

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MODELO NUMÉRICO DEL ACUÍFERO ALUVIAL EN LA CUENCA DEL RÍO UVITA: UNA
HERRAMIENTA PARA ESTUDIAR LA DINÁMICA DEL FLUJO DEL AGUA
SUBTERRÁNEA, CANTÓN OSA, PROVINCIA PUNTARENAS, COSTA RICA.

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios en Posgrado
de Geología, para optar al grado y título de Maestría Académica en Hidrogeología y
Manejo de Recursos Hídricos

JONATHAN JESÚS CHINCHILLA CORTÉS

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2022

DEDICATORIA

A mis padres, Lidieth Cortés Valerio y Jorge Arturo Chinchilla Mora, quienes en forma incondicional me han apoyado durante toda mi vida y con su ejemplo me han enseñado a valorar cada momento y lugar. Los amo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por todas las bendiciones que me ha concedido a lo largo de la vida.

Al Dr. Marco Barahona Palomo, M.Sc. Roberto Ramírez Chavarría y M.Sc. Marta Chaves Quirós, mi comité evaluador, cuyo apoyo, guía, paciencia y conocimientos fueron fundamentales para la culminación de este trabajo de tesis.

Al Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) por sus invaluable aportes económicos, logísticos, técnicos y de equipo de campo, sin los cuales no hubiera sido posible la caracterización del área de estudio y el cumplimiento de los objetivos propuestos.

A mi compañera María Magdalena Monge Cordero por su constante apoyo, aportes profesionales, colaboración en las labores de campo y ayuda en todo el proceso de la maestría. A mi jefe, Alonso Alfaro Martínez, quien desinteresadamente compartió sus conocimientos en modelación numérica, fue un importante apoyo durante el trabajo de campo y cuyas discusiones profesionales ayudaron a enriquecer el producto obtenido.

A todos mis compañeros de la Dirección de Investigación y Gestión Hídrica del SENARA, en especial a Pedro Bermúdez Marín, Marita Alvarado Velas, Michelle Arias Fernández, Katherine Briones Cambrónero y Javier Oviedo González, por su valiosísima colaboración en los trabajos de campo.

A los profesores de la maestría, y en especial a la M.Sc. Ingrid Vargas Azofeifa y M.Sc. Melissa Mora Umaña, por sus observaciones, consejos y paciencia durante los cursos y elaboración del anteproyecto de tesis.

Finalmente, a mis compañeros de maestría Paola Alvarado Piedra y José Daniel Vargas Bolaños, por su inmensa ayuda en el manejo de los programas de cómputo utilizados.

“Esta tesis fue aceptada por la Comisión de Estudios de Posgrado en Geología de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado y título de Maestría Académica en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos”



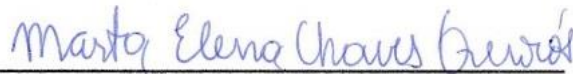
Dr. Mauricio Mora Fernández
**Representante de la Decana
Sistema de Estudios de Posgrado**



Dr. Marco Barahona Palomo
Director de Tesis



M.Sc. Roberto Ramírez Chavarría
Asesor



M.Sc. Marta Chaves Quirós
Asesora



Dra. Viviana Gamboa Sojo
**Representante del Director del
Programa del Posgrado en Geología**



Jonathan Jesús Chinchilla Cortés
Sustentante

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
HOJA DE APROBACIÓN.....	iv
RESUMEN	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Tema.....	1
1.2. Ubicación geográfica.....	1
1.3. Justificación	1
1.4. Hipótesis	3
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. Objetivo general.....	3
1.5.2. Objetivos específicos	3
1.6. Alcances	4
2. ANTECEDENTES	6
2.1. Geología	6
2.2. Hidrogeología.....	8
3. MARCO TEÓRICO.....	12
3.1. Modelo hidrogeológico conceptual	12
3.2. Recarga potencial y disponibilidad	13
3.3. Modelación matemática numérica.....	15
4. METODOLOGÍA	22
4.1. Tipo de estudio y enfoque	22
4.2. Técnicas de recolección y análisis de datos.....	22
4.2.1. Modelo geológico e hidrogeológico conceptual	22

4.2.2.	Recarga potencial a los acuíferos y disponibilidad hídrica.....	26
4.2.3.	Modelación numérica	27
4.3.	Variables y categorías.....	32
4.3.1.	Categoría: tipo de roca.....	32
4.3.2.	Categoría: tipo de fallas	32
4.3.3.	Categoría: tipo de acuífero	33
4.3.4.	Variable: recarga potencial.....	34
4.3.5.	Variable: dinámica del flujo del agua subterránea	35
5.	Desarrollo del Tema	36
5.1.	GEOLOGÍA	36
5.1.1.	Formaciones Geológicas Regionales	36
5.1.2.	Geología Tectónica regional	45
5.1.3.	Geomorfología regional.....	51
5.1.4.	Geomorfología local	54
5.1.5.	Geología local	58
5.2.	HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	89
5.2.1.	Cuencas hidrográficas de la zona de estudio	89
5.2.2.	Clima, estaciones meteorológicas.....	90
5.2.3.	Evapotranspiración	95
5.2.4.	Aforos en los cauces principales	98
5.3.	MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL	102
5.3.1.	Parámetros hidrogeológicos de las unidades acuíferas	103
5.4.	ESTIMACIÓN DE LA RECARGA POTENCIAL (BALANCE HÍDRICO DE SUELOS – HIDROGRAMA DE POZOS).....	115
5.4.1.	Balance hídrico de suelos	115
5.4.2.	Hidrograma de pozos.....	133
5.4.3.	Comparación entre metodologías utilizadas.....	134

5.4.4.	Rendimiento sostenible (caudal utilizable)	135
5.5.	MODELACIÓN NUMÉRICA MATEMÁTICA – ACUÍFERO ALUVIAL	139
5.5.1.	Dominio del modelo y discretización horizontal	139
5.5.2.	Superficies y capas del modelo.....	142
5.5.3.	Propiedades hidráulicas de las capas	145
5.5.4.	Condiciones de frontera	146
5.5.5.	Tiempo de modelación.....	150
5.5.6.	Escenario actual (datos climáticos al 2017).....	151
5.5.7.	Escenarios de cambio climático (2030 y 2050)	164
5.5.8.	Delimitación de zonas de protección para los pozos de la ASADA Uvita ..	181
6.	DISCUSIÓN	188
7.	Conclusiones.....	191
8.	Recomendaciones	199
9.	REFERENCIAS.....	201
10.	Anexos	210

RESUMEN

En la cuenca del río Uvita, localizada al sur del país en el cantón de Osa, vertiente pacífica, afloran en la Fila Costeña rocas sedimentarias asociadas con la Fm. Térraba, rocas ígneas intrusivas de la Fm. Puerto Nuevo, y hacia los sectores planos se ubican sedimentos aluviales recientes acarreados por el río Uvita y otros cauces menores. Los buzamientos en la zona son predominantemente hacia el noreste, lo cual coincide con la tectónica compresiva regional generada a partir de la colisión de la cordillera submarina del Coco.

En las rocas sedimentarias asociadas con la Fm. Térraba y los sedimentos aluviales recientes se desarrollan los principales acuíferos del área de estudio. En este sistema acuífero parte del agua de precipitación se infiltra en el terreno y se incorpora al flujo subterráneo como recarga. La tendencia general del flujo subterráneo, tanto en las rocas sedimentarias como en los depósitos aluviales es hacia el SW, en donde va a descargar directamente al mar o previamente en algunos cursos superficiales.

La recarga potencial anual en la cuenca es de 2107.81 l/s, que corresponde con el 25.05% de la precipitación total anual (8411.82 l/s). El 83.79% (1766.29 l/s) se recarga en el acuífero de rocas sedimentarias fracturadas, mientras que el restante 16.21% (341.52 l/s) se recarga en el acuífero granular de sedimentos aluviales recientes.

Para el acuífero granular en sedimentos aluviales recientes se ha logrado correr un modelo numérico en estado estacionario que simula el flujo subterráneo según los parámetros climáticos actuales y las condiciones de frontera definidas a partir del modelo hidrogeológico previamente definido para el área. La correlación entre cargas medidas en campo y modeladas por el programa presenta un coeficiente de correlación de 0.98 y un valor de RMS normalizado es de 4.96%, lo cual se considera un buen ajuste para el modelo tomando en consideración la heterogeneidad del medio, la incertidumbre de los datos y la falta de más pozos de monitoreo que ayuden en la calibración de algunos sectores del dominio.

A partir del modelo numérico bajo condiciones actuales, fue posible delimitar las zonas de captura y protección para los pozos de abastecimiento público con que actualmente cuenta la ASADA de Bahía y Uvita en el acuífero aluvial. Lo anterior, como un aporte enfocado en la planificación del territorio y la protección del recurso hídrico que es distribuido a la población.

Finalmente, a partir de escenarios de cambio climático a corto y mediano plazo para los años 2030 y 2050 respectivamente, se han modelado los posibles efectos sobre la dinámica del flujo subterránea en el acuífero granular de sedimentos aluviales recientes. Se ha determinado que la magnitud de los efectos tanto a corto como a mediano plazo es leve en cuanto a dirección de flujo, gradiente hidráulica, disponibilidad de caudal e incluso abatimientos, que en el caso más crítico analizado alcanzan los 25 mm como máximo. Se considera que esta leve afectación se relaciona con la presencia en la zona de un acuífero libre con buenos valores de conductividad hidráulica, poca extracción de recurso hídrico, que la afectación de la recarga es de apenas un 1.16 a 2.69% como máximo, y también, a que no fueron incorporados dentro de los escenarios otros aspectos críticos como el incremento en las coberturas del terreno, posibles ascensos del nivel del mar o aumento en la explotación en pozos.

Ante los resultados obtenidos en los escenarios de modelación, no se prevé que el aspecto de la cantidad de recurso hídrico en el acuífero aluvial sea el tema de mayor preocupación a corto o mediano plazo debido al cambio climático, de tal manera, que sería conveniente para el futuro que los ejes de investigación y protección en la zona se diversifiquen hacia otros aspectos como el monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas y superficiales, el manejo de vertidos, prácticas agrícolas amigables o la planificación en el uso del suelo y su cobertura.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de entrada y salida en modelos numéricos.....	19
Tabla 2 Metas, actividades, tareas e indicadores relacionados	30
Tabla 3 Pozos existentes en la base de datos del SENARA	59
Tabla 4 Resumen de la información obtenida en los piezómetros exploratorios.....	61
Tabla 5 Clasificaciones de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	63
Tabla 6 Sondeos eléctricos verticales – Licitación 2013-LN-000008-OC.....	64
Tabla 7 Direcciones de buzamiento tomadas en campo para la Fm. Térraba	81
Tabla 8 Levantamiento de diaclasas – cuenca del río Uvita	83
Tabla 9 Levantamiento de fallas – cuenca del río Uvita.....	87
Tabla 10 Información climatológica – Estación Hacienda Barú	93
Tabla 11 Información climatológica – Estación Tinamaste	93
Tabla 12 Evapotranspiración potencial estimada para las estaciones Hacienda Barú y Tinamaste	95
Tabla 13 Aforos realizados en el cauce del río Uvita y otros cauces tributarios.....	99
Tabla 14 Manantiales de la base de datos del SENARA – Acuífero en rocas sedimentarias fracturadas	103
Tabla 15 Información climática mensual utilizada en el balance hídrico y tomada de la Estación Hacienda Barú.....	117
Tabla 16 Valores de factor K_p , fracción que infiltra en función de la pendiente.	119
Tabla 17 Valores de factor K_v , fracción que infiltra en función de la vegetación.....	122
Tabla 18 Muestras de suelo, capacidad de campo (CC), punto de marchitez (PM) y densidad aparente (DA).....	124
Tabla 19 Profundidad de raíces según Schosinsky (2006)	126
Tabla 20 Velocidad de infiltración (f_c) y coeficiente de infiltración por textura de suelo (K_{fc})	128
Tabla 21 Recarga potencial para los acuíferos en la cuenca del río Uvita.....	130
Tabla 22 Clases de recarga potencial en función del rango.	131
Tabla 23 Estimación de la recarga – hidrograma de pozos.	134
Tabla 24 Comparación de recarga entre las metodologías de balance hídrico de suelos e hidrograma de pozos.....	134

Tabla 25 Caudales de extracción según el tipo de uso.....	136
Tabla 26 Caudales de extracción en la cuenca del río Uvita según distintas fuentes de información	137
Tabla 27 Conductividad hidráulica utilizada en la capa de materiales aluviales a modelar	145
Tabla 28 Pozos de extracción en el sector activo del acuífero aluvial	149
Tabla 29 Valores de carga hidráulica medida en campo (mayo 2020) y carga hidráulica determinada en la modelación numérica	160
Tabla 30 Resumen del balance de masas de agua subterránea – escenario actual.....	163
Tabla 31 Variaciones proyectadas en la temperatura media y precipitación mensual para los años 2030 y 2050 en la estación Hacienda Barú.	166
Tabla 32 Variaciones proyectadas en la evapotranspiración potencial (ETP) para los años 2030 y 2050 con respecto al escenario actual (Hacienda Barú 2017)	168
Tabla 33 Variaciones en la recarga potencial para 5 celdas representativas del algebra de mapas según cambios en precipitación o ETP.....	169
Tabla 34 Resumen de los principales parámetros obtenidos en los distintos escenarios modelados para el acuífero aluvial del río Uvita	180
Tabla 35 Pozos de abastecimiento público de la ASADA de Uvita - Bahía.....	182
Tabla 36 Dimensiones de la zona de protección combinada que se delimita para ambos pozos	186

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación del área de estudio	5
Figura 2 Fases en la exploración geológica	13
Figura 3 Diagrama del análisis de recarga potencial	15
Figura 4 Malla típica de un modelo de diferencias finitas	18
Figura 5 Malla típica de un modelo de elementos finitos	19
Figura 6 Pasos para el desarrollo de modelos numéricos	21
Figura 7 Columna estratigráfica regional	43
Figura 8 Mapa geológico regional	44
Figura 9 Marco tectónico de Costa Rica	46
Figura 10 Contexto morfotectónico de la zona de estudio	47
Figura 11 Ubicación de la falla longitudinal de Costa Rica	49
Figura 12 Mapa geomorfológico regional	53
Figura 13 Mapa de pendientes de la cuenca del río Uvita	55
Figura 14 Mapa geomorfológico local.....	58
Figura 15 Mapa de ubicación de pozos existentes en la base de datos del SENARA y piezómetros exploratorios	60
Figura 16 Mapa de ubicación de muestras de suelo y sondeos eléctricos verticales.....	62
Figura 17 Mapa de afloramientos	65
Figura 18 Meteorización típica en areniscas de la Fm. Térraba.....	67
Figura 19 Estratificación de lutitas y areniscas en el sector de la cola de la ballena.....	68
Figura 20 Fallamiento de tipo normal en rocas de la Fm. Térraba.....	69
Figura 21 Alteración de plagioclasas en rocas de la Fm. Puerto Nuevo	71
Figura 22 Depósitos aluviales gruesos en el río Uvita	73
Figura 23 Cobertura de suelos sobre depósitos aluviales.....	74
Figura 24 Depósito coluvial de bloques de gabros asociados a la Fm. Puerto Nuevo	75
Figura 25 Mapa geológico local.....	76
Figura 26 Perfil geológico A - A´	77
Figura 27 Perfiles geológicos B - B´ y C - C´	78
Figura 28 Perfil geológico D - D´	79
Figura 29 Diagrama de rosa para las diaclasas levantadas en el área de estudio.....	84
Figura 30 Buzamientos y fallas identificadas en el campo en la Fm. Térraba.....	85
Figura 31 Modelo de deformación para un sistema dextral	86

Figura 32 Zona de falla tipo normal en lutitas de la Fm. Térraba.....	87
Figura 33 Subregiones climáticas de Costa Rica	91
Figura 34 Hidrograma de precipitaciones para las estaciones Tinamaste y Hacienda Barú	94
Figura 35 Comparación entre la evapotranspiración potencial de la estación Hacienda Barú y la estación Tinamaste.....	96
Figura 36 Comparación entre la evapotranspiración potencial, precipitación y temperatura media de la estación Hacienda Barú	98
Figura 37 Mapa de ubicación de aforos en el río Uvita y comportamiento del cauce efluencia - influencia.....	100
Figura 38 Mapa de equipotenciales del nivel de agua subterránea más somero para un sector del acuífero en rocas sedimentarias fracturadas.....	105
Figura 39 Perfil hidrogeológico A - A'	106
Figura 40 Perfiles hidrogeológicos B - B' y C - C'.....	107
Figura 41 Mapa de equipotenciales del nivel de agua subterránea para un sector del acuífero granular en sedimentos aluviales recientes	112
Figura 42 Perfiles hidrogeológicos D - D' y E - E'	113
Figura 43 Mapa de coeficiente de retención de lluvia	118
Figura 44 Mapa de porcentaje de pendientes según Schosinsky (2006).....	120
Figura 45 Mapa de fracción que infiltra en el terreno por efecto de la pendiente (factor Kp)	121
Figura 46 Mapa de uso de suelo y fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal (factor Kv)	123
Figura 47 Mapa de ubicación de muestras de suelo para determinación de CC, PM y DA	125
Figura 48 Mapa de profundidad de raíces.....	127
Figura 49 Mapa de ubicación de pruebas de infiltración por el método doble anillo	129
Figura 50 Mapa de clases de recarga potencial para la cuenca del río Uvita	132
Figura 51 Mapa del dominio del modelo y celdas activas en el acuífero granular de sedimentos aluviales recientes.....	141
Figura 52 Detalle de las celdas en el dominio del modelo	142
Figura 53 Superficies generadas como parte de la modelación numérica	143
Figura 54 Vista superior e inferior de la capa que conforma el acuífero aluvial a modelar	144

Figura 55 Sección transversal a lo largo de la fila 100 en que se observa el espesor de la única capa del modelo	144
Figura 56 Sección transversal a lo largo de la columna 220 en la que se muestra la carga constante de 0 metros.....	147
Figura 57 Condiciones de frontera en el modelo numérico.....	150
Figura 58 Tabla de agua y equipotenciales generadas en el modelo numérico.....	151
Figura 59 Equipotenciales del acuífero aluvial generadas en el modelo numérico	152
Figura 60 Líneas de perfil en el dominio activo del modelo numérico. Celdas secas, tabla de agua y equipotenciales.....	154
Figura 61 Perfiles A-A' y B-B' de la modelación numérica	156
Figura 62 Perfiles C - C' y D - D' de la modelación numérica	157
Figura 63 Perfil E - E' de la modelación numérica.....	158
Figura 64 Gráfico de correlación generado por el programa Visual Modflow Flex para las cargas observadas contra las modeladas	161
Figura 65 Gráfico de balance de masas para el escenario actual.....	163
Figura 66 Sobreposición de equipotenciales del escenario actual y las generadas para el 2030.....	171
Figura 67 Abatimientos registrados en pozos para los años 2030 y 2050	172
Figura 68 Mapa diferencial entre la superficie de agua actual y la proyectada al 2030...	173
Figura 69 Balance de masa generado para el 2030	175
Figura 70 Sobreposición de equipotenciales del escenario actual y las del 2030 y 2050	176
Figura 71 Diferencial entre la superficie de agua actual y la generada para el 2050	177
Figura 72 Balance de masas generado para el 2050	179
Figura 73 Salida del seguimiento de partículas en el programa Visual Modflow Flex para el pozo 1 de la ASADA de Bahía y Uvita.....	183
Figura 74 Zona de captura delimitada para los pozos 1 y 2 de la ASADA de Uvita y Bahía	184
Figura 75 Zona de protección para un tiempo de tránsito de 70 días delimitada para los pozos 1 y 2 de la ASADA de Uvita y Bahía	187

LISTA DE ABREVIATURAS

MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
UCR	Universidad de Costa Rica
CICG	Centro de Investigación en Ciencias Geológicas
CRTM05	Sistema de proyección cartográfica oficial de Costa Rica
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
ASADA	Asociación Administradora de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
SENARA	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento
SINIGIRH	Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico
Fm	Formación
SENAS	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas
IGS	<i>Institute for Groundwater Studies</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IGN	Instituto Geográfico Nacional
GPS	<i>Global Positioning System</i>
NE	Noreste
NW	Noroeste
SE	Sureste
SW	Suroeste
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
CC	Capacidad de campo
PM	Punto de marchites
Kp	Coeficiente de pendiente
Kv	Coeficiente por vegetación
Kfc	Coeficiente por infiltración
Fc	Factor de infiltración
SNIT	Sistema Nacional de Información Territorial
CNE	Comisión Nacional de Emergencias
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Jonathan Jesús Chinchilla Cortés, con cédula de identidad 1-0961-0048, en mi condición de autor del TFG titulado “Modelo numérico del acuífero aluvial en la cuenca del río Uvita: una herramienta para estudiar la dinámica del flujo del agua subterránea, cantón Osa, provincia Puntarenas, Costa Rica.”

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.



FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Tema

Valoración de la dinámica del flujo del agua subterránea en el acuífero aluvial de la cuenca del río Uvita, a través de la utilización de un modelo numérico.

1.2. Ubicación geográfica

La zona de estudio se ubica en el pacífico sur de Costa Rica, en la provincia de Puntarenas, cantón Osa, distrito Bahía Ballena, específicamente en la cuenca del río Uvita y tiene un área de 60.12 km². Se encuentra delimitada aproximadamente entre las coordenadas extremas 526228.6 – 538476.0 longitud este y 1009442.2 – 1019181.5 latitud norte (proyección CRTM-05), en las hojas cartográficas Dominical, Repunta y Coronado, escala 1:50 000, editadas por el Instituto Geográfico Nacional. (Figura 1)

Las comunidades más importantes dentro de la cuenca corresponden con los poblados de Uvita, San Josecito, Bahía y el sector de Colonia (Chamán).

1.3. Justificación

El sector sur de la costa pacífica de Costa Rica, ha venido experimentando desde años atrás un progresivo desarrollo en la infraestructura habitacional, no solamente por el crecimiento normal de la población autóctona, sino también por la llegada de gran cantidad de inversionistas extranjeros que vienen, ya sea a asentarse en el país o a desarrollar industria hotelera o complejos habitacionales para la venta.

Por otra parte, con la apertura de la ruta nacional No. 27, la afluencia turística hacia esta zona también se ha incrementado, y con ella la necesidad de contar con cantidades

suficientes de agua de buena calidad para el abastecimiento poblacional. Precisamente, esta situación fue la que motivó a la Dirección de Agua del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), a suscribir un contrato con la Universidad de Costa Rica (UCR), para que a través del Centro de Investigación en Ciencias Geológicas (CICG), se realizara en el año 2016, un estudio hidrogeológico como insumo para desarrollar una adecuada gestión de protección y aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo en el acuífero aluvial de Bahía Ballena.

Si bien es cierto, el crecimiento poblacional y la actividad turística no son tan intensos como el que se ha observado en otras zonas del país, progresivamente puede impactar en forma negativa el recurso hídrico, ya sea por el incremento en la extracción con fines de abastecimiento público, como por la ocurrencia de otros procesos tales como impermeabilización de zonas de recarga, reducción o cambios en la cobertura vegetal o contaminación generada a partir de cambios en el uso del suelo.

Por otra parte, varios escenarios climáticos desarrollados por Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2012) pronostican para la zona de Osa una disminución en las precipitaciones y un aumento de las temperaturas, lo cual podría incidir negativamente en las tasas de recarga hacia los acuíferos e incrementar la presión sobre los recursos hídricos.

Los escenarios descritos anteriormente, ponen en evidencia la relación que existe entre las condiciones hidrológicas superficiales, las actividades antrópicas y la dinámica del flujo del agua subterránea en los acuíferos. Sin embargo, aunque esta relación pueda parecer evidente, surge la siguiente interrogante como parte de esta investigación:

¿Cuál es la condición actual del acuífero aluvial en la cuenca del río Uvita, y cómo sería afectado por cambios en las condiciones climáticas?

A través de la elaboración de un modelo numérico, es posible definir la dinámica del flujo de las aguas subterráneas, y a partir de esta, generar posibles escenarios ante la ocurrencia de diversos eventos o cambios en las condiciones del sistema, de tal manera, que se pueda tener información referente a la respuesta del acuífero, la interacción entre las aguas subterráneas y superficiales o disponibilidad del recurso hídrico. De igual forma, se pueden delimitar técnicamente las zonas a partir de las cuales proviene el flujo de agua que alimenta a los pozos, y por consiguiente delimitar las áreas que se deben proteger para garantizar la calidad del recurso hídrico.

Al contar con esta información, instituciones tales como la Dirección de Agua del MINAE, la Asociación Administradora de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados (ASADA) de Uvita-Bahía, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), la Municipalidad de Osa o el mismo Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), puedan tomar decisiones técnicamente fundamentadas, de tal manera que puedan establecer los lineamientos necesarios para garantizar una adecuada gestión del recurso hídrico.

