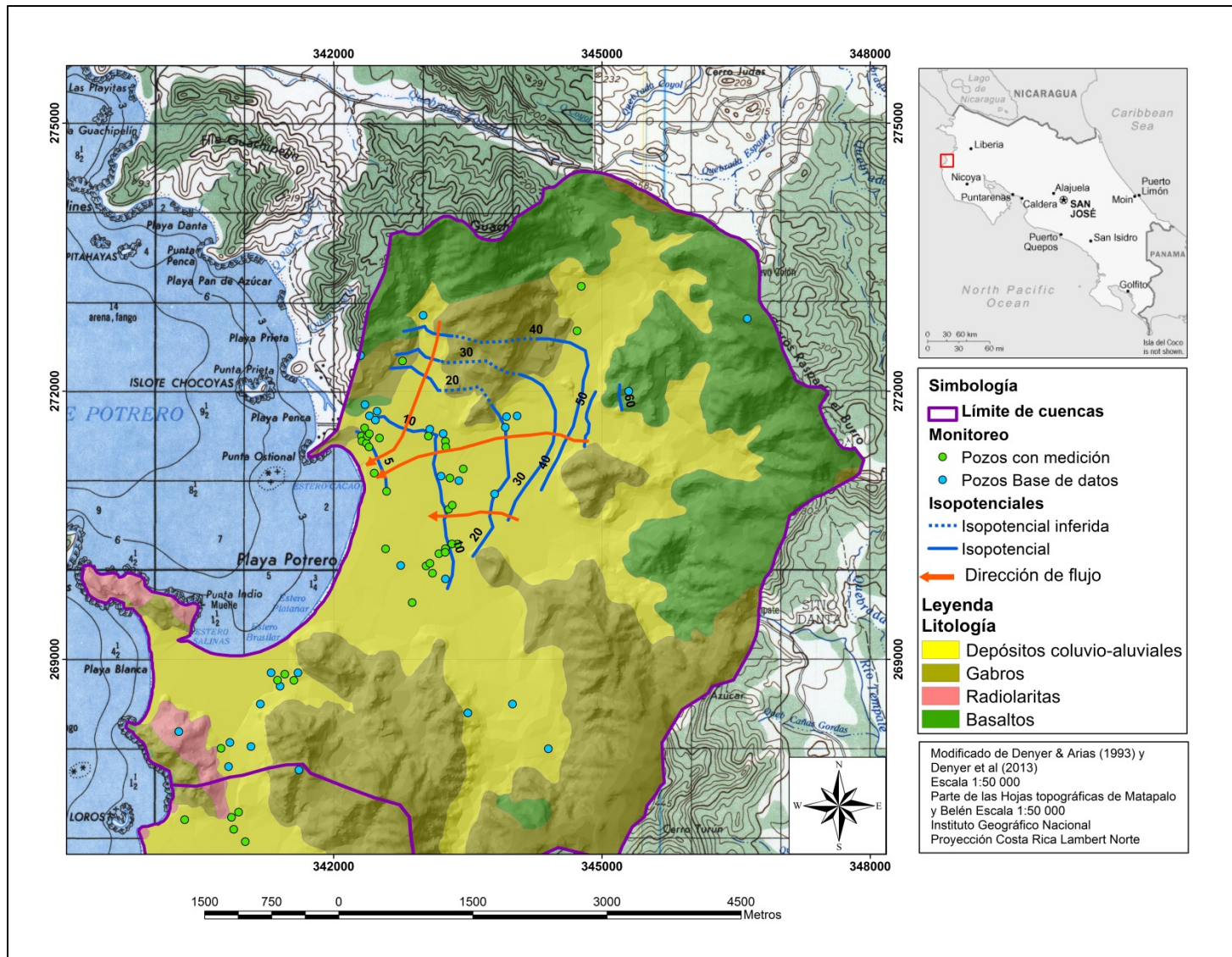


Figura 6.9: Red de flujo en la cuenca de Playa Potrero.



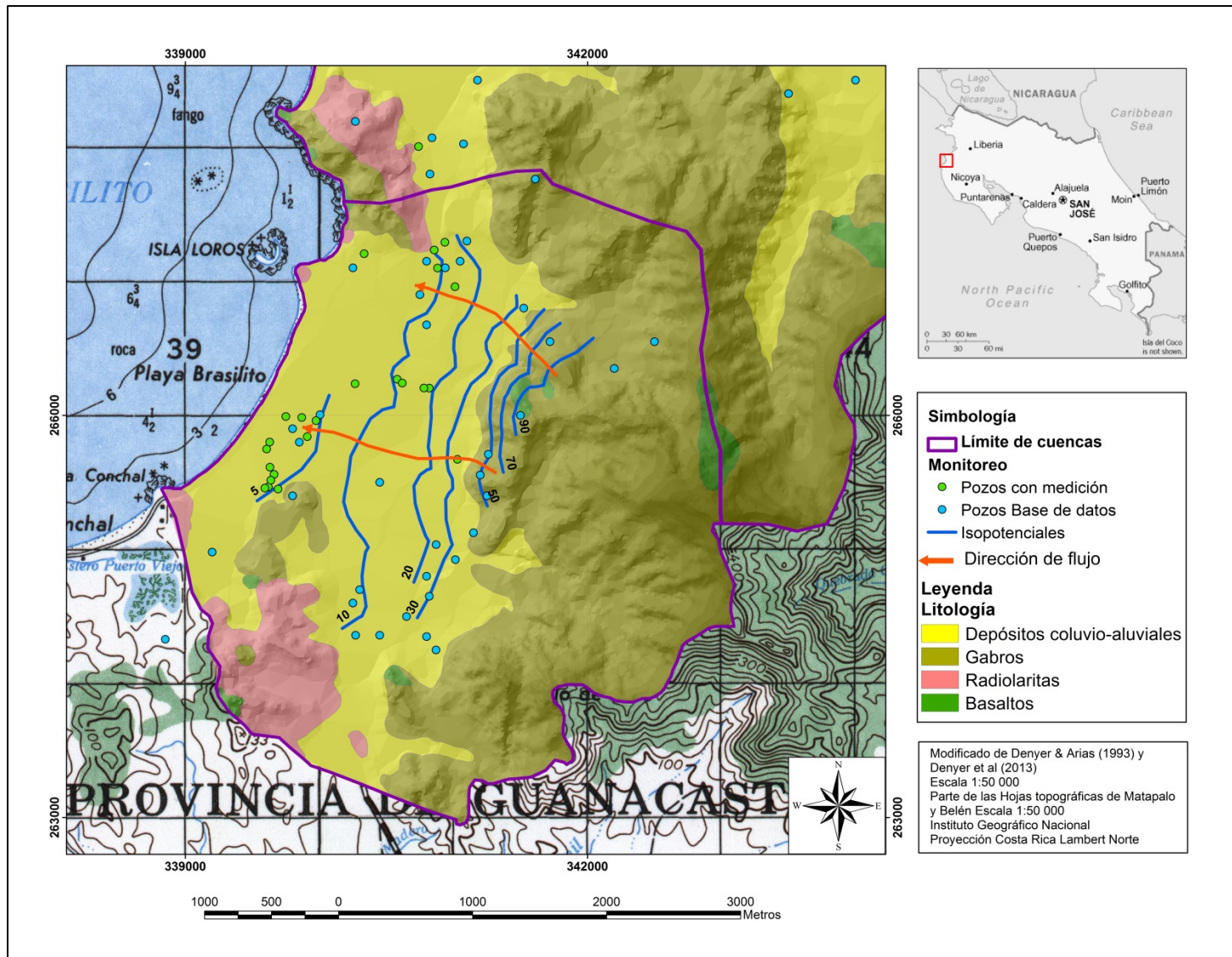


Figura 6.10: Red de flujo en la cuenca de Playa Brasilito.

A continuación se presenta un resumen de los parámetros para los acuíferos encontrados:

**Tabla 6.2: Resumen de parámetros hidrogeológicos para los acuíferos de la zona.**

Parámetro	Playa Potrero		Playa Brasilito	
	Gabros	Aluviones	Gabros	Aluviones
Litología	Gabros	Aluviones	Gabros	Aluviones
Tipo de acuífero	Libre	Libre	Libre	Libre
Espesor de la capa (m)	10-37	2-19	4-72	3-11
Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	372 – 1581 (1)		62,7 – 1248 (2)	
Conductividad hidráulica (m/d)	15,5 – 205,3 (1)		8,2 – 51,30 (2)	
Nivel freático (m.s.n.m)	2,22 – 63,5		5 – 112,2	
Dirección de flujo	Suroeste - Oeste		Noroeste - Oeste	
Gradiente hidráulico	0,006 - 0,04		0,014 – 0,09	

(1) Tomados a partir de los reportes de perforación de los pozos MTP-63 y MTP-125. (SENARA, 2012).

(2) Tomados a partir de los reportes de perforación de los pozos MTP-18, MTP-127, MTP-128, MTP-129, MTP-130, MTP-160, MTP-164, MTP-237 y MTP-238. (SENARA, 2012).

### 6.3 Disponibilidad de agua en los acuíferos

Se utilizaron dos métodos para la determinación de la recarga del agua subterránea: mediante el Balance hídrico de suelos y mediante el método de Hidrograma de pozos.

El método de Balance hídrico de suelos se utiliza para estimar una recarga potencial a los acuíferos de la zona, mientras que el método del Hidrograma de pozos realiza una medición más directa de la recarga y se puede conocer cuánta de esa recarga potencial llega al acuífero. A continuación se describe el procedimiento y se brindan los resultados.

### **Estimación de la recarga al acuífero mediante balance hídrico de suelos**

Para esta estimación de recarga potencial al acuífero se utilizó la metodología de Schosinsky (2006), la cual se basa en un balance hídrico de suelos.

Esta metodología tiene la ventaja de que los parámetros que utiliza son fáciles de obtener y analizar, con la desventaja de que la estimación que se realiza es un valor potencial, el cual no necesariamente representa la cantidad real de agua que ingresa al acuífero.

El balance consiste en determinar la lluvia que recarga potencialmente el acuífero a partir de la parte de lluvia infiltrada, donde una vez que se satisfacen las necesidades de las plantas, el remanente se convierte en agua de percolación que eventualmente recarga el acuífero. Para aplicar este método se necesitaron los siguientes datos:

**Tabla 6.3: Datos necesarios para la metodología de Schosinsky (2006)**

<b>Datos necesarios</b>	<b>Fuente de los datos</b>
Capacidad de infiltración (fc) Factor por infiltración (kfc)	Pruebas de infiltración en campo con el método de doble anillo
Capacidad de campo (CC) Punto de marchitez (PM) Densidad del suelo Humedad de suelo inicial (Hfi)	Análisis de muestras de suelo en laboratorio
Profundidad de raíces (PR)	Observación en campo y uso de suelo
Factor por pendiente (kp)	Modelo de elevación digital y reclasificación
Factor por vegetación (kv)	Uso de suelo y reclasificación
Precipitación media mensual (P)	Datos IMN estación Santa Cruz (período 1995-2010)
Evapotranspiración potencial (ETP)	Metodología de Hargreaves y Samani (1985)

Para las variables de  $k_v$  y  $k_p$  se generaron mapas con base a las tablas de Componentes del coeficiente de infiltración de Schosinsky & Losilla (2000). Estos factores influyen en la infiltración de la lluvia en el suelo y, al sumarse con el factor por infiltración ( $k_{fc}$ ), forman el Coeficiente de infiltración, el cual se multiplica por la precipitación mensual para obtener el agua que se infiltra mensualmente hacia el suelo (Schosinsky, 2006).

La figura 6.11 muestra la clasificación de  $k_p$  realizada a partir del modelo de elevación digital, donde se le asignan valores de 0,06 a los cerros dentro de la cuenca, los cuales corresponden con las mayores pendientes. Las partes más cercanas a las costas son las que tienen menor pendiente, por lo que se les asignan valores de 0,25 y 0,17.

El mapa de uso de suelo se elaboró a partir de lo observado en el campo y luego se reclasificó según la metodología de Schosinsky (2006), con el fin de asignar a las áreas valores de  $K_v$  específicos, necesarios para el balance hídrico. La figura 6.12 muestra la reclasificación propuesta.

La evapotranspiración (ETP) en una zona de cultivo se define como la transpiración de la planta, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, más la evaporación del suelo (Schosinsky, 2006). Los valores de la ETP utilizados en los balances hídricos se calcularon a partir de los datos de temperatura promedio mensual de la estación meteorológica Santa Cruz, los valores de radiación extraterrestre de Doorenbos & Pruitt (1977), y según la metodología de Hargreaves & Samani (1985) (Anexo 4).



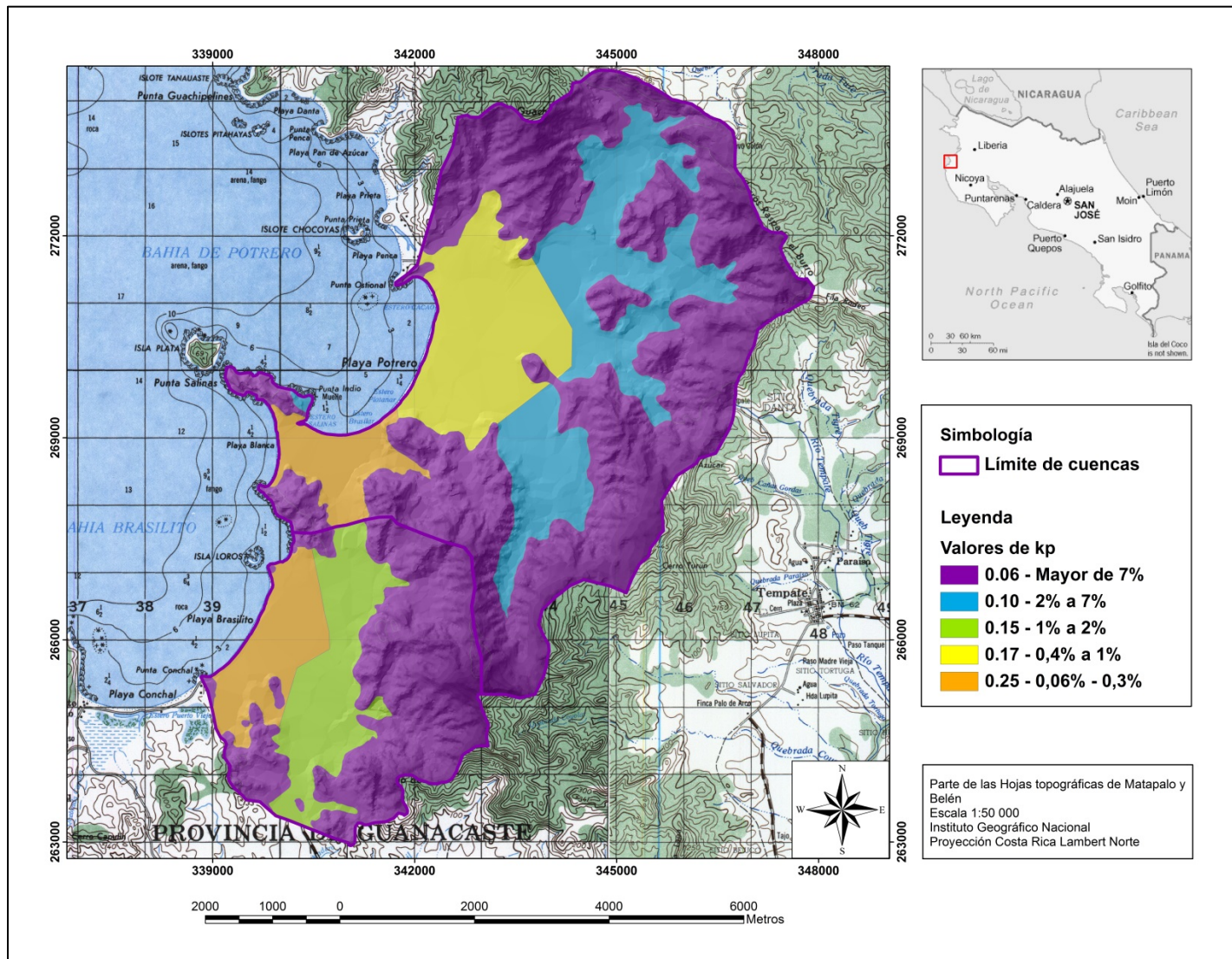


Figura 6.11: Clasificación de Kp a partir de las pendientes en la zona de estudio.

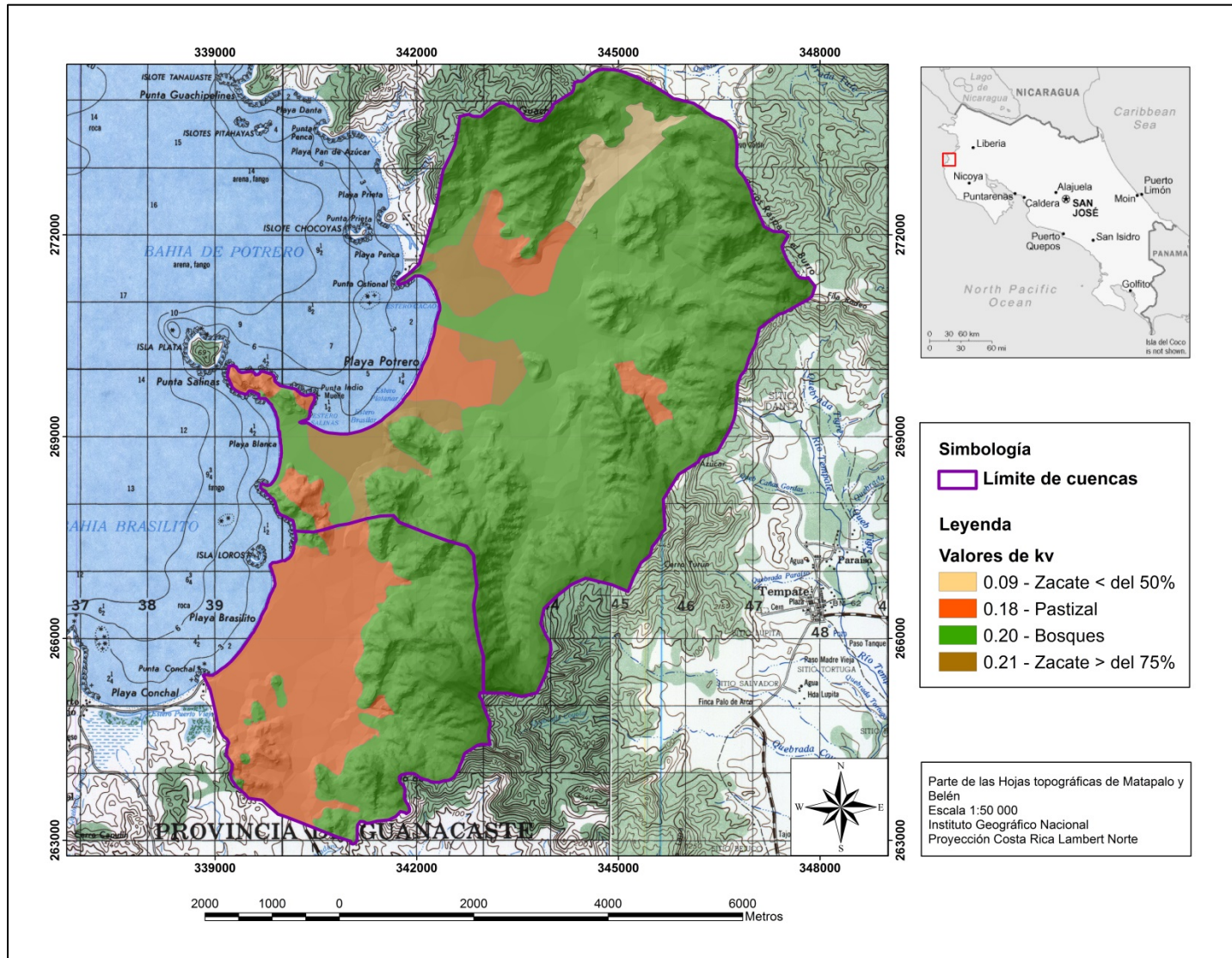
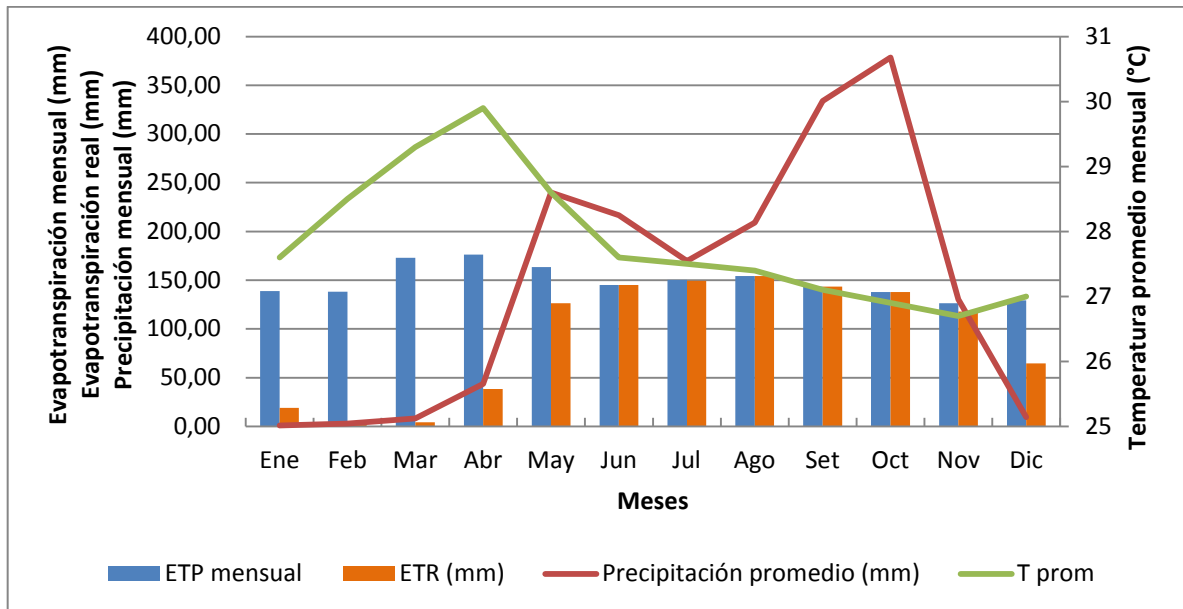


Figura 6.12: Clasificación de Kv a partir del uso de suelo.

El siguiente gráfico refleja la relación entre la evapotranspiración potencial y la temperatura media de la zona:



**Gráfico 6.1:** Valores de evapotranspiración potencial calculados para el área de estudio.

Se observa una relación directamente proporcional entre la temperatura y la ETP, ya que al aumentar la temperatura durante los meses de diciembre a marzo, también se da un aumento paulatino de la misma. Sin embargo, a pesar de que el valor de ETP es alto en los meses más secos, la evapotranspiración real (ETR) refleja que en estos meses existe menor cantidad de agua disponible para evaporar. Durante la segunda mitad del año, la ETR se mantiene relativamente constante porque las temperaturas disminuyen, lo que ocasiona menor evapotranspiración.

En la figura 6.13 se muestran un total de 17 zonas distintas definidas a partir de la combinación de los parámetros asignados de  $k_{fc}$ ,  $K_v$  y de  $K_p$ . Para cada una de estas zonas se realizó un balance hídrico específico. La tabla 6.4 muestra un resumen de los datos utilizados para cada una de las 17 secciones, así como la recarga potencial de cada una de ellas.