1.4. Hipótesis

La dirección de flujo, el gradiente hidráulico, la profundidad del agua subterránea y su relación con el agua superficial, serán los principales elementos de la dinámica del flujo del agua subterránea, que se verán afectados en el acuífero aluvial de la cuenca del río Uvita, en caso de ocurrir cambios en las condiciones climáticas.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Modelar numéricamente la dinámica del flujo en el acuífero aluvial de la cuenca del río Uvita, como instrumento para mejorar la gestión y protección del recurso hídrico.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Actualizar el modelo hidrogeológico conceptual existente para la cuenca del río Uvita, como insumo para el desarrollo del modelo numérico en el acuífero aluvial.
2. Estimar la recarga hacia los acuíferos por fluctuaciones de niveles y balance de humedad del suelo para evaluar la disponibilidad del recurso hídrico.

3. Aplicar diferentes escenarios de condiciones climáticas de la zona, para conocer posibles afectaciones en la dinámica del flujo del agua subterránea.
4. Establecer a través de la modelación numérica, las zonas de protección para los pozos de abastecimiento público de la ASADA de Uvita-Bahía, como herramienta para garantizar la calidad del recurso hídrico que se distribuye a la población.

1.6. Alcances

Mediante el trabajo de campo se logró mejorar el cartografiado geológico del área de estudio y actualizar tanto el modelo geológico como hidrogeológico existente para la cuenca del río Uvita.

Adicionalmente, se estimó la recarga potencial para toda la cuenca mediante las metodologías de balance hídrico de suelos y fluctuación de niveles en pozos y se corrió el modelo numérico en estado estacionario para el acuífero granular en sedimentos aluviales recientes. A partir del modelo numérico del escenario actual, fue posible escenificar variaciones en las condiciones climáticas y conocer los posibles efectos que se producirían sobre la dinámica del flujo subterráneo. Finalmente, como una herramienta para la gestión y protección de los pozos de abastecimiento público de la ASADA de Bahía y Uvita, mediante el modelo numérico fue posible delimitar sus zonas de captura y áreas de protección bacteriológica.

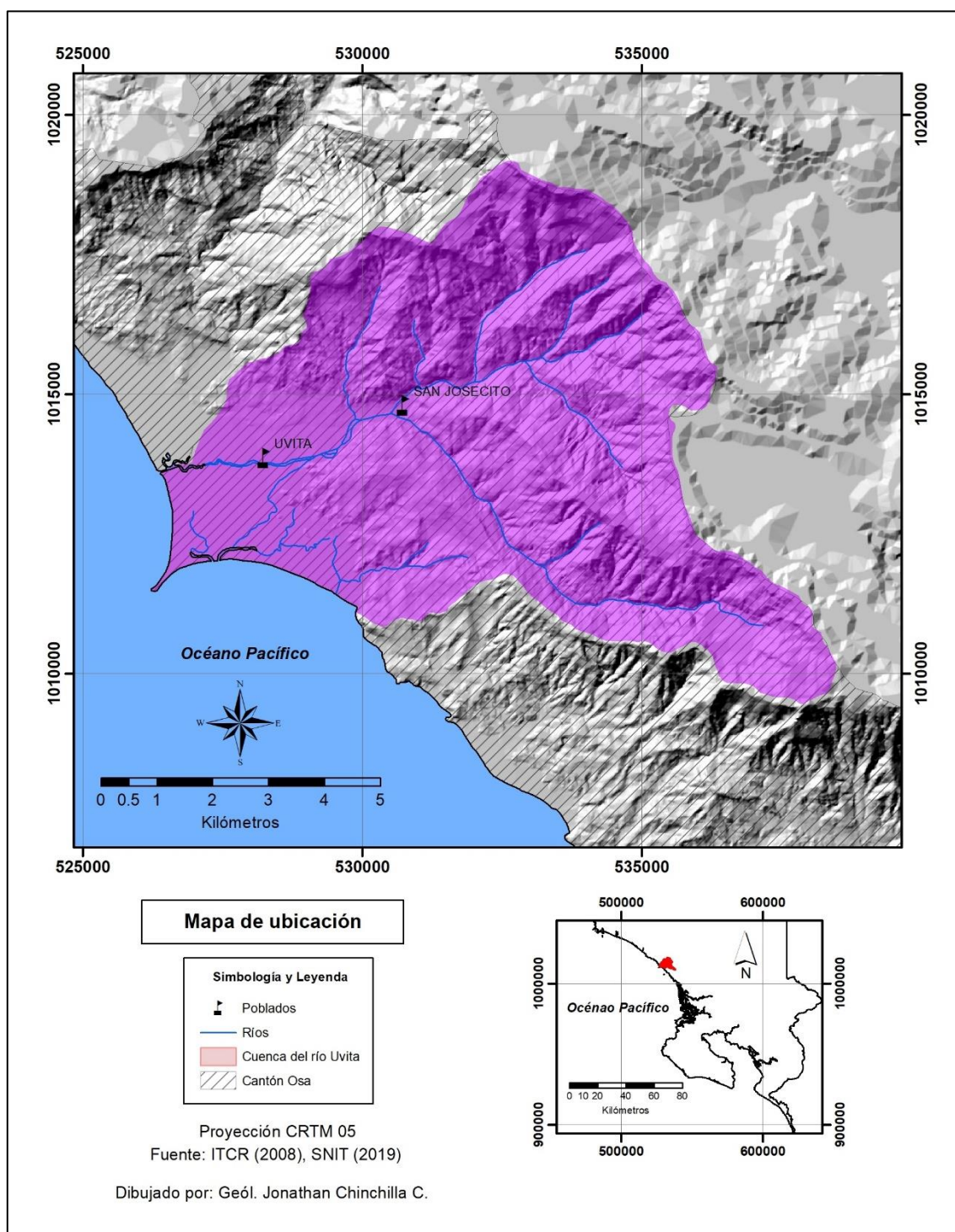


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Elaboración propia con base en ITCR (2008) y SNIT (2019).

2. ANTECEDENTES

2.1. Geología

La zona de estudio se ubica en el pacífico sur de Costa Rica, en la provincia de Puntarenas, cantón Osa, distrito Bahía Ballena, específicamente en la cuenca del río Uvita.

La mayoría de estudios geológicos que se han desarrollado en esta zona presentan un carácter de tipo regional, y en ese sentido, las primeras descripciones y definiciones sobre las rocas ígneas y sedimentarias que afloran a lo largo de la región central y sur del Pacífico de Costa Rica, fueron realizadas en los trabajos de campo llevados a cabo por Dengo (1953), Dengo (1962a) y Dengo (1962b).

Posteriormente, Henningsen (1965) realizó un amplio trabajo geológico sobre la estratigrafía y tectónica de la denominada Fila Costeña al sur del país. En este trabajo pionero describe con detalle las litologías sedimentarias e ígneas que ubica a lo largo de la Fila Costeña, realiza análisis petrográficos, paleontológicos e interpretaciones histórico-tectónicas basadas en gran parte en sus observaciones de campo. Si bien es cierto, este trabajo brinda una contribución muy importante en cuanto a la descripción de las litologías existentes al sur del país, dicho estudio tiene un carácter muy regional y además existen imprecisiones en la información generada, debidas a la inexistencia en esa época de una cartografía detallada para esa zona del país.

Saéñz et al. (1975) efectuaron una breve descripción sobre la morfología y origen de los tómbolos Catedral y Uvita. Este trabajo incluyó además una pequeña sección relacionada con la litología de los materiales pétreos que forman cada uno de los tómbolos y de los sedimentos presentes en las planicies costeras, de tal manera que presenta importancia como punto de partida al momento de desarrollar en este sitio un trabajo más detallado, principalmente desde el punto de vista geomorfológico.

Por su parte, Mora (1979) desarrolló una amplia investigación geológica en la región sureste del Valle del General que incluyó además la Fila Costeña. Este trabajo abarcó en forma muy detallada aspectos sobre la geomorfología y tectónica del área sur del país, así como

sobre la estratigrafía y petrografía de las rocas existentes en el Valle del General y La Fila Costeña. Se describe con gran detalle al basamento regional (Complejo de Nicoya), así como a las formaciones sedimentarias Brito, Térraba, Gatún, Paso Real y El General, como también las rocas ígneas del Grupo Talamanca y aquellas existentes en la Fila Costeña (Formación Gabros de Puerto Nuevo y Unidad Mano de Tigre de la Formación Paso Real). Este trabajo representa un insumo invaluable para el entendimiento de la geología existente en la cuenca del río Uvita, principalmente hacia los sectores montañosos que forman parte de la Fila Costeña, de tal manera que será un instrumento de consulta obligatoria durante la actualización del modelo geológico del área de estudio.

Tournon y Alvarado (1997) en su mapa geológico de Costa Rica escala 1: 500 000, cartografiaron en la Fila Costeña la presencia de sedimentos del Oligoceno – Mioceno asociados a la Fm. Térraba, así como intrusiones gabroicas y doleríticas en los sedimentos de esta misma formación en forma de diques o sills.

Linkimer y Aguilar (2000) desarrollaron a nivel nacional un trabajo sobre la estratigrafía sedimentaria del país, según este trabajo el área de estudio se ubica dentro de la cuenca sedimentaria Térraba, en la que se describen las formaciones Descartes, Térraba, Curré, Paso Real y Valle de El General. Este trabajo representa un aporte importante en cuanto al entendimiento de la estratigrafía presente en la zona y la nomenclatura actualmente utilizada para su designación.

Posteriormente, Denyer y Alvarado (2007) actualizan el cartografiado geológico de la Fila Costeña en su Mapa Geológico de Costa Rica, escala 1: 400 000. Cartografía lutitas y areniscas turbidíticas del Oligoceno y asociadas a la Fm. Térraba, con presencia de intrusiones gabroicas (toleitas) con diabasas y andesíticas asociadas a la Fm. Gabros de Puerto Nuevo.

Finalmente, el Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas (CICG, 2016) como parte de su Estudio Hidrogeológico del acuífero aluvial de Bahía Ballena, realizó un cartografiado geológico y estructural con más de 31 afloramientos levantados, 20 direcciones de buzamiento y 34 planos estructurales, que fue utilizado para la elaboración con más detalle del modelo geológico y estructural de la cuenca del río Uvita. Este trabajo representa una excelente base para desarrollar con mayor detalle la investigación hidrogeológica en la cuenca del río Uvita.

2.2. Hidrogeología

A nivel institucional, en la base de datos del SENARA se realizó una búsqueda de información hidrogeológica sobre pozos, manantiales, aforos en ríos y expedientes de proyectos localizados dentro de la cuenca del río Uvita. Se determinó, que en el SENARA no se cuenta con registros de aforos, pero si se lograron ubicar los registros de 11 pozos perforados, 5 nacientes y 3 expedientes de proyectos.

Los expedientes de proyectos, se relacionan con informes técnicos elaborados por Vargas (2013), Segura (2011) y García y Romero (2012) que, si bien corresponden a inspecciones o valoraciones de sitios en forma muy puntual, también aportan información valiosa para la construcción del modelo hidrogeológico de sitio.

Específicamente, en el área de la hidrogeología la zona sur del país no ha sido objeto de mucha investigación científica, a tal punto, que incluso Vargas (2000) cartografió la zona de Uvita como un sector sin información dentro de su trabajo sobre acuíferos en Costa Rica.

Es en el año 2016, cuando CICG (2016) elaboró y presentó ante la Dirección de Agua del MINAE su Estudio Hidrogeológico del Acuífero Aluvial de Bahía Ballena, enfocado en la evaluación de la disponibilidad de recurso hídrico y la vulnerabilidad de los acuíferos. Desde el punto de vista hidrogeológico, en este estudio se elaboró un modelo hidrogeológico conceptual del área con curvas equipotenciales para los distintos acuíferos, aforos en los cauces principales, determinación de la recarga potencial, análisis de disponibilidad y evaluación de la vulnerabilidad y riesgo.

Este estudio representa el insumo de partida más importante para el desarrollo de los objetivos planteados en este proyecto, sin embargo, tal y como el mismo estudio menciona, aún es necesario detallar algunos aspectos geológicos e hidrogeológicos, e incluso actualizar periódicamente cierta información, tal es el caso del uso del suelo que se utiliza para la estimación de la recarga potencial.

Si bien es cierto, el estudio hidrogeológico realizado por CICG (2016) es muy completo en términos de sus objetivos, este no abarcó el desarrollo de un modelo numérico para la valoración de los acuíferos, que permitiera entre otros aspectos estimar el flujo de las aguas subterráneas, posibles variaciones a partir de cambios en las condiciones de precipitación,

temperatura, uso del suelo, o la posible delimitación de zonas de protección para las fuentes de abastecimiento público.

A nivel nacional, el primer estudio relacionado con modelación matemática del que se tiene conocimiento corresponde con el “Estudio hidrogeológico para el desarrollo de los acuíferos Colima – Aplicación del modelo matemático IGS/SENAS Valle Central, Costa Rica”, desarrollado por el AyA, en coordinación con el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas (SENAS) y el Institute for Groundwater Studies (IGS) entre los años 1984 a 1988.

Por otra parte, Collins (1999) realiza una modelación en el acuífero volcánico de Liberia. En su trabajo “A groundwater resource evaluation of a volcanic aquifer system near the City of Liberia”, se aplicó el programa *modflow* de diferencias finitas para modelar y evaluar el potencial de los acuíferos Liberia y Bagaces, determinando que el mayor porcentaje de la recarga al acuífero Bagaces proviene del acuífero Liberia. Adicionalmente, a través de esta modelación se logró definir dos sitios adecuados para la perforación de pozos.

Vásquez (2005) utilizó el programa *Visual Modflow* de diferencias finitas para modelar el flujo en el acuífero La Bomba, ubicado en la provincia de Limón, evaluando el comportamiento acuífero a partir de variaciones en el bombeo de pozos del AyA. Evaluó además la relación existente entre el acuífero y el río Banano, así como los posibles efectos que generaría en el acuífero la extracción minera que se realiza en el cauce. Si bien es cierto, se concluyó que la extracción podría incluso generar aumentos en los niveles del acuífero, si se determinó que el mayor riesgo es en cuanto a calidad del agua, ya que un derrame en el río afectaría la calidad del acuífero (río influente).

Zúñiga (2006) realizó una caracterización hidrogeológica del acuífero Santa Cruz, en la provincia de Guanacaste, en la que también utiliza el programa *Visual Modflow 2.8.2* de diferencias finitas para definir el flujo subterráneo en el acuífero aluvial y evaluar el efecto del bombeo de pozos, así como la posible trayectoria de un contaminante. Concluyó que el bombeo de los pozos no afecta notoriamente el flujo en el acuífero. Adicionalmente realiza una valoración de dos posibles escenarios de aumento o disminución de la precipitación y como afecta la recarga al acuífero.

García (2013) utilizó el programa *Visual ModFlow Premium 2010* para desarrollar la “Modelación hidrogeológica del acuífero Nimboyores en Guanacaste”. En este trabajo se modeló inicialmente el flujo del acuífero en estado estacionario, y posteriormente se

realizaron modelaciones considerando condiciones críticas de sequía. Adicionalmente se realizaron modelaciones con pozos ya existentes y con dos campos de pozos propuestos, los cuales se llegó a determinar que no afectarían a pozos cercanos.

El estudio denominado “Modelo numérico del acuífero de la margen derecha del río Tempisque, desde Monte Galán hasta Filadelfia, Guanacaste”, desarrollado por Orozco (2014), utilizó también el programa de diferencias finitas *Modflow*. En esta investigación se modeló el flujo actual del acuífero en estado estacionario y posteriormente se modelaron condiciones cambiantes en cuanto al clima y la explotación de pozos. Se determinó que durante condiciones de años húmedos o promedio los niveles no variaban sustancialmente, pero en el caso de años secos (recarga de 150 mm/año) el nivel del acuífero cae en promedio 7 metros. Para el caso de la extracción de pozos, se modeló un incremento en la extracción del 50 y 100%, con lo cual se determinaron caídas en los niveles del acuífero que podrían incluso cambiar el comportamiento del río Tempisque de efluente a influente.

Alpízar (2014) aplicó el programa de diferencias finitas *Modflow* para modelar el comportamiento del acuífero del Valle Aluvial Superior del río Tempisque. En esta investigación se concluyó que el acuífero aluvial del río Tempisque no responde al modelo hidrogeológico aceptado, debido a que el espesor y extensión del acuífero aluvial producto de la actividad reciente del río es mucho menor al estimado y la columna que se tomaba como acuífero aluvial, está compuesta mayormente por diferentes facies de la formación Bagaces, de tal manera que los parámetros hidrogeológicos corresponden con el comportamiento promedio de la totalidad de la columna, y no se cuenta actualmente con estudios que determinen de forma separada los parámetros de cada unidad.

El Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA, 2016) realizó la modelación numérica de los acuíferos Barva, Colima Superior e Inferior en el Valle Central de Costa Rica. Para esta modelación se utilizó el programa *FeeFlow* de elementos finitos, lo cual es novedoso dado que normalmente se ha utilizado en el país el programa *Modflow* de diferencias finitas.

Relacionado con el proyecto hidroeléctrico Reventazón, ubicado en la provincia de Limón, Chaves (2016) evaluó a través de un modelo de diferencias finitas (*modflow*) los efectos generados en las aguas subterráneas a partir de la construcción de túneles del proyecto hidroeléctrico. Determinó los caudales de infiltración que se generarían durante el proceso

de excavación, así como los descensos del nivel freático máximos en las cercanías de los túneles. No se evidenciaron efectos adversos en la zona de margen izquierda, relacionados con la excavación de los túneles.

Más recientemente, Murillo (2017) realizó una modelación numérica del acuífero costero Palmar – Cortés utilizando el programa *modflow* de diferencias finitas. En este trabajo realiza la modelación para el acuífero costero aluvial, y posteriormente efectuó escenarios tomando en consideración la variación en temperatura, precipitación y nivel del mar para los años 2050 y 2100. Concluyó que la mayor afectación se observó en el escenario del 2100, ocasionada por un aumento de 1 m en el nivel del mar, que podría ocasionar inundaciones en la parte baja de la cuenca y un mayor ingreso de la cuña salina.

Estos trabajos han sido pioneros a nivel nacional en la aplicación de esta metodología, de tal manera que sirven como una guía para la aplicación del método en la cuenca del río Uvita y brindan además información importante en cuanto a los alcances y limitaciones reales para la ejecución de estos estudios en nuestro país.

Por otra parte, es importante mencionar que IMN (2012) realizó a nivel nacional una serie de pronósticos con escenarios de cambio climático regionalizados para distintos sectores del país. La información generada para el área de estudio con respecto a las posibles variaciones en la precipitación y temperatura, resulta de utilidad durante la aplicación del modelo numérico y la valoración de la dinámica del flujo del acuífero aluvial.

Siempre en la línea sobre posibles escenarios de cambio climático, el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2022) menciona que, para la región de América Central las proyecciones generadas en sus escenarios a corto (2021-2040), mediano (2041-2060) y largo (2081-2100) plazo, muestran una tendencia generalizada al decrecimiento en las precipitaciones y al incremento en las temperaturas. Incluso, para esta región proyectan incrementos de entre 2.5 a 3 °C en los escenarios más conservadores del período 2081 – 2100.

Adicionalmente, IPCC (2013) presentó una serie de proyecciones para la elevación media mundial del nivel del mar basadas en cuatro diferentes escenarios. Para el período 2046 – 2065 se estiman incrementos en la elevación media mundial entre 0.24 a 0.30 metros, mientras que, para el período 2081 -2100 las elevaciones medias van de 0.4 a 0.63 metros.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Modelo hidrogeológico conceptual

Se entiende por modelo conceptual hidrogeológico, a una simplificación esquemática de la naturaleza, en la que se intenta representar las condiciones hidrogeológicas reales en la cuenca y que hacen del modelo conceptual de funcionamiento del sistema, un modelo más acorde a la realidad (Grijalva, 2008).

El modelo hidrogeológico conceptual es útil para prever posibles impactos ambientales sobre el sistema por su aprovechamiento, y para gestionar adecuadamente los recursos hídricos. Resulta del análisis e integración de la información geológica, geomorfológica, geofísica, hidrológica, de la hidráulica de aguas subterráneas, hidrogeoquímica, y otras herramientas utilizables, y se materializa representándose por medio de perfiles hidrogeológicos, el mapa hidrogeológico, y otros mapas específicos, como mapas de isopotenciales (Instituto Colombiano de Geología y Minería [INGEOMINAS], 2004).

El conocimiento hidrogeológico adquirido a partir de exploraciones geológicas se representa a través del modelo hidrogeológico conceptual. Estas exploraciones geológicas presentan metodologías bien definidas con un orden lógico en su realización, ya que cada fase aporta información fundamental e indispensable para las posteriores (INGEOMINAS, 2004).

INGEOMINAS (2004), considera que las fases de exploración para construcción del modelo hidrogeológico conceptual pueden agruparse en los siguientes aspectos fundamentales: geología, geofísica, reconocimiento hidrogeológico, perforación exploratoria, evaluación hidrodinámica, evaluación hidrológica y en ciertos casos específicos caracterización hidrogeoquímica.

La figura 2 representa el desarrollo e interacción de las distintas fases exploratorias que llevan a la construcción del modelo hidrogeológico conceptual. Los aspectos para el desarrollo de cada una de estas fases exploratorias serán tratados más adelante en el apartado de metodología.

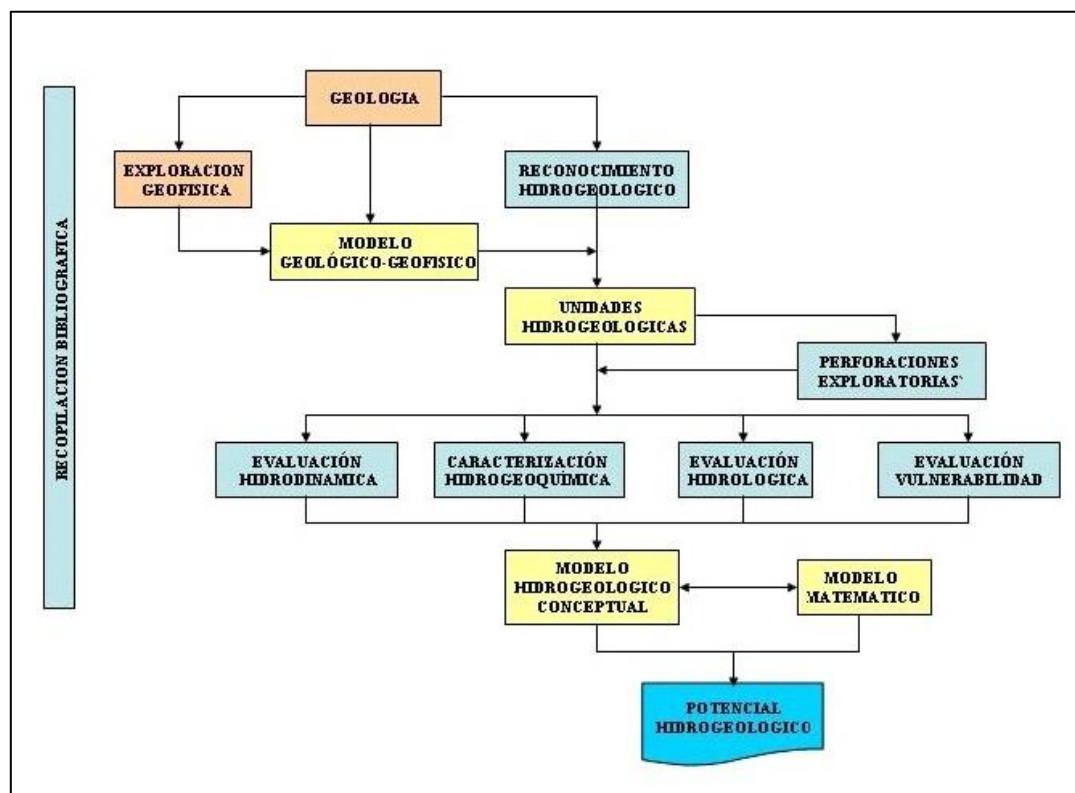


Figura 2. Fases en la exploración geológica que llevan a la construcción del modelo hidrogeológico conceptual. Tomado de INGEOMINAS (2004).

3.2. Recarga potencial y disponibilidad

La técnica que se utilizará para la determinación de la recarga potencial de agua a los acuíferos será la desarrollada por Schosinsky (2006).

Al agua que se infiltra en los suelos y que logra percolar hasta los acuíferos que se ubican bajo estos, una vez satisfechas las necesidades de evapotranspiración de las plantas y alcanzada la capacidad de campo de los suelos, se le denomina recarga potencial de los acuíferos (Schosinsky, 2006).

La recarga potencial a los acuíferos puede ser determinada mediante un balance hídrico de las masas de agua que circulan en la superficie, suelo y subsuelo, conociendo ciertos parámetros observables en el campo tales como la precipitación, temperatura,

características de los suelos, vegetación y pendientes existentes en la cuenca (Schosinsky, 2006).

A través de la figura 3, se ilustra claramente el proceso mediante el cual, los parámetros básicos obtenidos en el campo y laboratorio, se interrelacionan y procesan para dar origen a los distintos factores que finalmente se incorporan en la ecuación de balance para obtener la recarga potencial.

Así por ejemplo, a partir de las pruebas de infiltración, mapa de uso del suelo y modelo de elevación digital, se obtienen los factores f_c , k_p , k_v y k_{fc} , que en conjunto con los coeficientes de retención en el follaje y precipitación mensual, permiten la determinación del parámetro P_i (precipitación que infiltra) de la ecuación de balance.

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

Dónde:

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

Por otra parte, al conocer la recarga potencial de los acuíferos y a la vez las extracciones que se realizan en la cuenca mediante pozos o manantiales, es posible determinar mediante una sustracción, cual es la disponibilidad final de agua subterránea para el abastecimiento humano y sus diversas actividades productivas.

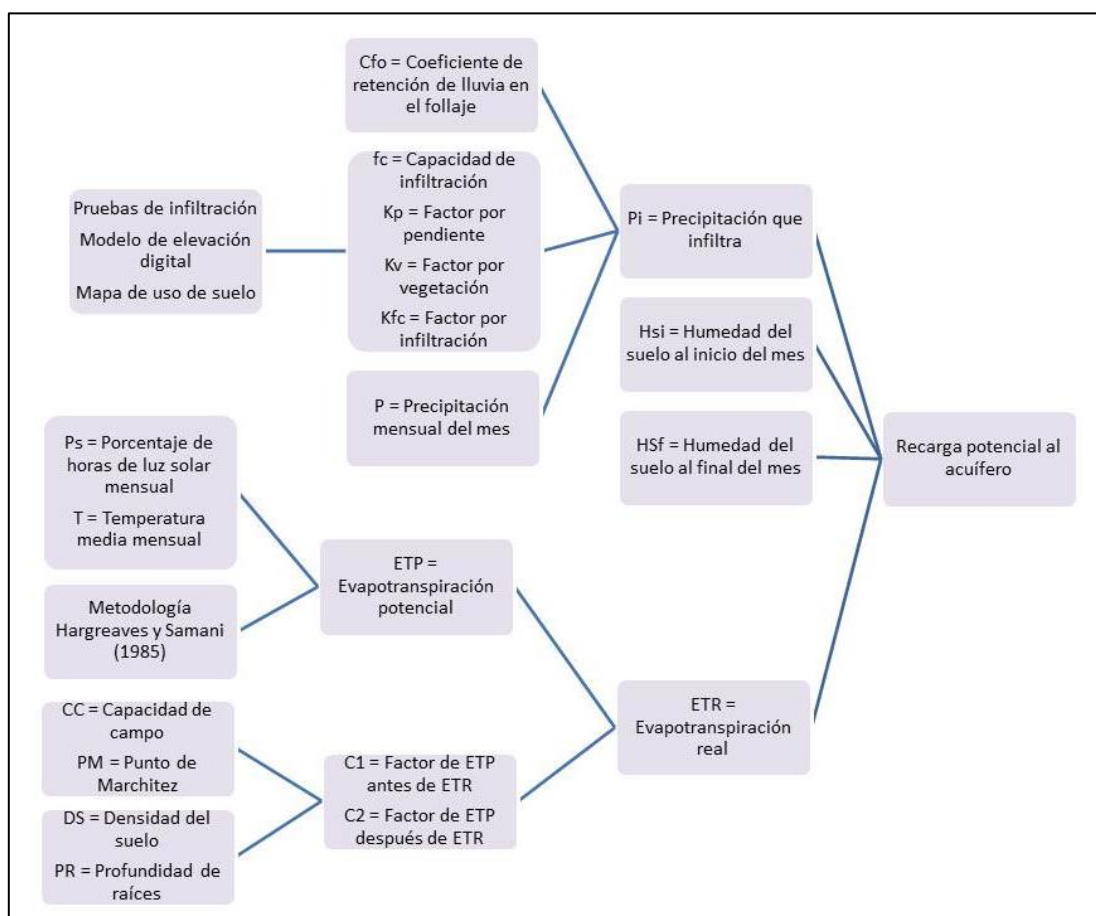


Figura 3. Diagrama que indica la relación entre los datos a utilizar y los datos resultantes en el análisis de recarga potencial. Tomado de Monge (2013).

3.3. Modelación matemática numérica

El modelo matemático es una representación numérica de las condiciones hidrogeológicas y permite mejorar el conocimiento de funcionamiento del acuífero y evaluar la potencialidad de las aguas subterráneas (recursos), sobre todo en los casos donde otros métodos de cálculo no pueden asegurar su evaluación cuantitativa fiable (INGEOMINAS, 2004).

Por su parte, Gárfias (2010) indica que la modelación matemática es una herramienta que ayuda a comprender los procesos naturales que se producen en un medio poroso y los efectos de la interferencia del ser humano sobre estos procesos.

Un modelo matemático simula el flujo subterráneo indirectamente por medio de ecuaciones lo gobiernan, de tal manera que representa los procesos físicos que ocurren en el sistema, junto con ecuaciones que describen las cargas o flujos a lo largo de las fronteras del modelo (Anderson & Woessner, 2002).

Anderson & Woessner (2002) mencionan que hay en general dos opiniones prevalentes sobre los modelos matemáticos:

- Una debilidad es que requieren de mucha información.
- Son esenciales en desarrollar análisis complejos y predicciones.

Al respecto, opinan que ciertamente los modelos requieren mucha información de campo para su correcta calibración, además que sus soluciones pueden no ser únicas y sus resultados estar influenciados por las incertidumbres. Sin embargo, los modelos numéricos proveen un buen marco para sintetizar la información de campo y probar ideas sobre el funcionamiento del sistema. Además, pueden alertar al modelador de fenómenos que no habían sido considerados previamente.

Quizá, los modelos numéricos de aguas subterráneas sean laboriosos y su desarrollo consume bastante tiempo, pero también es cierto que el uso de un modelo es la mejor manera para realizar análisis o predicciones sobre las consecuencias de una acción (Anderson & Woessner, 2002).

Como ventajas de los modelos numéricos Gárfias (2010) menciona:

- Integra todos los aspectos del sitio.
- Incluye todos los factores relevantes.
- Se gana mucho en conocimiento de los procesos.
- Evalúa los impactos futuros.
- Fácil simulación de alternativas de depuración.
- Rastreo de contaminantes.

Menciona también, que muchas veces los modelos son despreciados debido a que el alcance deseado es a veces más caro que el presupuesto existente, los modelos

frecuentemente exponen la ignorancia hidrogeológica existente y si se toman literalmente pueden brindar una falsa sensación de exceso de confianza.

Anderson & Woessner (2002) plantean la existencia de tres tipos de modelos numéricos en hidrogeología:

- Predictivos: usados para hacer estimaciones del comportamiento futuro. Requieren calibraciones.
- Interpretativos: se usan para estimar la dinámica del sistema y organizar datos de campo. No requieren calibraciones.
- Genéricos: analizan el flujo en situaciones hidrogeológicas hipotéticas.

Los modelos numéricos pueden tener carácter exploratorio y así, pueden acompañar la tarea de construcción de un modelo conceptual desde el momento en que se inicia la recolección de información, en el curso de su interpretación, y cada vez que se obtienen nuevos datos o se aplican nuevos análisis para la validación de un sistema hidrogeológico (Betancur y Palacio, 2009).

Sahuquillo (1983) indica que los sistemas se pueden definir matemáticamente en cada momento por una serie de parámetros y variables. Los parámetros describen los componentes geométricos, como forma, límites, etc., o sus componentes físicos como transmisividad, coeficiente de almacenamiento, etc. Las variables por su parte describen la situación del sistema en cada momento y pueden ser alturas piezométricas, velocidad, concentración química, etc.

Para simular el sistema se parte de sus componentes físicos, geométricos y de un estado inicial. Al sistema se le aplica una serie de acciones de las que se quiere conocer su reacción, y se obtienen como resultado las situaciones que alcanzaría el sistema en períodos sucesivos de tiempo (Sahuquillo, 1983).

Durante la ejecución de un modelo numérico de aguas subterráneas, se aplica en esencia la ecuación diferencial de continuidad que describe el movimiento del agua en un acuífero:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \cdot \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \cdot \frac{\partial h}{\partial t}$$

K = conductividad hidráulica

h = variación de la altura (carga hidráulica)

S = almacenamiento específico

El modelo matemático utiliza métodos numéricos para resolver la ecuación diferencial. Los métodos más utilizados para obtener la solución de la ecuación son el de diferencias finitas y el de elementos finitos. La solución es obtenida para una serie de puntos discretos en el espacio y en el tiempo. Las distintas metodologías se diferencian entre sí en la hipótesis de discretización del medio continuo. En general, se supone que el medio está dividido en una malla de elementos prismáticos de base rectangular o poligonal (Sahuquillo, 1983).

En un modelo de diferencias finitas la malla típica de discretización del medio es rectangular (figura 4) con las filas y columnas perpendiculares entre sí y la distancia en la dirección X siendo igual a la distancia en la dirección Y. Los modelos de elementos finitos (figura 5) en lugar de utilizar redes rectangulares de nudos, dividen el acuífero en polígonos, generalmente triángulos. En ellas los triángulos intersectan en nudos que representan los puntos en los cuales se conocen los valores de análisis.

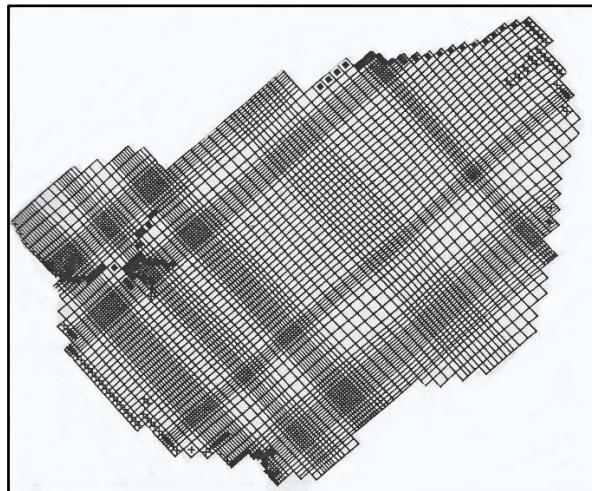


Figura 4. Malla típica de un modelo de diferencias finitas. Tomado de Anderson & Woessner (2002).

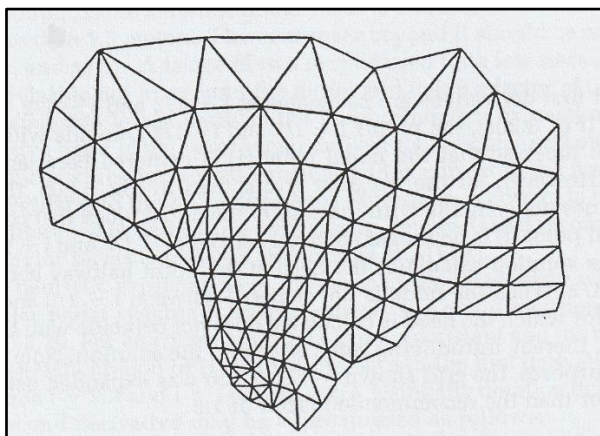


Figura 5. Malla típica de un modelo de elementos finitos. Tomado de Anderson & Woessner (2002).

Gárfias (2010) menciona como componentes generales de un modelo matemático:

- Ecuaciones gobernantes
- Condiciones de frontera
- Condiciones iniciales (transitorias)

También menciona los parámetros generales de entrada y salida en un modelo (Tabla 1):

Tabla 1

Parámetros de entrada y salida en modelos numéricos

Entradas	Salidas
Geometría del acuífero	Cargas y concentraciones
Propiedades del acuífero	Mapas de contornos
Mecanismos de recarga y descarga	Secciones transversales
Condiciones de frontera	Series temporales vs tiempo
Fuentes y sumideros	Flujos y velocidades
Propiedades de contaminantes	Recorrido de partículas
Cargas y concentraciones	

Fuente: Gárfias (2010)

Para Gárfias (2010) un modelo sofisticado de transporte reactivo no significa nada sin un buen modelo de flujo. Basados en lo anterior, la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual detallado y preciso, es un requisito fundamental al momento de plantear el desarrollo de un modelo numérico. Condiciones tales como áreas de recarga y descarga, efluencia e influencia de ríos, fronteras, geometría y otros parámetros, serán definidos en el modelo conceptual e incorporados en el análisis matemático.

Uno de los aspectos más importantes a definir en la modelación se relaciona con las condiciones de frontera o contornos del sistema acuífero. Anderson & Woessner (2002) indican que en un modelo en estado estacionario las condiciones de frontera son responsables en gran parte del patrón de flujo obtenido.

Contornos físicos en sistemas de flujo subterráneo están formados por la presencia física de un cuerpo de roca impermeable o un cuerpo de agua superficial. Otros contornos se forman como el resultado de condiciones hidrológicas. Estos contornos invisibles son contornos hidráulicos que pueden incluir divisorias de aguas subterráneas (Anderson & Woessner, 2002).

Los contornos hidrogeológicos son representados según Anderson & Woessner (2002) por los siguientes tres tipos de condiciones matemáticas:

- 1) Contorno de carga especificada (Tipo 1 o condición de Dirichlet): Contorno en el cual la carga hidráulica es dada, por ejemplo, el nivel del mar.
- 2) Contorno de flujo especificado (Tipo 2 o condición de Neumann): en este tipo la derivada de la carga (flujo) a través del contorno se encuentra especificada. Por ejemplo, zonas de recarga en los contornos. Una condición de no flujo en un contorno, por ejemplo, en una zona de divisoria de aguas, se especifica con una condición de flujo igual a cero.
- 3) Contorno de flujo dependiente de la carga (Tipo 3, condición de Cauchy o de contorno mixto): en este tipo el flujo a través del contorno es calculado dando un valor de carga en el contorno. Este tipo se denomina de condición mixta debido a que relaciona las cargas en el contorno con el flujo en el contorno. Hay muchos tipos de estos contornos, como lo es por ejemplo la representación de condiciones de efluencia o influencia en los ríos.

Anderson & Woessner (2002) han propuesto un protocolo con una serie de pasos recomendados para el desarrollo de los modelos numéricos matemáticos. El esquema de proceso respectivo se observa en la figura 6.

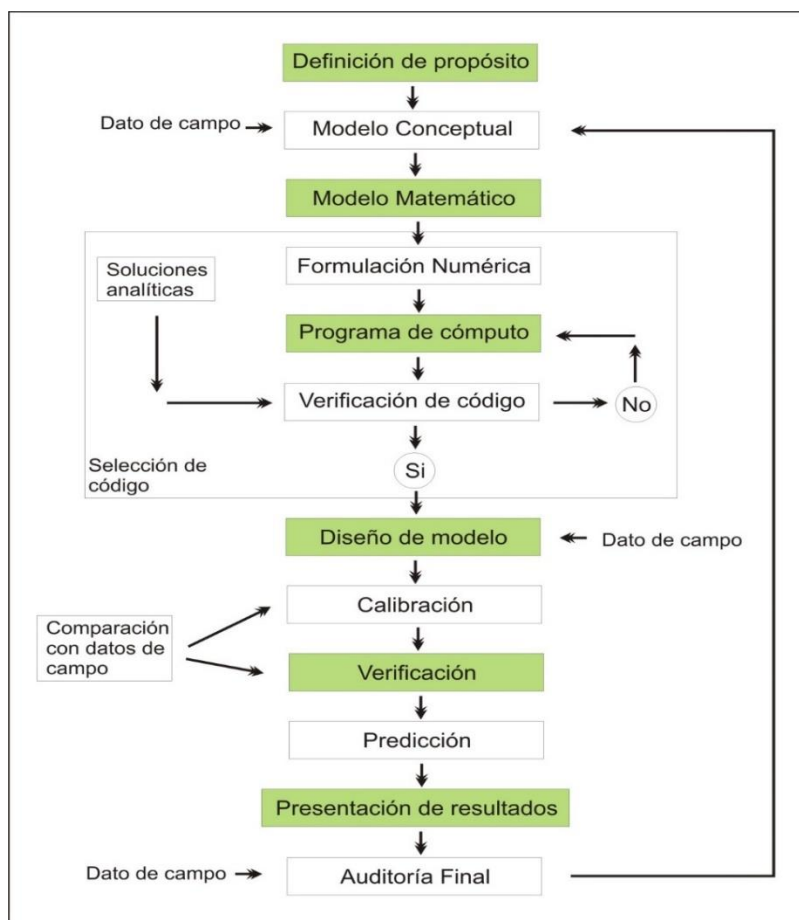


Figura 6. Pasos para el desarrollo de modelos numéricos. Tomado y modificado de Anderson & Woessner (2002).

4. METODOLOGÍA

4.1. Tipo de estudio y enfoque

El enfoque del estudio hidrogeológico para elaboración del modelo numérico del acuífero aluvial en la cuenca del río Uvita es mixto, involucrando durante su ejecución componentes exploratorios y descriptivos que se llevan a cabo durante el desarrollo de los trabajos de campo, procesamiento y análisis de información en oficina e incluso durante la ejecución y análisis de ensayos en laboratorios.

Igualmente, se considera mixto ya que involucra aspectos cuantitativos al momento de recolectar información en el campo (porosidades, transmisividades, coeficientes de almacenamiento, niveles de aguas subterráneas, infiltración en suelo, etc.), como cualitativos al interpretar rasgos geomorfológicos o procesos que tienen lugar en los acuíferos.

Se explorará cada uno de los aspectos geológicos e hidrogeológicos que van surgiendo conforme desarrolla el trabajo de campo, describe sus hallazgos a la luz del conocimiento geológico e hidrogeológico que posee y finalmente busca una explicación para esos hallazgos y procesos que descubrió.

4.2. Técnicas de recolección y análisis de datos

4.2.1. Modelo geológico e hidrogeológico conceptual

Inicialmente se realiza una recopilación bibliográfica sobre los trabajos geológicos e hidrogeológicos que se han realizado en la zona, procediendo a analizarlos y a incorporar la información relevante para los fines del estudio. Posteriormente se realizan las siguientes fases o etapas:

- Fase de exploración geológica:

En esta fase se busca definir las propiedades de las rocas y las estructuras geológicas, que eventualmente pueden ser favorables para almacenar aguas subterráneas. Se realiza una cartografía geológica poniendo énfasis en la litología, textura, porosidad, estructuras tectónicas y geomorfológicas, así como composición mineralógica de los sedimentos y rocas.

En el campo se ubican con un dispositivo GPS (*Global Positioning System*) y describen los diferentes tipos de rocas que afloran en la cuenca, procediendo luego a representarlos en mapas a escala 1:25 000 y perfiles geológicos con la ayuda de un programa o sistema de información geográfica. Además de la descripción litológica en los afloramientos, con ayuda de una brújula se realiza el levantamiento de planos, fracturas o estructuras tectónicas, cuya información posteriormente es procesada con programas de cómputo e interpretada desde el punto de vista hidrogeológico y a la luz del marco tectónico de la zona.

- Fase de exploración geofísica:

Esta actividad será realizada en sitios específicos, aplicando tanto sondeos eléctricos verticales como tomografías eléctricas. Se realizarán sondeos eléctricos verticales en aquellas zonas que por la ausencia de pozos no cuentan con información de niveles de agua subterránea o litología, mientras que las tomografías se realizarán en los sectores en que se quiera detallar algún aspecto, tal es el caso de contactos litológicos, estructuras tectónicas o posición de la interfase agua dulce-agua salada.

Los sondeos geofísicos consisten en la inyección de corriente eléctrica al subsuelo para determinar su resistencia, y a partir de correlaciones interpretar las características geológicas del entorno. En este caso los sondeos se realizarán con una configuración tipo Schlumberger, en la cual el dispositivo cuenta con cuatro electrodos, en los dos electrodos externos (identificados como A y B) se inyecta corriente al suelo, lo que genera un campo eléctrico cuyo potencial es medido en el otro par de electrodos internos (identificados como M y N). Conociendo la corriente inyectada, el potencial generado y la configuración de los

electrodos, es posible calcular la resistividad aparente y con ella realizar correlaciones con distintos tipos de materiales geológicos. Para el procesamiento se utilizará el programa de cómputo IP2win.

La exploración geofísica permite realizar correlaciones con la geología, lo cual en el caso de la exploración de aguas subterráneas contribuye a determinar la presencia y la geometría de los acuíferos o zonas acuíferas y la obtención de un modelo hidrogeológico conceptual más preciso (INGEOMINAS, 2004).

- Fase de reconocimiento hidrogeológico:

Comprende la recolección de datos en el campo mediante el inventario de puntos de agua, discriminados en manantiales, pozos y humedales. Adicionalmente, diseño y desarrollo de la red de monitoreo para confirmar el modelo conceptual. Los datos obtenidos en esta fase son la base para clasificar y caracterizar las unidades geológicas y así determinar las características hidrogeológicas preliminares del área (INGEOMINAS, 2004).

La superficie potenciométrica del acuífero, que nos permite identificar la dirección de flujo del agua desde las zonas de recarga hacia las de descarga, puede ser construida a partir de niveles que se obtienen en campo mediante la medición de niveles de agua en pozos de explotación o piezómetros de investigación. Para lo anterior, se realizarán giras de campo para ubicar pozos en la zona y establecer una red de monitoreo en la que se tomarán mediciones periódicas utilizando una sonda de medición.

Las propiedades hidráulicas del medio acuífero se determinan en el campo mediante pruebas de bombeo en pozos o ensayos a carga variable o constante en piezómetros. Los pozos en que se realizarán estas pruebas serán seleccionados de la red de monitoreo. En el caso de las pruebas de bombeo se extrae un caudal durante un determinado tiempo, anotando los descensos del nivel y posteriormente graficando los datos de descenso contra tiempo en el programa excel. Según el tipo de acuífero los datos se pueden analizar según el método de Jacob, Theis o Neuman.

En los ensayos a carga constante o variable, se inyecta un volumen de agua en los piezómetros y se miden ya sean los descensos de carga (carga variable) o el volumen

inyectado (carga constante) en un determinado tiempo. Los datos se grafican en el programa Excel y se analizan según el método Hvorslev.

Como parte de la caracterización de los acuíferos en el modelo hidrogeológico, se ejecutarán aforos diferenciales en los ríos durante la época de estiaje, para determinación del comportamiento efuente/influente entre el río y el acuífero. Los aforos se realizarán utilizando molinetes y los datos de velocidad obtenidos se procesarán mediante la utilización del programa de cómputo Hcanales desarrollado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

La caracterización de la zona no saturada se realizará tomando muestras de suelo en el campo y en las distintas unidades hidrogeológicas establecidas. Las muestras se tomarán a una profundidad de 30 cm, libres de raíces, vegetación u otros contaminantes. Para lo anterior, se utilizarán mazos, palas y tubos metálicos específicos para coleccionar las muestras y se empacarán en bolsas debidamente rotuladas. Posteriormente se trasladarán a los laboratorios de suelos respectivos para determinar capacidad de campo, punto de marchitez, densidad aparente, porosidad total y específica y clasificación del suelo según la norma del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

A nivel superficial se realizarán en las distintas unidades geológicas ensayos de conductividad hidráulica por la metodología de doble anillo. La presentación de los datos y resultados de los análisis de laboratorio y pruebas de infiltración se llevará a cabo mediante cuadros o gráficos, complementados por una descripción textual de los mismos.

- Fase de perforación exploratoria:

Se realiza la perforación exploratoria de siete piezómetros con profundidades entre los 50 y 100 metros. Estos piezómetros se perforan mediante el método de rotación saca-núcleo y en las muestras obtenidas se realiza la descripción litológica detallada de los materiales. Se miden además parámetros tales como la calidad del macizo rocoso, porcentaje de recuperación de muestras, densidad de fluidos y ubicación de niveles del agua subterránea. INGEOMINAS (2004) considera que esta fase de perforación exploratoria es necesaria para validar los modelos geológico, geofísico e hidrogeológico que se obtengan en las distintas

etapas de investigación y para la caracterización de los acuíferos desde el punto de vista hidráulico y químico.

- Evaluación hidrológica:

Corresponde con una de las etapas fundamentales para definir las entradas de agua al sistema. En este caso se iniciará recopilando en el IMN y el SENARA, la información de las estaciones meteorológicas más cercanas a la cuenca. Se analizarán los datos relacionados con precipitación total y media mensual, así como temperatura máxima, mínima y media mensual. A partir de estos datos se definirá la precipitación media mensual para la cuenca y mediante la metodología de Blaney & Criddle (Organización de las Naciones Unidas, 1972) sugerida por Schosinsky (2006), se determinará la evapotranspiración potencial. Los datos se representarán mediante tablas y gráficos.

A partir de la integración de la información del mapa y perfiles geológicos, pozos cercanos y piezómetros exploratorios, sondeos eléctricos verticales, información hidrológica, recopilación bibliográfica y resultados de los análisis de laboratorio y ensayos de campo, se realizará una interpretación hidrogeológica de la cuenca del río Uvita para construir el modelo hidrogeológico conceptual.

4.2.2. Recarga potencial a los acuíferos y disponibilidad hídrica

Inicia con la recopilación de información meteorológica en el IMN y SENARA, para ser utilizada en el cálculo de recarga potencial. Adicionalmente, se buscará en las bases de datos de la Dirección de Aguas del MINAE, SENARA y Acueductos y Alcantarillados, la información relacionada con pozos y caudales de explotación.

En campo se realizarán de pruebas de infiltración mediante el método de doble anillo y muestreo de suelos para identificar sus características hidráulicas, densidad aparente, textura, capacidad de campo, punto de marchitez y porosidad total y efectiva.