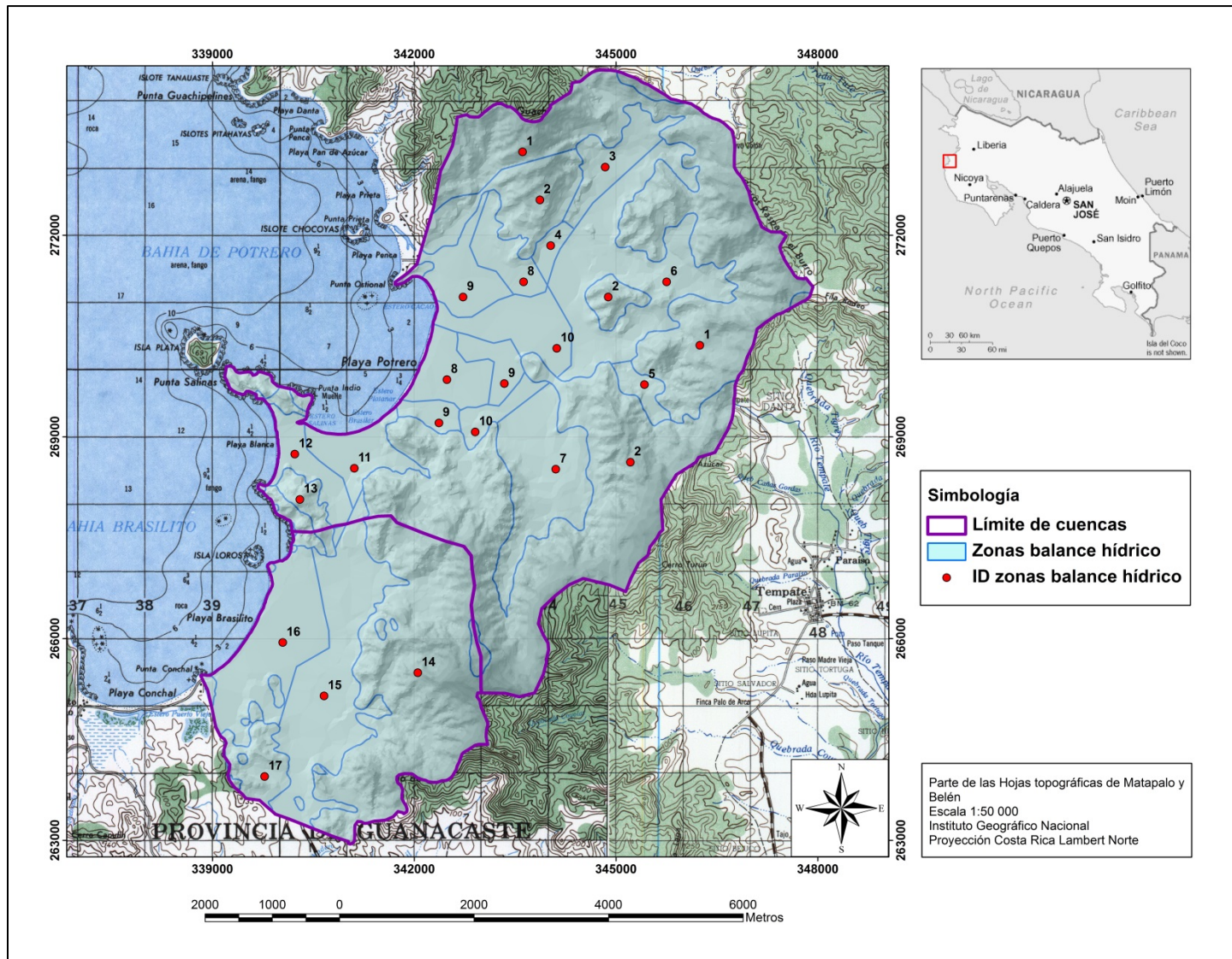


Figura 6.13: Zonificación utilizada para el cálculo de balance hídrico de suelos en las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito.



Tabla 6.4: Resumen de los balances hídricos realizados por zonas para calcular la recarga potencial, según Schosinsky (2006)

Playa Potrero														
Área	Litología	fc (mm/día)	kv	kp	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	CC	PM	Profundidad de raíces (m)	Recarga potencial (mm/año)	Recarga potencial (m/año)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> /año)	Volumen (L/año)	Volumen (L/s)
1	Basaltos	953,28	0,2	0,06	1,33	38,52	25,98	1	373,93	0,37393	8647123,78	3233419,00	3233418995	102,531
2	Gabros	2344,32	0,2	0,06	1,35	29,7	20,8	1	400,99	0,40099	12065472,33	4838133,75	4838133750	153,416
3	Aluvión	375,12	0,09	0,1	1,51	23	19	1	418,78	0,41878	1019624,01	426998,14	426998142,9	13,540
4	Aluvión	779,04	0,18	0,1	1,62	29	16	0,2	433,33	0,43333	251627,04	109037,55	109037547	3,458
5	Aluvión	1962,72	0,18	0,1	1,08	35,5	25	0,45	425,98	0,42598	362240,03	154307,01	154307006,7	4,893
6	Aluvión	353,52	0,2	0,1	1,08	35,5	25	0,45	425,98	0,42598	3869903,01	1648501,28	1648501283	52,274
7	Aluvión	1375,68	0,2	0,1	1,08	35,5	25	0,45	428,98	0,42898	2502630,46	1073578,41	1073578415	34,043
8	Aluvión	2942,1	0,18	0,17	1,19	32,89	17,09	0,5	414,95	0,41495	1740970,28	722415,62	722415616,4	22,908
9	Aluvión	1558,08	0,21	0,17	1,25	27	13	0,5	418,11	0,41811	1848111,30	772713,82	772713816,1	24,503
10	Aluvión	2281,39	0,2	0,17	1,28	32,29	19,27	0,5	422,64	0,42264	1734045,17	732876,85	732876849,4	23,239
11	Aluvión	353,52	0,21	0,25	1,57	28,5	18,5	0,5	422,07	0,42207	976680,60	412227,58	412227581,3	13,072
12	Aluvión	353,52	0,2	0,25	1,57	28,5	18,5	0,5	422,07	0,42207	804304,83	339472,94	339472937,5	10,765
13	Radiolaritas									0	656799,49	0	0	0
<b>Total</b>											36479532,32	14463681,94	14463681940	<b>458,640</b>

Playa Brasilito														
Área	Litología	fc (mm/día)	kv	kp	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	CC	PM	Profundidad de raíces (m)	Recarga potencial (mm/año)	Recarga potencial (m/año)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> /año)	Volumen (L/año)	Volumen (L/s)
14	Gabro	2782,08	0,2	0,06	1,69	34	19	1,4	535,79	0,53579	7145147,06	3828298,34	3828298344	121,395
15	Aluvión	36,67	0,18	0,15	1,525	26,5	16,5	1	381,29	0,38129	3725459,44	1420480,43	1420480429	45,043
16	Aluvión	859,1	0,18	0,25	1,53	32	22	0,5	422,88	0,42288	2472757,53	1045679,70	1045679705	33,158
17	Radiolaritas									0	940247,09	0	0	0
<b>Total</b>											14283611,12			<b>199,596</b>

A partir de la tabla anterior se realizó el gráfico 6.2, el cual muestra el porcentaje de la recarga según las litologías encontradas en la zona.

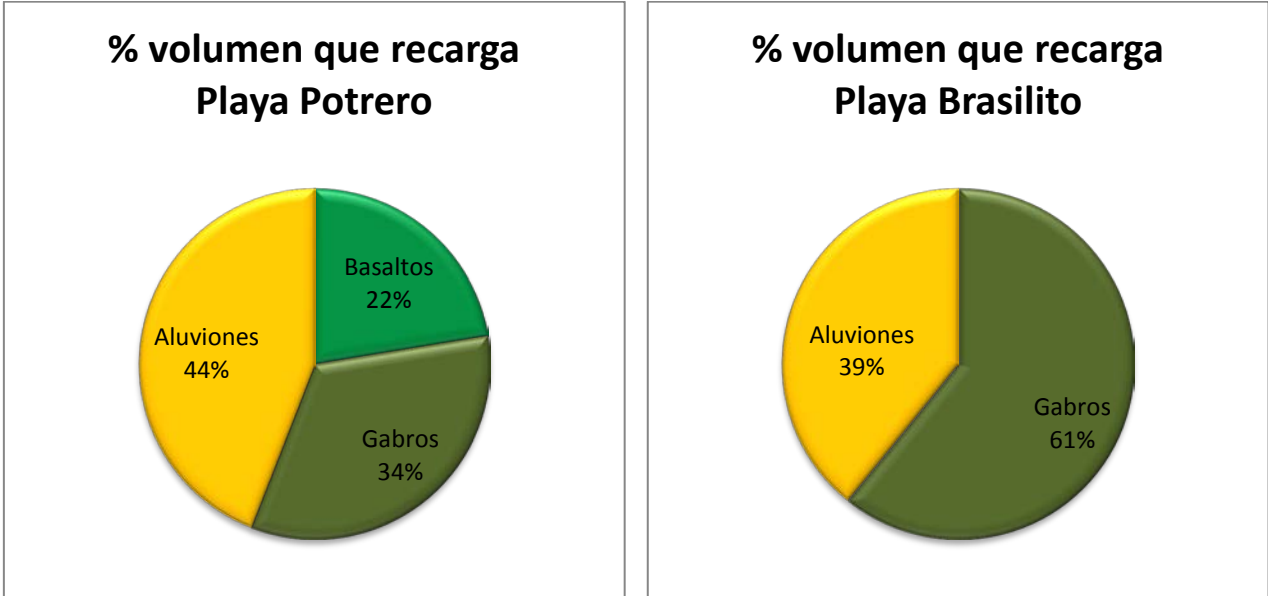
Se concluye que en la cuenca de Playa Potrero, la mayor parte de la recarga se da en los aluviones, los cuales abarcan un 41,4% del área. Se estima la recarga de los aluviones en 202,69 L/s, para un 44% del volumen total de recarga.

Seguidamente, los gabros abarcan el 33,1% del área en la cuenca, donde se estima que recargan 153,42 L/s, correspondiente a un 34% del total de la recarga.

Por último los basaltos están presentes en el 23,7% de la cuenca, y recargan 102,53 L/s, para un 22% de la recarga al acuífero.

En el área que corresponde a las rocas ígneas, se considera que la recarga se da debido a que los materiales se encuentran fracturados y/o alterados en superficie, lo cual se evidencia en los pozos de la zona, que describen una capa de materiales fracturados seguidos de estos mismos materiales pero sanos.

Para la cuenca de Playa Brasilito, los gabros abarcan el 50% del área de la cuenca, y la recarga es de 121,39 L/s, para un 61% del volumen total. Los aluviones se encuentran en un 43,4% de la cuenca, y en esta área recargan 78,2 L/s, correspondientes a un 39% de la recarga total.



**Gráfico 6.2:** Porcentaje de volumen que recarga en cada cuenca.

Uno de los factores que más influyen en la recarga de los acuíferos es la pendiente, ya que a mayor pendiente, la escorrentía superficial es mayor y el agua se mueve con mayor velocidad, lo que disminuye la cantidad de agua que puede infiltrar.

Al mismo tiempo, la vegetación que se encuentra en la zona, y por consiguiente la profundidad de raíces para cada tipo de vegetación, también afectan en la recarga.

El tipo de vegetación retiene diferentes porcentajes de la precipitación, según sea bosques (20%) u otro tipo de plantación (12%).

La recarga potencial es inversamente proporcional a la profundidad de raíces, ya que, al disminuir las raíces en el suelo, existe menor área y menor volumen de agua necesario para que las plantas puedan vivir. Al existir menor volumen aprovechable para las plantas, la cantidad de agua que percole puede ser mayor.

La precipitación anual registrada en Playa Potrero es de 2055,82 L/s anual, por lo que la recarga según el método de Schosinsky (2006) corresponde al 22,7% de la precipitación. En Brasilito, la precipitación anual es de 789,49 L/s, por lo que la recarga corresponde con un 25,3% de la misma.

### **Estimación de la recarga al acuífero mediante el método de hidrograma de pozos**

Desde el mes de diciembre del 2010 se estableció una red de monitoreo de pozos, en conjunto entre el SENARA, el MINAE y el AyA, para llevar el control mensual de los niveles de agua subterránea, en las dos cuencas de interés. De los 82 pozos encontrados, solo 59 pudieron ser monitoreados. Esta información se usó para construir la red de flujo y para estimar la recarga mediante los cambios de niveles de agua en los pozos, a lo largo de 2 años consecutivos.

Este método provee una estimación de la recarga de agua al acuífero, a partir del análisis de las fluctuaciones en la tabla de agua observadas en pozos, asumiendo que estas fluctuaciones se dan por recarga al acuífero (USGS, 2014).

Healy & Cook (2002) indican que este método tiene las ventajas de que es sencillo y no depende del mecanismo de desplazamiento del agua en la zona no saturada. Sin embargo, mencionan que los resultados de este método están relacionados con la precisión para obtener el coeficiente de almacenamiento específico. Este método se aplica para acuíferos someros, en los cuales puede ser más evidente la fluctuación en el nivel de agua subterránea (Healy & Cook, 2002).

La estimación de la recarga mediante el método de hidrogramas de pozos implica la multiplicación de tres parámetros, los cuales se indican en la tabla 6.5:

**Tabla 6.5: Parámetros para cálculo de recarga (Healy & Cook, 2002)**

<b>Datos necesarios</b>	<b>Fuente de los datos</b>
Lámina de saturación	Cambios de niveles estáticos en pozos (Cambio de almacenamiento)
Área de la litología	Sistema de información geográfica
Rendimiento específico	Literatura

### **Análisis de datos de niveles del año 2011 y 2012**

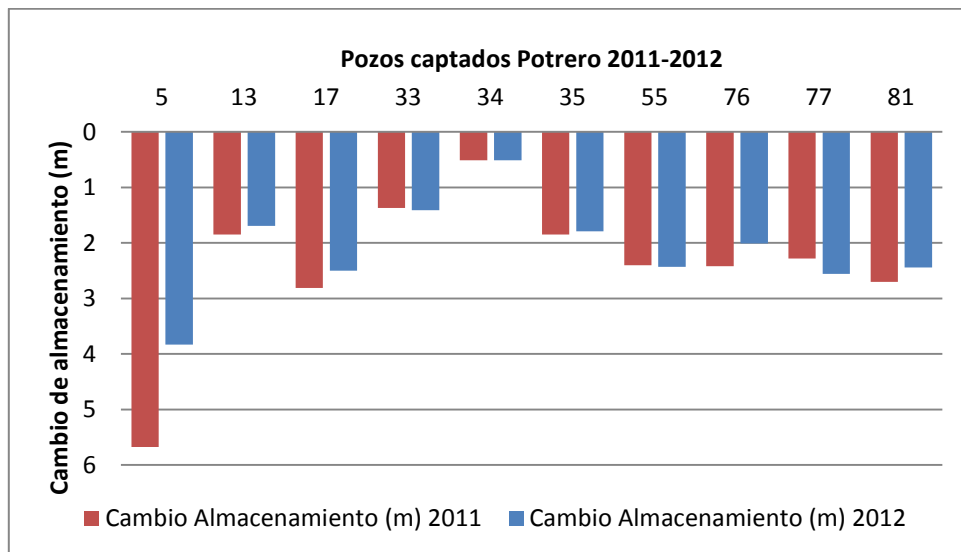
De las mediciones del nivel de agua subterránea en los pozos de ambas cuencas, se evidencian las siguientes situaciones:

1. Los niveles de agua más profundos se dan en los meses de abril y agosto, que coinciden con los meses siguientes a la época seca y al veranillo de San Juan respectivamente.
2. Los niveles de agua más someros se evidencian en setiembre y noviembre, que coinciden con los meses más lluviosos de la zona.
3. Los niveles medidos durante el año 2012 presentan una disminución considerable (de hasta 6,5 m) en comparación con los niveles del 2011.
4. Comparando los comportamientos de los niveles en estos 2 años, se observan 2 tendencias de comportamiento de los niveles en los acuíferos.
5. La primera tendencia evidencia un descenso paulatino de niveles desde el mes de diciembre hasta el mes de agosto, dándose un incremento en los niveles desde setiembre hasta noviembre donde se alcanza un punto máximo. Luego se inicia nuevamente el descenso de niveles en diciembre. Esto evidencia que las lluvias de mayo y junio no recargan algunas zonas de la cuenca.

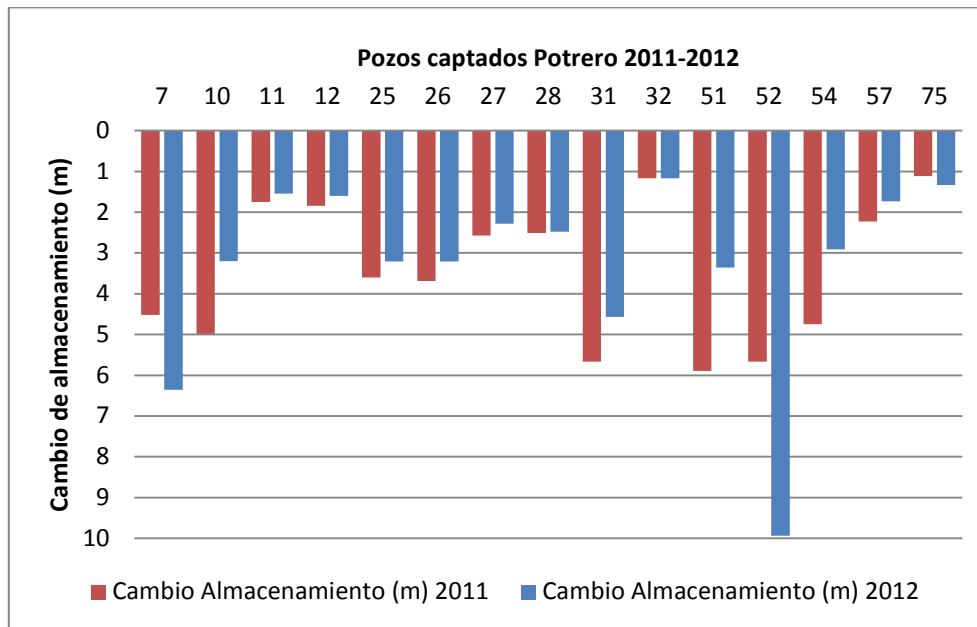
- La segunda tendencia muestra que los niveles de agua en el acuífero descienden desde diciembre hasta abril y mayo, y a partir de este mes se da una pequeña recarga antes de alcanzar el veranillo de San Juan. Nuevamente, en el mes de agosto los niveles descienden al punto más bajo durante el año, y se da un incremento de niveles hasta el mes de noviembre. El ciclo se vuelve a iniciar con los descensos de niveles a partir de diciembre. Con esta información se refleja la influencia directa de las lluvias en algunas zonas del acuífero.

En el anexo 7 se muestra un análisis más detallado de los comportamientos de los niveles en las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito.

En los gráficos 6.3 y 6.4 se muestran los cambios de almacenamiento utilizados para cada litología descrita, en la cuenca de Playa Potrero. Estos datos se calcularon tomando la diferencia entre el nivel de agua más profundo medido y el nivel de agua más somero, para cada uno de los pozos monitoreados.



**Gráfico 6.3:** Cambio de almacenamiento en pozos que captan gabros principalmente. Playa Potrero, para los años 2011 y 2012.

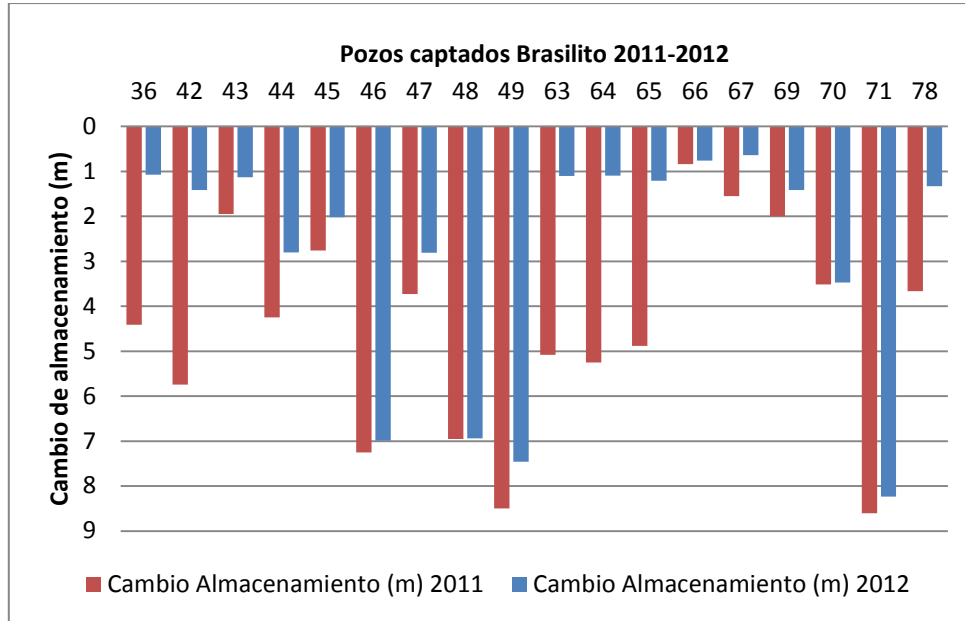


**Gráfico 6.4:** Cambio de almacenamiento en pozos que captan aluviones principalmente. Playa Potrero, para los años 2011 y 2012.

Para la cuenca de Playa Potrero, los pozos que se encuentran captando principalmente gabros presentan una variación de niveles de agua subterránea entre 0,51 m y 7,3 m a lo largo del año 2011, y entre 0,51 m y 3,83 m para el año 2012. Para los que captan en su mayoría los aluviones, la variación es de entre 1,11 m y 5,89 m para el año 2011, y entre 1,33 m y 9,94 m para el año 2012. Los pozos que presentan mayores cambios de nivel se ubican hacia el interior de la cuenca.

En el gráfico 6.5 se muestran los cambios de almacenamiento utilizados para los pozos que captan aluviones, en la cuenca de Playa Brasilito.

Para esta cuenca, la variación de niveles es de entre 0,84 m y 8,6 m según datos del monitoreo realizado en el año 2011. Para el 2012 los cambios de almacenamiento están entre 0,64 m y 8,23 m. Al igual que en la cuenca de Playa Potrero, los mayores cambios se dan en los pozos ubicados al interior de la cuenca.



**Gráfico 6.5:** Cambio de almacenamiento en pozos que captan aluviones. Playa Brasilito, para los años 2011 y 2012.

Para el cálculo de la recarga mediante hidrograma de pozos se hace la salvedad que, en el caso de los gabros en la cuenca de Brasilito, se utilizó el mismo valor de la lámina de saturación de la cuenca de Potrero, ya que el único pozo disponible en la cuenca, captando esta litología, presenta valores de nivel dinámico.

Los pozos que estaban secos por varios meses, o los pozos que no tienen medición en al menos 3 meses, no fueron utilizados para realizar este cálculo.

Considerando un promedio de los cambios de nivel de agua subterránea para las distintas litologías, así como su área dentro de la cuenca, y el rendimiento específico tomado de Rodríguez (2010), se calcula el volumen de agua que recargó en los años 2011 y 2012.



Para la cuenca de Playa Potrero se estima una recarga de 157,99 L/s en los gabros y de 274,49 L/s en los aluviones, para un total de 432,48 L/s en el 2011. En el año 2012, la recarga corresponde con un total de 353,84 L/s.

En la cuenca de Playa Brasilito la recarga en los gabros es de 58,05 L/s y para los aluviones se estima un volumen de 128,54 L/s para un total de 186,58 L/s. En el año 2012 la recarga se estimó en 128,39 L/s en total.