A partir de las curvas de nivel 1: 25 000 existentes para la zona y mediante la utilización de sistemas de información geográfica como el ArcGis, se generarán modelos de elevación digital a partir de los cuales se estimarán las pendientes del área. Adicionalmente se utilizarán fotografías aéreas y comprobaciones de campo para delimitar los distintos usos de suelo que existen en el área.

Mediante algebra de mapas en un sistema de información geográfica, se procesará la información de pendientes, uso del suelo, datos de precipitación, evapotranspiración, infiltración en suelos, porosidad, densidad de suelos, capacidad de campo y punto de marchites, aplicando la metodología de balance hídrico de suelos desarrollada por Schosinky (2006), mediante la cual se determina la recarga potencial.

La presentación de los datos y resultados se llevará a cabo mediante cuadros o gráficos, complementados por una descripción textual. Una vez estimada la recarga potencial al acuífero, y conociendo la cantidad de agua que se extrae de los acuíferos mediante pozos inventariados y concesiones, se procederá mediante sustracción de valores a estimar la disponibilidad del recurso hídrico en la zona de interés.

4.2.3. Modelación numérica

Para la elaboración del modelo numérico se utilizará el programa de cómputo Visual Modflow Flex versión 7.0, basado en la teoría de diferencias finitas en la que todas las celdas presentan una geometría idéntica en forma, pero no necesariamente en tamaño.

Entre las razones por las cuales se ha seleccionado para la modelación el programa Visual Modflow Flex, se puede mencionar la existencia de una interface amigable con el usuario y la posibilidad de utilizar versiones de uso estudiantil de este programa. Por otra parte, el acuífero a modelar es un medio poroso, en el cual se cumple la Ley de Darcy y por ello las ecuaciones de flujo en las cuales se fundamenta el programa Modflow son aplicables. Finalmente, tal y como fue indicado en el apartado de antecedentes, a nivel nacional este programa ha sido utilizado en reiteradas ocasiones para la modelación de distintos acuíferos, obteniendo resultados satisfactorios con respecto a las condiciones reales del medio modelado.

Previo a correr el modelo numérico en el programa de cómputo, se debe contar con los parámetros mínimos de entrada al modelo, tales como las condiciones de frontera (barreras o fronteras de flujo, recarga), propiedades de las unidades hidrogeológicas (conductividad hidráulica, porosidad, coeficiente de almacenamiento) y condiciones iniciales. Estos parámetros se obtienen a partir de las labores de campo y la construcción del modelo hidrogeológico conceptual.

El modelado inicia con la construcción en el programa de una malla que permita representar espacialmente el acuífero y las distintas capas hidrogeológicas que se desea modelar. Es en esta malla en la cual se define la extensión del acuífero, las condiciones de frontera, cargas hidráulicas y parámetros hidráulicos del acuífero.

Con todos los parámetros de entrada ingresados en las celdas de la malla, se procede a correr el modelo en estado estacionario y se realiza en cada celda los cálculos relacionados con las ecuaciones de flujo. Finalmente, a partir de los parámetros de entrada, la modelación determina las cargas hidráulicas en los diferentes sectores del acuífero modelado, que eventualmente pueden representarse como curvas equipotenciales.

A partir de las cargas hidráulicas modeladas y representadas como curvas equipotenciales, se puede realizar posteriormente una calibración del modelo utilizando para esto los valores de niveles registrados en la red de monitoreo de pozos de la zona. En esta calibración se grafican los niveles observados en el campo contra los niveles modelados por el programa, buscando la mayor coincidencia posible como indicador de confiabilidad. En caso de que no exista una coincidencia adecuada se deberán revisar los valores de parámetros de entrada y modelar nuevamente.

Una vez calibrado el modelo en estado estacionario, se procedió a realizar la modelación a partir de distintos escenarios en las condiciones climáticas de la zona. Para esto se utilizó como base el documento *Projected Changes in Temperature and Precipitation Over the United States, Central America and the Caribbean in CMIP6 GCMs*, elaborado por Almazroui et al. (2021)

En general, la modelación numérica siguió los pasos indicados en el protocolo de elaboración de modelos de la figura 6.

La tabla 2 muestra las distintas tareas e indicadores que se deben cumplir durante el desarrollo de este proyecto, para garantizar el adecuado cumplimiento de las metas y objetivos de la investigación.

Tabla 2

Metas, actividades, tareas e indicadores relacionados

Objetivos específicos	Metas	Actividades	Tareas	Indicadores	
1	Actualizar el modelo hidrogeológico conceptual existente para la cuenca del río Uvita, como insumo para el desarrollo del modelo numérico en el acuífero aluvial.	Identificación de las unidades acuíferas, sus propiedades hidráulicas y flujo del agua subterránea.	Elaboración de mapa geológico, perfiles geológicos, columna estratigráfica y apartado escrito.	Recopilación bibliográfica y análisis de la información (UCR, SENARA, MINAE, AyA, ASADA)	Una base de datos con los documentos recopilados en la bibliografía
			Mapeo geológico	Una base de datos Excel, con los afloramientos y descripciones	
			Levantamiento estructural	Una base de datos Excel con los rasgos estructurales levantados en campo	
			Elaboración de sondeos eléctricos verticales	6 sondeos eléctricos verticales	
			Elaboración de tomografías	Tres tomografías eléctricas	
			Elaboración de afloros diferenciales	Diez afloros a lo largo del cauce del río Uvita y sus afluentes	
			Ejecución de pruebas hidráulicas y de bombeo	Tres pruebas de bombeo en pozos y siete ensayos a carga variable o constante en los piezómetros	
			Levantamiento de red de monitoreo de pozos	Un listado de pozos en los cuales se puede realizar el monitoreo bimensual	
			Monitoreo bimensual de niveles en pozos	12 registros de monitoreos en al menos 20 pozos de la red por un período de 2 años.	
			Medición de conductividad eléctrica en las aguas subterráneas captadas por pozos, para establecer la línea base de este parámetro en los acuíferos de la zona.	Una base de datos con un único registro de la conductividad eléctrica del agua subterránea captada por al menos 20 pozos de la red de monitoreo.	
2	Estimar la recarga hacia los acuíferos por fluctuaciones de niveles y balance de humedad del suelo para evaluar la disponibilidad del recurso hídrico.	Estimación de la recarga potencial de los acuíferos y determinación de la disponibilidad de recurso hídrico.	Elaborar y categorizar el mapa de uso de suelo	Análisis de fotografías aéreas	Un mapa de uso de suelo para el 100% del área de estudio
			Comprobación en campo de usos de suelo	Procesamiento de datos en un SIG	
			Procesamiento de datos en un SIG	Procesamiento de curvas de nivel 1:25 000 en SIG	Un mapa de pendientes para el 100% del área de estudio
			Elaborar y categorizar el mapa de pendientes	Procesamiento de datos de precipitación y ETP en un SIG	Un mapa de precipitación y otros de ETP para el 100% del área de estudio
		Elaborar el mapa de precipitación y evapotranspiración mensual			

		Ejecución de pruebas de infiltración en campo	12 pruebas de infiltración distribuidas en el área de estudio
	Elaborar los mapas de características de los suelos para cada unidad geológica (CC, PM, DA, K)	Muestreo de suelos en campo y análisis de laboratorio	12 muestras y análisis de laboratorio distribuidos en el área de estudio
		Procesamiento de datos de CC, PM, DA y K en un SIG	Un mapa para cada uno de los parámetros K, DA, PM y CC, para el 100% del área de estudio
	Determinación de la recarga total y categorización en el acuífero aluvial (mapas) a través de un sistema de información geográfica y utilizando la metodología Schosinsky (2006)	Integración y procesamiento de los datos mediante la metodología Schosinsky (2006) en un sistema de información geográfica.	Un mapa de recarga potencial debidamente categorizado para el 100% del área de estudio.
		Construcción de la malla para discretización del acuífero a modelar	
	Modelación numérica en estado estacionario del acuífero aluvial considerando las condiciones climáticas promedio actuales.	Asignación de las condiciones de frontera, parámetros hidráulicos, cargas hidráulicas, etc. Correr el modelo en estado estacionario	Un modelo numérico del acuífero aluvial del río Uvita debidamente calibrado con la información de los niveles de pozos de la red de monitoreo.
3	Aplicar diferentes escenarios de identificación de los posibles condiciones climáticas de la zona, cambios en la dinámica del flujo del agua subterránea a partir de en la dinámica del flujo del agua cambios en las condiciones subterránea.	Calibración y verificación del modelo	
		Correr el modelo en estado estacionario considerando escenarios en los que las precipitaciones han disminuido	Un modelo numérico en estado estacionario generado a partir del escenario con menos precipitaciones
	Modelación numérica en estado estacionario del acuífero aluvial considerando aumentos o disminuciones en las precipitaciones, temperatura o nivel del mar, con respecto a las condiciones actuales	Correr el modelo en estado estacionario considerando escenarios en los que las precipitaciones han aumentado	Un modelo numérico en estado estacionario generado a partir del escenario con más precipitaciones
		Incorporar en la malla del modelo numérico los pozos de la ASADA	
		Incorporar para los pozos los parámetros de caudales de explotación y períodos de bombeo	
4	Establecer a través de la modelación numérica, las zonas de protección para los pozos de abastecimiento público de la ASADA de Uvita-Bahía, protección para los pozos de la ASADA de Uvita-Ballena.	Modelación considerando diferentes caudales y períodos de bombeo de los pozos según los requerimientos de la ASADA.	Una zona de protección para cada uno de los dos pozos de abastecimiento de la ASADA
		Correr el modelo para determinar las zonas de protección de los pozos	

4.3. Variables y categorías

4.3.1. Categoría: tipo de roca

Definición conceptual: De acuerdo con Galofré (1983) las rocas son un agregado o asociación de granos minerales, ya sean iguales o distintos. Ello significa que cada roca estará definida por la presencia de unos ciertos minerales, en proporciones distintas dentro de cada tipo de roca. Según este criterio, las rocas se dividen en tres grandes tipos o clases: eruptivas, sedimentarias o metamórficas, según se hayan formado por cristalización de magmas en profundidad o en superficie, por acumulación y consolidación de restos de rocas preexistentes, o bien por medio de transformaciones de los dos tipos anteriores bajo la acción de agentes físicos (presión y temperatura) o químicos (aportes de elementos químicos extraños a las mismas).

Definición operacional: Las rocas son clasificadas de acuerdo con su modo de formación u origen y posteriormente de acuerdo con los minerales que la forman en las divisiones de rocas eruptivas (plutónicas o efusivas), sedimentarias y metamórficas (Galofré, 1983).

Sub-categorías:

1. Rocas ígneas (plutónicas o efusivas)
2. Rocas sedimentarias (lutitas, areniscas, conglomerados, brechas, calizas)
3. Rocas metamórficas

4.3.2. Categoría: tipo de fallas

Definición conceptual: Fracturas o roturas en los estratos de la corteza terrestre, originados a partir de la compresión u otro tipo de esfuerzos que actúan con suficiente intensidad, que además llevan aparejado un desplazamiento relativo de puntos anteriormente unidos en cada una de ambas partes de la rotura (Galofré, 1983).

Según Galofré (1983) los tipos más importantes de fallas son: a) normales o directas, b) desplazamiento horizontal o de rumbo, c) rotacionales o en tijera, d) fallas inversas.

Definición operacional: Pueden usarse dos criterios distintos para clasificar las fallas o fracturas, como son su propia geometría o su génesis. La clasificación geométrica se basa en la posición del plano de falla con respecto a los dos bloques situados a cada lado y que han sido desplazados mutuamente (Galofré, 1983).

Sub-categorías:

1. Falla normal
2. Falla de desplazamiento horizontal o de rumbo
3. Falla rotacional o en tijera
4. Falla inversa

4.3.3. Categoría: tipo de acuífero

Definición conceptual: Llamas y Galofré (1983) denominan acuífero a aquel estrato o formación geológica que, permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades.

Llamas y Galofré (1983) mencionan que la clasificación de los acuíferos puede ser realizada según sus características litológicas (materiales sedimentarios, ígneos e incluso metamórficos), pero también existe una clasificación más importante y que los agrupa de acuerdo con la presión hidrostática del agua encerrada en los mismos.

De esta forma, se denominan acuíferos libres, no confinados o freáticos a aquellos en los cuales el agua se encuentra a presión atmosférica. Por el contrario, en los acuíferos cautivos, confinados o a presión, el agua está sometida a una cierta presión superior a la atmosférica y ocupa la totalidad de los poros de la formación geológica. Una clasificación intermedia corresponde con los acuíferos semiconfinados.

Definición operacional: Se identifican en campo los materiales geológicos que almacenan y transmiten el agua subterránea, clasificándolos inicialmente por sus características litológicas. Posteriormente, y luego de analizar la información recopilada de pozos y piezómetros exploratorios, se clasifican según la condición de presión hidrostática en que se encuentra el agua subterránea almacenada.

Sub-categorías:

1. Por litología: ígneos, sedimentarios o metamórficos.
2. Por presión hidrostática: libres, semiconfinados o confinados.

4.3.4. Variable: recarga potencial

Definición conceptual: Al agua que se infiltra en los suelos y que logra percolar hasta los acuíferos que se encuentran bajo estos, una vez satisfechas las necesidades de evapotranspiración de las plantas y alcanzada la capacidad de campo de los suelos, se le denomina recarga potencial de los acuíferos (Schosinsky, 2006). El Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento, mediante la “Metodología general para la elaboración de los estudios hidrogeológicos para planes reguladores”, publicada en el diario oficial La Gaceta número 137 del 16 de julio del 2015, clasifica mediante la metodología del rango los valores de recarga de un determinado sitio en cinco niveles o clases que van desde muy baja, baja, media, alta y hasta muy alta recarga potencial.

Definición operacional: La recarga potencial a los acuíferos puede ser determinada mediante un balance hídrico de suelos, conociendo ciertos parámetros observables en el campo tales como la precipitación, temperatura, características de los suelos, vegetación y pendientes existentes en la cuenca (Schosinsky, 2006).

Clasificación:

1. Cinco clases (muy baja, baja, media, alta y muy alta) definidas mediante la metodología del rango donde el cálculo de intervalos está en función del valor máximo dividido entre el número de clases.

4.3.5. Variable: dinámica del flujo del agua subterránea

Definición conceptual: El movimiento del agua a través del terreno es denominado flujo o escorrentía subterránea. Se caracteriza por su extraordinaria lentitud y se debe fundamentalmente a la acción gravitatoria. El agua subterránea puede pasar a engrosar el caudal de los ríos alimentando directamente su cauce o a través de manantiales. Excepto en las cuencas endorreicas o interiores de las zonas áridas o semi áridas, resulta que la mayor parte de la escorrentía directa y subterránea terminan en el mar (Llamas y Galofré, 1983).

Definición operacional: Anderson & Woessner (2002) mencionan que un modelo matemático puede simular el flujo subterráneo indirectamente por medio de las ecuaciones de flujo que lo gobiernan, de tal manera que se representan los procesos físicos que ocurren en el sistema, junto con ecuaciones que describen las cargas o flujos a lo largo de las fronteras del modelo.

Clasificación:

1. Dirección
2. Gradiente hidráulico
3. Profundidad

5. DESARROLLO DEL TEMA

5.1. GEOLOGÍA

5.1.1. Formaciones Geológicas Regionales

A nivel regional para el litoral del Pacífico Sur de Costa Rica el basamento se encuentra constituido por rocas ígneas y sedimentarias asociadas al denominado Complejo de Nicoya. Sobreyaciendo al Complejo de Nicoya, ya sea por inconformidad o fallamiento, se localiza una secuencia de rocas sedimentarias clásticas tanto de origen marino como continental, las cuales según Linkimer y Aguilar (2000) se enmarcan dentro de lo que es la cuenca sedimentaria Térraba. Las rocas sedimentarias en esta cuenca se encuentran representadas por las formaciones Descartes, Fila de Cal, Térraba, Curré, Paso Real y Valle de El General. (Figuras 7 y 8)

Coronando la secuencia antes descrita se ubican depósitos recientes constituidos por coluvios, aluviones y arenas de playa. Se describe a continuación cada una de las formaciones rocosas existentes a nivel regional.

5.1.1.1. Complejo de Nicoya (basamento regional)

Kussmaul (2000) menciona que típicamente se trata de rocas de fondos marinos, que posteriormente fueron cortadas por rocas ígneas relacionadas con puntos calientes, y levantadas hacia la superficie mediante procesos de origen tectónico. Entre los materiales ígneos predominan los basaltos toleíticos en forma de coladas masivas y almohadillas, y adicionalmente se localizan brechas, diques e intrusiones de peridotitas, gabros y plagiogranitos. Se incluyen dentro de esta unidad sedimentos silíceos de origen pelágico (radiolaritas) con alto contenido de hematita. Kussmaul (2000) señala que los basaltos hacia el sur del país disminuyen en edad con respecto a los localizados en la Península de Nicoya,

siendo así que una muestra en Jacó fue datada en 84 Ma (Santoniano) y otra en Quepos en 64 Ma (Paleoceno).

En los alrededores de la zona de estudio (Quepos y Golfo Dulce) Tournon y Alvarado (1997) señalan la presencia de basaltos toleíticos en almohadilla o masivos que anteriormente fueron atribuidos al Complejo de Nicoya, pero que mediante datos paleontológicos se ha determinado que presentan edades más recientes. Estos mismos autores mencionan la presencia de calizas pelágicas intercaladas con las almohadillas basálticas, aunque en general son más escasas hacia las zonas de Golfito.

Dataciones K/Ar sugieren edades del Cretácico Tardío, Paleoceno y del Eoceno (Berrangé et al., 1989).

Denyer y Alvarado (2007) mantienen la misma cartografía de basaltos toleíticos en los alrededores de Sierpe y Golfito. Sin embargo, para la zona de Golfito se ubican en un rango temporal más antiguo (140 – 88 Ma), mientras que en las cercanías de Sierpe el rango temporal se ubica entre los 70 – 40 Ma, asociado a islas oceánicas acrecionadas (Fm. Tulín y Bloque Rincón).

Alvarado y Gans (2012) resumen la estratigrafía ígnea de Costa Rica en 5 grandes grupos, ubicando hacia las zonas de Quepos y la Península de Osa Complejos ígneos básicos / ultrabásicos oceánicos (ofiolitas) con un rango de edad del Campaniano – Eoceno (83 – 41 Ma).

Alvarado y Gans (2012) señalan que la historia geológica es compleja en el caso de las rocas máficas de origen submarino localizadas en la zona del Complejo ígneo Golfito - Osa – Burica. Denyer, Baumgartner & Gazel (2006) interpretan estas litologías como fragmentos acrecionales de un plateau o parte del CLIP, pero que son diferentes al Complejo de Nicoya, ya que presentan cuerpos básicos intruyendo o intercalados, deformando sedimentos del Campaniano Tardío hasta por lo menos el Eoceno (Berrangé & Thorpe, 1988; Berrangé et al., 1989, Di Marco, 1994), además de la presencia de basaltos vesiculares, picritas y gabros pegmatíticos (Berrangé & Thorpe, 1988; Berrangé et al., 1989), y abundantes vetillas de cuarzo en contraposición con Nicoya, enriquecidas en Au (Berrangé & Thorpe, 1988).

Según Alvarado y Gans (2012), aunque Berrangé & Thorpe (1988) concluyen que en general estas rocas ígneas se formaron en un ambiente de cuenca tras-arco, si dejan en claro su cercanía o afinidad con una zona de subducción. Más estudios de detalles son requeridos, pero en términos generales se interpretan como fragmentos de montes submarinos, posiblemente parte de una cordillera asísmica del CLIP, también con presencia de rocas con afinidad N-MORB, E-MORB y OIB (Berrangé & Thorpe, 1998; Hauff et al., 2000; Hoernle et al., 2002; Buchs et al., 2009; Denyer & Gazel, 2009; Tournon & Bellon, 2009).

Según dataciones radiométricas y paleontológicas, la ubicación y el contexto geológico, para Tournon (1984), Di Marco, Baumgartner & Channell (1995), Hauff et al. (2000), Hoernle et al. (2002), Tournon & Bellon (2009), Buchs et al. (2009) y Buchs et al. (2010), la cronología se puede resumir en:

- a. Un magmatismo tipo CLIP pre-Campaniano, en equivalencia con el Complejo de Nicoya, que conformaría el basamento.
- b. Posiblemente un magmatismo de arco de islas incipiente sobre este basamento, de edad del Campaniano Tardío a Maastrichtiano (75-70 Ma).
- c. Un magmatismo de dorsal oceánica con montes submarinos aislados (tipo CLIP, MORB, N-MORB, E-MORB y OIB), del Campaniano al Eoceno Medio (80-76; 64-60; 56,7-54,7 y 47,5-43,5 Ma), que son paulatinamente acrecionados al margen convergente, e incluso desmembrados (mélange) junto con secuencias sedimentarias entre el Paleoceno y el Mioceno.

5.1.1.2. Formación Descartes

Se aclara que los mapas regionales existentes para la zona de estudio no cartografiaban esta litología en los alrededores, no obstante, se describe en este apartado ya que fue ubicada en la cuenca sedimentaria Térraba por Linkimer y Aguilar (2000).

Según Linkimer y Aguilar (2000) consiste de una alternancia cíclica de areniscas, conglomerados y brechas de composición volcanoclástica y carbonatada, depositadas durante el Paleoceno Superior – Eoceno Superior/Oligoceno Inferior.

5.1.1.3. Formación Fila de Cal

Constituida principalmente por calizas con macroforaminíferos, cuya depositación ocurrió durante el Eoceno Medio – Superior en condiciones ambientales estables, con aguas turbulentas pero sin turbidez, cálidas y oxigenadas debidas a una disminución en la actividad volcánica durante la época. Los foraminíferos (especialmente Nummulites) y las algas fueron los principales constructores, no obstante, se presentan otros grupos ecológicos funcionales como corales, hidrozoos y gastrópodos (Linkimer y Aguilar, 2000).

Tournon y Alvarado (1997) señalan que la extensión de plataformas carbonatadas durante el Eoceno Superior es un rasgo importante en la historia geológica de Costa Rica, sobreyaciendo en discordancia a la sedimentación detrítica del Paleoceno-Eoceno Medio o directamente sobre el basamento basáltico. Mencionan, además que en la Fila Costeña aparece en una sucesión de escamas tectónicas, sin que se conozca su basamento. Mora (1979) indica que estas calizas presentan un espesor que varía de 100 a 300 metros.

5.1.1.4. Formación Térraba

Inicialmente descrita por Dengo (1953), Dengo (1962a) y posteriormente por Henningsen (1965). Linkimer y Aguilar (2000) la describen como una secuencia compuesta por lutitas, limolitas y areniscas calcáreas de color gris oscuro a negro, que se encuentra bien expuesta en el río Térraba, entre la boca del río Chánguina y el paso de El Cajón. Su edad es del Oligoceno al Mioceno Inferior. (Figuras 7 y 8)

Mora (1979) subdividió a la Formación Térraba en dos unidades:

- *Unidad Zapote*: Consiste en la facies intermedia de una turbidita y se define por la alternancia de areniscas, limolitas y arcillolitas con intercalaciones de productos de

volcanismo submarino (aglomerados, brechas, volcarenitas y conglomerados volcánicos). Fue depositada en un ambiente de profundidad intermedia (nerítica) y presenta estructuras sedimentarias como ondulitas, carga, huellas de impacto y marcas de corriente. Esta unidad se encuentra subyaciendo en forma concordante a la Unidad Lagarto de la misma Formación y tiene un espesor de alrededor de 1200 metros.

- *Unidad Lagarto*: Corresponde con la facies proximal de la turbidita, con predominio de conglomerados y areniscas, además de depósitos de canales turbidíticos. Su espesor varía entre 1200 y 1500 metros. Son comunes las estructuras sedimentarias como laminaciones cruzadas, ondulitas, carga, bolas de arcilla, pliegues, carbón y otros restos de fósiles e icnofósiles. Es subyacida concordantemente por la Unidad Zapote y sobreyacida de igual forma por la Formación Curré.

5.1.1.5. Formación Gabro de Puerto Nuevo

Descrita por Mora (1979) como una serie de diques, sills o stocks de composición gabro diorítica que en la Fila Costeña intruye todas las formaciones de edad Mioceno Inferior o más viejas. Son de color gris oscuro a gris pardo oscuro. Solamente en áreas muy aisladas se ha podido encontrar rocas que sufrieron metamorfismo de contacto, aunque el plegamiento y cizallamiento por compresión durante el emplazamiento si es evidente. DeBoer et al. (1995) consideran que la intrusión ocurrió hace 14.8 a 11.1 Ma.

Tournon y Alvarado (1997) describen los sedimentos Oligo-Miocénicos de la Fila Costeña (Fm. Terraba) siendo intruidos por gabros y doleritas asociados a esta formación. Por otra parte, Denyer y Alvarado (2007) asignan una edad para estas intrusiones entre los 29 a 11.7 Ma. (Figuras 7 y 8)

5.1.1.6. Formación Curré

Dengo (1962a) considera estos sedimentos como parte de la Formación Terraba, no obstante, Henningsen (1965) los elevó al rango de formación. Por su parte, Mora (1979) los

consideró como parte de la Formación Gatún aledaña al canal de Panamá y Granados y Aguilar (1983) propusieron volver a utilizar el rango de formación para la misma. (Figuras 7 y 8)

Esta formación se compone de areniscas pardas de granulometría media, estratificadas en capas de mediano espesor, con intercalaciones menores de conglomerados y lutitas; toda la secuencia presenta materiales tobáceos o detritos derivados de rocas volcánicas (Linkimer y Aguilar, 2000).

Mora (1979) considera que el ambiente de depositación de la Formación Curré es típico de manglares, pantanos, playas y deltas, siendo posible separarla en dos unidades según sus características sedimentológicas:

- *Unidad de conglomerados:* predominan conglomerados y areniscas fosilíferas verde grisáceo depositadas en un ambiente deltaico y de playa. Su espesor varía entre 1000 a 1400 m. Granados y Aguilar (1983) describen en la base de la secuencia areniscas finas a muy finas con presencia de materia orgánica carbonizada. Esta unidad sobreyace concordantemente a la Unidad Lagarto de la Fm. Térraba y es sobreyacida por la Unidad de Lutitas descrita a continuación.
- *Unidad de Lutitas:* Mora (1979) menciona que fueron depositadas en un ambiente parálico (estero, pantano), siendo de color negro y encontrando intercalaciones ocasionales de areniscas y conglomerados. La cloritización es común en estas rocas. El espesor reportado se ubica entre los 150 a 300 metros. Se encuentra sobreyacida por la Formación Paso Real.

5.1.1.7. Formación Paso Real

Descrita originalmente por Dengo (1953) y Dengo (1962a) como un conjunto de estratos depositados en un ambiente subacuático, asociados con aglomerados y con lavas. Mora (1979) le asigna una edad Plioceno – Pleistoceno Inferior y la divide en las unidades El Brujo (materiales predominantemente sedimentarios) y Mano de Tigre (productos volcánicos). En Linkimer y Aguilar (2000) se describe además la unidad Río Boquilla. (Figuras 7 y 8)

- *Unidad El Brujo*: Conglomerados, fanglomerados y areniscas de composición variable, depositadas en ambiente continental fluvio-lacustre. Su fuente de sedimentos fue la cordillera de Talamanca, presenta un espesor de 300 a 500 m y su edad se infiere Pliocénica. Sobreyace concordantemente a la Fm. Curré (Mora, 1979).
- *Unidad Mano de Tigre*: Conglomerados con indicios de estratificación y a veces imbricación, de composición ígnea intrusiva y extrusiva, redondeados e incluidos en una matriz arenosa. Se ha interpretado como relictos erosionados de un antiguo cráter.
- *Unidad Río Boquilla*: Alternancias de areniscas, lodolitas y conglomerados con un espesor de 800 metros, depositados en un ambiente continental tipo fluvial, debido a la presencia de canales rellenos y materia orgánica vegetal. Se le ha asignado una edad Plio-Pleistocénica.

5.1.1.8. Formación Valle de El General

Mora (1979) describe esta formación como abanicos aluviales producto de la destrucción erosiva de la Cordillera de Talamanca y le asigna una edad Pleistocénica. Describe la presencia de bloques de hasta 3 a 4 m en una matriz areno limosa, con espesores de hasta 400 m. y un alto grado de laterización bauxítica en algunos sectores.

Mora (1979) menciona que sobreyace parcialmente a la Fm. Paso Real posiblemente en forma discordante, mientras que Linkimer y Aguilar (2000) indican que sobreyace en discordancia angular a la Fm. Curré. No posee unidades sobreyacentes además de los depósitos superficiales del Cuaternario. (Figuras 7 y 8)

5.1.1.9. Depósitos recientes

Constituidos principalmente por aluviones, coluvios y arenas de playa. En general se localizan en zonas deprimidas y planas, de disminución de gradiente y de baja elevación cerca de la costa. Son materiales inconsolidados con presencia de gravas, arenas o arcillas que han sido generadas a partir de la erosión de materiales preexistentes. Los aluviones

acarreados por ríos o quebradas progresivamente van rellenando diversos sectores del área, y a su vez, las corrientes marinas se encargan de transportar y depositar en las playas los materiales que logran llegar al mar. Al pie de los acantilados costeros o cerros del área, es posible localizar coluvios generados a partir de la caída y acumulación de materiales erosionados. (Figura 8)

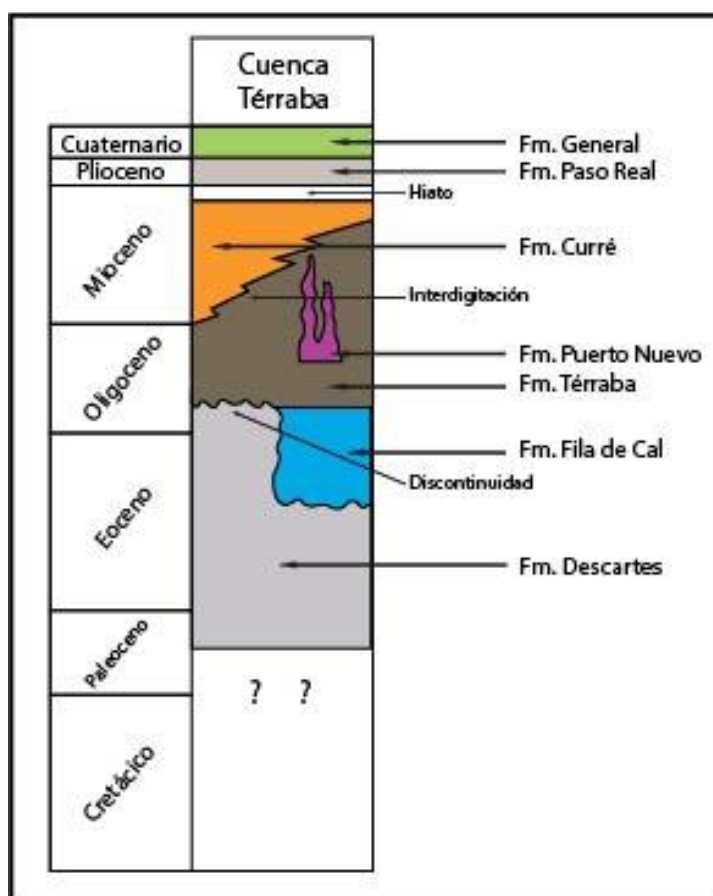


Figura 7. Columna estratigráfica regional. Modificada de Linkimer y Aguilar (2000).

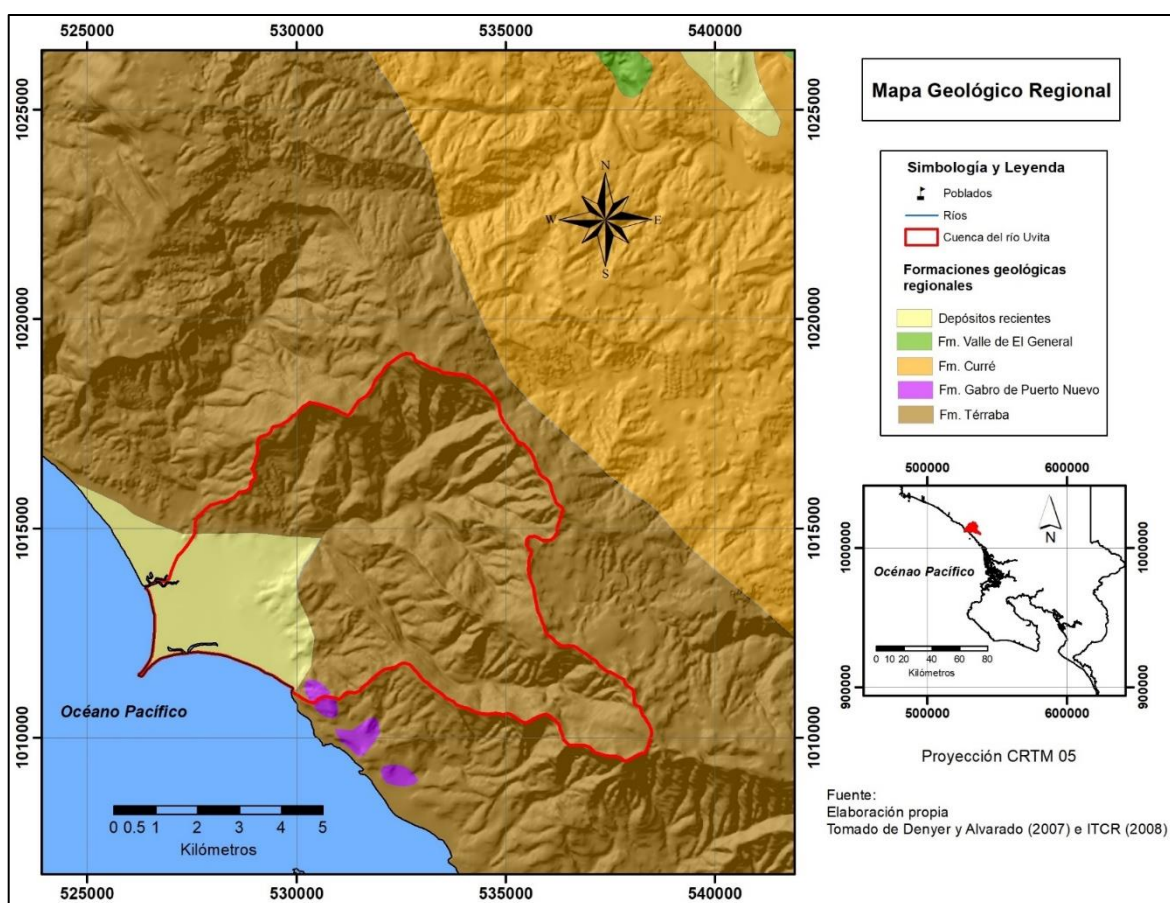


Figura 8. Mapa geológico regional. Modificado de Denyer y Alvarado (2007).

5.1.2. Geología Tectónica regional

La zona de estudio se localiza en el litoral pacífico de Costa Rica, en el cual destaca la presencia de varias estructuras y rasgos morfotectónicos importantes asociados con la interacción convergente de las placas tectónicas Coco y Caribe. A continuación, se presentan las características principales de los rasgos morfotectónicos asociados con el área de estudio.

- **La fosa Mesoamericana**

Corresponde con una depresión alargada de rumbo NW que va paralela a la costa pacífica y marca el inicio de la zona de subducción en la que la placa de Coco, que se mueve a una velocidad absoluta de 6.5 cm/año, se dobla para comenzar a meterse por debajo de la placa Caribe. En Costa Rica la profundidad del piso de esta fosa es cercana a 4.5 km bajo el nivel de mar frente a la península de Papagayo, y va disminuyendo hacia el SE hasta ubicarse a unos 2 km en la zona de Osa y Burica (Montero, 2000a).

Montero (2000a) menciona que la placa de Coco acarrea varios levantamientos submarinos que eventualmente colisionan y se subducen en la fosa mesoamericana, tal es el caso de los levantamientos de Fisher al SE de la Península de Nicoya y el “Plateau de Quepos”, que se subducen frente a Herradura y Quepos respectivamente. Adicionalmente, el levantamiento oceánico del Coco representa uno de los rasgos más importantes, y corresponde con una serie de montañas submarinas que se levantan entre 1 y 2 km encima del nivel del fondo oceánico, subduciéndose frente a las costas de la península de Osa al sur de Costa Rica. (Figura 9)

La subducción del levantamiento oceánico del Coco origina un proceso tectónico tipo colisión, caracterizado por una fuerte interacción con el sector continental, que tiene importantes implicaciones neotectónicas y sismológicas (Montero, 2000b). Collins et al. (1995) consideran que la colisión del levantamiento del Coco con el sur del país se originó hace unos 3.6 Ma, lo cual provocó la terminación del vulcanismo en la actual cordillera de Talamanca hace unos 2 Ma, fuertes levantamientos en la zona, así como el incremento en la erosión, procesos que continúan hasta el día de hoy.

Dentro de las implicaciones de la colisión del levantamiento del Coco con el sur del país, Montero (2000a) menciona que esta situación, sumada a la colisión de Panamá con la Placa Suramericana hace unos 4 a 5 Ma, generó la formación de la microplaca Panamá como un bloque tectónico que se desprendió de la placa Caribe y que tiene un movimiento relativo al ENE con respecto a esta última. (Figura 9)

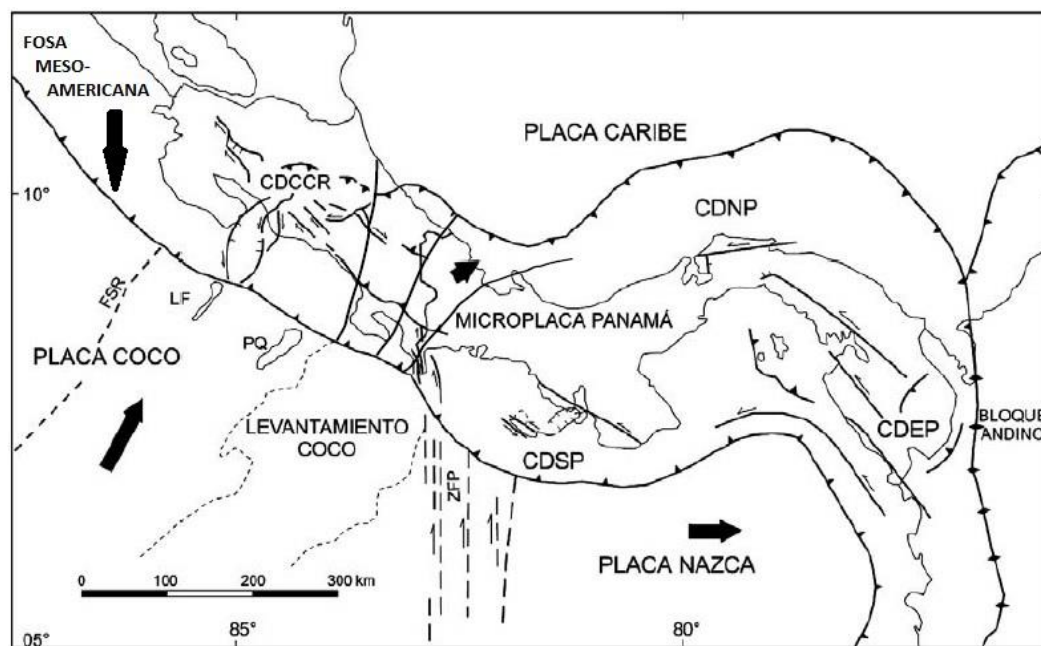


Figura 9. Marco tectónico de Costa Rica. Tomado de Montero (2001).

- **La zona antearco**

Corresponde con la zona intermedia entre la fosa y el arco y se encuentra constituido por rocas ígneas cubiertas por sedimentos (Denyer et al., 2003). En esta zona, a partir de la fosa el piso oceánico se comienza a levantar hacia el continente con una inclinación de 4 a 5 grados en lo que se denomina la ladera interna de la fosa, hasta alcanzar una altura máxima conocida como el quiebre de la ladera interna (Montero, 2000a).

Entre el extremo SE de la Península de Nicoya y el borde NW de la de Osa, zona en la cual se ubica el área de estudio (figura 10), Montero (2000a) menciona que esta zona de quiebre se ubica debajo del nivel del mar.

El antearco en las zonas de Herradura y Quepos incluye las rocas ígneas más viejas de Costa Rica, que Montero (2000a) indica parecen corresponder con el mismo Complejo de Nicoya y que fueron transportadas tectónicamente a su ubicación actual. (Figura 10)

Montero (2000a) menciona que actualmente ciertos sectores del antearco están levantándose, incluso sobre el nivel del mar como es el caso de Herradura, proponiéndose como principales mecanismos para explicar este ascenso los procesos de acreción o erosión tectónica en la zona de subducción.

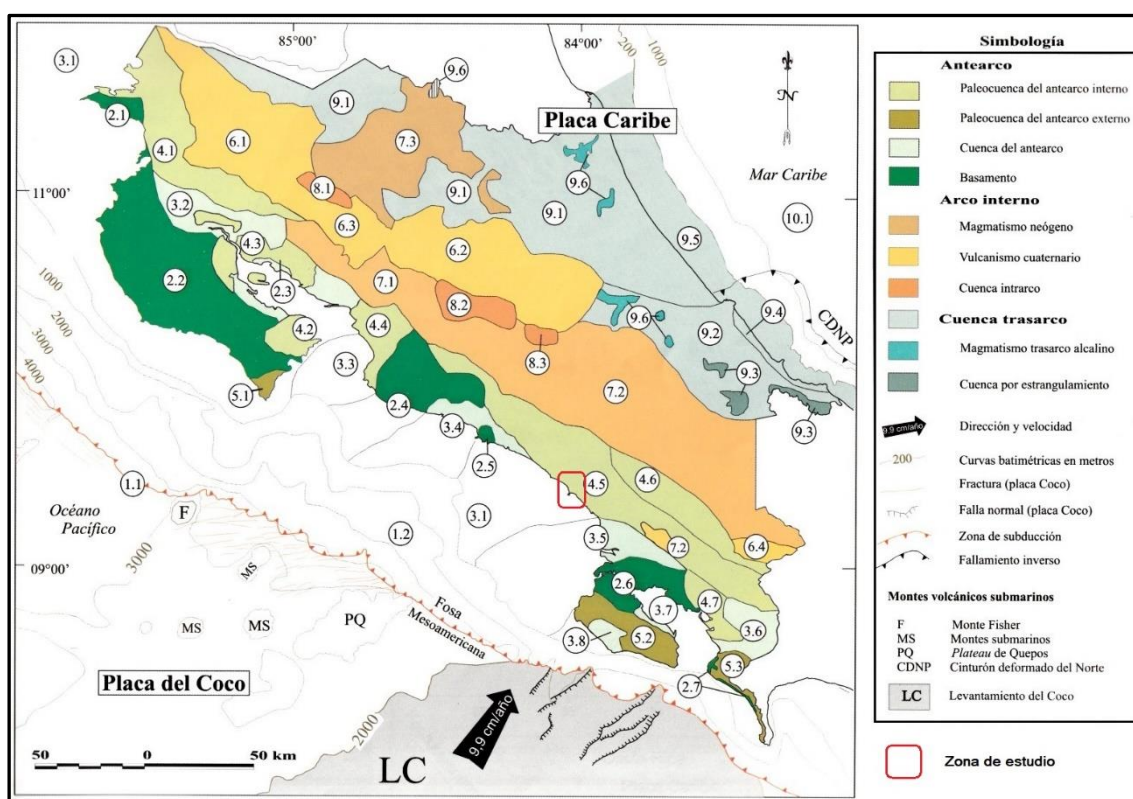


Figura 10. Contexto morfotectónico de la zona de estudio. Nótese la ubicación de la zona de estudio dentro de la paleocuenca del antearco Tórraba (4.5). Modificado de Denyer et al. (2003).

- Sismicidad y neotectónica en el antearco

Antearco sur

Destaca en este sector la presencia de la Falla Longitudinal de Costa Rica (FL). Como se ha mencionado, la subducción de la cordillera submarina del Coco ha provocado diversos efectos geológicos, tectónicos y sismológicos a partir de las fuerzas compresivas generadas. Con el inicio de esta subducción se originaron fuertes levantamientos tectónicos, se dio fin al vulcanismo en Talamanca, y además, se han originado una serie de fallas neotectónicas entre el antearco y el trasarco del este de Costa Rica (Montero, 2000b).

En el sector frontal de la Fila Costeña se ubica la denominada Falla Longitudinal, que Denyer et al. (2003) describen como una falla activa, por lo menos en el sector sureste, y a lo largo de la cual han ocurrido buena parte de los movimientos de levantamiento e inclinación de capas hacia el NE, que han afectado esta fila montañosa durante el Cuaternario.

Corresponde con una falla o sistema de fallas de alto ángulo, posiblemente con una inclinación mayor a 70° orientada N55W e inclinada hacia el NE, con un movimiento de tipo inverso que presenta una componente de desplazamiento de rumbo, probablemente dextral (Montero et al., 1998). Mora (1979), menciona que producto de esta falla son notables los cabalgamientos y repeticiones de estratos a todo lo largo de la fila Costeña.

Alvarado (2005) indica que esta falla se extiende desde el norte de Parrita hasta el noroeste de Paso Canoas, pero su traza continúa por varios kilómetros en la región panameña. Para Denyer et al. (2003) la traza se ubica a lo largo de la costa (figura 11), mientras que Alvarado (2005), basado en la observación de un grupo de islas, islotes y salientes rocosos, sitúa la traza mar adentro.

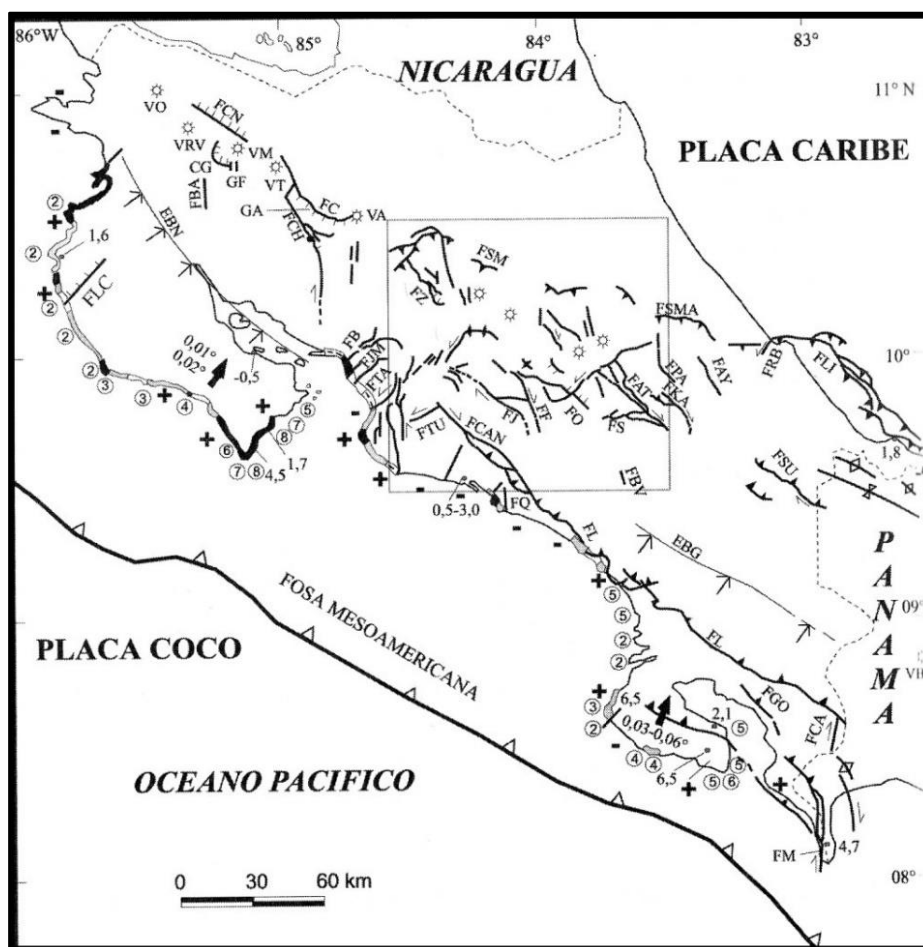


Figura 11. Ubicación de la falla longitudinal de Costa Rica (FL) a lo largo de la costa pacífica en el extremo sur del país. Tomado de Montero (2000b).

- **Las cuencas antearco**

Siempre en el contexto de un ambiente convergente entre placas tectónicas, entre la zona de antearco y arco interno se desarrollan cuencas sedimentarias que son rellenadas por sedimentos que provienen predominantemente del arco interno, del antearco cuando este se levanta sobre el nivel del mar o de origen biogénico formado *in situ* (Montero, 2000a).

Denyer et al. (2003) cartografiaban la zona de estudio como parte de una paleocuenca sedimentaria relacionada con el antearco. En ese sentido Montero (2000a) menciona que hasta hace unos 5 Ma, la cuenca del Térraba fue también una cuenca antearco, dado que

era una depresión marina que recibió grandes volúmenes de sedimentos hasta el Mioceno, sin embargo, cuando comenzó la subducción del levantamiento del Coco a principios del Plioceno, se dio una inversión tectónica, es decir por levantamientos tectónicos esta zona de cuenca emergió y se convirtió en montañas, originándose la actual Fila Costeña. (Figura 10)

5.1.3. Geomorfología regional

El ambiente tectónico de la región, junto con las características litológicas de las rocas, las corrientes litorales y las condiciones climáticas predominantes, constituyen los principales elementos que han controlado el desarrollo de las distintas formas del terreno en esta zona. En ese sentido, Salazar (2000) y el ITCR (2008) muestran la presencia de las siguientes unidades geomorfológicas a nivel regional (Figura 12):

- Formas de origen tectónico y erosivo

Este tipo de geoforma se relaciona específicamente con la Fila Costeña, la cual tiene su origen en el ascenso de los sedimentos asociados a la paleocuenca antearco Térraba, debido a la subducción de la cordillera submarina del Coco hace unos 3.6 Ma aproximadamente. Posterior a este ascenso los procesos erosivos se han encargado de dar la actual forma a la fila Costeña. Salazar (2000) indica que en forma general esta fila se extiende paralela a la costa del océano Pacífico, orientada noroeste-sureste de acuerdo a la dirección estratigráfica general de las rocas sedimentarias que la forman, y su piedemonte se ubica generalmente a unos siete kilómetros de la línea de costa.