En la tabla 6.6 se resumen los resultados del cálculo de recarga a partir de la metodología de hidrograma de pozos, obtenidos para cada cuenca:

**Tabla 6.6: Recarga de la cuenca de Potrero y Brasilito a partir de hidrogramas de pozos, para los años 2011 y 2012.**

**2011**

**Potrero**

	Área (m <sup>2</sup> )	Lámina de saturación (m)	Rendimiento específico	Volumen de agua (m <sup>3</sup> )	Volumen de agua (L/s)
Gabros	22007010,2	2,83	0,08	4982387,112	157,990
Aluviones	15186649,3	3,8	0,15	8656390,118	274,492
<b>Total</b>	<b>37193659,5</b>			<b>13638777,23</b>	<b>432,483</b>

**Brasilito**

	Área (m <sup>2</sup> )	Lámina de saturación (m)	Rendimiento específico	Volumen de agua (m <sup>3</sup> )	Volumen de agua (L/s)
Gabros	8085394,16	2,83	0,08	1830533,237	58,046
Aluviones	6198017,97	4,36	0,15	4053503,75	128,536
<b>Total</b>	<b>14283412,1</b>			<b>5884036,986</b>	<b>186,582</b>

2012

**Potrero**

	Área (m <sup>2</sup> )	Lámina de saturación (m)	Rendimiento específico	Volumen de agua (m <sup>3</sup> )	Volumen de agua (L/s)
Gabros	22007010,2	2,12	0,08	3732388,932	118,353
Aluviones	15186649,3	3,26	0,15	7426271,522	235,486
<b>Total</b>	<b>37193659,5</b>			<b>11158660,45</b>	<b>353,839</b>

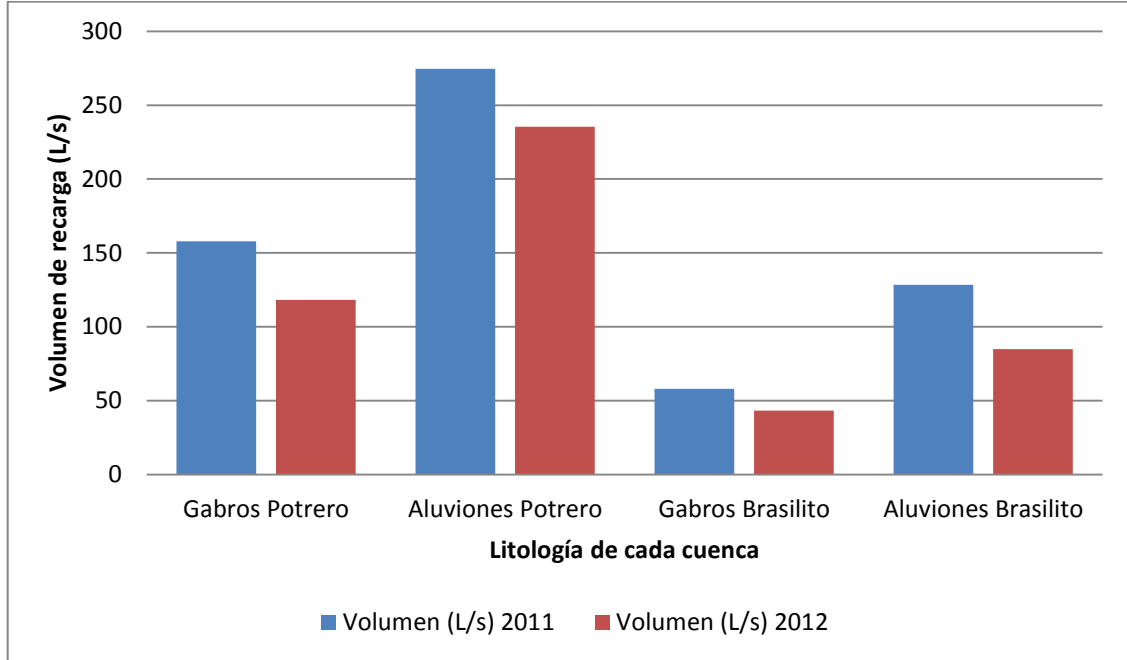
**Brasilito**

	Área (m <sup>2</sup> )	Lámina de saturación (m)	Rendimiento específico	Volumen de agua (m <sup>3</sup> )	Volumen de agua (L/s)
Gabros	8085394,16	2,12	0,08	1371282,849	43,483
Aluviones	6198017,97	2,88	0,15	2677543,761	84,904
<b>Total</b>	<b>14283412,1</b>			<b>4048826,61</b>	<b>128,387</b>

Los valores de rendimiento específico no fueron calculados en el campo debido a que no se contaba con piezómetros de observación en la zona. Estos datos fueron tomados de Rodríguez et al. (2010) para realizar una estimación de la recarga.

El gráfico 6.6 muestra la comparación entre los volúmenes de recarga para cada litología en las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito.

Se observa que para el año 2012 se da una disminución en el volumen de recarga, en comparación con el volumen del 2011.



**Gráfico 6.6:** Volumen que recarga en cada cuenca.

La tabla 6.7 muestra una comparación entre las metodologías utilizadas del Balance Hídrico de Suelos y el Hidrograma de pozos. Se observa una similitud entre las estimaciones de recarga con ambos métodos.

**Tabla 6.7: Resumen de valores de recarga y comparación de metodologías**

Cuenca	Método usado para estimar recarga	Caudal de recarga (L/s)	% de la precipitación que recarga
<b>Potrero</b>	Balance hídrico de suelos	458,64	22,7
	Hidrograma de pozos 2011	432,5	21,4
	Hidrograma de pozos 2012	353,84	17,2
<b>Brasilito</b>	Balance hídrico de suelos	199,59	25,3
	Hidrograma de pozos 2011	186,6	23,6
	Hidrograma de pozos 2012	128,39	16,26

### **Estimación de la extracción de agua subterránea**

El cálculo de extracción de agua subterránea se realizó a partir del inventario de pozos registrados y no registrados en la zona, así como de la información en la Base de Datos del SENARA y las concesiones de la Dirección de Aguas del MINAE. Se incluyen las concesiones otorgadas, las solicitudes nuevas y prórrogas en trámite, así como las concesiones canceladas y solicitudes de amnistía. A partir de estos datos, se toma en cuenta el caudal explotado por los pozos, su uso y el período de bombeo.

Se realizan dos cálculos para cada cuenca, uno a partir de los caudales aportados por la Dirección de Agua del MINAE, y otro considerando los caudales recomendados en SENARA (Tabla 6.8). El anexo 6 muestra la lista total de los pozos utilizados en ambos cálculos.

Es necesario mencionar que la estimación de la extracción mediante los caudales del MINAET, se calculó utilizando las concesiones otorgadas por esta misma institución, y se adicionó un caudal estimado para los pozos que no están inscritos. El caudal estimado se basó en el documento de IMN (2004).

La tabla 6.8 es una combinación de los datos del MINAE y el SENARA, la cual fue elaborada considerando las horas por día de bombeo establecidas por MINAE para cada uso del agua, y los caudales fueron definidos con base a los datos de la Base de datos de SENARA.

**Tabla 6.8: Variables para la estimación de caudal de extracción por pozo según uso reportado (SENARA, 2008).**

Uso agua MINAET	Uso agua SENARA	Horas por día bombeo	Meses por año	Caudal medio (L/s)
Industrial	Industrial	24	12	5.8
Abastecimiento Público	Abastecimiento Público	24	12	9.5
Consumo Humano	Doméstico	8	12	0.50
	Urbanístico	24	12	4.50
	Varios	12	12	3.30
	Riego – Doméstico	24	12	1.80
	Riego – Doméstico Turismo	24	12	7
Agrícola	Riego	16	7	7
	Agroindustrial	24	12	3.80
	Abrevadero	6	12	2.80
Turismo	Turismo	24	12	4
	Riego Turismo	24	7	7

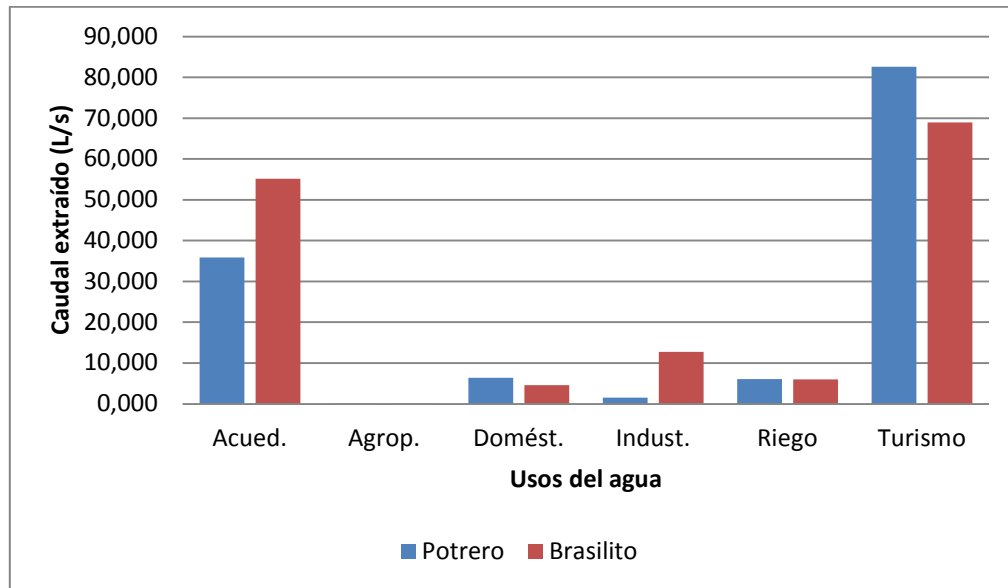
Los resultados de la estimación de extracción por uso y por cuenca se muestran en el anexo 8.

El gráfico 6.7 refleja los mayores usos del agua en las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito, que son principalmente turismo y abastecimiento público por medio de acueductos rurales.

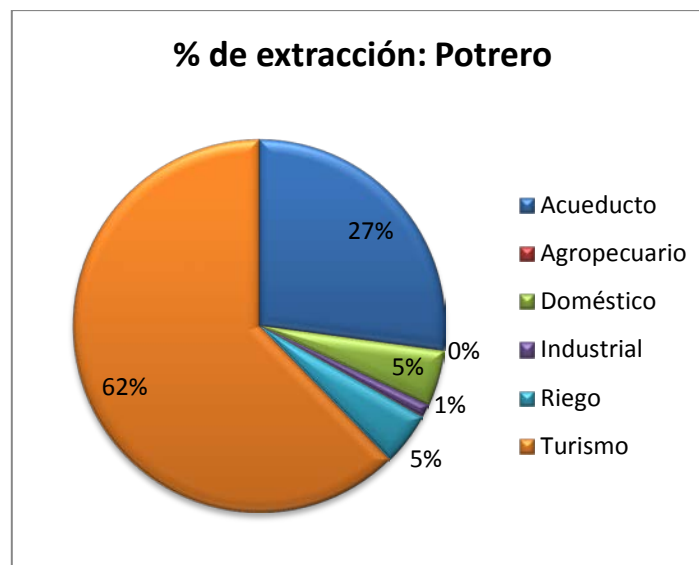
Para la zona de Playa Potrero se da una extracción de 82,6 L/s para el turismo, que corresponde a un 62 % del total extraído; y 35,9 L/s para los acueductos, equivalente a un 27 % de la extracción.

Para la Playa Brasilito, la extracción es de 68,9 L/s para turismo (47% del volumen extraído) y 55,1 L/s para consumo del acueducto rural, equivalente a un 37% de la extracción.

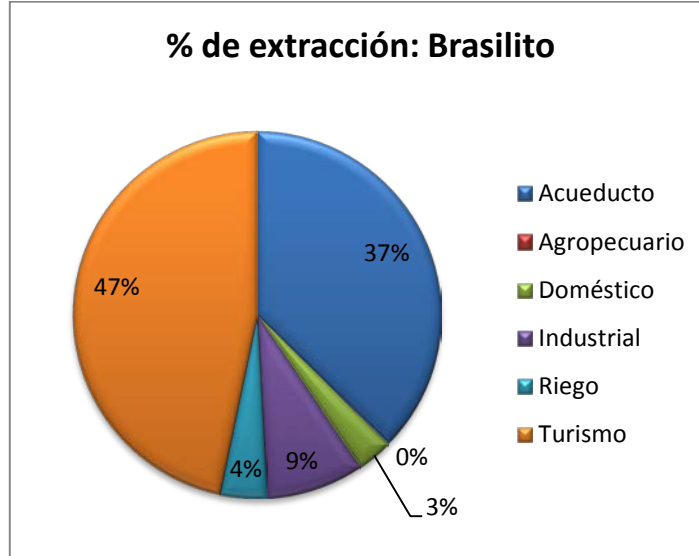
Los gráficos 6.8 y 6.9 indican el porcentaje del volumen de extracción que corresponde a cada uso que se le da al agua.



**Gráfico 6.7:** Estimación de la extracción en Playa Potrero y Playa Brasilito según los usos del agua.



**Gráfico 6.8:** Porcentaje de extracción según el uso del agua en Playa Potrero. (Con base en resultados del anexo 8).



**Gráfico 6.9:** Porcentaje de extracción según el uso del agua en Playa Brasilito. (Con base en resultados del anexo 8).

El caudal que actualmente maneja la Dirección de Aguas del MINAET, en cuanto a concesiones otorgadas, canceladas, con prórroga, etc., es de 98,72 L/s en Brasilito y de 70,58 L/s en Potrero.

### **Rendimiento sostenible**

Ponce (2007) indica que el rendimiento sostenible puede expresarse como un porcentaje de la recarga neta, donde los valores medios pueden ser de alrededor del 40%.

Para este cálculo se utilizan los datos de recarga generados por el método de hidrogramas de pozos, ya que este considera las extracciones que se dan en ambas cuencas y la situación real de las mismas. La tabla 6.9 muestra los resultados de los cálculos realizados.



**Tabla 6.9: Caudal utilizable en las cuencas de las playas Potrero y Brasilito**

	<b>Caudal de recarga (L/s)</b>	<b>Porcentaje de caudal a utilizar</b>	<b>Caudal utilizable (L/s)</b>
<b>Potrero</b>	432,5	40%	173
<b>Brasilito</b>	186,6	40%	74,64

Tomando en cuenta los caudales, se considera que para la cuenca de Playa Potrero se pueden explotar 173 L/s, y para Playa Brasilito 74,64 L/s.

#### **6.4 Caracterización química del agua**

Durante los días 06, 07 y 08 del mes de marzo del 2012, se realizó un muestreo de agua de 15 pozos en las dos cuencas, en conjunto con personal del Laboratorio Nacional de Aguas y del Área Funcional de Hidrogeología UEN de Gestión Ambiental del AyA (anexo 9). Los pozos muestreados se ubican en la parte baja de las cuencas, y captan los aluviones y gabros de los acuíferos ya descritos (fig. 6.14).

Para esta campaña de muestreo, en los pozos se realizaron mediciones de conductividad eléctrica, pH y temperatura en el campo, y luego se recolectaron muestras compuestas de agua de los pozos para determinar las concentraciones de iones mayores e iones menores como fluoruro, bromuro y manganeso. También se analizaron las concentraciones de hierro y arsénico.

Para la medición de los parámetros in situ (temperatura, pH y conductividad eléctrica) se colocó un recipiente metálico en el sitio de la toma de la muestra para asegurar un flujo constante del agua, y se introducía uno por uno el conductivímetro, el termómetro y el medidor de pH.

Para la recolección de muestras para el laboratorio se utilizaron botellas de plástico para los análisis físico-químicos y metales, las cuales fueron acidificadas y refrigeradas para su preservación. Las muestras fueron analizadas por el Laboratorio Nacional de Aguas.

La mayoría de los pozos utilizados para la toma de muestras se encontraban en bombeo diario, dado que se realizó el muestreo durante la época seca de la zona. Los pozos que no se encontraban en bombeo continuo o no tenían bomba fueron bombeados el tiempo suficiente para extraer 3 veces el volumen del pozo y así tomar una muestra representativa del acuífero.

Los resultados de las concentraciones de los principales aniones y cationes analizados, así como los valores recomendados y los valores máximos admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N°32327-S, se muestran en el anexo 9.

De acuerdo con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N°32327-S, ninguna de las muestras tomadas sobrepasa el Valor Máximo Admisible para los iones analizados. Sin embargo, las muestras 41 y 66 sobrepasan el Valor Recomendado para sulfatos y cloruros respectivamente, ocasionado posiblemente por contaminación antrópica, ya que estos pozos se ubican en la zona más poblada de Brasilito.

En estas cuencas debe continuarse con el monitoreo para prevenir que se excedan los valores máximos admisibles y eliminar posibles fuentes cercanas de contaminación. Además deben analizarse otros parámetros definidos en la normativa vigente para determinar su potabilidad con respecto a ellos, por ejemplo, coliformes fecales y totales.

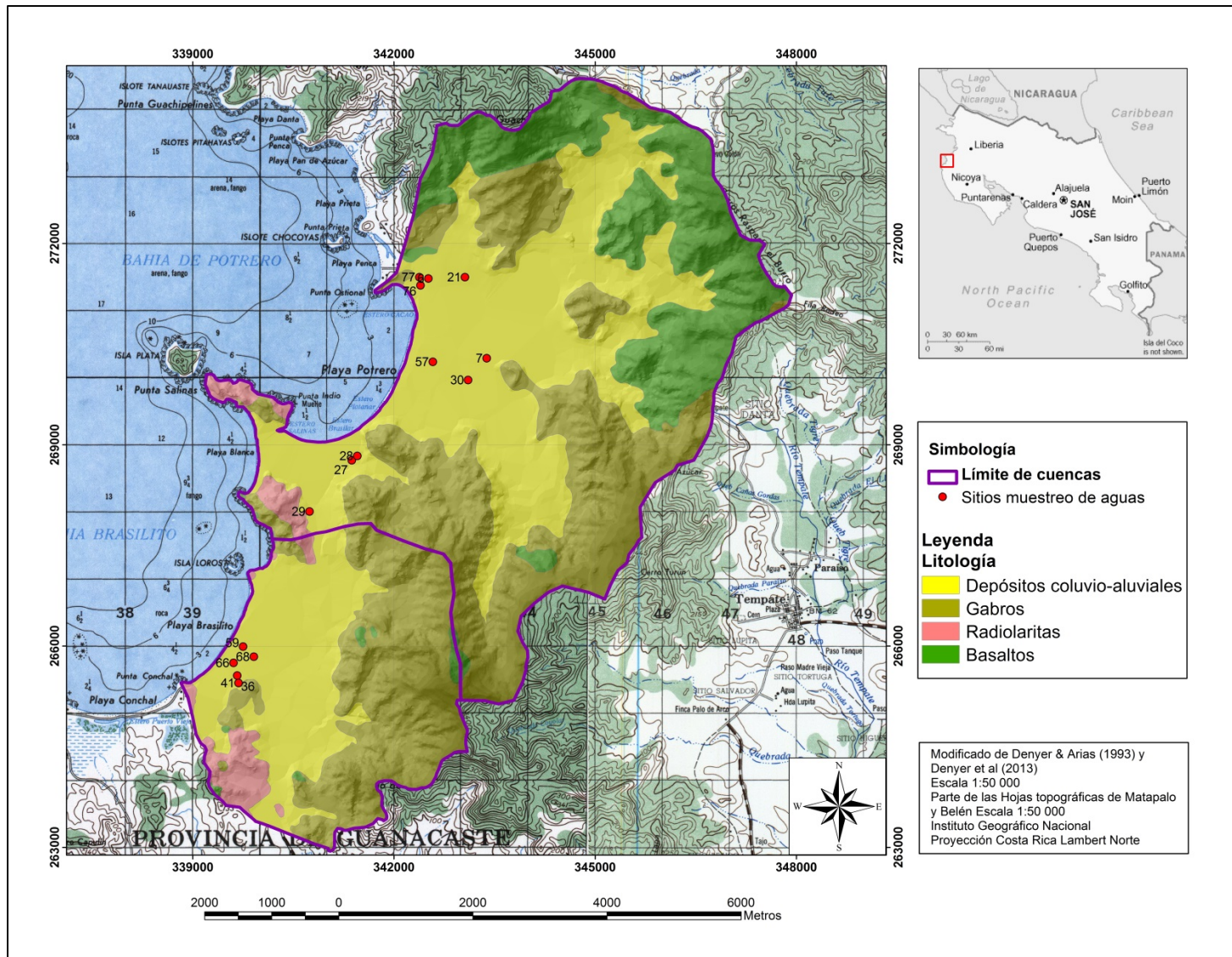
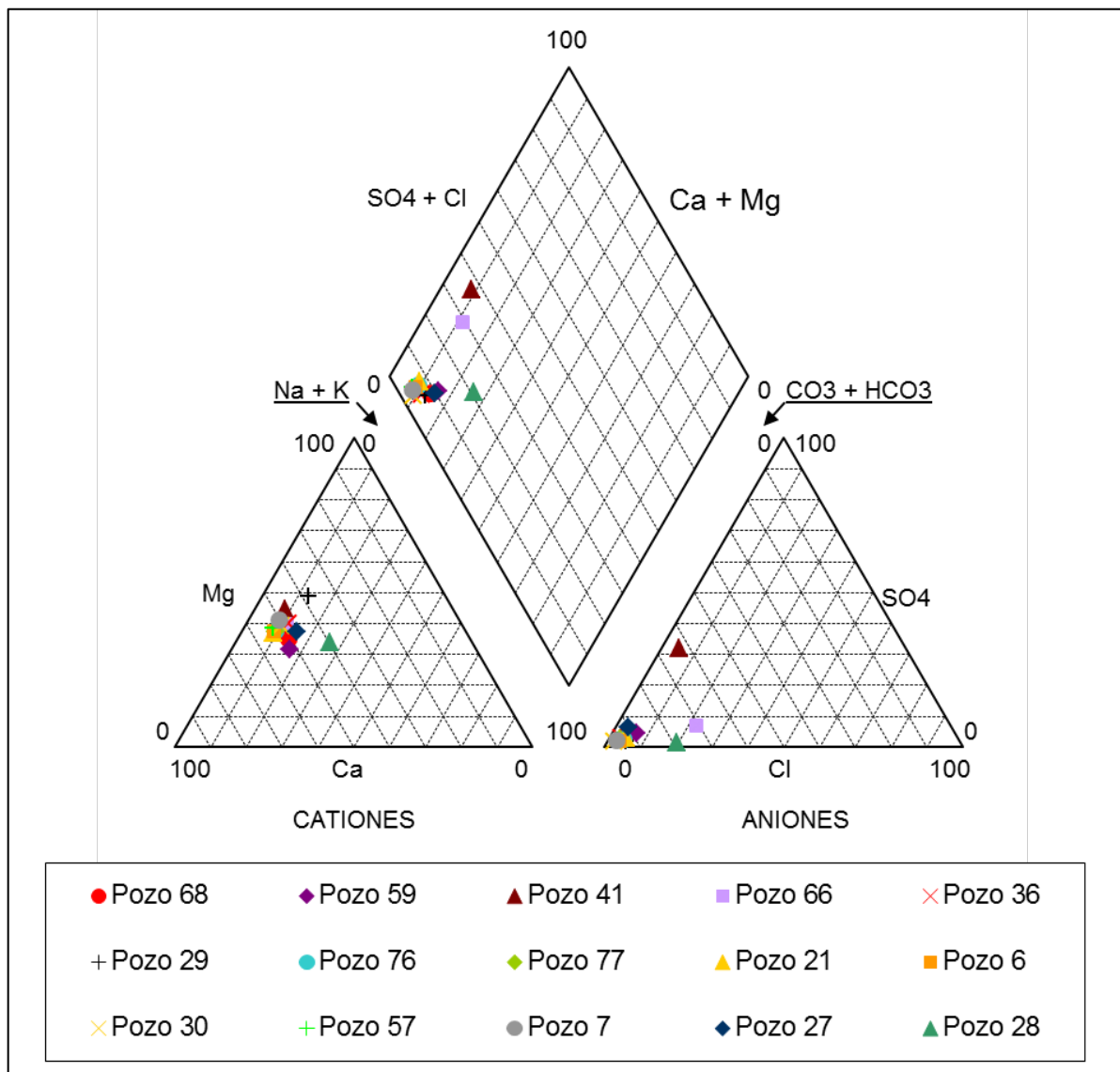


Figura 6.14: Ubicación de pozos muestreados para análisis químico del agua.