En términos generales las pendientes son fuertes, de incluso 90 grados, principalmente en aquellas laderas que forman el flanco suroeste de la unidad, osea las que miran hacia el Pacífico, mientras que las del noreste son en general más suaves debido a que corresponden con la dirección de buzamiento de las capas (Salazar, 2000). En este mismo sentido el ITCR (2008) presenta dentro de esta misma unidad una subdivisión como formas originadas en rocas sedimentarias con presencia de laderas muy empinadas y escarpes de erosión.

Una serie de rasgos en las laderas como alineamientos y escarpes pronunciados ponen en evidencia la tectónica compresiva que dio origen al ascenso de los sedimentos. Al respecto Salazar (2000) indica que este ascenso se dio a lo largo de fallas, inclinándose en sus últimas etapas de ascenso hacia el NE, y la erosión fluvial terminó de modelar la unidad, alcanzando su forma final hacia el Pleistoceno.

- Formas de origen aluvial

Asociadas con procesos de relleno por aluviones que han sido acarreados por ríos y quebradas, pudiendo existir además cierto aporte marino o lacustre. Salazar (2000) menciona que una llanura aluvial corresponde con grandes extensiones de terrenos depositados por varios ríos, mientras que los planos aluviales corresponden con pequeñas extensiones formadas por un solo río. En ese sentido, menciona que a lo largo de todo el litoral pacífico del país es posible ubicar planos aluviales, tal es el caso de los localizados principalmente en la zona entre Parrita y Quepos. En los cauces asociados a estos planos es posible localizar meandros, canales abandonados, lagos en herradura y diques formados por acumulación, además la presencia de terrenos pantanosos es frecuente. Los aluviones pueden estar constituidos por diversos tipos de rocas según los materiales que son erosionados en las montañas y presentan granulometrías variables, desde bloques métricos hasta limos.

Otra forma de origen aluvial muy común descrita por Salazar (2000) corresponde con los denominados conos aluviales. Estos se forman en la zona de transición de las cordilleras o cerros a las llanuras o planos aluviales, tienen forma de abanico con parte posterior apuntando hacia la cordillera. Se originan por el aporte de los ríos y las quebradas que descienden de las cordilleras cargados de materiales y que al disminuir el gradiente empiezan a depositar su carga.

- Formas litorales de origen marino

El ITCR (2008) relaciona este tipo de forma específicamente con el tómbolo de Uvita. Según Denyer y Cárdenas (2000) este tipo de forma corresponde con barras de arena depositada por las corrientes marinas que unen una isla con la tierra firme. El tómbolo de punta Uvita mide unos 500 metros de largo y 50 de ancho.

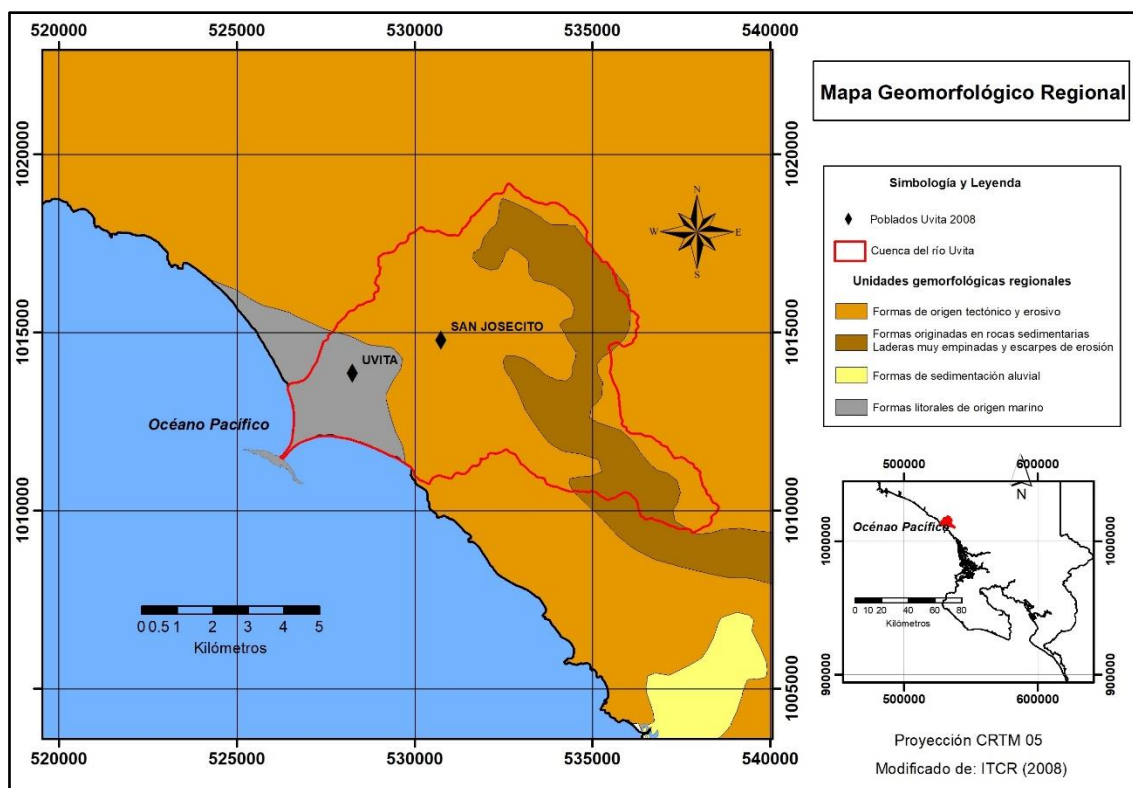


Figura 12. Mapa geomorfológico regional. Modificado de ITCR (2008).

5.1.4. Geomorfología local

Para la clasificación de las pendientes del terreno existentes en la cuenca del río Uvita se han utilizado las categorías establecidas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería y Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas (MAG y MIRENEM, 1995).

Las pendientes mayores se localizan hacia los sectores montañosos de la fila Costeña (figura 13), en donde predominan las categorías a partir del 30% de pendiente e incluso superiores al 75%. En términos generales estas zonas de mayor pendiente en la fila Costeña corresponden con las zonas de contrabuzamiento de los estratos de la formación Térraba, cañones de los ríos y también pueden estar asociadas con posibles escarpes en zonas de falla.

Entre el poblado de Uvita y el caserío de San Josecito se localiza una zona en la predominan pendientes moderadas de hasta un 15% (figura 13). Esta zona corresponde con un área de transición desde el sector montañoso a las zonas de plano aluvial, en la que las pendientes disminuyen y se deposita gran parte de las fracciones más gruesas arrastradas por los ríos debido a la disminución de la energía en las corrientes. Los depósitos de tipo coluvial al pie de los cerros también son comunes en este sector.

Las pendientes menores, ubicadas en el rango de los 0 a 3% (figura 13), se localizan en la parte baja de la cuenca en el extremo suroeste del área de estudio, y corresponde con la zona de plano aluvial en la que predominan los procesos de depositación y relleno fluvial.

A partir del análisis de las geoformas, las pendientes y patrones de drenaje existentes en la cuenca del río Uvita, se han definido un total de cuatro unidades geomorfológicas a nivel local con base en la metodología desarrollada por Van Zuidam (1986). La distribución de estas unidades se observa en la figura 14.

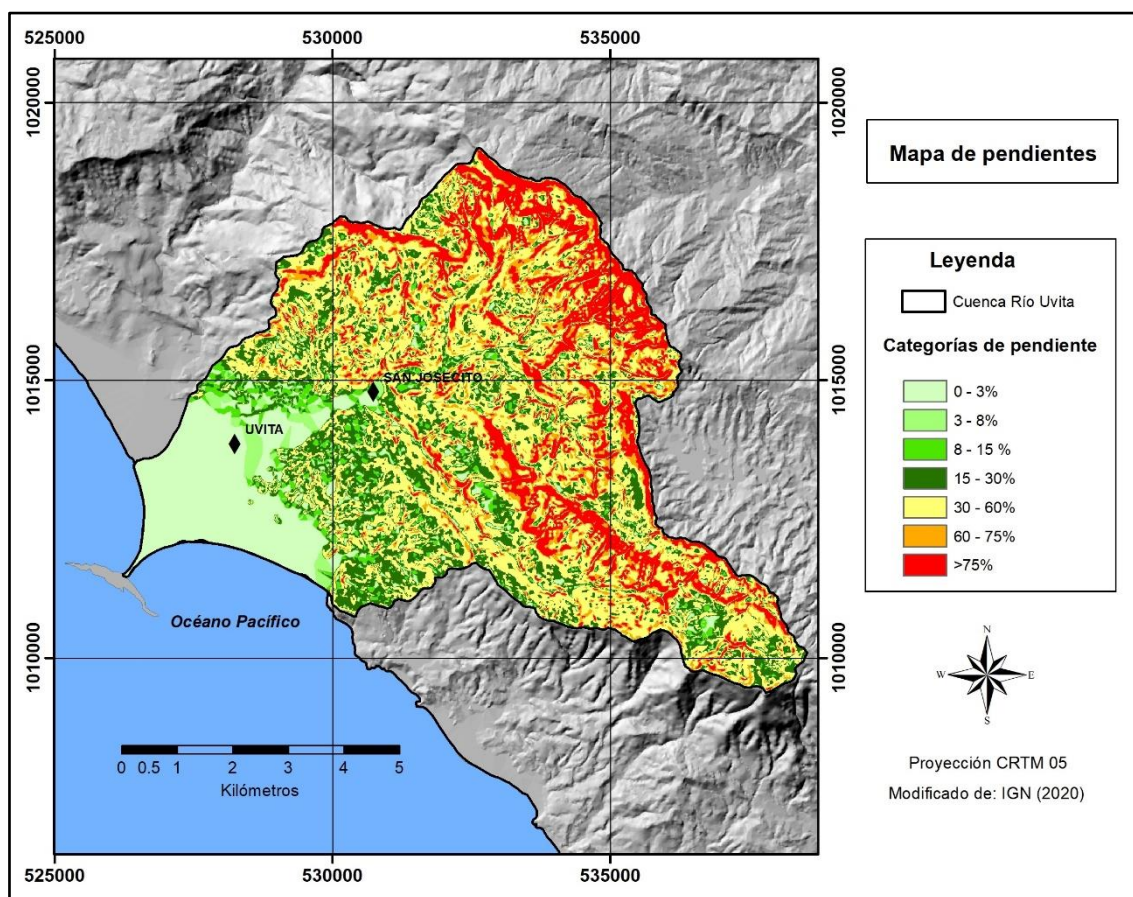


Figura 13. Mapa de pendientes de la cuenca del río Uvita. Elaboración propia con base en IGN (2020).

- Formas de origen estructural – denudacional

Corresponde con los sectores montañosos de la fila Costeña, la cual se originó por el ascenso de rocas sedimentarias debido a la colisión y subducción de la serranía de Cocos hace aproximadamente unos 3.6 Ma. Se caracteriza por la presencia de las mayores pendientes en la zona de estudio, predominando las categorías a partir del 30%, aunque en muchos sectores pueden fácilmente superar el 75% al relacionarse con posibles escarpes de fallas o gargantas y cañones de los ríos. La ladera de la fila Costeña que da hacia el océano Pacífico corresponde en forma general con el contrabuzamiento de las rocas sedimentarias, lo cual contribuye también a la presencia de fuertes pendientes en este sector. El patrón de drenaje de los cursos superficiales en esta zona es

predominantemente de tipo dendrítico en sentido de la pendiente y que puede evidenciar cierta uniformidad en la resistencia de los materiales, no obstante, ciertos sectores también muestran la existencia de un drenaje más rectangular que pone en evidencia un control de tipo estructural, ya sea por la presencia de la estratificación de las rocas sedimentarias o un rasgo tectónico como posible fallas o plegamientos.

La erosión fluvial de los cursos de agua, así como algunos procesos de reptación y deslizamientos en el terreno corresponde con los principales agentes denudacionales que han dado forma a las actuales laderas. Esta unidad ocupa un 87.4 % de la cuenca del río Uvita (figura 14). Dentro de esta unidad se incluyen también algunos cerritos aislados de rocas sedimentarias asociadas a la Fm. Térraba, que muy probablemente en presencia de una erosión diferencial, han logrado permanecer debido a su mayor dureza y sobresalen actualmente en la zona de plano aluvial.

- Formas de origen denudacional – fluvial

Corresponde aproximadamente con un 2.9% del área de estudio y se localiza hacia el NE del poblado de Uvita (figura 14). En esta zona el rango de pendiente se ubica entre 0 a 15% como máximo. Se considera una zona intermedia entre la zona montañosa y la de plano aluvial, en la que los ríos de montaña ven disminuida la pendiente, se genera una pérdida de energía y se da la depositación de las fracciones mayores arrastradas por las corrientes. Al piedemonte de los cerros en este sector también es común la existencia de coluvios generados a partir de la erosión de las rocas sedimentarias preexistentes. Estos coluvios pueden interdigitarse con los depósitos fluviales generados por los ríos y quebradas de la zona.

- Formas de origen fluvial

Se localiza hacia el SW del área de estudio, en la parte baja de la cuenca del río Uvita y cuenta con un ancho máximo de unos 2 km (figura 14). Esta unidad ocupa aproximadamente un 8.88% de la cuenca y se caracteriza por presentar pendientes muy planas que van desde 0 a 3%. Es una zona de plano aluvial, en la que predominan los procesos de depositación fluvial con predominancia de fracciones finas como arcillas, limos,

arenas y gravas finas. Los procesos de erosión se concentran básicamente en los márgenes de los cauces actuales. En las zonas más planas predomina el drenaje de tipo meándrico en el cauce del río Uvita y en algunas quebradas de la zona, con abundante presencia de meandros y cauces abandonados.

- Formas de origen marino

Corresponde con menos del 1% del área de estudio y se relacionan específicamente con las zonas de playa, destacando la existencia del denominado tómbolo de Uvita. Su composición es básicamente arenas de playa acarreadas y depositadas por la acción de las mareas y los vientos. En esta zona las pendientes se ubican entre 0 a 3% como máximo.

Finalmente, tal y como se observa en la figura 14, es importante mencionar la presencia de varios alineamientos en ciertos ríos y quebradas, así como en la morfología del terreno, que ponen en evidencia la posible existencia de un control de tipo estructural o estratigráfico en la zona. Dos alineamientos muy marcados de rumbo NW – SE en el río Ballena y otro cauce sin nombre pueden estar relacionados con la dirección estratigráfica de las rocas o alguna falla de tipo inversa asociada a la falla longitudinal de Costa Rica. Por otra parte, otros dos alineamientos de rumbo NE – SW a lo largo del actual cauce del río Uvita, así como el antiguo cauce del mismo río, pueden estar relacionados con posibles fallas que se extienden tierra adentro.

Las unidades geomorfológicas mencionadas, que se han definido para el área de estudio según la metodología de geoformas de Van Zuidam (1986), han servido como base para la delimitación de la cartografía geológica en la cuenca del río Uvita, que en forma integral con la geología regional, afloramientos de campo, geofísica y perforaciones exploratorias, han permitido la elaboración y detalle de los mapas y modelos geológicos e hidrogeológicos locales, tal y como se describen en los apartados siguientes. En ese sentido, específicamente las formas de origen denudacional–fluvial y formas de origen fluvial, corresponden con los materiales porosos que conforman el acuífero aluvial del río Uvita que será objeto de la modelación numérica en esta investigación.

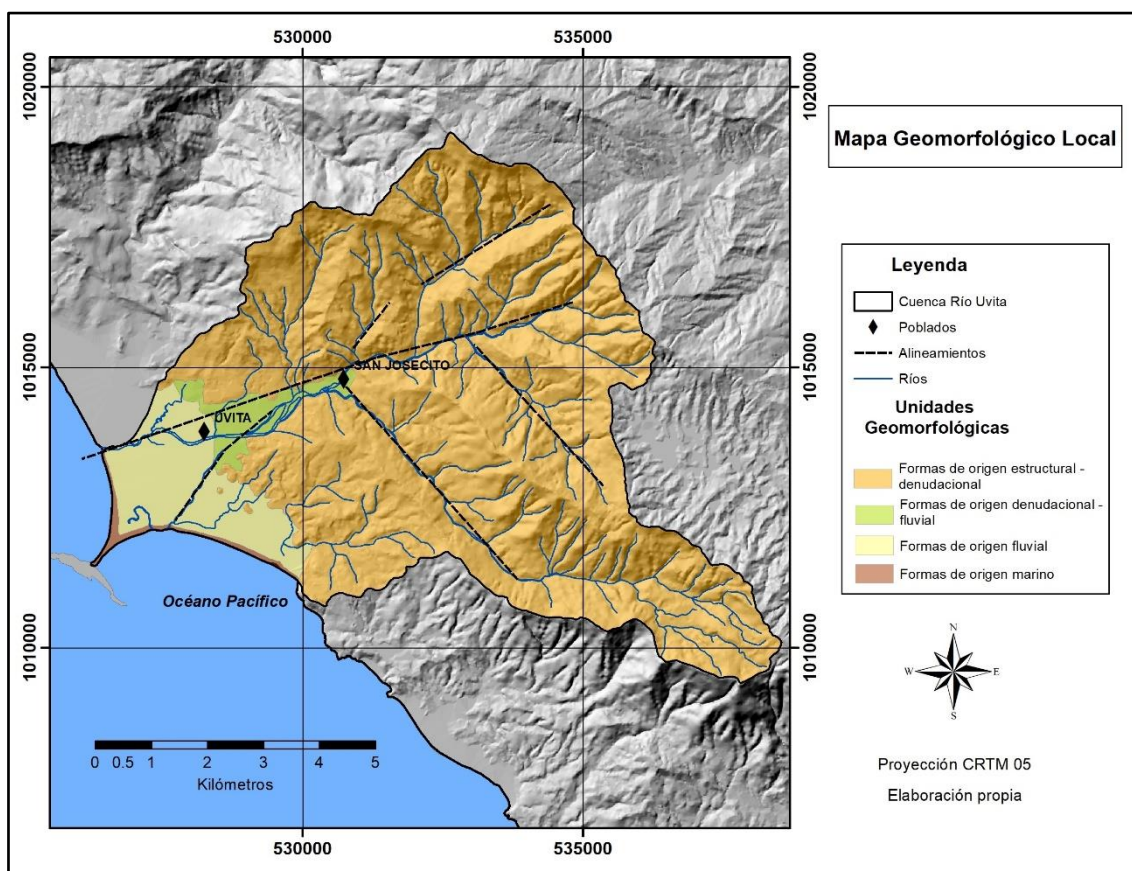


Figura 14. Mapa geomorfológico local. Elaboración propia con base en IGN (2020).

5.1.5. Geología local

La determinación y caracterización de la geología local en el área de la cuenca del río Uvita, se ha realizado a partir de la integración de la información bibliográfica, junto a la existente en las bases de datos institucionales, la geomorfología local, y la generada en campo durante las campañas de perforación exploratoria, mapeo geológico, sondeos geofísicos y caracterización de suelos. Esta integración de información ha permitido realizar el modelo geológico para la cuenca en estudio.

5.1.5.1. Registros litológicos de pozos

Al 2020 se tiene registro en la base de datos del SENARA de un total de 11 pozos en la cuenca del río Uvita, sin embargo, tres de estos pozos no cuentan con informe de perforación, por lo que no aportan información relevante en cuanto a litologías o niveles de aguas subterráneas. De esta forma, en el anexo 1 se presenta la información completa de los 11 pozos y en la tabla 3 se observa un resumen de su litología. La ubicación de estos pozos se muestra en la figura 15.

Es importante mencionar, que la información de nacientes existentes en la base de datos del SENARA será descrita más adelante en los apartados de hidrogeología.

Tabla 3

Pozos existentes en la base de datos del SENARA

Código	Litología	Profundidad (m)	Nivel estático (m)	Formación geológica
COR-13	0-27 m: Suelo con alto contenido de arcillas 27-55 m: Lutitas y areniscas finas 55-200 m: Estratos y areniscas finas color gris	200	160	Térraba
COR-14	0-5 m: Arcilla color naranja 5-80 m: Limos y lutitas meteorizados con bloques de material sedimentario.	80	14	Térraba
COR-23	0-12 m: Suelo arcilloso naranja 12-18 m: Limos arcillosos con bloques de lutitas 18-52 m: Lutitas y areniscas gris oscuro 52-70 m: Aluviones subredondeados	70	25	Térraba
COR-24	0-12 m: Suelo arcillosos rojizo 12-48 m: Lutitas y areniscas intercaadas, sin aporte de agua. 48-130 m: Areniscas medias a finas, acuífero 130-133 m: Lutitas color gris claro	133	50	Térraba
COR-34	0-18 m: Arcilla plástica 18-27 m: Roca sedimentaria arenisca y lutitas de Fm. Térraba	80	28.02	Térraba
COR-40	27-80 m: Intercalación de areniscas y lutitas 0-15 m: Suelo arcillosos color naranja 15-51.15 m: Intercalación de areniscas Fm. Térraba.	51.15	16.6	Térraba
COR-42	0-32 m: Suelo arcilloso café rojizo 32-40 m: Areniscas y lutitas muy fracturadas 40-140 m: Intercalación de areniscas y lutitas muy sanas café claro de la Fm. Térraba.	140	65	Térraba
RE-14	0-35 m: Suelo arcilloso naranja 35-50 m: Bloques centimétricos redondeados y matriz arcillosa 50-150 m: Lavas andesíticas, grises y sanas	150	55	Térraba
RE-20		90		Térraba
RE-22		80		Térraba
RE-23		90		Térraba

Elaboración propia con base en los datos obtenidos de SENARA (2020).

5.1.5.2. Perforaciones exploratorias

A través de la licitación pública nacional 2013-LN-000009-OC “Perforación exploratoria del subsuelo y armado de piezómetros para investigación de los acuíferos del Pacífico Central, Puntarenas”, promovida por el SENARA, se construyeron siete piezómetros exploratorios en la cuenca del río Uvita con profundidades entre los 50 y 100 metros, para un total de perforación exploratoria de 400 metros. El objetivo de estos piezómetros fue la determinación de información geológica en profundidad, así como de parámetros hidráulicos y niveles de agua subterránea, como insumos para la construcción de los modelos geológico e hidrogeológico. En la tabla 4 se presenta el resumen de la información obtenida en estos piezómetros, y en la figura 15 su ubicación en la cuenca. Los informes de perforación completos se incluyen en el anexo 1.

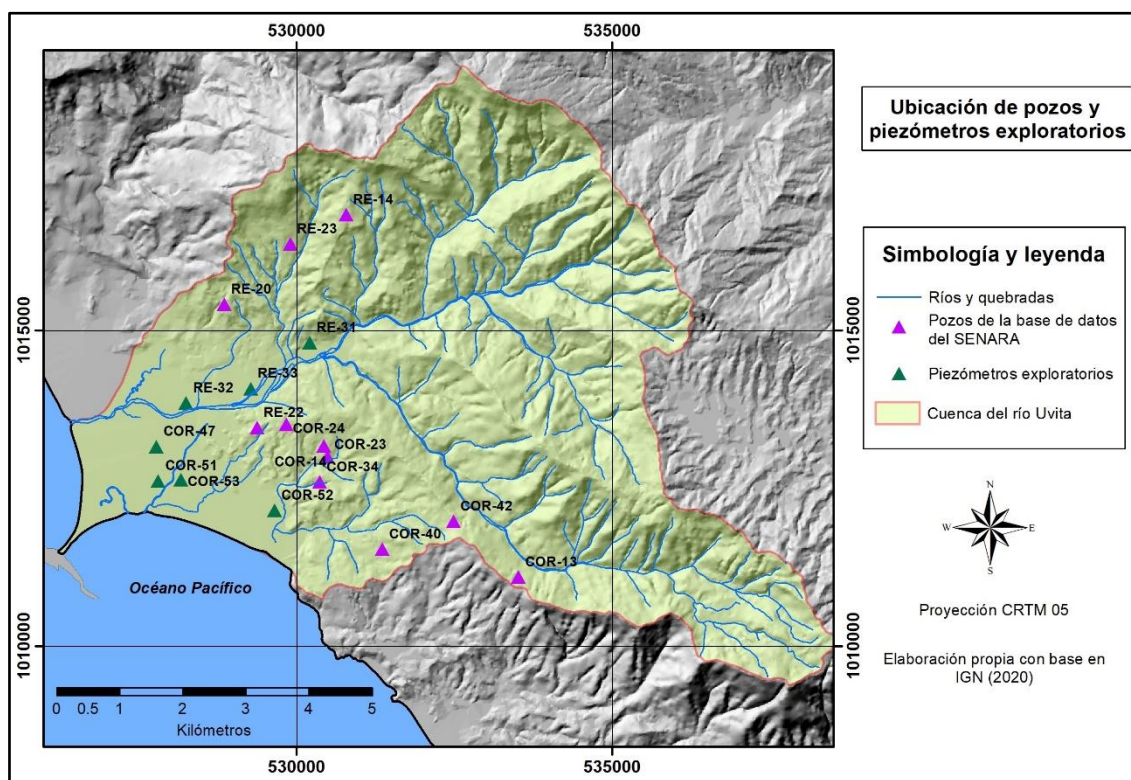


Figura 15. Mapa de ubicación de pozos existentes en la base de datos del SENARA y piezómetros exploratorios. Elaboración propia con base en IGN (2020).

Tabla 4

Resumen de la información obtenida en los piezómetros exploratorios

Nombre	Código	Litología	Nivel estático (m)	Conductividad hidráulica (m/d)	Formación geológica perforada
Don Toño	RE-31	0-11.3 m: Arenas finas café aluviales 11.3-18.3 m: Coluvio 18.3-100 m: Lutitas y areniscas (Fm. Térraba)	8.40	26m: 0,204 (Lugeon) 35m: 0,753 (Lugeon) 44m: 0,263 (Lugeon) 56m: 0,00177 (Lugeon) 70m: 0,0324 (Lugeon) 79m: 0,00806 (Lugeon) 91m: 0,0482 (Lugeon)	Aluvial Coluvio Térraba
ASADA	COR-47	0-30.65 m: Aluvial 30.65-38.15 m: Arcillas café y rojizas (Térraba meteorizado) 38.15-50 m: Lutitas y areniscas (Fm. Térraba)	2.80	41m: 0,138 (Lugeon) 44m: 0,0254 (Lugeon) 47m: 0,00187(Lugeon)	Aluvial Térraba
Hotel Playa Luna	COR-52	0-18.76 m: Aluvial 18.76-50 m: Lutitas y areniscas (Fm. Térraba)	3.80	9m: 186,36 (Hvorslev) 18m: 7,05 (Hvorslev) 30m: 0,202 (Lugeon) 44m: 0,191 (Lugeon)	Aluvial Térraba
Cabinas Uvita	COR-51	0-35.90 m: Aluvial 35.90-36.40 m: Gabro 36.4-50 m: Lutitas y areniscas (Fm. Térraba)	1.40	9m: 1,42 (Hvorslev) 18m: 177,65 (Hvorslev) 27m: 237,49 (Hvorslev) 36m: 24,21 (Hvorslev) 46m: 43,45 (Hvorslev)	Aluvial Puerto Nuevo Térraba
Salón comunal Uvita	RE-32	0-30.7 m: Aluvial 30.7-50 m: Lutitas y areniscas (Fm. Térraba)	7.50	14,7m: 67,01 (Hvorslev) 24,7m:119,10 (Hvorslev) 30,7m: 9,07 (Lugeon) 41,2m: 3,68 (Lugeon)	Aluvial Térraba
Salón comunal Bahía	COR-53	0-26.11 m: Aluvial 26.11-32 m: Arcillas plásticas y bloques (Térraba meteorizado) 32-50 m: Lutitas y areniscas (Fm. Térraba)	2.30	9m: 206.56 (Hvorslev) 18m: 101.76 (Hvorslev) 26.87m:0.033(Hvorslev) 36m: 2.0462 (Hvorslev) 45m: 0.7824 (Hvorslev)	Aluvial Térraba
Ganadería 36	RE-33	0-18.5 m: Aluvial 18.5-50 m: Lutitas y areniscas (Fm. Térraba)	4.95	9,05m: 64,5 (Hvorslev) 18m: 150,3 (Hvorslev) 26m: 0,0297 (Lugeon) 35m: 0,335 (Lugeon) 47,46m:1,86 (Lugeon)	Aluvial Térraba

Elaboración propia con base en la información obtenida de SENARA (2020).

5.1.5.3. Caracterización de suelos

El SENARA, mediante los procesos de licitación 2013-LN-000008-OC “Pruebas de infiltración, tipos de suelo e investigación geofísica en: parte media de la cuenca del río Tempisque, cuenca del río Arío y zonas costeras del Pacífico Central” y 2018LA-000002-OC “Pruebas de infiltración y estudios de suelos con fines hidrogeológicos en la zona del Pacífico Central”, realizó una campaña de muestreo de suelos y pruebas de infiltración,

para clasificación y caracterización de los distintos tipos de suelos que se han desarrollado a partir de las litologías existentes.

Los resultados de estos análisis se requieren como insumos básicos para el desarrollo del balance hídrico de suelos y la estimación de la recarga potencial de los acuíferos existentes en el área de estudio. Se tomaron como parte de estas licitaciones un total de 7 muestras, distribuidas en función de las litologías existentes y cuya ubicación se muestra en la figura 16. En estos sitios se evaluaron los parámetros de conductividad hidráulica, capacidad de campo, punto de marchitez, densidad aparente, granulometría, porosidad, pesos específicos y clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Adicionalmente, se realizaron análisis químicos, pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico, nitrógeno total, C/N, CIC+bases.

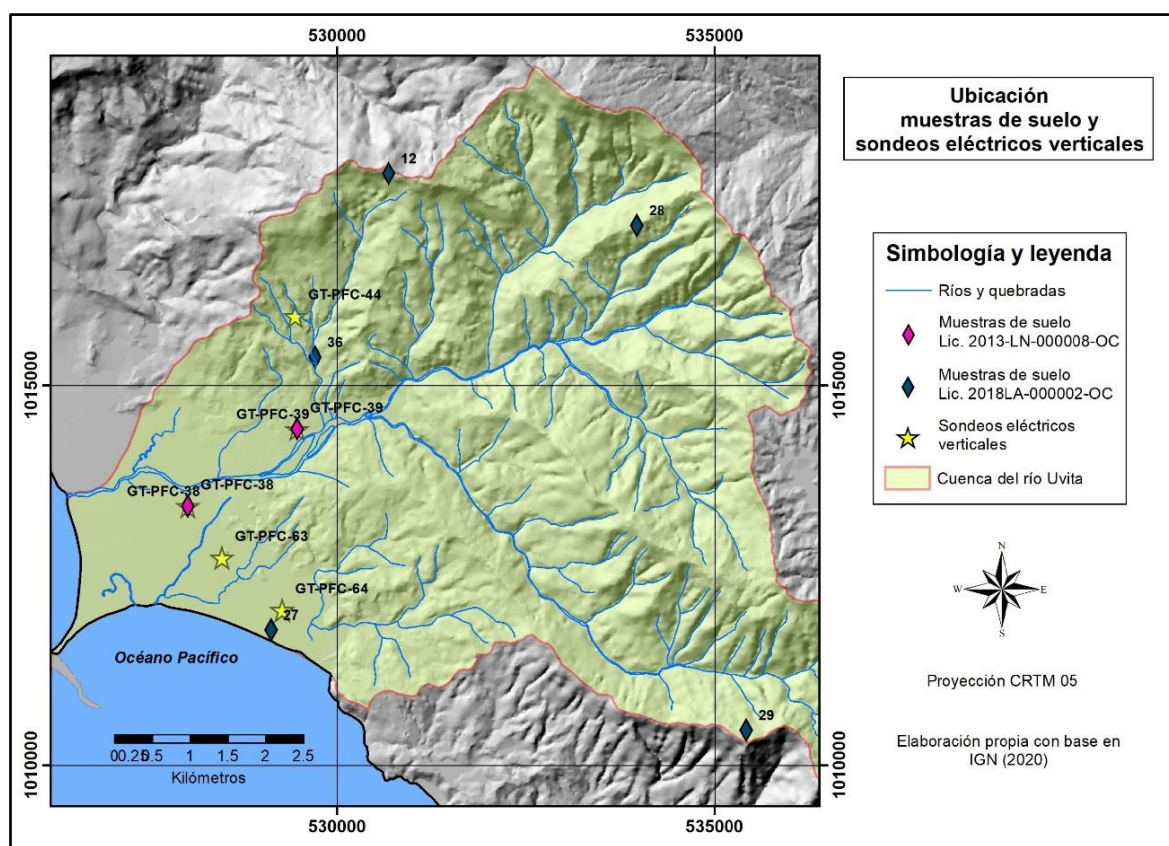


Figura 16. Mapa de ubicación de muestras de suelo y sondeos eléctricos verticales. Elaboración propia con base en IGN (2020).

Por otra parte, el SENARA realizó un muestreo adicional en 12 sitios para determinación de capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente, cuyos análisis de laboratorio fueron realizados por parte del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).

En este apartado de geología se presentan únicamente los resultados de la clasificación de suelos SUCS generados a partir de las litologías existentes. Los demás parámetros analizados se mostrarán en el apartado de balance hídrico de suelos. En todo caso, en el anexo 2 se muestran los resultados de todos los parámetros analizados a las muestras de suelo.

La ubicación de las diferentes muestras tomadas se observa en el mapa de la figura 16 y en la tabla 5 se presenta un resumen de las clasificaciones SUCS obtenidas para los suelos.

Tabla 5

Clasificaciones de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Licitación	Código de licitación	Latitud	Longitud	Clasificación	Formación geológica asociada
2013-LN-000008-OC	GT-PFC-38	1013403	528025	Arena arcillosa (SC)	Aluvión
2013-LN-000008-OC	GT-PFC-39	1014425	529468	Limo elástico arenoso (MH)	Térraba
2018LA-000002-OC	12	1017780	530686	Grava limosa (GM)	Térraba
2018LA-000002-OC	27	1011780	529126	Arena limosa (SM)	Aluvión
2018LA-000002-OC	28	1017100	533968	Limo de alta plasticidad (MH)	Térraba
2018LA-000002-OC	29	1010460	535422	Limo de alta plasticidad (MH)	Térraba
2018LA-000002-OC	36	1015370	529708	Limo de alta plasticidad (MH)	Térraba

Elaboración propia con base en la información de SENARA (2015) y SENARA (2019).

5.1.5.4. Exploración geofísica

Como parte de la licitación de SENARA 2013-LN-000008-OC, en la cuenca del río Uvita fueron realizados cinco sondeos eléctricos verticales con AB/2 de 450 metros, para una profundidad de exploración aproximada de 150 metros. La ubicación de estos sondeos se muestra en la figura 16 y en la tabla 6 se presenta un resumen de la información obtenida en estos sondeos.

Tabla 6

Sondeos eléctricos verticales – Licitación 2013-LN-000008-OC

Sondeo	Latitud	Longitud	Estratigrafía	Resistividad ($\Omega - m$)	Espesor (m)	Nivel de agua (m)
GT-PFC-38	1013403	528025	Arcillas	114	1.2	3.65
			Gravas	504	22.5	
			Limos arenosos saturados	6	13.41	
			Areniscas y lutitas	179	112.8	
GT-PFC-39	1014424	529468	Limos arcillosos	13	1.2	3.65
			Limos arenosos	33	9.8	
			Coluvio	1167	25.6	
			Lutitas	11	113.4	
GT-PFC-44	1015908	529443	Arcillas	5	1.2	2.43
			Limos arenosos	37	11	
			Lutitas y areniscas	119	137.8	
GT-PFC-63	1012730	528476	Limos arenosos densos	32	3	2.8
			Arenas saturadas	59	18.29	
			Lutitas	10	78.71	
GT-PFC-64	1012038	529275	Arenas finas drenadas	16	1.21	8.5
			Arenas	23	1.82	
			Arcillas	6	3.65	
			Arenas saturadas	68	23.78	
			Lutitas	7	69.54	

Elaboración propia con base en la información de SENARA (2015).

5.1.5.5. Mapeo geológico

Con el objetivo de verificar en campo las litologías reportadas en los estudios a nivel regional, se realizó un cartografiado geológico por distintos sectores del área de interés. Los afloramientos levantados en campo y que se muestran en el mapa de la figura 17, permitieron identificar ciertas variaciones con respecto a los límites de las formaciones geológicas regionales trazados por Denyer y Alvarado (2007). Esta información fue considerada para la elaboración y actualización del mapa geológico local en la cuenca del río Uvita, tal y como se mostrará en el apartado siguiente de modelo geológico.

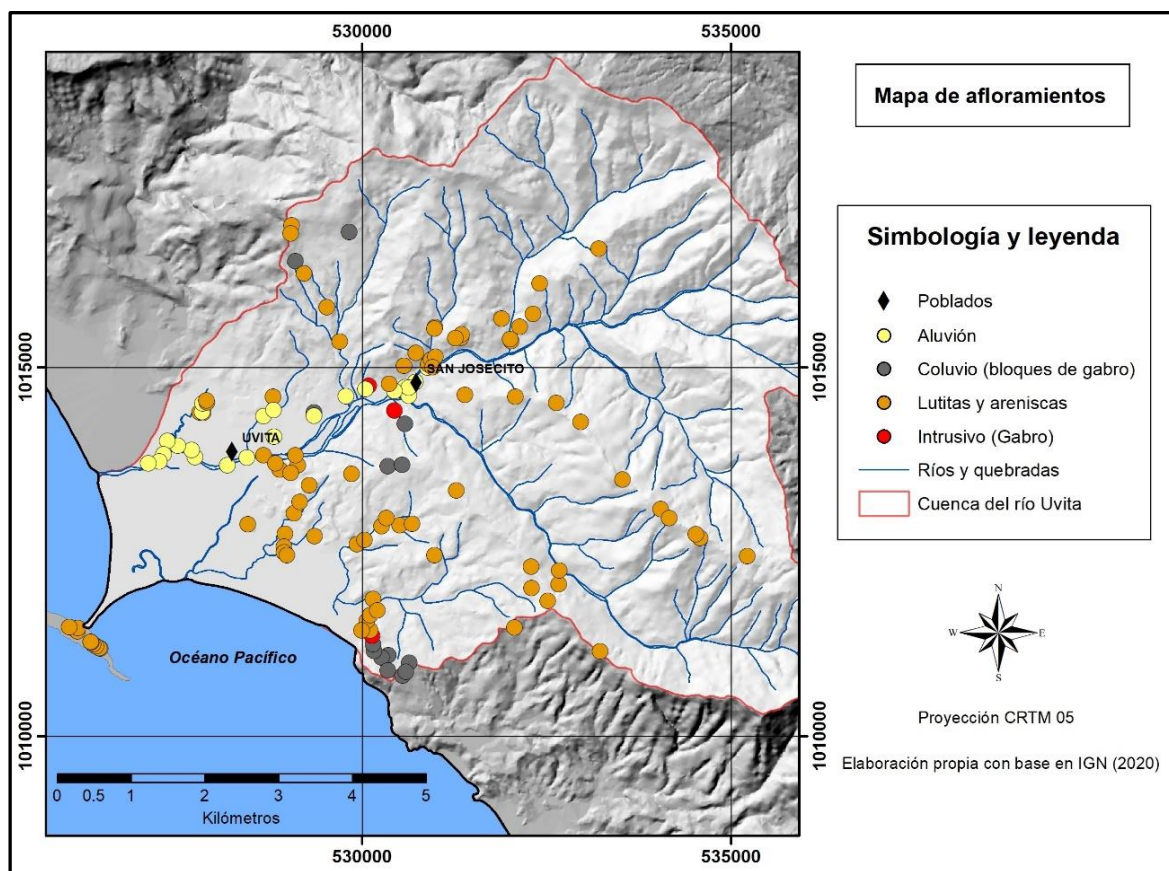


Figura 17. Mapa de afloramientos. Elaboración propia con base en IGN (2020).

5.1.5.6. Modelo geológico local

La zona de estudio se caracteriza por presentar en toda su extensión un modelo geológico bastante homogéneo. En forma general hacia los sectores montañosos de la Fila Costeña se presentan rocas asociadas a la Fm. Térraba, mientras que en las zonas planas cercanas a la costa se ubican depósitos de tipo aluvial sobreyaciendo a los materiales de la Fm. Térraba. También es común, principalmente en los sectores montañosos con pendientes fuertes, la presencia de depósitos coluviales recientes de poca extensión. Por otro lado, rocas asociadas a la Fm. Puerto Nuevo se encuentran intruyendo los materiales de la Fm. Térraba, tal y como ha sido identificado en el campo y en las perforaciones exploratorias. La figura 25 muestra el mapa geológico del área de estudio, y las figuras 26, 27 y 28 corresponden con los perfiles geológicos que muestran la relación estratigráfica entre las distintas formaciones.

Se describe a continuación cada una de las formaciones rocosas que han sido identificadas en la cuenca del río Uvita.

5.1.5.6.1. Formación Térraba

Sus afloramientos se localizan principalmente hacia el sector montañoso de la Fila Costeña y se ha identificado en profundidad en las perforaciones exploratorias, conformando a nivel local el basamento geológico del área de estudio (Figuras 25, 26 y 27)

Consiste principalmente de estratificaciones de lutitas y areniscas de grano fino a medio, y esporádicamente areniscas gruesas y gravas finas. En superficie sana la coloración de las rocas es predominantemente gris a gris verdoso, aunque también se pueden encontrar tonos beige hasta café oscuro. Es común la reacción al HCl así como la presencia de vetas de calcita, mientras que la presencia de fósiles más bien es sumamente extraña, lográndose identificar solamente algunos bivalvos de entre 1 a 1.5 centímetros en areniscas de granulometría fina. En algunas de estas areniscas finas también se identificó la presencia de laminación de tipo paralela o cruzada.

En estado de meteorización las coloraciones predominantes son rojizas, naranjas o café claro, así como abundantes pátinas de manganeso y óxido de hierro. Las lutitas pueden presentarse muy deleznales, y tanto en areniscas como en lutitas suele ser común la presencia de meteorización esferoidal (figura 18).

Petrográficamente, las muestras de roca analizadas han sido clasificadas como lutitas calcáreas, areniscas líticas, areniscas arcósicas y areniscas brechosas.

Si bien es cierto, en los estratos de esta formación predominan los espesores decimétricos a métricos, en ocasiones es posible ubicar algunos estratos por debajo de los 10 centímetros, o el caso contrario en que los paquetes, principalmente de areniscas presentan un aspecto muy masivo. El alto grado de fracturación que en ocasiones muestran los afloramientos puede dificultar la determinación con exactitud de los espesores de estratos.



Figura 18. Meteorización típica en areniscas de la Fm. Terraba. Nótese la meteorización esferoidal en estas rocas. Coordenadas 1015189 N / 530729 E.

La dirección de buzamiento predominante en estas rocas es hacia el noreste (figura 19), coincidiendo con la tectónica compresiva regional que dio origen a la Fila Costeña, tal y como se observa en la figura 30, sin embargo, en ciertos sectores esta dirección de buzamiento puede variar fuertemente debido a la influencia de fallas o plegamientos en las rocas. Precisamente, en la misma figura 30 es posible observar dos sectores en los que las direcciones de buzamiento de los estratos (NE y SW) claramente evidencian la presencia de dos plegamientos de tipo antiforma.



Figura 19. Estratificación de lutitas y areniscas en el sector de la cola de la ballena. Dirección de buzamiento al NE. Coordenadas 1011268 N / 526332 E.

Como se mencionó anteriormente, muchos afloramientos de esta formación se encuentran fuertemente tectonizados. La presencia de varias fallas ha sido identificada en varios afloramientos, principalmente en el sector de la cola de la ballena y en las cercanías del poblado Uvita, e igualmente una serie de rasgos geomorfológicos como el alineamiento de

cauces o cerros aislados han servido como criterio para el trazado de algunas fallas inferidas en la zona. No obstante, este aspecto será desarrollado con más detalle en el apartado de tectónica local (figura 20).

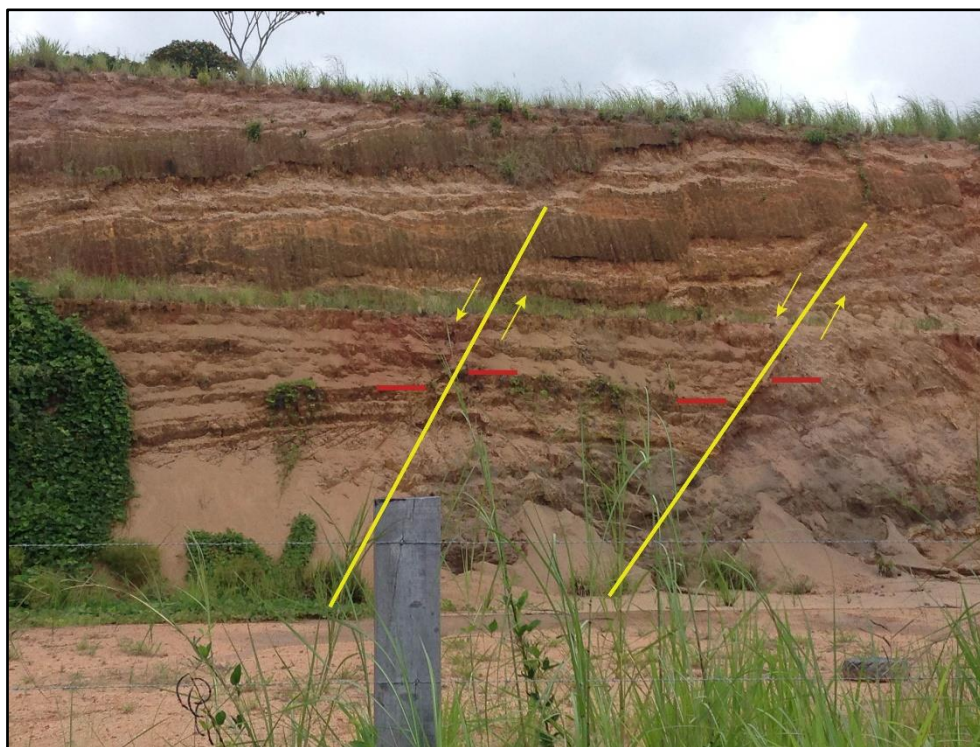


Figura 20. Fallamiento de tipo normal en rocas de la Fm. Térraba observado en las cercanías del poblado de Uvita.

En las cercanías de algunos afloramientos en que se identificaron intrusiones asociadas con la Fm. Puerto Nuevo, los estratos de areniscas o lutitas mostraban tonalidades naranjas, blancuzcas e incluso morado claro que podrían estar relacionadas con algún tipo de alteración hidrotermal a partir de esas intrusiones. No se lograron observar areniscas o lutitas metamorfizadas en el área de estudio, incluso en el piezómetro exploratorio COR-51 en el que se identificó una sección de intrusivo, sin embargo, su existencia no puede ser descartada, al tomar en cuenta que CICG (2016) menciona que los pozos RE-28 y RE-30, indican la presencia de una zona de metamorfismo de contacto con presencia de cornubianitas y gabroides a una profundidad de 65 m.

Los suelos generados a partir de la meteorización de estas rocas suelen presentar una coloración rojiza muy particular, en ocasiones café claro, con presencia de fragmentos muy meteorizados de lutitas y areniscas. Según la clasificación SUCS, estos suelos se ubican en el rango de los limos de alta plasticidad hasta gravas limosas. Por otra parte, los registros de varios pozos indican que el espesor de estos suelos puede alcanzar hasta los 35 metros (pozo RE-14).

5.1.5.6.2. Formación Gabro de Puerto Nuevo

Los afloramientos relacionados con esta formación se localizan principalmente en los sectores montañosos de la Fila Costeña, en donde han intruido los sedimentos de la Fm. Térraba y actualmente afloran debido a los efectos de la erosión diferencial. Por otra parte, en la perforación exploratoria COR-51 también se detectó un cuerpo intrusivo gabroico con unos 50 cm de espesor que se ha interpretado como un posible dique (figuras 25 y 27).

Se trata de rocas ígneas intrusivas con tonalidades de grises claros hasta oscuros, con textura afanítica porfirítica con presencia de minerales milimétricos de plagioclasa, piroxenos y en ocasiones pirita. Su dureza es variable en función del grado de meteorización, pero cuando están sanas son extremadamente duras. Petrográficamente se clasifican como gabros, según una muestra analizada en el piezómetro exploratorio de SENARA COR-50 (anexo 1), ubicado fuera del área de estudio en los alrededores de playa ballena. En este análisis petrográfico se reporta la presencia de minerales de plagioclasa, olivino, hipersteno y pirita.

En el mismo COR-50 se describe en la zona de contacto con una lutita, la presencia de metamorfismo de contacto de bajo grado entre 1 y 2 cm del contacto, así como la presencia en la roca intrusiva de asimilaciones de fragmentos de roca que probablemente corresponden con la roca caja.

Al alterarse, la roca puede presentar meteorización esferoidal, con superficies de color predominantemente café claro y presencia de suelos incipientes limo-arcillosos de color café rojizo. La alteración de las plagioclasas genera en la roca una superficie manchada de tonalidades blancuzcas (figura 21).



Figura 21. Alteración de las plagioclasas en rocas de la Fm. Puerto Nuevo que genera una superficie manchada con tonalidades blancuzcas.

5.1.5.6.3. Depósitos recientes

- Aluviones

Son materiales inconsolidados con presencia de gravas, arenas o arcillas, que han sido generados a partir de la erosión de los materiales preexistentes y posteriormente son transportados y depositados por los ríos de la zona. Se encuentran sobreyaciendo a las rocas sedimentarias de la Fm. Térraba, y los principales depósitos de este tipo se ubican en las zonas planas cercanas a la costa, en las márgenes del río Uvita y las quebradas Villegas y Colonia (figuras 22, 23 y 25).