Utilizando los valores de Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Cloruros, Sulfatos, Nitratos y Bicarbonados determinados se logran clasificar químicamente las aguas en ambas cuencas, a partir del diagrama triangular de Piper (Custodio, 2001b) (fig. 6.15). Las aguas se clasifican predominantemente como bicarbonatadas cálcicas, por lo que se consideran aguas meteóricas, recientes, con poca interacción con el entorno geológico. La tabla 6.10 ordena la clasificación dada a cada muestra analizada.



**Figura 6.15:** Diagrama triangular de Piper con los resultados de las 15 muestras tomadas en Potrero y Brasilito.

**Tabla 6.10: Clasificación química del agua en Potrero y Brasilito, a partir del diagrama triangular de Piper.**

**Potrero**

<b>No. Muestra</b>	<b>Clasificación del agua</b>	<b>Litología captada</b>
<b>A6: Pozo 29</b>	Bicarbonatada magnésica cálcica	Aluvión y gabros
<b>A7: Pozo 76</b>	Bicarbonatada cálcica	Aluvión y gabros
<b>A8: Pozo 77</b>	Bicarbonatada cálcica	Aluvión y gabros
<b>A9: Pozo 21</b>	Bicarbonatada cálcica	Aluvión y gabros
<b>A10: Pozo 6</b>	Bicarbonatada cálcica	Aluvión y gabros
<b>A11: Pozo 30</b>	Bicarbonatada cálcica magnésica	Aluvión y gabros
<b>A12: Pozo 57</b>	Bicarbonatada cálcica	Aluvión y gabros
<b>A13: Pozo 7</b>	Bicarbonatada cálcica magnésica	Aluvión y gabros
<b>A14: Pozo 27</b>	Bicarbonatada cálcica magnésica	Aluvión y gabros
<b>A15: Pozo 28</b>	Bicarbonatada cálcica magnésica	Aluvión y gabros

**Brasilito**

<b>No. Muestra</b>	<b>Clasificación del agua</b>	<b>Litología captada</b>
<b>A1: Pozo 68</b>	Bicarbonatada cálcica	Aluvión y gabros
<b>A2: Pozo 59</b>	Bicarbonatada cálcica	Aluvión y gabros
<b>A3: Pozo 41</b>	Bicarbonatada cálcica magnésica	Aluvión
<b>A4: Pozo 66</b>	Bicarbonatada cálcica magnésica	Aluvión
<b>A5: Pozo 36</b>	Bicarbonatada cálcica magnésica	Aluvión

Para la muestra del pozo 66 se reporta 45,65 mg/L de  $\text{Cl}^-$  y para el pozo 41 la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  es de 147,85 mg/L, por lo que se alejan del resto de grupo de muestras. Estos valores exceden los valores recomendados para consumo humano, y posiblemente presentan contaminación por agua de escorrentía que ingrese a los pozos.

Los demás valores analizados se comparan con las tablas de la 1.2 a la 1.5, las cuales indican los rangos típicos de concentraciones de aniones y cationes en el agua. Todos los valores reportados en los análisis químicos están dentro de los rangos establecidos para agua dulce.

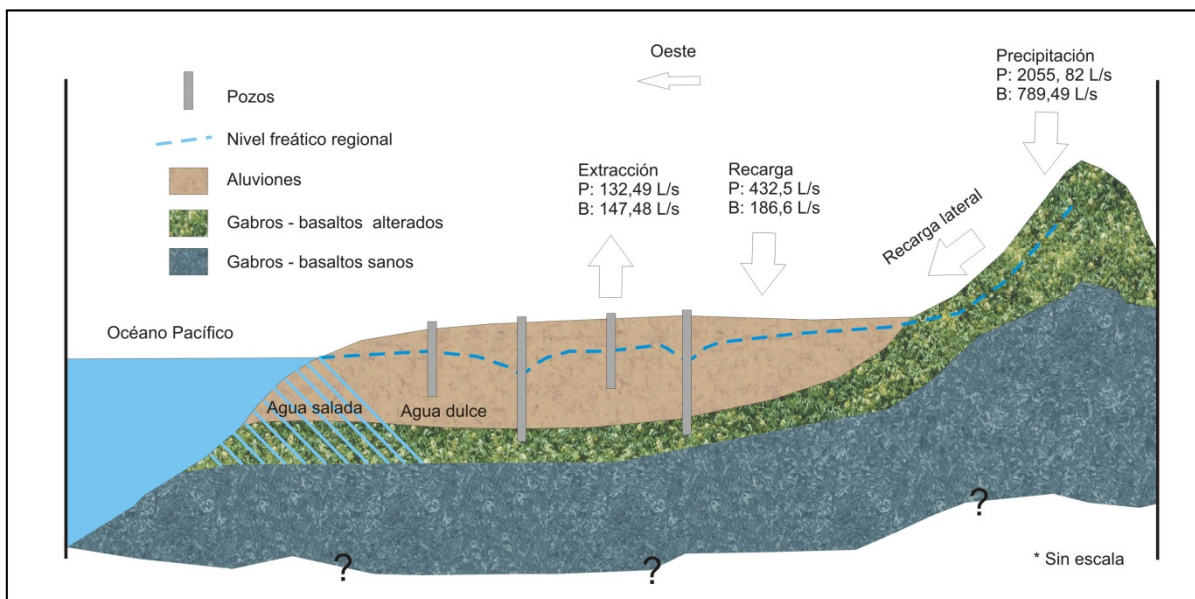
El anión Bromuro ( $\text{Br}^-$ ) tiene interés en el estudio del origen de aguas saladas, por lo que se realizó este análisis en las muestras de agua, pero ninguno de los análisis detectó el ión. El límite de detección manejado por el Laboratorio Nacional de Aguas para este análisis es de 0,61  $\mu\text{g/L}$ .

Las aguas se clasifican como bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas cálcicas magnésicas, lo cual evidencia que son aguas de recarga joven, con poca interacción con el medio pero que refleja el paso del agua a través de rocas ígneas.

Durante los meses de setiembre, octubre, diciembre y marzo se realizaron mediciones de conductividad eléctrica para identificar zonas con posible intrusión salina. Los valores medidos varían entre 87 y 989  $\mu\text{S/cm}$ , excediendo el máximo admisible. Se evidencia que las conductividades eléctricas en Brasilito están en aumento (en este momento 822  $\mu\text{S/cm}$ ), posiblemente por el bombeo del acuífero por parte de los hoteles, los cuales se concentran en un área pequeña cerca de la playa. Sin embargo, considerando los valores de conductividad eléctrica y de cloruros, adicionando que no se detectó el ión cloruro en las muestras tomadas, no se puede concluir con estos datos una intrusión salina propiamente en estas cuencas, sin embargo, hay indicios de intrusión salina debido a los valores altos de conductividad eléctrica medidos en la zona.

## Modelo Conceptual Hidrogeológico

En la figura 6.16 se ilustra de manera esquemática el modelo conceptual de los acuíferos de la zona. Se distingue una capa de aluviones que sobreyacen rocas alteradas y/o fracturadas (ya sea gabros o basaltos), las cuales conforman los acuíferos del área de estudio. Por debajo de estos materiales se encuentran los basaltos y gabros sanos, con una conductividad hidráulica más baja.



**Figura 6.16:** Modelo conceptual de los acuíferos de la zona.

Los acuíferos se consideran libres, con transmisividades que varían entre 62,7 m<sup>2</sup>/d y 1 581 m<sup>2</sup>/d, y conductividades hidráulicas entre 8,2 m/d y 205,3 m/d. La variación en los valores reportados se debe posiblemente a las heterogeneidades del medio

Las alturas de los niveles varían desde 2,22 y 112,2 m.s.n.m.

El flujo del agua subterránea es en dirección suroeste - oeste en la cuenca de Playa Potrero y de noroeste – oeste en la cuenca de Playa Brasilito.



Para la cuenca de Playa Potrero, la precipitación promedio mensual es de 2055,82 L/s, la recarga es de 432,5 L/s para el año 2011 y de 353,84 L/s para el año 2012, tomando los datos del método de Hidrograma de pozos. La extracción por bombeo es de 151,1 L/s, principalmente para uso de turismo y abastecimiento público.

Para Playa Brasilito, la precipitación promedio mensual es de 789,49 L/s, la recarga de 186,6 L/s en el año 2011 y de 128,39 L/s para el 2012, estimado con el Hidrograma de pozos. La extracción en la cuenca se estima en 141,1 L/s.

Si se considera el rendimiento sostenible como el 40% de la recarga, para la cuenca de Playa Potrero se estima un caudal utilizable de 173 L/s, mientras que para Playa Brasilito el caudal sería de 74,64 L/s.

La vulnerabilidad intrínseca del acuífero se determina con el método GOD, para una vulnerabilidad media.

Las aguas del acuífero se clasifican como bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas cálcicas magnésicas, indicando una recarga joven y poca interacción con las rocas del medio.

En la zona de Playa Brasilito se midieron conductividades eléctricas cercanas a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que, aunque no son valores muy altos, superan el valor máximo admisible para consumo humano, y se pueden considerar como evidencias de una posible intrusión salina en la zona.

## Capítulo VII: Vulnerabilidad del acuífero

Con el objetivo de brindar herramientas para mejorar la gestión del agua en la zona, se realizó un análisis de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea usando dos metodologías: el método GOD para determinar vulnerabilidad del acuífero desde la superficie, y el método SEA-GIndex, que es una variación del método GOD pero para determinar la vulnerabilidad del acuífero a ser contaminado lateralmente por agua de mar.

### 7.1 Vulnerabilidad intrínseca del acuífero

Para realizar el cálculo de vulnerabilidad intrínseca del acuífero se utilizó el método GOD propuesto por Foster et al (2002). Tres parámetros son requeridos para realizar el cálculo de la vulnerabilidad: Grado de confinamiento hidráulico, Ocurrencia del sustrato suprayacente y la Distancia al nivel del agua subterránea. Dado que no se cuenta con suficiente información de niveles en las áreas correspondientes a los gabros y basaltos, solamente se analizó el acuífero en el área de los aluviones.

En cuanto al Grado de confinamiento hidráulico, el acuífero se considera libre, por lo que se le asigna un valor de 0,8 para este parámetro (fig. 7.1). El parámetro de Ocurrencia del sustrato suprayacente se tomó como 0,5, que corresponde a limos aluviales. Se considera este tipo de materiales según las observaciones de campo durante el muestreo de suelos (fig. 7.2).

Para el parámetro de Distancia al nivel del agua subterránea se toman 2 valores: 0,9 para los niveles a menos de 5 m de profundidad, y 0,8 para los niveles mayores a 5 m de profundidad (entre 5 y 20 m) (fig. 7.3). Esta última zona se ubica en la parte noreste de la cuenca de Playa Potrero, y se hace esta diferenciación a partir de los datos medidos en el campo.

Al multiplicar estos valores entre sí se determina una vulnerabilidad entre 0,32 y 0,36, y ambos corresponden a una vulnerabilidad media (fig. 7.4).

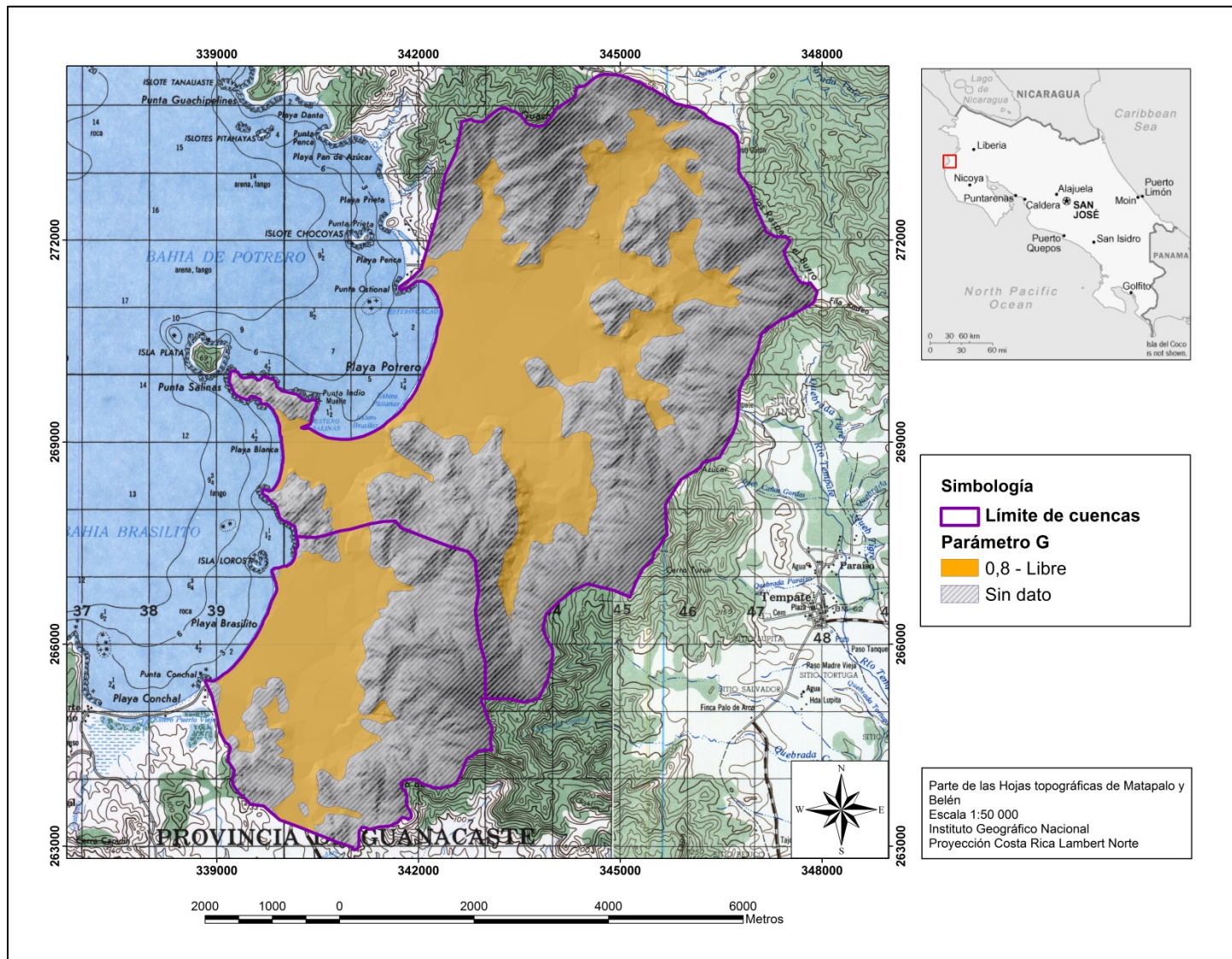


Figura 7.1: Parámetro G de la metodología GOD



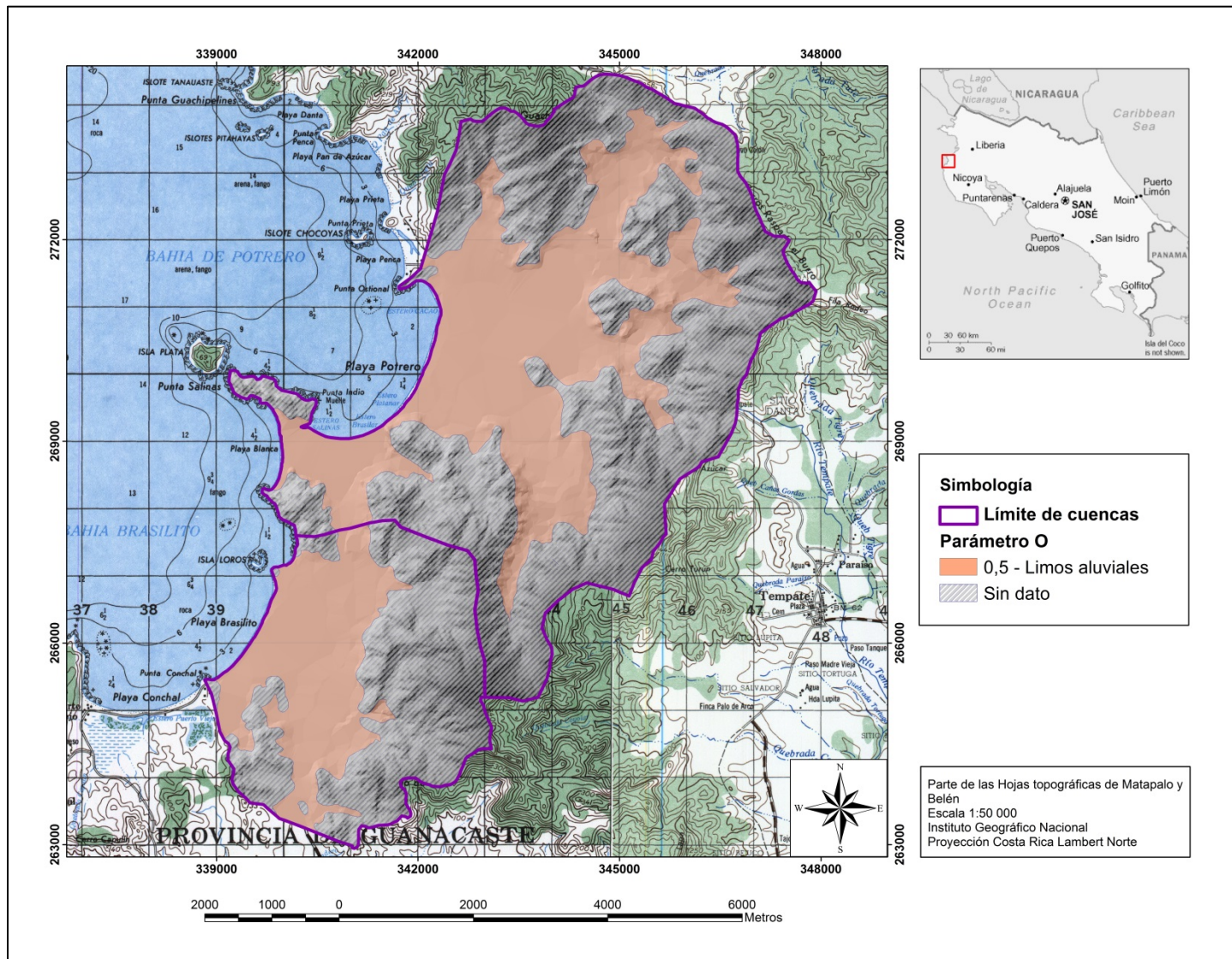


Figura 7.2: Parámetro O de la metodología GOD

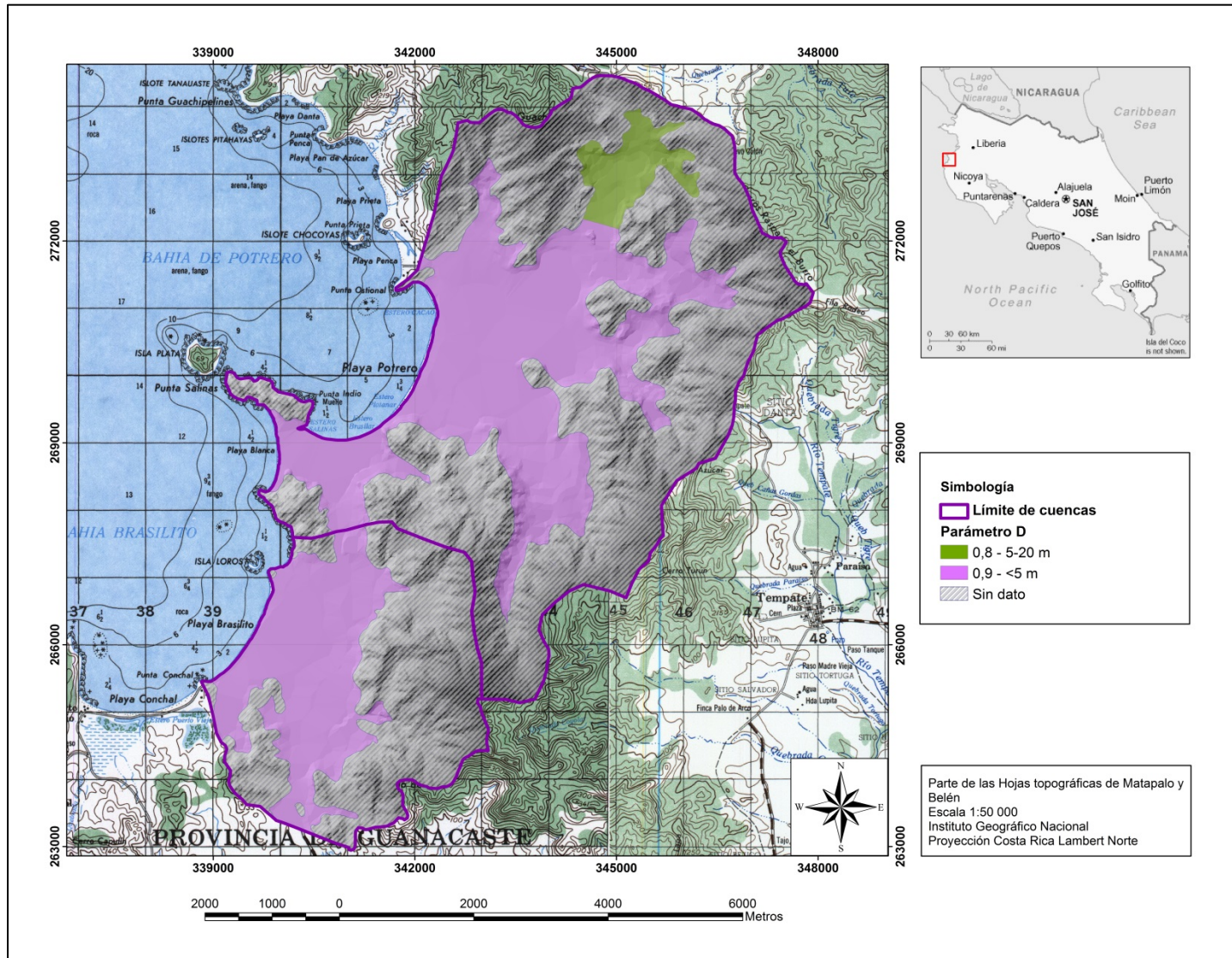


Figura 7.3: Parámetro D de la metodología GOD



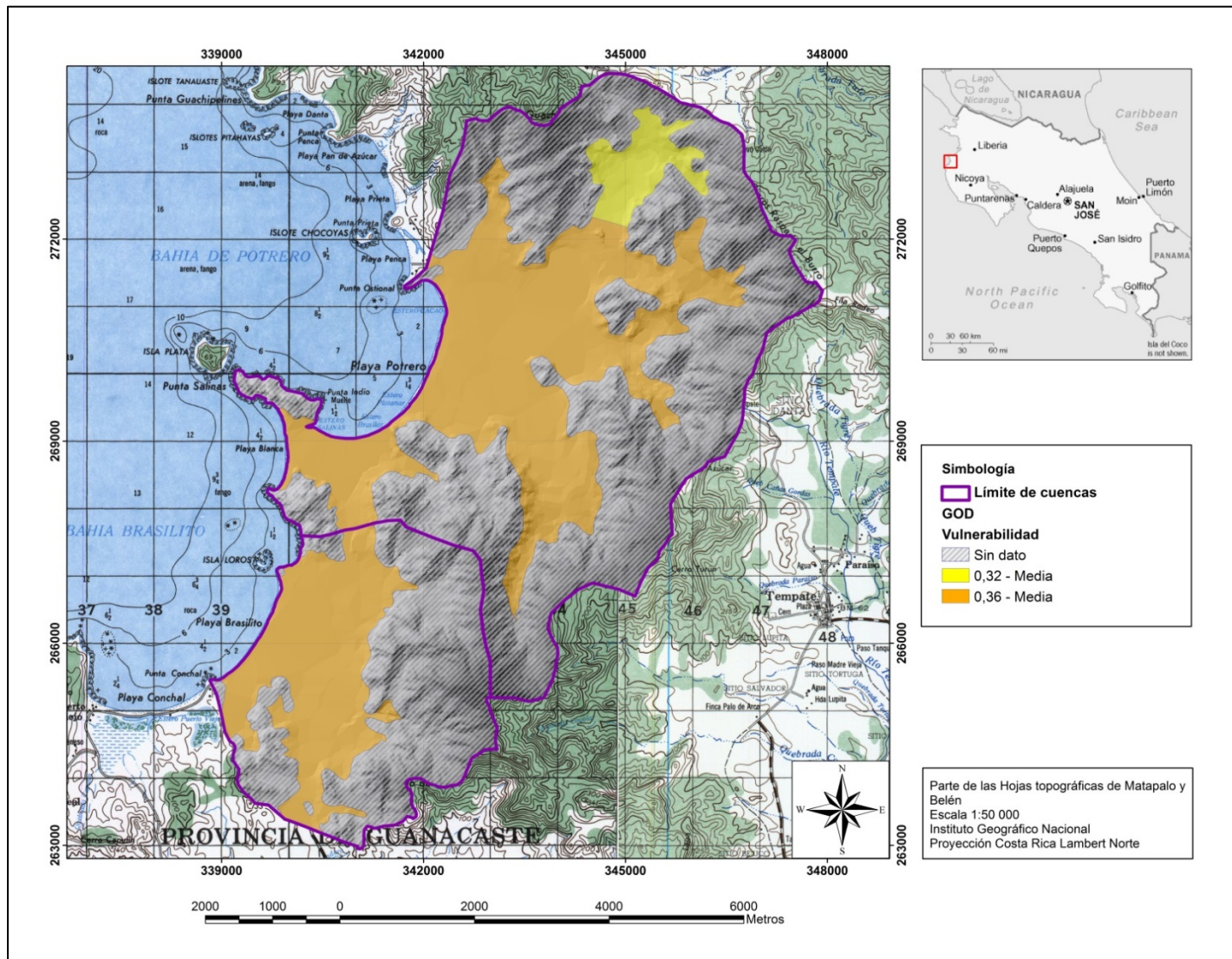


Figura 7.4: Parámetro D de la metodología GOD

## 7.2 Vulnerabilidad del acuífero a contaminación por intrusión salina

Debido a que los acuíferos de interés se ubican en una zona costera, es importante conocer la vulnerabilidad que tiene el acuífero a la contaminación lateral por agua de mar.

El método SEA-GIndex para determinar la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación lateral por agua de mar propuesto por Bocanegra et al (2004) consiste en una modificación al método GOD. Se requieren 3 parámetros: Nivel piezométrico, Litología y Distancia al mar.

La figura 7.5 muestra la asignación de valores del parámetro de Nivel piezométrico. Con base en las equipotenciales dibujadas se determinaron 5 zonas con diferente nivel del agua subterránea. Los niveles del agua subterránea varían entre alturas menores a 1 m hasta mayores de 10 m.

Para el parámetro de Litología se consideraron principalmente los aluviones, ya que se capta mayor espesor de los mismos en las cercanías de la costa. El valor corresponde a 1 para gravas y arenas (fig. 7.6).

En cuanto a la Distancia al mar, se define una franja de 1,5 km a partir de la costa, asignándole un valor de 1, y el resto del acuífero se considera a una distancia entre 1,5 y 3 km de distancia a la costa, para un valor de 0,9 (fig. 7.7).

Al multiplicar estos valores se obtiene una zonificación de la vulnerabilidad del acuífero por contaminación lateral, la cual se observa en la figura 7.8.

En la cuenca de Playa Potrero se identificó una zona de vulnerabilidad alta entre 200 m y 600 m de distancia al mar. En este caso no se contaba con mayor información de los niveles de agua subterránea en las cercanías de la costa, por lo que solamente se pudo determinar una franja de vulnerabilidad alta, considerando los datos disponibles.

En la cuenca de Playa Brasilito se identifica que los 200 m más próximos al mar tienen una vulnerabilidad extrema. Desde esta distancia y hasta los 550 m alejados del mar, la vulnerabilidad pasa a ser alta.

Dadas las condiciones anteriores, y considerando que dentro de estas zonas de extrema y alta vulnerabilidad existen muchos pozos con bombeo continuo, se deben tomar medidas de control de la extracción del agua, para evitar una posible salinización del acuífero.

Al comparar los resultados del método GOD y el SEA-GIndex, se observa que, para las condiciones de las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito, donde la mayor amenaza de contaminación es por intrusión salina, el método GOD no representa la vulnerabilidad de los acuíferos a esta contaminación, sino que solo considera amenazas desde la superficie.

El método SEA-GIndex, en comparación con el método GOD, es más apropiado para zonas costeras, debido a que incorpora parámetros pertinentes para ese tipo de ambientes, como lo son la distancia al mar y la columna de agua dulce que evita que el agua salada entre al acuífero.



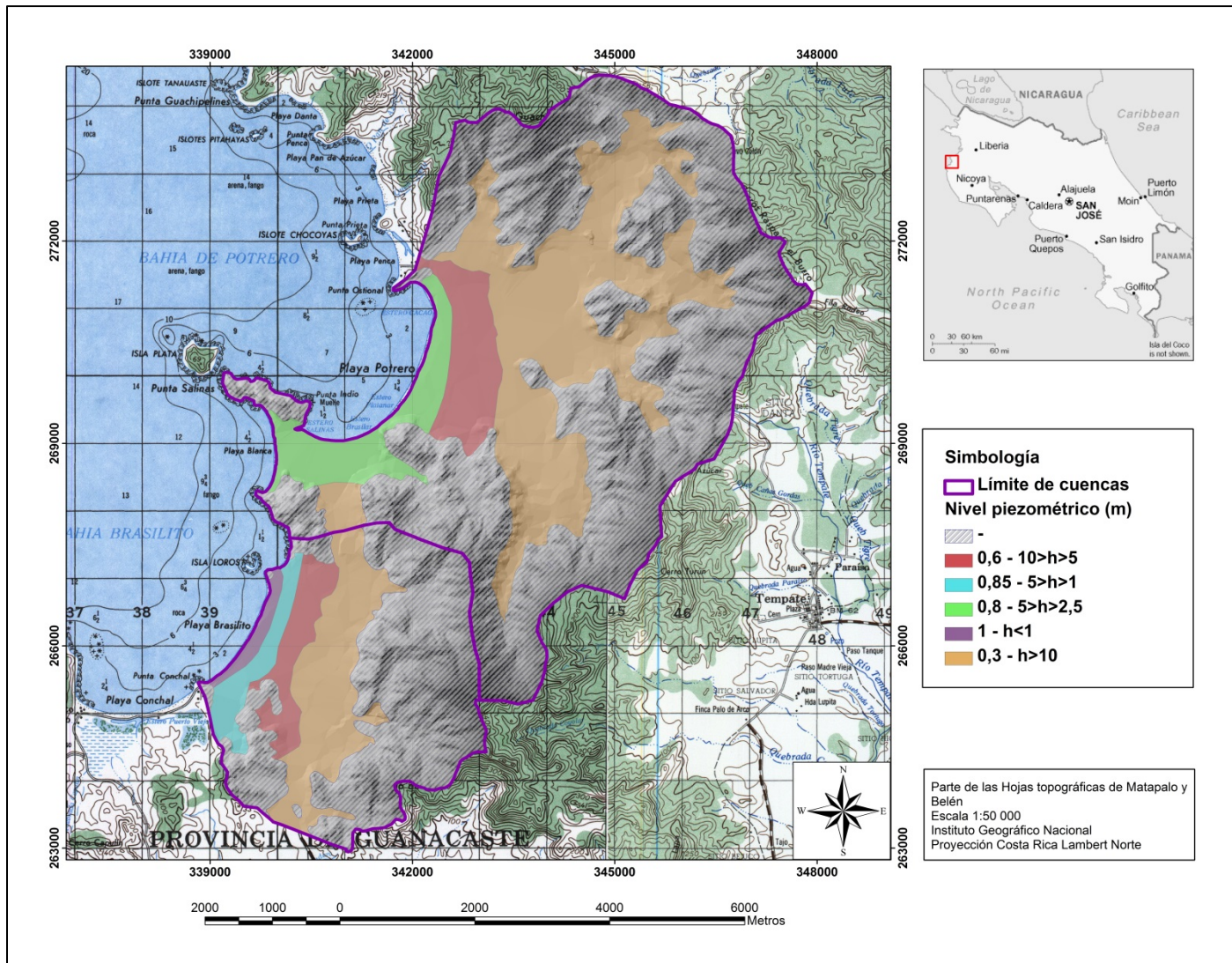


Figura 7.5: Parámetro Nivel piezométrico de metodología SEA-Gindex.

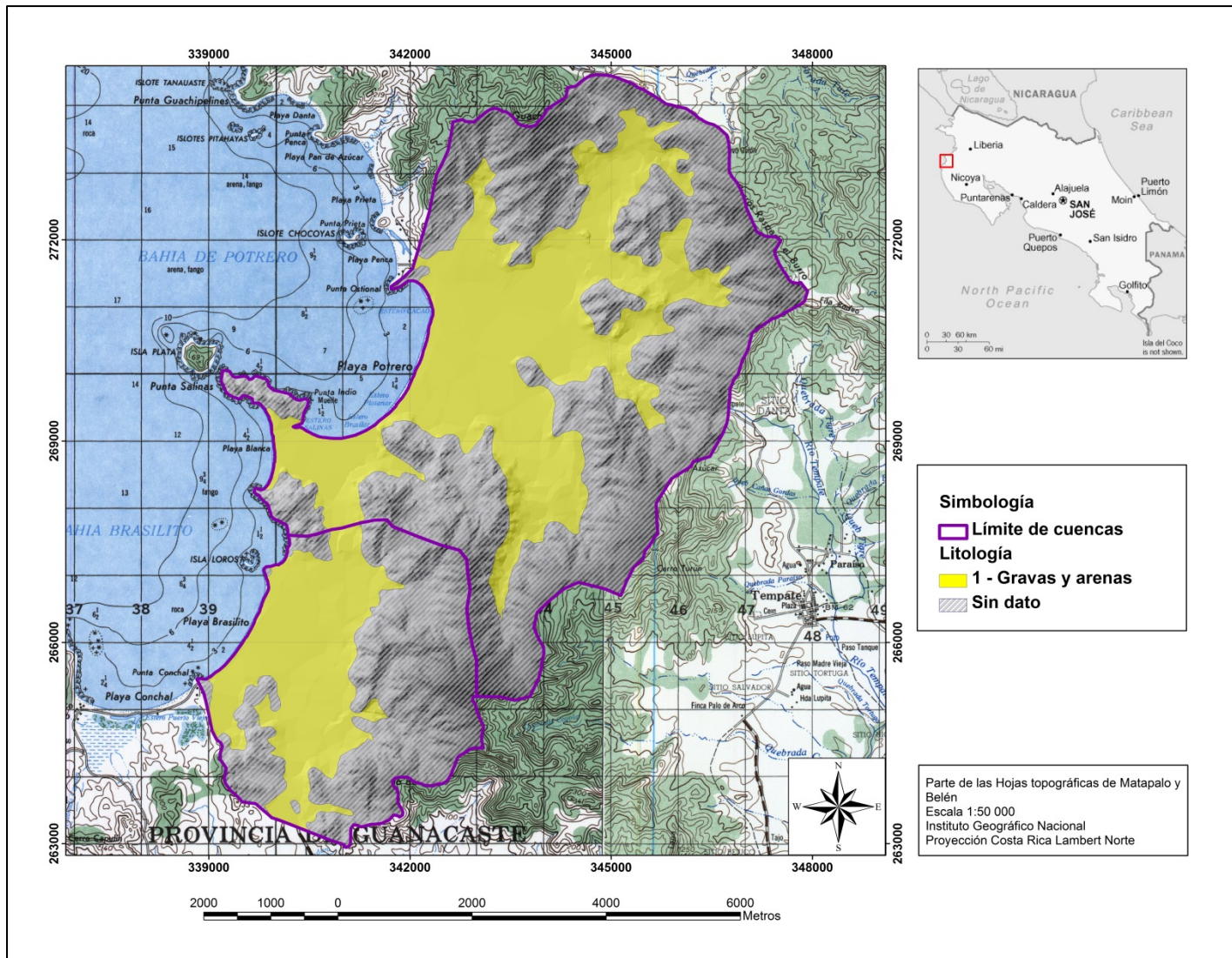


Figura 7.6: Parámetro Litología de metodología SEA-Gindex.



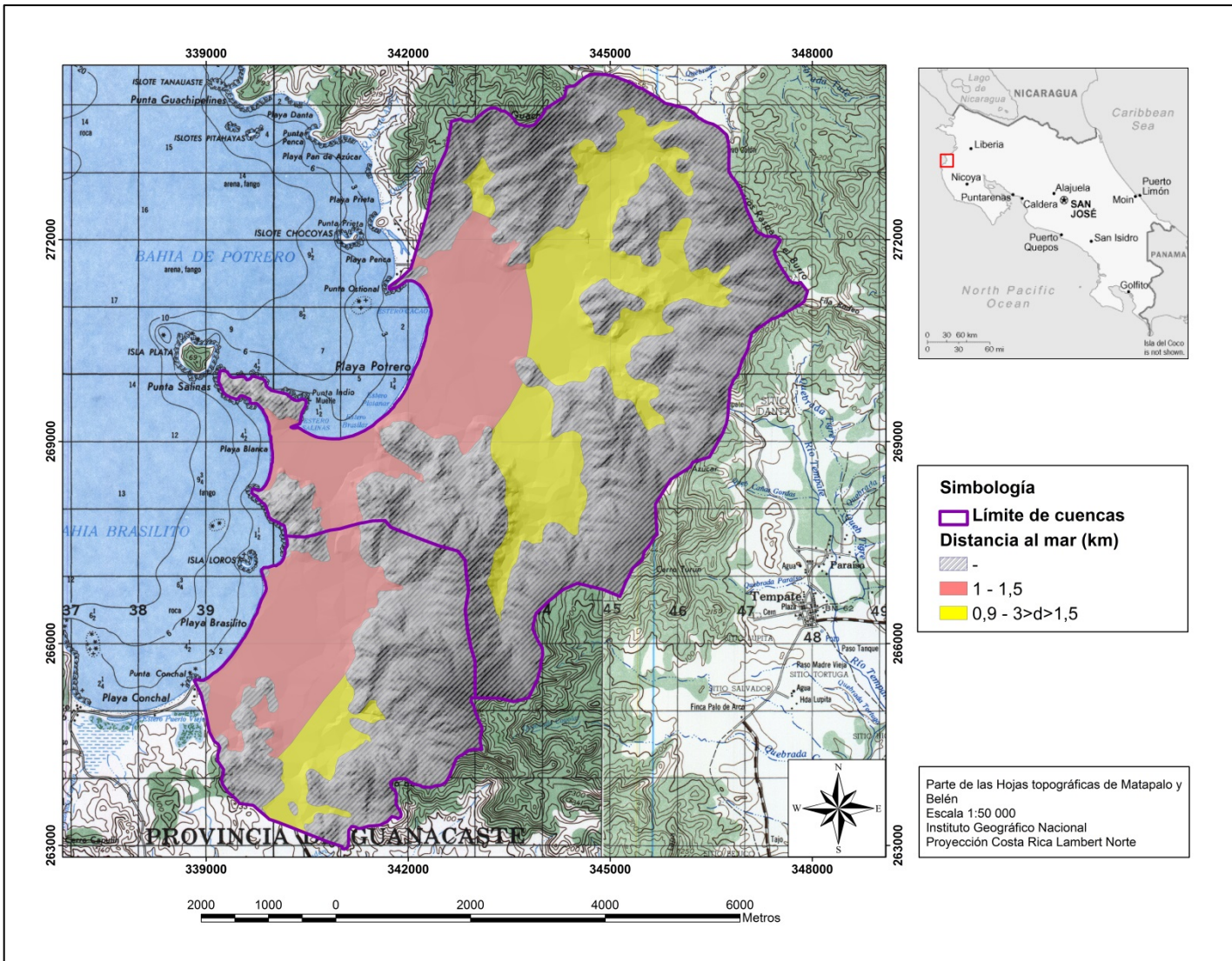
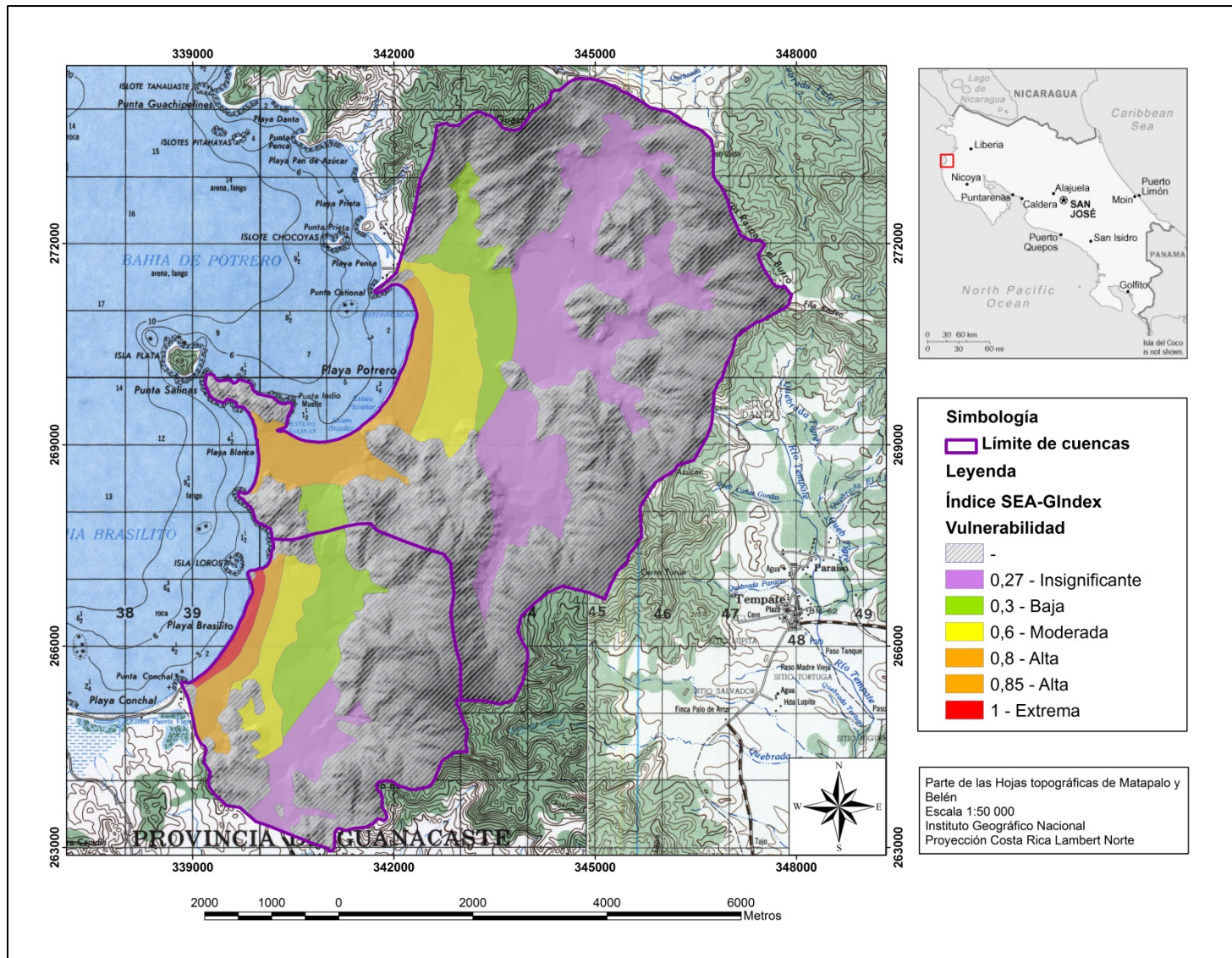


Figura 7.7: Parámetro Distancia al mar de metodología SEA-Gindex.



**Figura 7.8:** Vulnerabilidad del acuífero a la contaminación lateral por agua de mar, metodología SEA-Gindex.



## Conclusiones

- Las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito abarcan un total de 51,48 m<sup>2</sup>, y en esta zona se encuentran basaltos, gabros y radiolaritas del Complejo de Nicoya que constituyen el basamento regional, cubiertos por aluviones en las partes más bajas.
- Las principales morfologías en la zona consisten de zonas denudacionales y zonas planas, donde se depositan los aluviones. El drenaje es dendrítico en las partes más altas, y muy recto, poco sinuoso, en las partes bajas y planas. Los ríos de ambas cuencas pierden su caudal en la época seca, evidenciando un carácter efluente de los mismos, ya que estos son alimentados por el nivel de agua de los acuíferos, el cual disminuye en esta época.
- En ambas cuencas se identifican 3 litologías que forman parte de los acuíferos: gabros y basaltos del Complejo de Nicoya, y aluviones. Estas litologías tienen conexión hidráulica entre sí. Los gabros y basaltos meteorizados o fracturados están siendo captados por muchos pozos en la zona, y estos tienen un potencial acuífero de bajo a moderado.
- La precipitación anual es de 1743,1 mm (2055,8 L/s en Potrero y 789,5 L/s en Brasilito), tomada de la estación meteorológica en Santa Cruz.
- Utilizando el método de balance hídrico de suelos, se obtiene una recarga potencial de 458,64 L/s en Potrero y 199,59 L/s en Brasilito. Mediante el método de hidrogramas de pozos, la recarga a los acuíferos es de 432,5 L/s en el año 2011 y 353,84 L/s para el 2012 en Playa Potrero. Para Playa Brasilito, la recarga es de 186,6 L/s en el 2011 y de 128,39 L/s en el año 2012.
- El volumen de recarga estimado mediante el método de balance hídrico equivale al 22-25 % de la precipitación anual, mientras que mediante el método de hidrogramas de pozos, la recarga equivale al 16-24 % de la precipitación anual.

- Para el año 2012 se da una disminución en el volumen de agua que recargó al acuífero, en comparación con el año 2011, debido al descenso en la precipitación.
- Se considera que los volúmenes de recarga estimados con el método de Hidrograma de pozos son más representativos a las condiciones que se dan en la zona, ya que se utilizan valores de niveles de agua subterránea medidos directamente en el acuífero, los cuales consideran la extracción a lo largo del año.
- Se encontraron 82 pozos en el campo, de los cuales se monitorean 59. A partir de los datos medidos en el campo (pozos inscritos y no inscritos) y de la información de concesiones de la Dirección de Agua del MINAET, se estimó una extracción de 132,49 L/s en Potrero y 147,478 L/s en Brasilito.
- El rendimiento sostenible se estima a partir de la recarga obtenida mediante el hidrograma de pozos, y considerando un 40% de este caudal. El caudal utilizable en Playa Potrero es de 173 L/s, y de 74,64 L/s en Playa Brasilito.
- Las aguas se consideran bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas cálcicas magnésicas, lo cual indica aguas jóvenes, con poca interacción con el medio geológico.
- Las concentraciones de aniones y cationes en las muestras analizadas no sobrepasan los valores máximos admisibles para consumo humano, sin embargo, no se analizan los Coliformes fecales y totales, por lo que no se puede determinar la potabilidad del agua.
- Con el método GOD se determina la vulnerabilidad intrínseca del acuífero como media, analizada solamente para la zona con depósitos coluvio-aluviales. Para este análisis se considera la vulnerabilidad del acuífero asumiendo flujos de posibles contaminantes desde la superficie.

- Con el método SEA-GIndex se define una zona de extrema y alta vulnerabilidad hasta los 550 m de distancia desde la costa. Este método asume un posible flujo de agua de mar hacia el interior de la cuenca, desplazando el agua dulce en el acuífero.
- En la zona de Playa Brasilito el acuífero presenta extrema vulnerabilidad a la contaminación por intrusión salina, y que, en conjunto con el bombeo en pozos muy cercanos a la costa, puede ocasionar y acelerar la afectación de los acuíferos si no se da un control en el régimen de bombeo de la zona.
- En el momento de la realización de este estudio no se concluye que exista intrusión salina, sin embargo hay evidencia de conductividades eléctricas altas en la zona de Brasilito, que podrían indicar una posible intrusión salina si continúan en aumento.

## Limitaciones

- El modelo hidrogeológico conceptual, así como la determinación de parámetros hidráulicos de los acuíferos, se definen a partir de la información de pozos de extracción de agua, y no se contó con piezómetros de investigación, por lo que parámetros como el coeficiente de almacenamiento no se pudieron obtener en el campo, sino que fueron tomados de la literatura para las litologías que conforman los acuíferos (aluviones, basaltos, gabros).
- El método de balance hídrico de suelos propuesto por Schosinsky (2006) hace una estimación de la recarga potencial al acuífero, por lo que no se puede asegurar que el volumen de recarga que se determinó para Playa Potrero y Playa Brasilito mediante este método sea el volumen real que percole y recargue el acuífero.
- Para el cálculo del caudal de extracción en la zona se utilizó la información de concesiones dadas por el MINAE, así como información recolectada en el campo. Sin embargo, se conoce que en la zona hay perforación ilegal de pozos, por lo que la estimación de la extracción de agua subterránea es aproximada.
- Los análisis químicos realizados a las 15 muestras de ambas cuencas indican la concentración de aniones y cationes en el agua, así como el pH y la conductividad eléctrica de la misma, esto para dar una clasificación química del agua y una indicación de una posible intrusión salina. A pesar de que estas concentraciones se comparan con lo indicado en el Reglamento para la Calidad de Agua Potable y que ningún resultado sobrepasa el Valor Máximo Admisibles para los iones analizados, esta información no determina la potabilidad del agua, debido a que no se analizaron Coliformes fecales o totales en estas muestras.



## Recomendaciones

1. Es necesario realizar perforaciones exploratorias y pruebas de bombeo en ambas cuencas, para poder obtener parámetros hidráulicos de los acuíferos encontrados, específicamente el coeficiente de almacenamiento, y para cada capa de aluviones y gabros identificados, así como espesores más definidos de las mismas. Esta información se debe obtener para estimar de manera más precisa la recarga a los acuíferos de la zona.
2. Incluir más pozos en la red de monitoreo, para ampliar el área de control en ambas cuencas, y obtener más información que me permita determinar la recarga a los acuíferos de manera más precisa.
3. Mantener las mediciones mensuales de niveles de agua en pozos de Playa Potrero y Playa Brasilito durante un período de aproximadamente 15 años, para conocer el comportamiento de los acuíferos según las diferentes condiciones climáticas a lo largo del tiempo. Esto garantizaría la evaluación de los acuíferos en años secos, años húmedos y años promedio, y facilitaría la toma de decisiones con respecto al manejo del recurso hídrico subterráneo y el control de la extracción.
4. Realizar aforos diferenciales durante un año, en los ríos y quebradas de la zona, para conocer el comportamiento de los acuíferos en cada época del año.
5. Mantener un monitoreo y control en ambas cuencas, principalmente en Brasilito, en las zonas definidas como de extrema y alta vulnerabilidad de intrusión, así como un control en la explotación del acuífero, debido al posible riesgo de salinización que se presenta en este momento. El control de explotación debe contemplar un bombeo continuo en los pozos, pero con menor tiempo de bombeo, para evitar que los conos de abatimiento se extiendan hacia la costa.

## Referencias bibliográficas

- AGUDELO, C., MATAMOROS, R & RAMÍREZ, R., 2008: Estudio hidrogeológico detallado del acuífero de la parte alta de la cuenca del Río Sardinal, Carrillo-Costa Rica. – 36 págs. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento, San José [Informe Interno].
- APPELO, C. A. J. & POSTMA, D., 1999: Geochemistry, groundwater and pollution. – 536 págs. A. A. Balkema Publishers, Rotterdam, Países Bajos.
- ARELLANO, F. & VARGAS, A., 2001: Casos de Contaminación por Intrusión Salina en Acuíferos Costeros de la Península de Nicoya (Costa Rica). – Revista Geológica de América Central 25: 77-84.
- ARELLANO, F., 2008: Informe Hidrogeológico zona Playa Potrero. – 47 págs. Hidrogeotecnia Ltda., San José.
- ARELLANO, F., PADILLA, A., SÁNCHEZ, F. & SUÁREZ, J.; 2011(a): Estudio Hidrogeológico Playa Potrero. Santa Cruz, Guanacaste. – 127 págs. Hidrogeotecnia Ltda., San José.
- ARELLANO, F.; SUÁREZ, J. & LEANDRO, C.; 2011(b): Informe del Estudio Hidrogeológico – Geofísico, Zona de Brasilito – Guanacaste. – 48 págs. Hidrogeotecnia Ltda., San José. [Informe contratación N° 2011CDS-000167-PRI, AyA].
- AUGUSTITHIS, S. S.; 1978: Atlas of textural patterns of basalts and their genetic significance. – Elsevier, Amsterdam, 323 págs.
- BAUMGARTNER, P.O., 1984: El Complejo Ofiolítico de Nicoya (Costa Rica): Modelos estructurales analizados en función de las edades de los radiolarios (Colloviense a Santoniense). – En:

- SPRECHMANN, P. (Ed.): Manual de Geología de Costa Rica. – San José: Editorial UCR I: 115-123.
- BAUMGARTNER, P.O., 1987: Tectónica y sedimentación del Cretácico Superior en la zona pacífica de Costa Rica (América Central). – En: BARBARIN, J.M., GURSKY, H.J. & MEIBURG, P. (Eds.): El Cretácico de México y América Central (resúmenes). – Linares-México: Facultad de Ciencias de la Tierra U.A.N.L. II: 251-260.
- BOCANEGRA, E. M.; MASSONE, H. E.; BERNASCONI, M. V. & VRBA, J., 2004: Methodological Approach for the Assessment of the Vulnerability of Coastal Aquifers. – International Conference on Groundwater Vulnerability Assessment and Mapping. Ustron, Poland. ISBN 83-87431-60-5. Proceedings: 33-34.
- CALDERÓN, H., MADRIGAL, H. & REYNOLDS, J., 2002: Contaminación química y microbiológica del agua subterránea en la zona costera de Guanacaste. – En: REYNOLDS, J. (ed), 2002: Manejo Integrado de Aguas Subterráneas. Un reto para el futuro. – Editorial UNED: 33-48.
- CUSTODIO, E., 2001a: Principios básicos de química y radioquímica de aguas subterráneas. – En: CUSTODIO, E & LLAMAS, M.R. (ed), 2001: Hidrología subterránea. – Ediciones Omega S.A., Sección 4: 177-248. Tomo 1.
- CUSTODIO, E., 2001b: Hidrogeoquímica. – En: CUSTODIO, E & LLAMAS, M.R. (ed.), 2001: Hidrología subterránea. – Ediciones Omega S.A., Sección 10: 1002-1095. Tomo 1.
- DENYER, P. & ARIAS, O.; 1993: Geología del Norte de la Península de Nicoya, Costa Rica. – Revista Geológica de América Central 16: 69-84.

- DENYER, P. & KUIJPERS, E., 1979: Mineralizaciones de manganeso intercaladas en basaltos del Complejo de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. – Instituto Geográfico Nacional, Informe semestral julio – diciembre: 91-108.
- DENYER, P. & BAUMGARTNER, P.O., 2006: Emplacement of Jurassic-Lower Cretaceous radiolarites of the Nicoya Complex (Costa Rica). – *Geologica Acta*, 4(1-2): 203-218.
- DENYER, P., AGUILAR, T. & MONTERO, W., 2013: Cartografía geológica de la península de Nicoya, Costa Rica: mapas geológicos [1era. Edición]. – Escala 1:50 000, Editorial UCR, San José.
- DENYER, P., AGUILAR, T. & MONTERO, W., 2014: Cartografía geológica de la península de Nicoya, Costa Rica: estratigrafía y tectónica [1era. Edición]. – 202 págs. Editorial UCR, San José.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O., 1977: Guidelines for prediction of crop water requirements. – Estudio FAO de Riego y Drenaje 24: 1-144.
- FETTER, C.W., 2001: *Applied Hydrogeology* (4ta. Edición). – 598 págs. Prentice Hall, Inc. New Jersey, EE. UU.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M. & PARIS, M., 2002: Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. – 115 págs. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial. Washington, EE.UU.
- GURSKY, H. J; 1989: Presencia y origen de rocas sedimentarias en el basamento ofiolítico de Costa Rica.-*Revista Geológica de América Central* 10: 19-66.

- GURSKY, H.J. & GURSKY, M., 1989: Thermal alteration of chert in the ophiolite basement of Southern Central America. – En: HEIN, J.R. & OBRADOVIC, J. (Eds.): Siliceous Deposits of the Pacific and Tethys Regions. – Springer-Verlag, New York: 217-233.
- HARGREAVES, G.H. & SAMANI, Z.A., 1985: Reference crop evapotranspiration from temperature.- Applied Eng. In Agric., 1(2): 96-99.
- HAUFF, F., HOERNLE, K., BOGAARD, P., ALVARADO, G.E. & GARBE-SCHÖNBERG, 2000: Age and geochemistry of basaltic complexes in western Costa Rica: Contributions to the geotectonic evolution of Central America. – Geochemistry, Geophysics, Geosystems 1(5), doi 10.1029/1999GC000020.
- HEALY, R., COOK, P., 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. - Hydrogeology Journal 10, 91-109.
- HOERNLE, K., HAUFF, F. & VAN DEN BOOGARD, P. 2004: 70 m.y. history (139-69 Ma) for the Caribbean Large Igneous Province. – Geology, 32: 697-700.
- IMN, 2004: Manual técnico del Departamento de Aguas. – La Gaceta, 98: 30-35.
- IMN, 2009: Atlas Climatológico de Costa Rica. - Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- IMN; 2011: Promedios mensuales de datos climáticos (de 0 a 24 horas). - Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- IMN; s.f: Clima en Costa Rica. Pacífico Norte. - [http://www.imn.ac.cr/educacion/climacr/pacifico\\_norte.html](http://www.imn.ac.cr/educacion/climacr/pacifico_norte.html). [Consulta: 23 de enero del 2012].

- INGEOMINAS, 2004.: Programa de exploración de aguas subterráneas. – 42 págs. Instituto Colombiano de Geología y Minería, Bogotá, Colombia [Informe interno].
- KUYPERS, E. P., 1979: La geología del Complejo Ofiolítico de Nicoya, Costa Rica.-Inf. Semestral Instituto Geográfico Nacional, Costa Rica, Julio- Diciembre: 15-75.
- KUYPERS, E. P., 1980: The geologic history of the Nicoya Ophiolite Complex, Costa Rica and its geotectonic significance. – Tectonophysics, 68: 233-255.
- MESCHEDE, M., SICK, M. & FRISCH, W.; 1988: Interpretación geodinámica de los Complejos Ofiolíticos de Costa Rica. – Revista Geológica de América Central 8: 1-18.
- MONREAL, R., RANGEL-MEDINA, M., MINJAREZ-SOSA, I., CASTILLO-GURROLA, J., MORALES-MONTAÑO, M., 2003: Estudio de actualización geohidrológica del acuífero valle del Yaqui, Municipio de Cajeme, Sonora. – 146 págs. Universidad de Sonora, Sonora, México [Inf. Técnico].
- MORERA, S.; 1995: Estudio de intrusión salina en Playa Potrero y Flamingo. – 28 págs. SENARA, San José [Inf. Interno N°197].
- MUÑOZ, G., 1990: Estudio Geológico de Punta Conchal, Brasilito y alrededores; Guanacaste, Costa Rica. - 58 págs. Universidad de Costa Rica, San José. [Inf. Campaña Geol.].
- PHINNEY, W.C. & MORRISON, D.A., 1988: Tectonic implications of Archean anorthosite occurrences. – Lunar and Planetary Institute Tech. Report 88-06: 135-137.
- PONCE, V.M., 2007: Rendimiento sostenible del agua subterránea.- <http://rendimiento.sdsu.edu/> [Consulta: 29 de junio del 2011].

- RODRIGUEZ, C., VARGAS, N., JARAMILLO, O., PIÑEROS, A. & CAÑAS, H., 2010: Oferta y uso de agua subterránea en Colombia.- <http://intranet.ideam.gov.co:8080/openbiblio/Bvirtual/021888/ENA2010Cap4.pdf>
- RODRÍGUEZ, H.; 2011: Hidrogeología de la Microcuenca de la Quebrada Brasilar. Proyecto Residencial Alegría. Cabo Velas, Santa Cruz, Guanacaste. – 19 págs. + mapas. Hidroestrato S.A., Palmares, Alajuela.
- SCHOSINSKY, G & LOSILLA, M., 2000: Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual.- Rev. Geol. Amér. Central, 23: 43-55.
- SCHOSINSKY, G.; 2006: Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. - Revista Geológica de América Central 34-35: 13-30.
- SECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA, s.f.: Base de datos hídricos La Pampa. - [http://www.bdh.lapampa.gov.ar/lapampa/common/themes/azul/help/Diagramas\\_Hidroquimicos.htm](http://www.bdh.lapampa.gov.ar/lapampa/common/themes/azul/help/Diagramas_Hidroquimicos.htm) [Consulta: 01 setiembre 2013].
- SENARA, 1992?: Diagnóstico hídrico subterráneo en la provincia de Guanacaste. – SENARA [CD-ROM].
- SINTON, C.W., PYLE, D.G., HANAN, B.B., DENYER, P. & ALVARADO, G.E., 2009: Distinct Mantle Source for the Caribbean Large Igneous Province Ultramafic of Tortugal, Costa Rica. – GSA Annual Meeting, Portland [Abstract].
- USGS, 2014: Water Table Fluctuation (WTF) Method. - <http://water.usgs.gov/ogw/gwrp/methods/wtf/> [Consulta: 01 mayo 2015].

VAN ZUIDAM, R.; 1986: Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. - 443 págs. Smits Publishers, The Hague, The Netherlands.

VILLALTA, C., 1990: Estudio geológico de una sección entre Brasilito y Punta Salinas. – 84 págs. Universidad de Costa Rica, San José. [Inf. Campaña Geol.].

WILDBERG, H.; 1987: High level and low level plagiogranites from Nicoya Ophiolite Complex, Costa Rica, Central America. – Geol. Rundschau, 76 (1): 285 – 301.

### **Notas hemerográficas**

SENARA, 2012: Base de datos de pozos y nacientes del SENARA. Pozos de las hojas Matapalo y Belén.



# ANEXOS

**Anexo 1: Resultados de aforos realizados en los ríos de Playa Potrero y Playa Brasilito**

No.	Punto	X	Y	Elevación	Caudal (L/s)
1	Quebrada Pilas 1	342364	271467	5	0
2	Quebrada Pilas 2	343127	273225	84	0
3	Quebrada sin nombre 1	342652	270817	5	0
4	Quebrada sin nombre 2	343658	272078	73	0
5	Río Cacao 1	342611	270617	5	40
6	Río Cacao 2	343292	270935	9	0
7	Río Cacao 3	344312	271722	17	0
8	Unión Quebradas Burro y Danta	344867	271628	29	0
9	Quebrada Burro	345788	271441	52	0
10	Quebrada Danta	345691	271321	52	0
11	Quebrada Nancital 1	344861	272445	40	0
12	Quebrada Nancital 2	345295	273302	40	0
13	Quebrada Guapes 1	343275	270615	10	0
14	Quebrada Guapes 2	344604	270503	18	0
15	Quebrada Guapes 3	345005	270296	31	0
16	Quebrada Guapes 4	345111	270008	35	0
17	Quebrada Guapes 5	342341	269807	38	0

18	Quebrada Cucaracha 1	342503	269520	8	0
19	Quebrada Cucaracha 2	343956	269123	36	0
20	Quebrada Cucaracha 3	344360	267933	63	0
21	Quebrada Cucaracha 4	343975	268148	51	0
22	Quebrada Cusuca	342755	269351	12	0
23	Quebrada Brasilar	341585	269265	1	0
24	Quebrada Ceiba 1	340762	267117	8	0
25	Quebrada Ceiba 2	342126	266811	58	0
26	Quebrada Rejoya 1	340568	266181	8	0
27	Quebrada Rejoya 2	341038	265728	24	0
28	Quebrada Rejoya 3	341430	266593	38	0
29	Quebrada Rejoya 4	340571	266455	8	0
30	Río Zapote 1	339545	265764	2	0
31	Río Zapote 2	340500	264977	23	0
32	Río Zapote 3	341352	264919	51	0
33	Quebrada Madera 1	339925	265203	18	0
34	Quebrada Madera 2	340132	264609	23	0,2
35	Quebrada Madera 3	340348	263558	37	0
36	Quebrada sin nombre	339211	265566	1	0

**Anexo 2: Análisis del suelo en la zona de estudio**

ID USUARIO	ARENA	LIMO (%)	ARCILLA	Clase Textural	%RETENCION		% AGUA	Humedad	Porosidad	Densidad aparente
					C.C.	P.M.	UTIL	%	%	g cm <sup>-3</sup>
MUESTRA # 1	50	15	35	FRANCO ARCILLO ARENOSO	23	19	4	26	35,5	1,51
MUESTRA # 2	57	8	35	FRANCO ARCILLO ARENOSO	29	16	13	26	31,1	1,62
MUESTRA # 3	62	10	28	FRANCO ARCILLO ARENOSO	27	14	13	32	60,9	1,01
MUESTRA # 4	12	15	73	ARCILLOSO	44	36	8	47	44,5	1,16
MUESTRA # 5	23	9	68	ARCILLOSO	35	29	6	38	50,6	1,59
MUESTRA # 6	23	37	40	FRANCO ARCILLOSO	36	28	8	44	48,5	1,39
MUESTRA # 7	20	18	62	ARCILLOSO	34	25	9	34	44,8	1,22
MUESTRA # 8	50	10	40	ARCILLO ARENOSO	46	22	24	37	51,6	1,07
MUESTRA # 9	18	40	42	ARCILLOSO	28	21	7	32	49,6	1,39
MUESTRA # 10	48	12	40	ARCILLO ARENOSO	28	18	10	27	39,8	1,54
MUESTRA # 11	25	22	53	ARCILLOSO	27	15	12	30	35,2	1,53
MUESTRA # 12	25	20	55	ARCILLOSO	30	22	8	31	31,9	1,62
MUESTRA # 13	30	18	52	ARCILLOSO	26	19	7	29	37,2	1,62
MUESTRA # 14	50	15	35	FRANCO ARCILLO ARENOSO	34	19	15	26	27,5	1,69
MUESTRA # 15	40	18	42	ARCILLOSO	20	15	5	17	26,2	1,89
MUESTRA # 16	30	20	50	ARCILLOSO	18	13	5	28	34,2	1,60
MUESTRA # 17	34	18	48	ARCILLOSO	35	20	15	36	34,4	1,45
MUESTRA # 18	32	25	43	ARCILLOSO	38	25	13	36	33,8	1,43
MUESTRA # 19	50	20	30	FRANCO ARCILLO ARENOSO	30	20	10	22	49,8	1,32
MUESTRA # 20	48	4	48	ARCILLO ARENOSO	44	29	15	45	52,4	1,18
MUESTRA #11A				LIMO ARENOSO	42	23				1,07
MUESTRA #6A				ARENISCAS MUJY COMPACT.	27	13				1,25
MUESTRA #15A				LIMO ARCILLOSO	27	20				1,21

**Anexo 3: Pruebas de infiltración (AyA)**

<b>Prueba</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>K-(mm/día)</b>	<b>K-(cm/min)</b>	<b>K-(cm/seg)</b>
1	344658	272610	52	210,24	0,0146	0,00024333
2	344456	272225	33	964,8	0,067	0,00111667
3	344097	271650	30	779,04	0,0541	0,00090167
4	344653	271718	40	200,16	0,0139	0,00023167
5	343321	270874	26	2288,16	0,1589	0,00264833
6	344640	270441	38	155,52	0,0108	0,00018
7	345126	270040	41	1962,72	0,1363	0,00227167
8	342800	269700	60	210,24	0,0146	0,00024333
9	346421	269409	180	953,28	0,0662	0,00110333
10	346207	271387	107	97,92	0,0068	0,00011333
11	345214	271557	103	175,68	0,0122	0,00020333
12	344791	271820	41	95,04	0,0066	0,00011
14	345138	273011	55	377,28	0,0262	0,00043667
15	344692	273318	79	372,96	0,0259	0,00043167
17	342141	271748	18	1667,52	0,1158	0,00193
18	341945	271661	35	174,24	0,0121	0,00020167
19	341968	272539	20	1337,76	0,0929	0,00154833
20	341034	273691	72	528,48	0,0367	0,00061167
22	341767	273206	75	378,72	0,0263	0,00043833
32	342258	268700	22	4528,8	0,3145	0,00524167
33	341444	268895	15	4186,08	0,2907	0,004845
40	340650	266750	25	266,4	0,0185	0,00030833
41	341650	266350	80	2782,08	0,1932	0,00322
43	340100	266200	20	129,6	0,009	0,00015
50	339250	265350	5	1677,6	0,1165	0,00194167
48	340100	263600	40	771,84	0,0536	0,00089333

49	340250	263700	44	555,84	0,0386	0,00064333
33A	341146	268696	15	437,76	0,0304	0,00050667
28	344002	269335	40	910,08	0,0632	0,00105333
52	340951	265334	15	482,4	0,0335	0,00055833
53	340214	264853	36	463,68	0,0322	0,00053667
54	337970	263563	16	3833,28	0,2662	0,00443667
55	337570	263937	20	5788,8	0,402	0,0067
57	338250	264948	5	7721,28	0,5362	0,00893667
58	340288	265804	17	1889,28	0,1312	0,00218667
58-A	336922	264049	59	23,04	0,0016	2,6667E-05
59	340682	268646	10	269,28	0,0187	0,00031167
56	337043	264936	16	2158,56	0,1499	0,00249833
51	344450	270991	35	109,44	0,0076	0,00012667
59-A	337056	263017	128	2226,24	0,1546	0,00257667
60	339753	266028	16	218,88	0,0152	0,00025333
61	340562	264350	41	159,84	0,0111	0,000185
62	340368	267188	13	380,16	0,0264	0,00044
63	342354	269640	23	7,2	0,0005	8,3333E-06
64	343743	268318	52	7567,2	0,5255	0,00875833
65	345849	273243	74	734,4	0,051	0,00085
66	346560	273406	213	283,68	0,0197	0,00032833
67	342536	272521	184	5387,04	0,3741	0,006235
68	343422	269690	31	66,24	0,0046	7,6667E-05
69	343347	273842	233	372,96	0,0259	0,00043167
70	342827	272329	42	2960,64	0,2056	0,00342667
71	343422	272318	56	748,8	0,052	0,00086667
72	344370	267803	80	77,76	0,0054	0,00009
32-A	342210	268556	25	3862,08	0,2682	0,00447

11	345812	269715				
6	342558	273081		1440	0,1	
15	346623	273363		3888	0,27	



**Anexo 4: Valores de evapotranspiración potencial, según metodología de Hargreaves y Samani  
(1985)**

<b>Meses</b>	<b>Temperatura promedio (°C)</b>	<b>Precipitación promedio (mm)</b>	<b>ETP (mm)</b>
Enero	27,6	0,8	138,74
Febrero	28,5	2,9	138,13
Marzo	29,3	8,2	173,02
Abril	29,9	43,7	176,28
Mayo	28,6	240,1	163,34
Junio	27,6	216,5	144,99
Julio	27,5	169,7	150,3
Agosto	27,4	209,1	154,36
Setiembre	27,1	333,8	143,39
Octubre	26,9	378,6	137,82
Noviembre	26,7	130,2	126,32
Diciembre	27	9,5	129,3

**Anexo 5: Tablas de cambios de almacenamiento en las cuencas de Playa Potrero y Playa Brasilito**

**Cambios de almacenamiento de gabros en la cuenca de Potrero**

**Potrero Gabros 2011**

No. Pozo	Cambio Almacenamiento (m) 2011
2	7,3
5	5,68
13	1,85
17	2,81
33	1,37
34	0,51
35	1,85
55	2,4
76	2,42
77	2,28
81	2,7
<b>Promedio</b>	<b>2,83</b>

**Potrero Gabros 2012**

No. Pozo	Cambio Almacenamiento (m) 2012
5	3,83
13	1,69
17	2,5
33	1,41
34	0,51
35	1,79
55	2,43
76	2,01
77	2,56
81	2,44
<b>Promedio</b>	<b>2,12</b>

**Cambios de almacenamiento de aluviones en la cuenca de Potrero**

**Potrero aluviones 2011**

No. Pozo	Cambio Almacenamiento (m) 2011
7	4,52
9	5,24
10	4,98
11	1,75
12	1,84

25	3,6
26	3,69
27	2,57
28	2,51
31	5,67
50	3,48
51	5,89
52	5,67
54	4,75
82	5,7
32	1,17
57	2,23
58	5,75
75	1,11
<b>Promedio</b>	<b>3,80</b>

**Potrero aluviones 2012**

<b>No. Pozo</b>	<b>Cambio Almacenamiento (m) 2012</b>
7	6,36
10	3,2
11	1,54
12	1,6
25	3,21
26	3,21
27	2,28
28	2,48
31	4,57
32	1,17

51	3,36
52	9,94
54	2,91
57	1,73
75	1,33
<b>Promedio</b>	<b>3,26</b>

### Cambios de almacenamiento de aluviones en la cuenca de Brasilito

#### Brasilito aluviones 2011

No. Pozo	Cambio Almacenamiento (m) 2011
36	4,41
42	5,74
43	1,95
44	4,25
45	2,76
46	7,25
48	6,95
49	8,5
63	5,08
64	5,25
65	4,88
66	0,84
67	1,55
68	1,54
69	2
70	3,51

71	8,6
73	4,83
78	3,66
47	3,73
<b>Promedio</b>	<b>4,36</b>

#### **Brasilito aluviones 2012**

<b>No. Pozo</b>	<b>Cambio Almacenamiento (m) 2012</b>
36	1,07
42	1,41
43	1,13
44	2,8
45	2,02
46	6,99
47	2,81
48	6,94
49	7,46
63	1,1
64	1,09
65	1,21
66	0,76
67	0,64
69	1,41
70	3,47
71	8,23
78	1,33
<b>Promedio</b>	<b>2,88</b>

**Anexo 6: Inventario de pozos en Playa Potrero y Playa Brasilito**

<b>Inventario de pozos en Playa Potrero y Playa Brasilito</b>									
<b>No. Pozo</b>	<b>Lugar</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Contacto</b>	<b>Tipo de pozo</b>	<b>Diámetro armado (cm)</b>	<b>Brocal (m)</b>	<b>Profundidad de pozo (m)</b>	<b>Observaciones</b>
1	Brasilito	340985	268034		Perforado				No se puede medir N, no línea de aire. No se habla con propietario
2	Potrero	344769	273173	Prop. Hernesto Artillano	Excavado	100	0,88	19,2	Armado en concreto, no se conoce profundidad. Finca Los Laureles. Muchos perros. Quebrada a 10 m de pozo, seca
				Omar Mayorga permanece en la finca					
3	Potrero	344888	273201	Prop. Hernesto Artillano	Perforado	4 "			Armado en PVC, bomba 1 Hp, 230V, Franklin Electric sumergible. Finca Los Laureles. Se puede muestrear pero no medir nivel, no tiene línea de aire.
				Omar Mayorga permanece en la finca					
4	Potrero	344746	272956	Prop. Idaniel Abarca	Perforado	6"	0,06		Uso ocasional para la casa de Rigoberto. 1,5"

				Rigoberto Vanegas, encargado Finca La Conga					succión. <b>HACER INFORME</b>
5	Potrero	344722	272675	Prop. Ermida Peralda / Jorgelino Contreras, esposo	Excavado	150	0,87	13-15 (Rep)	Camino a N. Colón. Bomba sumergible y manual. Armado de concreto. No se seca en verano sino que quedan como 3m de columna. Si el yurro que está cerca se seca, el pozo baja el nivel. Se llena rápido apenas llueve. Bomba F.E. 0.5 Hp, 230V. Huevos de gallina criolla
6	Potrero	342513	271477	Vic. Jorge Méndez	Perforado	6"	0,5		ASADA de Potrero (1), Q=7.5 L/s. Armado en PVC. Bomba F.E. sumergible, 230V, 10Hp. Mejor de los 2 pozos. <b>HACER INFORME</b>
				Tesor. Ronald Moreno					
7	Potrero	343383	270290	Vic. Jorge Méndez	Perforado	6"	-		ASADA de Potrero (2),



				Tesor. Ronald Moreno					en 4 calles de Potrero. Bomba F.E. 7 Hp. Armado en PVC. Tienen tubo para medición de niveles. Cachera para aforos. Q=5.5 L/s. <b>HACER INFORME</b>
				Font ?. Jorge Moreno					
8	Potrero	342786	270090	Daniel	Perforado			18	No se puede medir N, no línea de aire. Propietario no da permiso
9	Potrero	343177	270182	Prop. Gerardo Huarte	Perforado	4"	0,2		Pozo en desuso. Armado en PVC. Señor ebrio.
				Erlinda Álvarez (alquila)					
10	Potrero	343249	270239	Ronald Morales	Perforado	4"	0,2	5	Bomba no sumergible, 0.5 HP, 110-115V, Q=5-35 L/s, armado en PVC. Pozo en desuso, solo para regar un poco. Pozo se seca en verano. Zona de inundación
11	Potrero	343286	270679	Benito Moraga	Excavado	100	0,93	6	Armado en concreto y formateado

12	Potrero	343326	270725	Rodrigo Vázquez Contreras	Excavado	100	0,71	3	Se usa para regar. Bomba 0.5 Hp, 110 V.
13	Potrero	343300	271028	Juan Manuel Caravaca (se habla con Alexander)	Excavado	100	0,68	12-15	Bomba no sumergible, 110V, 1 Hp. Armado revestimiento de concreto. Alacrán
14	Potrero	342256	271923		Perforado				MTP-89. No se mide nivel. Pozo cerrado
15	Potrero	342770	272339	Hernán Moreno Caravaca	Excavado	100	0,51	13	Lleva 2 años en desuso. Armado en concreto. Casa usa tubería de ASADA. No se seca nunca. Se usa para riego de la propiedad.
16	Potrero	344176	270880		Perforado				Pozo cerrado. Camino a Tempate. Casita rosado claro con puerta negra
17	Potrero	343449	271131	Cecilia Rojas	Excavado	100	0,85	8	Armado de alcantarillas. No se seca el pozo. Bomba no sumergible, 1.2 Hp, 220 V. Agua la usan para riego y piscina.

18	Potrero	344779	271672						Pozo encerrado?? Camino a "Finca Danta" (Monte Real?)
19	Potrero	344759	271905	Juan Villareal	Perforado				Pozo dentro de Vista Flamingo. No se puede medir nivel, no tiene línea de aire. Bomba sumergible 5 Hp. En invierno se rebalsa el agua del pozo. Donde está la casa bonita
20	Potrero	342978	271431	Admin. Giovanni Gurrieri (Juan, Luis, Carlos)	Perforado				Villaggio 2. Bomba 3 Hp, 220V. Tiene para muestreo de agua. Sellado, no tiene línea para medición de niveles. Tiene clorador. No tienen problemas de agua, ni en verano. Hay meses en que no hay gente en los condominios. Turismo italiano

21	Potrero	343059	271498		Perforado	6"	0,24		Villaggio 1. Restaurante Flor del Pacífico. Bomba F.E. 0.5 Hp, 230V. Armado en PVC. Tiene clorador.
22	Potrero	342806	271514		Perforado				Bomba sumergible, 5 Hp. Tiene sistema de cloración. No tiene línea para medición de niveles. Hay 2 huecos por los que salen los cables. Este pozo es el de mayor producción. Al lado están los tanques de almacenamiento. El agua deposita material calcáreo? en los tanques, pero con el cloro disminuye. No tiene para tomar muestra.

23	Potrero	342878	269635	Robert Taylor	Excavado	4"	0,19	27ft	Se hizo hace 9 años. Está en desuso. No se seca en verano.
24	Potrero	342633	269791						Pozo con letrero de "Se vende"
25	Potrero	341555	268765		Excavado		0,79		Armado de concreto.
26	Potrero	341555	268765		Perforado	8"	0,05		Armado en PVC. Bomba en desuso. Tubo de 1 1/2 para bomba. A los 10-15 m hay una quebrada con agua corriendo.
27	Potrero	341372	268768	Abog. Fernando	Perforado	6"	0,45	dentro	Armado PVC. Suamos. MTP-123 y MTP-125
28	Potrero	341453	268834	López			0,73	cerca calle	
29	Brasilito	340740	268005	Arnoldo (AyA)	Perforado	6"	0,2		Pozo 1 de AyA Flamingo donde están los tanques. Cangrejo. Hay también un tanque de bombeo.
30	Potrero	343105	269964			6"	0,27	28,5 (Rep)	Pozo principal de AyA Flamingo. F.E. sumergible, 20 Hp, 480V, Armado en tubo

									de metal.
31	Potrero	343105	269964			8"	0,4		No se puede medir nivel. Al lado del pozo anterior. Se puede usar como piezómetro. No está en uso aún. Pozo nuevo
32	Potrero	342592	270880	Eligio / Allan Mclluf	Excavado	100	0,83		Revestido de concreto. Dentro de potrero donde están haciendo redondel. Buscar permiso con señor en Bar Costa Azul (por plaza de Potrero). Inversiones Pochote??
33	Potrero	342311	271498	Benigno Moreno Vázquez Prop. Dani Moreno	Excavado	100	0,78		Pozo en desuso. No se mide nivel, dueño no está y el inquilino no deja. La lora
34	Potrero	342317	271441	Antonio Moreno Canales	Excavado	100	0,89	7	Quebrada al lado de la casa. El pozo no se

				Rosa Julia Moreno Peralta (hija)					seca. Pozo de adentro de la casa.
35	Potrero	342366	271417	Antonio Moreno Canales	Excavado	100	0,71		Bomba centrífuga, 0.5 Hp, 110V, revestimiento en concreto
36	Brasilito	339662	265560	Julio López López / Julio López Flores / Yineth Flores Carmona	Perforado	6"	0,25	16 (Rep)	Hotel Rest. Nany. Bomba a 15 m. Armado en PVC. Succión 1 1/4". Bomba F.E. 1/2HP, 230V. No se usa
37	Brasilito	340820	266203		Perforado	6"	0,33	40 (Rep)	No tiene línea de aire. Requiere llave. Portón negro largo metálico. Bomba F.E. sumergible 5HP. Armado PVC. Succión 2", hierro galvanizado.
38	Brasilito	340936	265974		Perforado	6"		43 (Rep)	Dentro de la finca. Pozo que da al tanque. Bomba 5HP, 230V, 1 1/4" succión. No se puede medir nivel, se



									pega sonda.
39	Brasilito	340841	265760		Perforado	6"		48 (Rep)	No tiene línea de aire. Posible pegarse en hule de empaque. Carretera a Flamingo, rótulo New Beach County 100 m.
40	Brasilito	340573	266072	Jim Cramer	Perforado	6"			No hay línea de aire. Armado en PVC. Succión 1,5". Tanque hidroneumático. Bomba F.E. sumergible 2HP, 230V. Entrada Texas ticos, primero en curva negocio papaya.
41	Brasilito	339683	265450	Trino Salazar Montero	Perforado			8	Centro recreacional Licenciados y profesores. No tiene línea de aire.
42	Brasilito	339692	265450		Excavado		0,15	8	A nivel de terreno. Sin relleno=5.79

43	Brasilito	339869	265984	Carlos "El Gato" Alfaro	Excavado	100	0,9		Frente portones y luego de pozo de acueducto. Frente a entrada de Catalina Cove
44	Brasilito	340266	266236	Marcos Rojas	Perforado	6"	0,39		Le da mantenimiento del tesorero de la ASADA (Daniel Vargas). Está dentro de la finca. Llanta quemada. Rótulo "We need to talk with you", camino Flamingo. Armado PVC.
45	Brasilito	340581	266269	Carlos "El Gato" Alfaro	Perforado	8"	0,67		Metiendo finca en pura vuelta, por letrero de New Beach Community. Armado en PVC. Por entrada Julio Acosta. Ddentro de finca
46	Brasilito	340857	267233	Carlos "El Gato" Alfaro / Massiel Muñoz	Perforado	6"	0,1		Al lado de Carlos & Carlos Ristorante. Tiene tapa problemática, no se puede medir, quizá sonda de Ingrid. Armado

									en PVC. Bomba 1,5HP, 230V. Tanque hidroneumático. Muchacha en el baño.
47	Brasilito	340334	267206	Carlos "El Gato" Alfaro	Perforado	6"	-		Final de Playa Brasilito, entrada izquierda de Ristorante C&C y luego izquierda y luego en finca, cerca de alambre. Armado en PVC. Tubo quebrado, detrás cornizuelo en palillos.
48	Brasilito	340882	267099		Perforado	6"	0,53		Entrando por Potrero en finca antes de Carlos & Carlos. Con llave. 20 m antes de palo caído en camino terciario. En desuso.
49	Brasilito	341012	266960		Perforado	8"	0,54		Armado en PVC. A unos 30 m del camino interno, parqueo a la sombra. Poste quebrado 2310 / 005. Está bajo el árbol

									seco, mano izquierda.
50	Potrero	343247	270198	Álvaro Chinchilla Chavarría	Perforado	4"	0,28	25	Armado en PCV. Uso doméstico. 30 años de haberse hecho. No tiene bomba puesta ahora. Bomba 110V, 1HP. Sr. De los 25 hijos.
51	Potrero	343249	271440	Ángela Peralta	Excavado	100	0,74	14-15	Está en desuso. Pozo del cruce entre Tempate y camino hacia Artola
52	Potrero	343254	271376	Dominico?	Excavado	100	1,03		Pozo en desuso. Frente a casa de pozo 51. Pozo diabólico.
53	Potrero	344037	268446		Perforado				'Rincón Largo'. Entrada por el pozo de ASADA de Potrero (2). No tiene para medir niveles.

54	Potrero	343322	270291	Edier Peralta Moreno	Excavado	100	0,54		Revestido de concreto. Tiene bomba manual. Cerca de tanque y entrada de pozo ASADA Potrero (2)
55	Potrero	342346	271589	Ángel Moreno Caravaca	Excavado	100	0,8		Uso doméstico. Por la escuela
56	Potrero	342398	271524		Perforado	4"			No se puede medir nivel. No línea de aire. Armado en PVC. Bomba F.E. 1HP, 230V. Frente a cruce en Potrero. Muro azul de Hotel Villas.
57	Potrero	342580	270236	Soledad Dávila Abarca	Perforado	4"	0,53		Bomba centrífuga. Papás de fontanero de la ASADA de Potrero. Bar y rest. Conchita, cerca de cruce para ir a pozo 23. Bomba 115 V, 0,5HP
58	Brasilito	340740	268005	Armando Morales (AyA)	Perforado		0,26		Pozo 2 de AyA Flamingo donde están los tanques. Cultito. Armado

									en metal.
59	Brasilito	339750	265992	Font. Luciano / Greivin Dinarte	Perforado	6"	0,98		Pozo ASADA Brasilito. Armado PVC. Tubo de succión de 3" HG. Bomba F.E. 7,5HP
60	Brasilito	339782	265674	Gerardo Brenes	Perforado				No se puede medir porque todo está tapado. No está en uso. Cerca de la entrada del guarda y del palo de mangos. Catalina Cove (entrada inmediatamente después de pozo de la ASADA, camino a Potrero, a mano derecha, portón gris, calzada de piedra)
61	Brasilito	341030	265672		Perforado	6"	0,48		Pozo N° 4 de la finca. Armado en PVC. Tubería de succión en 3" HG. Es el único que se usa. Bomba F.E. 7,5 HP,

									230V. Catalina Cove
62	Brasilito	340948	265650		Perforado	6"			Armado en PVC, 2" succión, 8" de protección. No se usa, se mantiene para reserva. Pozo N° 3. No se puede medir nivel. Catalina Cove
63	Brasilito	339619	265466	Carlos Alvarado	Excavado	100	0,98		Team CRT. En desuso. No tiene bomba. Bajo palo de marañones. Al lado de pozos 41 y 42. Pozo más adentro de la propiedad. Al lado del centro de recreo.
64	Brasilito	339593	265458		Excavado	100	0,74		Pozo de casa alquilada. En desuso. Team CRT.
65	Brasilito	339638	265516	Gloria	Excavado	100	0,76	8,30 (Rep)	Cabinas La Gloria. Concreto. En desuso

66	Brasilito	339607	265749	Janio Zúñiga Cruz / Shely Martin	Perforado	1,5"	0,27		Hotel Brasilito (frente a la playa, por plaza). Tiene tanque hidroneumático. Entrada al pozo por puente de Brasilito, por el ceda. Bomba sumergible Grundfos 1,5 HP. Se puede medir solo en las mañanas.
67	Brasilito	339629	265801	Olga López	Perforado	6"	0,05		A nivel del suelo. Bomba sumergible 1HP. Después del puente, detrás de la policía
68	Brasilito	339910	265841	Gambalonga Walter	Excavado	100	1	10 (Rep)	Pozo se usa para el jardín. César Villalta tiene descripción del pozo. Q=2,5L/s. Hotel 5ta Esencia (detrás de apartamentos de César Villalta). Bomba 1/3 HP, 115-230 V
69	Brasilito	339975	265961	Alexis Vásquez	Excavado	100	0,5		En desuso. Tico



									Adventure. Cuidate...
70	Brasilito	340618	266241	Carlos "El Gato" Alfaro	Excavado	100	0,62		Al lado de la cerca, en la curva del negocio papaya. Despuéd de entrada de New Beach Community. Finca pozo 45
71	Brasilito	340936	267291		Perforado	6"	0,38		Detrás de Carlos & Carlos, pozo que quebró Roberto. Armado en PVC. Bomba sumergible, Grundfos 1HP, 230V. Tanque hidroneumático
72	Brasilito	340765	266108	María Rosa López Gutiérrez	Perforado	6"			Bomba 1HP, 230V. 1,25" succión. No se puede medir nivel. A mano izquierda y al fondo, luego de entrar a Texas Ticos. Señora nos da fresco
73	Brasilito	340780	266204	Allen López	Excavado	100	0,46	13 (Rep)	En desuso. Entrada en

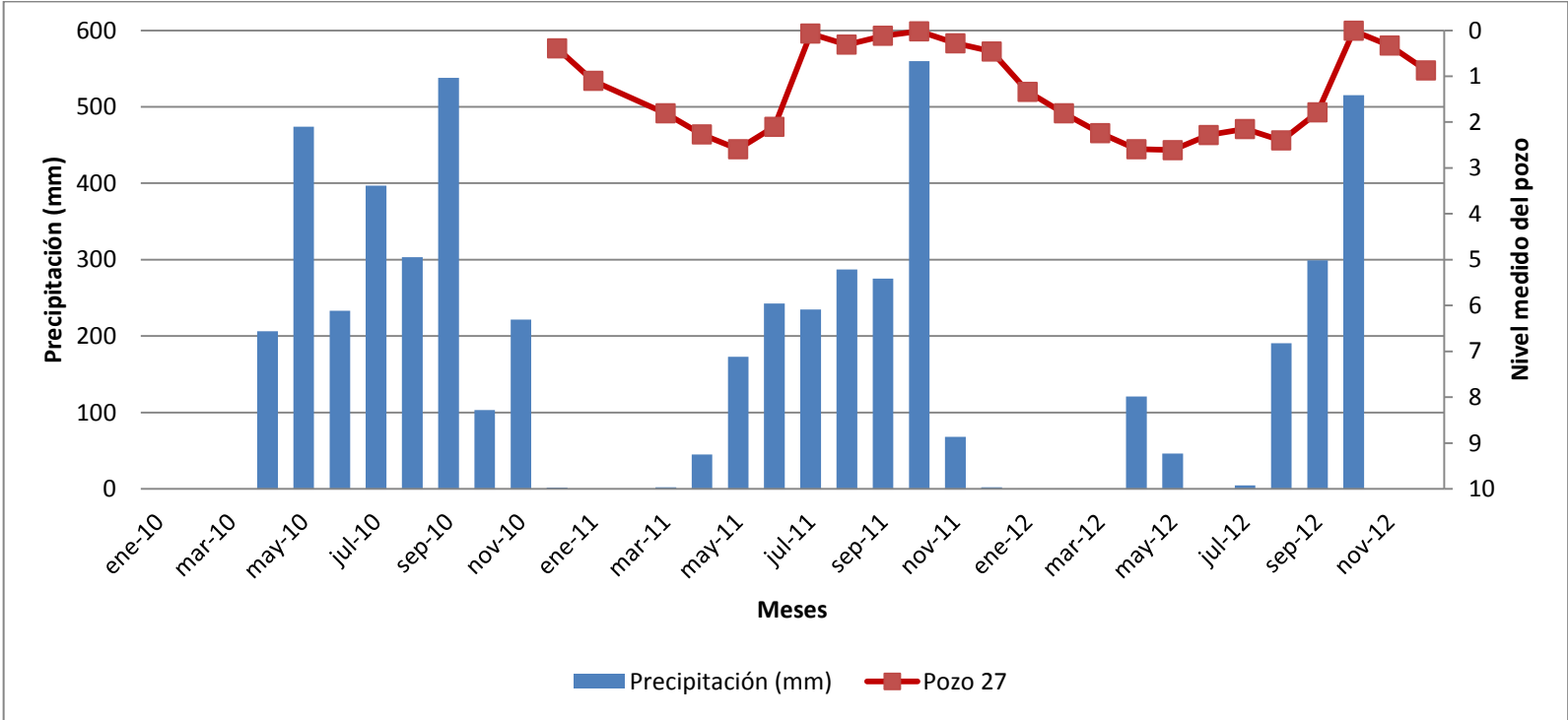
									curva de letrero New Beach Community
74	Potrero	343033	270046	Bobby	Perforado	6"	0,66		Tiene clorador. Bomba 15HP, 460V, sumergible. ASADA Surfside Potrero. 300 abonados.
				Juan Carlos Munguía (Mantenimiento)					
75	Potrero	342454	271083		Excavado	100	0,6		Alcantarilla. Al lado de abrevadero, bajo árbol, cerca de la calle, frente a casa naranja pálido.
76	Potrero	342395	271376	Sarita Vásquez	Excavado	100	0,6		Concreto. Cabinas Marcel. Al lado de pozo 34. Bomba 2HP, 115-230V, centrífuga
77	Potrero	342379	271497	María Elsa Peralta Rodríguez / José David Ugarte Peralta	Excavado	100	0,55		Concreto. Bomba F.E. sumergible 1/2HP, 115V. Es de los primeros pozos en la zona.
78	Brasilito	339631	265613	Beat Lustenberger	Perforado	6"	0,2	20 (Rep)	Bomba a 12 m. Q=1L/s. 15s para recuperar. Armado en PVC. 1,5" succión. Bomba

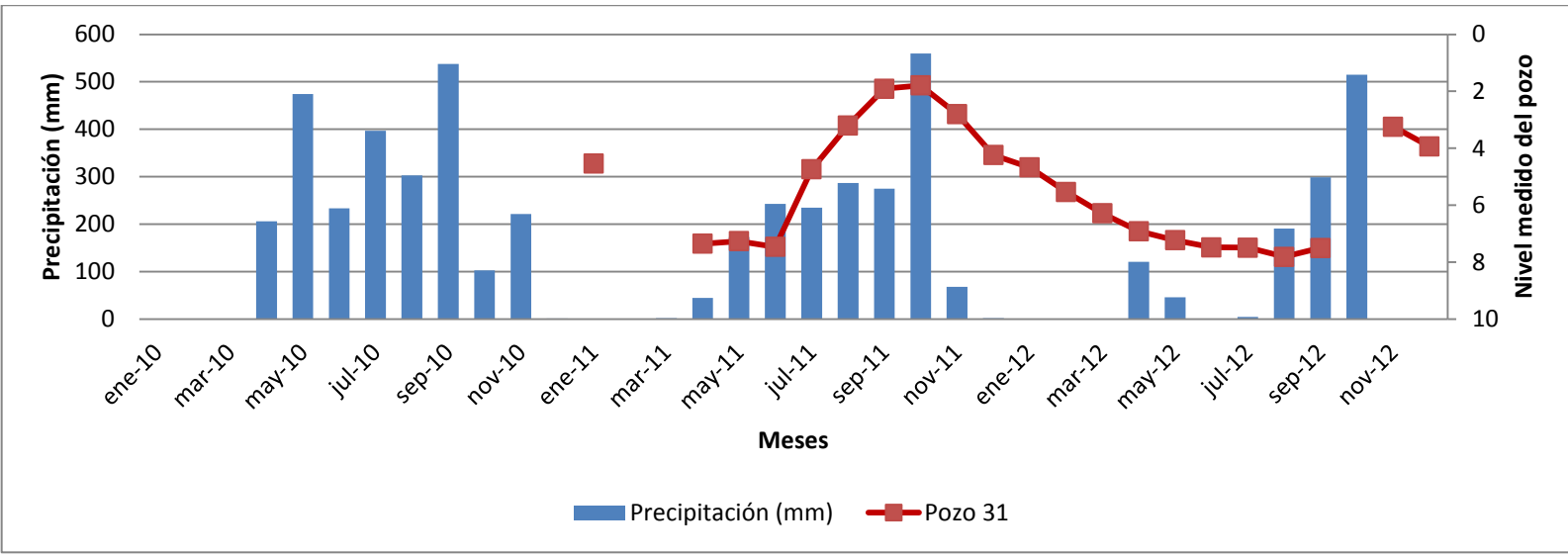
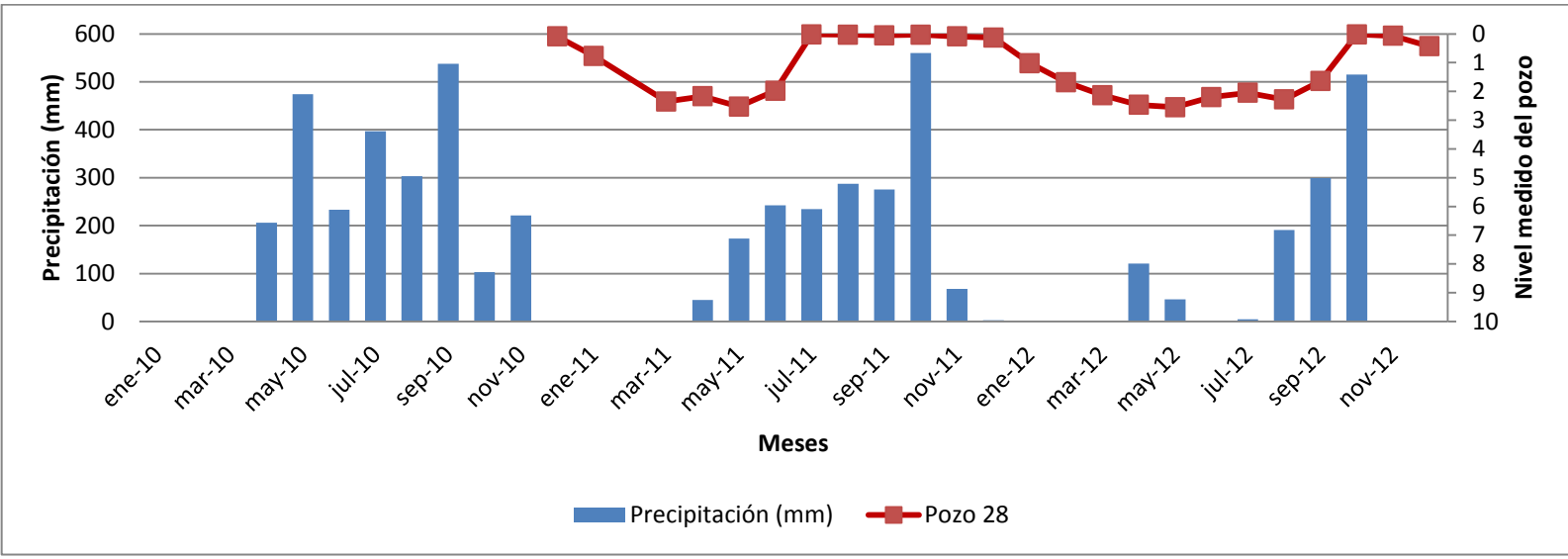
									enciende y apaga autom. Pozo excavado al lado. Bomba F.E. sumergible, 1HP, 230V. Cabinas Ojos Azules
79	Potrero	343252	270594		Perforado	6"			No se puede medir nivel, no entra la sonda. Para uso habitacional. Registrado. Armado PVC. 1,5" succión. Bomba sumergible. MTP-29?? Abastece Forestales La Marcela S.A. Casita verde, puerta roja, camino a tanque de ASADA Potrero. Después del río. Abate 40 cm. Tiene medidor
80	Brasilito	339529	265697	Ángela Dinarte	Excavado	100		6 (Rep)	No se seca nunca. En invierno se llena dejando 1m hasta la superficie. 2 ó 3m de agua cuando

									está más bajo. Uso doméstico, no para tomar. Bomba centrífuga. Al lado de la ASADA
81	Potrero	342398	271524	Adrián	Excavado		0,1		En desuso. No tiene bomba. Revestido de concreto. Frente a cruce en Potrero. Muro azul de Hotel Villas. Al lado de pozo perforado
82	Potrero	343076	270075	Bobby Juan Carlos Munguía (Mantenimiento)	Perforado		0,5	22 m (Rep)	Asada Surfside Potrero (2), Bomba de 5 HP, 230V

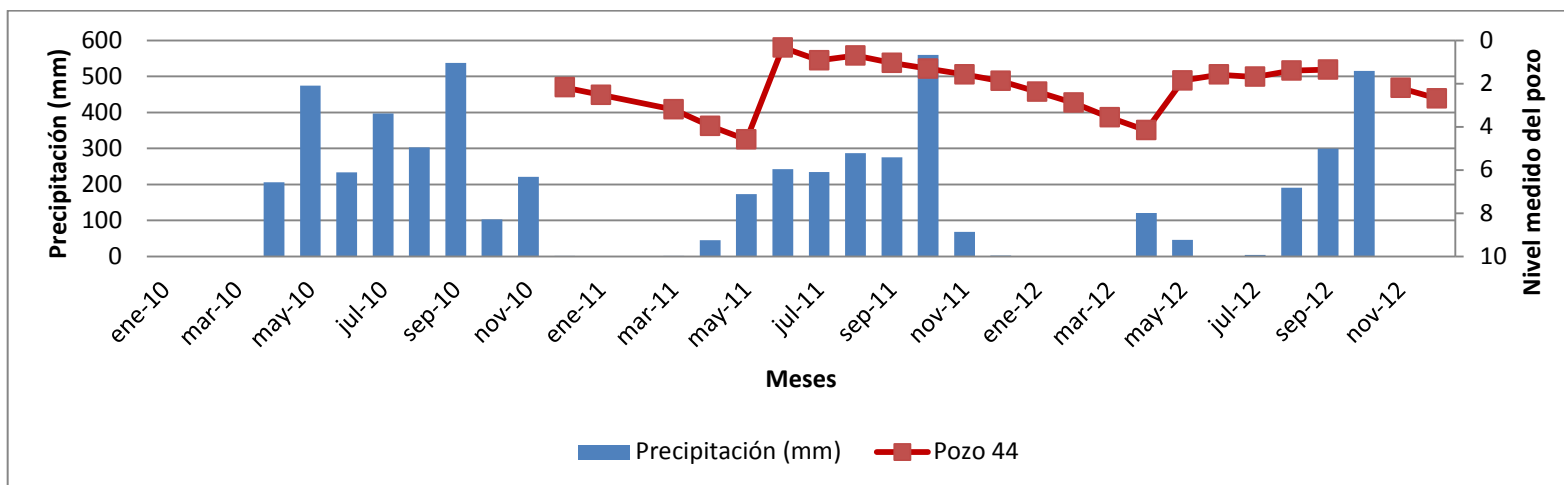
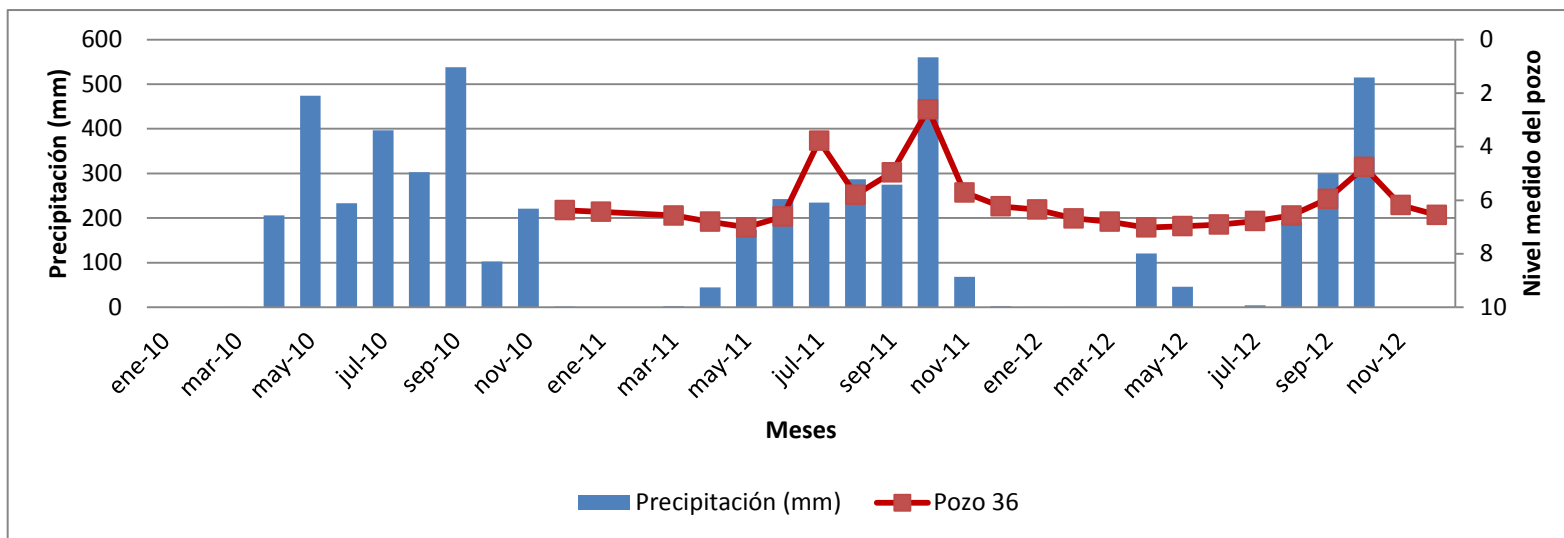
**Anexo 7: Análisis de variaciones de niveles en pozos con respecto a la precipitación**

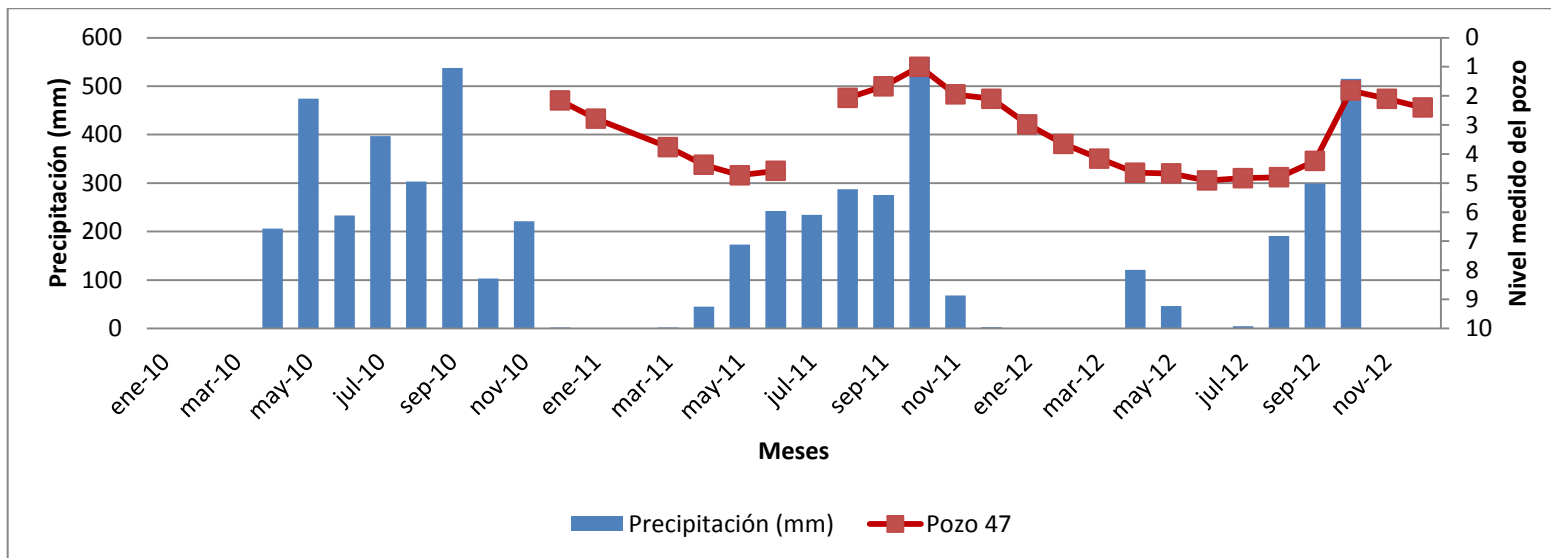
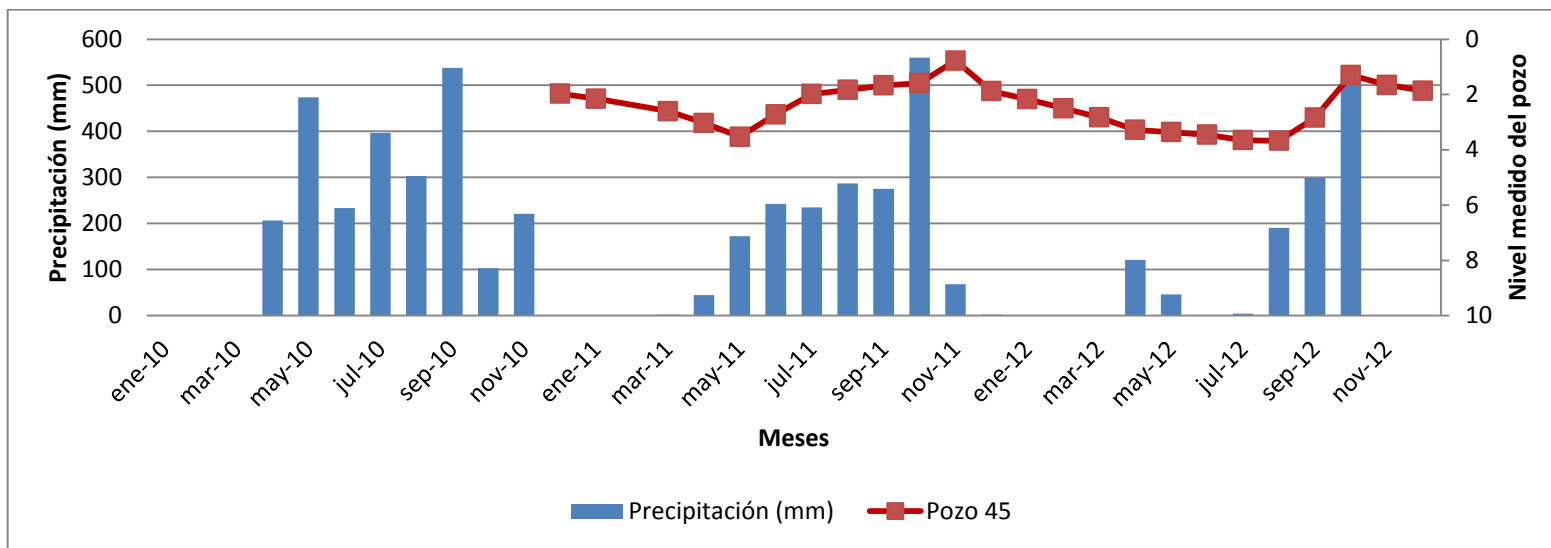
Pozos en Playa Potrero



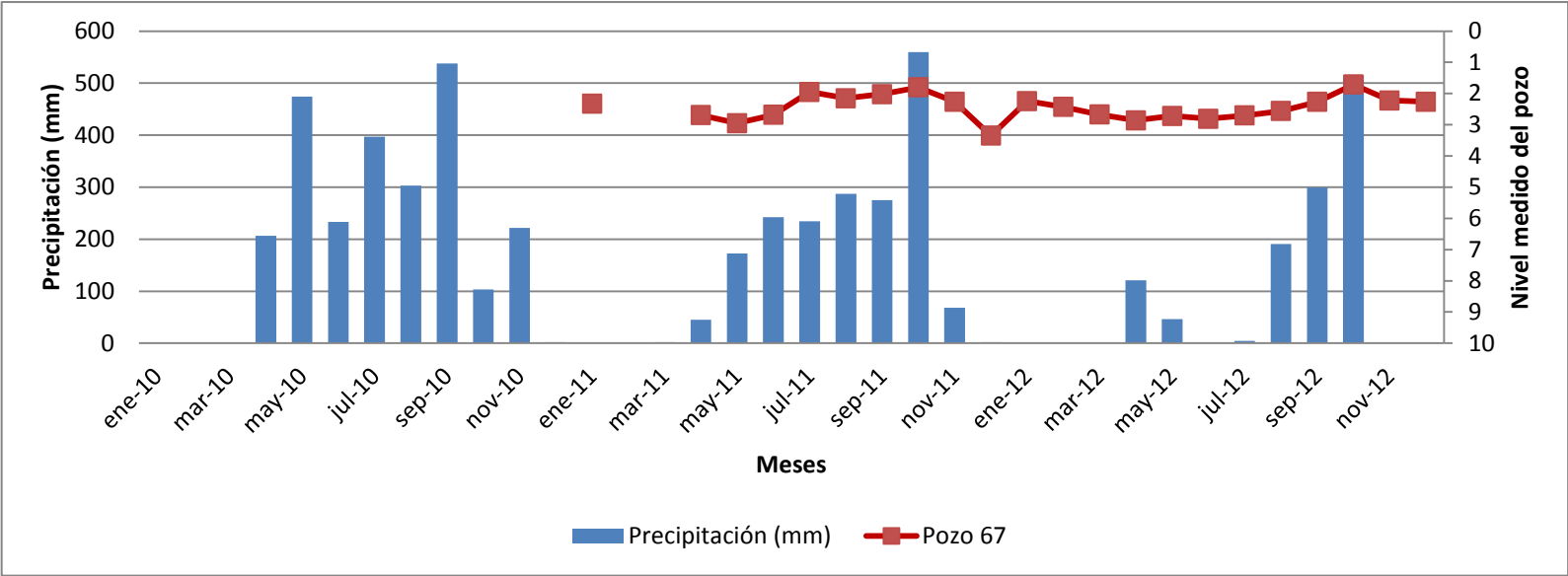


Pozos en Playa Brasilito









**Anexo 8: Estimación de extracción en Playa Potrero y Playa Brasilito.**

Uso por pozo	Caudales (m <sup>3</sup> /año) según Manual de Dotaciones		Caudales (m <sup>3</sup> /año) según datos de uso SENARA	
	Potrero	Brasilito	Potrero	Brasilito
Acueducto	1132142,4	1738895,04	1132142,4	1600136,64
Agropecuario	1813,32	788,4	1813,32	788,4
Doméstico	201199,68	145380,96	535796,64	288764,64
Industrial	47304	402084	47304	402084
Riego	190874,88	190270,08	132209,28	197890,56
Turismo	2604873,6	2173461,12	2564192,16	4018632,48
<b>Total</b>	<b>4178207,88</b>	<b>4650879,6</b>	<b>4413457,8</b>	<b>6508296,72</b>

Uso por pozo	Caudales (L/s) según Manual de Dotaciones		Caudales (L/s) según datos de uso SENARA	
	Potrero	Brasilito	Potrero	Brasilito
Acueducto	35,900	55,140	35,900	50,740
Agropecuario	0,058	0,025	0,058	0,025
Doméstico	6,380	4,610	16,990	9,157
Industrial	1,500	12,750	1,500	12,750
Riego	6,053	6,033	4,192	6,275
Turismo	82,600	68,920	81,310	127,430
<b>Total</b>	<b>132,490</b>	<b>147,478</b>	<b>139,950</b>	<b>206,377</b>

**Anexo 9: Análisis químicos en Playa Potrero y Playa Brasilito**

<b>No. Muestra</b>	<b>A1: Pozo 68</b>	<b>A2: Pozo 59</b>	<b>A3: Pozo 41</b>	<b>A4: Pozo 66</b>	<b>A5: Pozo 36</b>	<b>A6: Pozo 29</b>	<b>A7: Pozo 76</b>	<b>A8: Pozo 77</b>	<b>Valores recomendados</b>	<b>Valores máximos admisibles</b>
<b>Na+ (mg/L)</b>	10,9	14,3	18,2	16	10,4	9,3	10,5	8,9	25	200
<b>K+ (mg/L)</b>	0,8	0,8	0,8	1,4	0,8	0,8	0,8	0,8	-	10
<b>Ca++ (mg/L)</b>	35,2	41,3	87,3	59,8	38,1	24,6	53,6	45	100	-
<b>Mg++ (mg/L)</b>	14,7	15,2	50,2	29,4	19,3	19,0	23,2	19,0		
<b>Cl- (mg/L)</b>	4,36	7,74	11,42	45,65	2,8	4,23	6,58	3,71	25	250
<b>SO4= (mg/L)</b>	7,28	8,66	147,85	20,88	4,96	2,96	5,79	4,81	25	250
<b>NO3- (mg/L)</b>	1,1	3,34	9,98	7	2,5	2,39	0,81	1,74	25	50

<b>No. Muestra</b>	<b>A9: Pozo 21</b>	<b>A10: Pozo 6</b>	<b>A11: Pozo 30</b>	<b>A12: Pozo 57</b>	<b>A13: Pozo 7</b>	<b>A14: Pozo 27</b>	<b>A15: Pozo 28</b>	<b>Valores recomendados</b>	<b>Valores máximos admisibles</b>
<b>Na+ (mg/L)</b>	12,3	9,3	8	8,7	8,3	15,4	26,7	25	200
<b>K+ (mg/L)</b>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,9	2,4	-	10
<b>Ca++ (mg/L)</b>	65,8	48,4	36,7	50,6	43,5	43,4	37	100	-
<b>Mg++ (mg/L)</b>	27,0	20,6	17,3	22,3	21,5	20,9	18,9		
<b>Cl- (mg/L)</b>	4,86	3,5	2,05	3,47	2,83	3,83	2,84	25	250
<b>SO4= (mg/L)</b>	8,33	4,06	2,7	4,47	4,4	13,58	3,87	25	250
<b>NO3- (mg/L)</b>	7,58	3,16	0,81	1,14	0,81	2,95	0,81	25	50