Estos depósitos progresivamente van rellenando y aplanando la topografía, y dada su naturaleza pueden ser sumamente heterogéneos en cuanto a la composición de los bloques que conforman el depósito (lutitas, areniscas, brechas y bloques de intrusivos gabroicos). Los bloques pueden presentarse redondeados, subredondeados e incluso angulares según

su grado de transporte, sanos o meteorizados, y en contacto puntual o flotantes en una matriz predominantemente limo-arenosa. Es común la presencia de paquetes de arenas de hasta 12 m de espesor, tal y como se registró en el piezómetro COR-50, así como lentes de arcillas de hasta 3 m de espesor (piezómetro COR-47).

Esta unidad fue identificada en los piezómetros exploratorios RE-32, RE-33, COR-47, COR-51, COR-52 y COR 53, así como en los sondeos eléctricos GT-PFC-38, GT-PFC-63 y GT-PFC-64, con espesores mínimos de 18.5 metros (RE-33) y máximos de 38.15 metros (COR-47), según se observa en los perfiles geológicos del área de estudio (figuras 26, 27 y 28).

Los depósitos de esta unidad ubicados hacia el NE del poblado de Uvita, en el área intermedia entre la zona montañosa y la de plano aluvial, muestran en general granulometrías mayores con presencia de bloques que pueden alcanzar los 60 cm de diámetro o incluso más, tal y como se observó en el cauce activo del río Uvita en coordenadas 1014721 N / 530633 E. Igualmente, las pendientes del terreno en estas áreas son mayores, lo cual está en estrecha relación con la presencia de un ambiente de depositación y erosión mucho más energético en esta zona (Figura 22).

Por su parte, en la zona de plano aluvial hacia el SW del poblado de Uvita, las granulometrías en general tienden a ser menores, con predominio de gravas y cantos rodados por debajo de los 25 centímetros. El porcentaje de matriz en estos depósitos ronda entre el 20 a 30%, pero es muy variable tal y como se mencionó anteriormente para el caso del piezómetro COR-50, en el que se registró un paquete de arenas de hasta 12 metros de espesor.

En general, los perfiles muestran como el basamento conformado por rocas de la Fm. Térraba, constituye una especie de concavidad que se ha ido rellenando con la depositación paulatina de los materiales aluviales, cuyos espesores máximos se han localizado entre los poblados de Uvita y Bahía en las perforaciones COR-47, COR-51, COR53 y RE-32, y que tienden a disminuir conforme se acercan hacia los sectores montañosos de la Fila Costeña. Esta situación es particularmente evidenciada en los perfiles geológicos C-C' y E-E' con sentido NW – SE.



Figura 22. Depósitos aluviales más gruesos en el cauce activo del río Uvita. Sitio en coordenadas 1014721 N / 530633 E.

Ahora bien, a partir del análisis geomorfológico realizado y el levantamiento de varias fallas de tipo normal en la zona (figuras 28 y 30), se ha interpretado a nivel local la existencia de una tectónica distensiva, que ha provocado a través de fallas de tipo normal con rumbo SW - NE, la subsidencia en este sector del basamento de la formación Térraba, y con ello se ha propiciado una mayor acumulación y el engrosamiento de los depósitos aluviales en el área (figura 28 perfil E- E'). Los aspectos relacionados con esta tectónica distensiva serán tratados con mayor detalle en el apartado de tectónica local.

Con base en las observaciones de campo y los registros de las perforaciones exploratorias, se ha determinado un espesor para la cobertura de suelos que sobreyace a los aluviones entre 0.8 a 1.5 metros (figura 23). Por otra parte, estos suelos se clasifican según SUCS como arenas arcillosas o limosas y en las perforaciones se han descrito como suelos arenosos, limos arenosos o limos arcillosos, lo que es consistente con los materiales a partir de los cuales se han originado.



Figura 23. Depósitos aluviales en el sitio en coordenadas 1013934 N / 527509 E. Nótese la cobertura de suelos limo arenosos (espesor aproximado de 80 cm) sobre gravas y cantos rodados menores a los 20 cm.

- Coluvios

Corresponden con depósitos inconsolidados que se ubican en varios sectores de la cuenca al piedemonte de los cerros (figura 25). Se originan a partir de la meteorización y erosión de las rocas preexistentes y la posterior depositación de los materiales ladera abajo. En general se trata de depósitos muy mal seleccionados debido al poco transporte.

En la zona de estudio los coluvios se han originado a partir de las rocas asociadas a las formaciones Térraba y Puerto Nuevo, destacando los coluvios de esta última formación,

debido a que por la dureza de sus bloques suelen resaltar fácilmente sobre la superficie del terreno (figura 24). Los bloques son generalmente angulares a subangulares, pueden presentar fracturas y meteorización esferoidal, con tamaños decimétricos hasta métricos, y se encuentran inmersos en una matriz de color café claro a rojizo con textura limo arenosa y poca presencia de arcillas.



Figura 24. Depósito coluvial con bloques de gabro asociados a la Fm. Puerto Nuevo en el sitio en coordenadas 1014383 N / 529349 E. Nótese la forma en que resaltan los bloques de gabro sobre la superficie del terreno.

- Arenas de playa

Como su nombre lo indica, corresponde con depósitos recientes, inconsolidados y no cohesivos de limos y arenas principalmente, que han sido acarreados y depositados por la acción de las corrientes marinas y los vientos a lo largo del sector litoral del área de estudio (figura 25). Precisamente, en estos sectores la acción de las corrientes y mareas se encarga de dar origen a diversas estructuras sedimentarias sobre la superficie fresca de las arenas, como lo son los “ripples” u ondulaciones, pero también otras estructuras mayores como barras arenosas o el denominado tómbolo de Uvita, observable en la zona durante los períodos de marea baja.

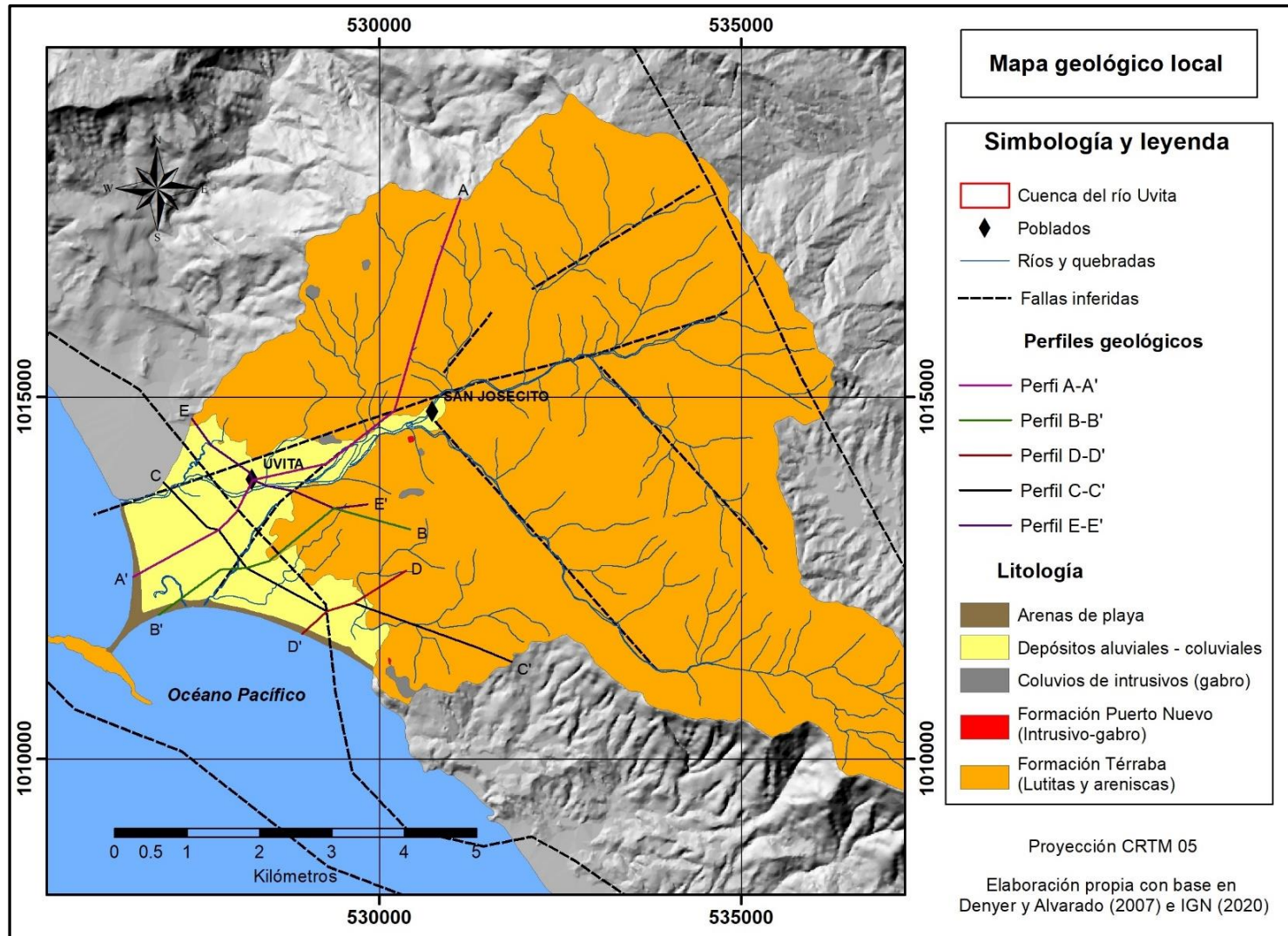


Figura 25. Mapa geológico local. Elaboración propia con base en Denyer y Alvarado (2007) e IGN (2020).

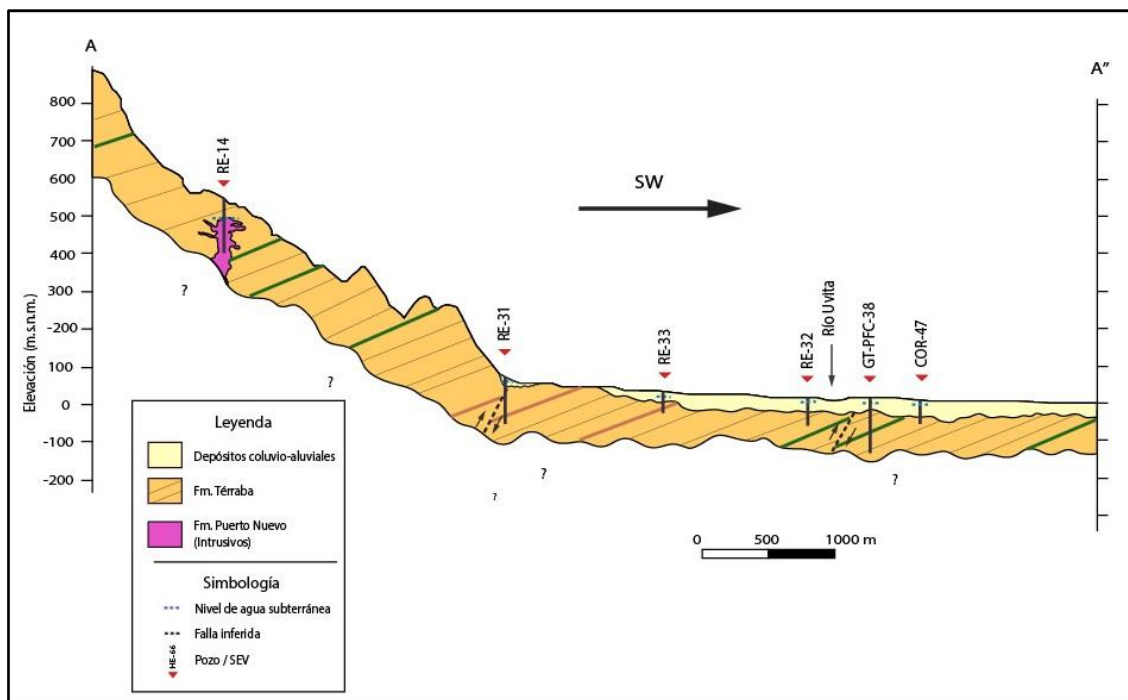


Figura 26. Perfil geológico A - A'. Nótese la presencia en el pozo RE-14 de rocas asociadas a la Fm. Puerto Nuevo que intruyen los sedimentos de la Fm. Térraba. Por otra parte, se identifica en el piezómetro RE-31 la presencia de fallas tectónicas. El fallamiento de tipo inverso en las cercanías del río Uvita se correlaciona con el sistema de fallas asociado a la falla longitudinal de Costa Rica en este sector, como evidencia de la tectónica compresiva que ha dado origen al levantamiento de la Fila Costeña.

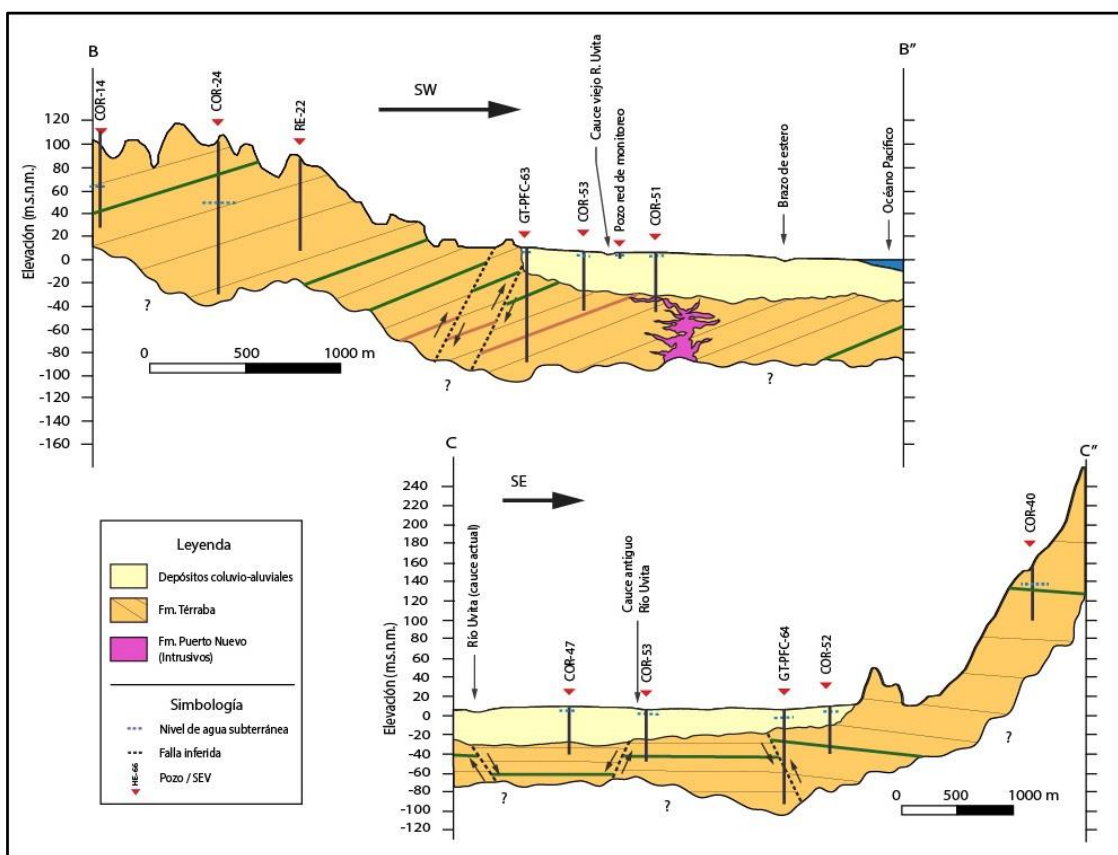


Figura 27. Perfiles geológicos B - B'. Se mantiene la estratigrafía con los materiales aluviales sobreyaciendo el basamento de la Fm. Térraba. Adicionalmente se identificaron intrusivos de la Fm. Puerto Nuevo en el piezómetro COR-51. El fallamiento de tipo inverso se correlaciona con el sistema de fallas asociado a la falla longitudinal de Costa Rica.

Perfil C – C'. Se mantiene la misma estratigrafía, así como la presencia del fallamiento inverso asociado a la falla longitudinal de Costa Rica. Para los sectores comprendidos entre el cauce antiguo y cauce actual del río Uvita se ha interpretado la presencia de un fallamiento local, posiblemente de tipo normal, que ha generado la subsidencia del basamento y el engrosamiento de los depósitos aluviales.

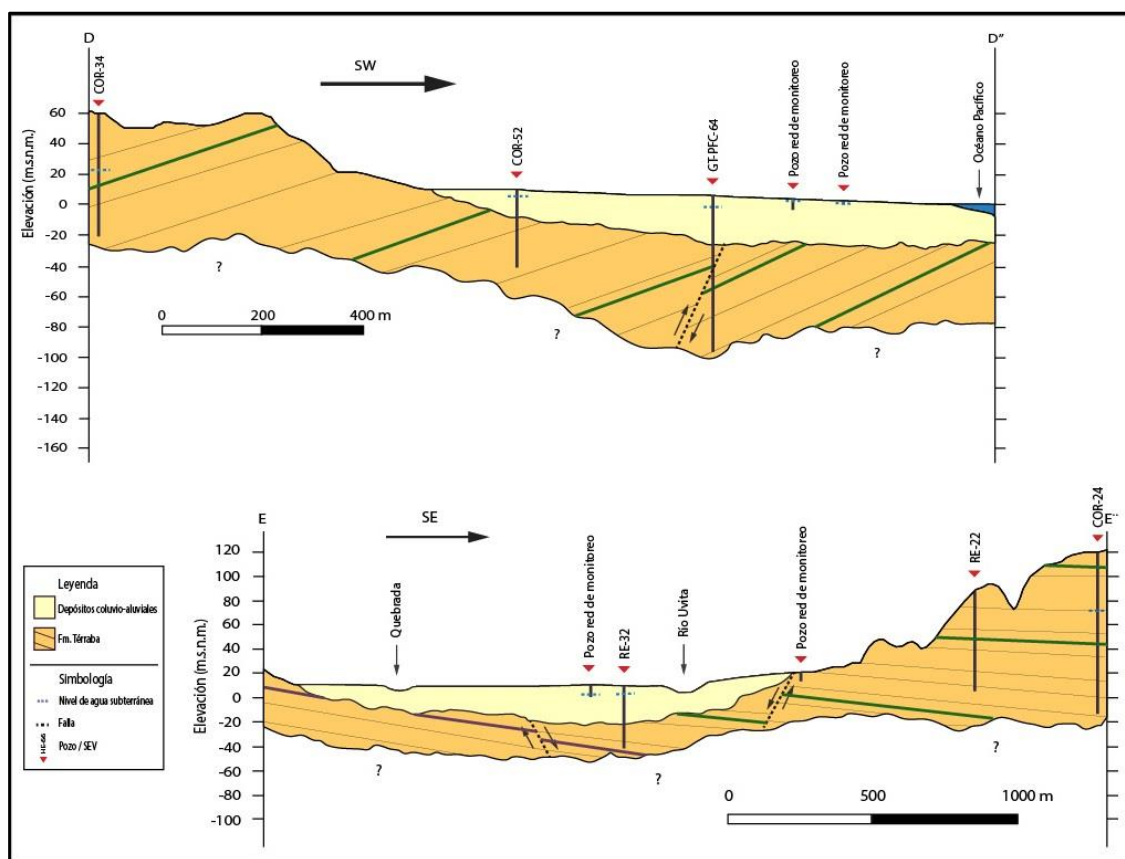


Figura 28. Perfil geológico D - D'. Se mantiene la estratigrafía con los materiales aluviales sobreyaciendo el basamento de la Fm. Térraba. También se identifica el fallamiento de tipo inverso asociado con la falla longitudinal de Costa Rica.

Perfil E – E'. Perfil con rumbo SE que atraviesa en forma transversal los depósitos aluviales y muestra las fallas inferidas de tipo normal, que muy probablemente han generado una subsidencia del basamento y el engrosamiento de los depósitos aluviales.

5.1.5.7. Geología tectónica local

- Direcciones de buzamiento

Como fue mencionado anteriormente, la estratificación en el área de estudio se encuentra presente en las rocas sedimentarias asociadas con la Fm. Térraba. En esta investigación se realizó en levantamiento de 19 afloramientos en los cuales fue posible la medición de ángulos y direcciones de buzamiento, mientras que CICG (2016) realizó por su parte el levantamiento de 21 buzamientos, para un total en la zona de estudio de 40 registros. La información detallada de estos levantamientos se muestra en la tabla 7.

La mayoría de las direcciones de buzamiento registradas son hacia el NE (figura 30) con ángulos entre los 10 y hasta los 85 grados, lo cual es coincidente con la tectónica compresiva regional generada a partir de la colisión de la cordillera submarina del Coco y la existencia de la Falla Longitudinal de Costa Rica, a lo largo de la cual han ocurrido buena parte de los movimientos de levantamiento e inclinación de capas hacia el NE que han dado origen y afectado a la Fila Costeña.

Ahora bien, en ciertos sectores la dirección de buzamiento puede variar drásticamente hacia el NW y SW, lo cual se ha interpretado que probablemente se deba a la influencia de fallas o plegamientos en las rocas. El trabajo de Denyer y Avarado (2007) muestra para la zona de Uvita la existencia de una estructura tipo pliegue sinclinal, que efectivamente varios de los buzamientos levantados en la cuenca del río Ballena pueden evidenciar, sin embargo, como se observa en la figura 30, del análisis de la información existente también se ha logrado interpretar la presencia de otros dos plegamientos de tipo antiforma, cuyos ejes se encuentran orientados en sentido NW-SE, y que se localizan en las cercanías del poblado de Uvita y en la cuenca del río Ballena.

Se interpreta así, la presencia de una serie de plegamientos con ejes orientados NW-SE que afectan a las rocas de la Fm. Térraba y que han sido el resultado de la tectónica compresiva regional en la zona. Precisamente, el cauce del río Ballena presenta un alineamiento en sentido NW-SE muy particular, que pueda ser el resultado de la influencia del eje del plegamiento tipo sinclinal interpretado. Ahora bien, otra posibilidad para el alineamiento de este cauce es la existencia de una falla de tipo inverso, en la cual el movimiento relativo de los bloques también ha propiciado el desarrollo del plegamiento

antiforma observado en la cuenca de este río, sin embargo, la información existente al momento no permite confirmar con certeza la existencia de esa falla.

Tabla 7

Direcciones de buzamiento tomadas en campo para la Fm. Térraba

Número	Latitud CRTM 05	Longitud CRTM05	Buzamiento campo	Rumbo	Angulo	Buzamiento	Fuente
AF-1	1013612	528890	S50W/35	140	35	SW	Campo
AF-21	1011429	530110	N83W/40	187	40	NW	Campo
AF-25	1015380	532009	N18E/16	288	16	NE	Campo
AF-27	1015446	531353	N15E/20	285	20	NE	Campo
AF-37	1015101	530940	N26W/80	244	80	NW	Campo
AF-38	1015143	530995	N18E/10	288	10	NE	Campo
AF-59	1012294	532291	N78E/18	348	18	NE	Campo
AF-66	1012245	532674	N51E/40	321	40	NE	Campo
AF-71	1012658	530034	N5E/10	275	10	NE	Campo
AF-81	1011430	529998	N80W/35	190	35	NW	Campo
AF-93	1013802	529102	N45E/17	315	17	NE	Campo
AF-95	1013806	528665	S52W/34	142	34	SW	Campo
AF-112	1011184	526459	N30E/30	300	30	NE	Campo
AF-114	1011216	526397	N35E/38	305	38	NE	Campo
AF-116	1011268	526332	N25E/32	295	32	NE	Campo
AF-117	1011274	526325	N25E/42	295	42	NE	Campo
AF-118	1011417	526146	N36E/50	306	50	NE	Campo
AF-119	1011464	526153	N40E/45	310	45	NE	Campo
AF-120	1011479	526039	N35E/58	305	58	NE	Campo
CICG-1	1011413	526215	N35E/40	305	40	NE	CICG (2016)
CICG-2	1011394	526156	N35E/45	305	45	NE	CICG (2016)
CICG-3	1011383	526139	N32E/43	305	43	NE	CICG (2016)
CICG-4	1015004	529742	N75E/85	345	85	NE	CICG (2016)

CICG-5	1015024	530609	N30W/15	240	15	NW	CICG (2016)
CICG-6	1015528	530948	N50W/25	220	25	NW	CICG (2016)
CICG-7	1015492	531336	N30E/10	300	10	NE	CICG (2016)
CICG-8	1015455	531535	N20E/10	290	10	NE	CICG (2016)
CICG-9	1015373	532009	N40E/15	310	15	NE	CICG (2016)
CICG-10	1014243	532955	N41E/15	311	15	NE	CICG (2016)
CICG-11	1013902	533244	N40W/15	230	15	NW	CICG (2016)
CICG-12	1016962	523481	N85W/15	185	15	NW	CICG (2016)
CICG-13	1016863	524582	N15W/15	255	15	NW	CICG (2016)
CICG-14	1011185	529938	N55W/30	215	30	NW	CICG (2016)
CICG-15	1013985	531945	W/25	180	25	W	CICG (2016)
CICG-16	1014053	531840	N75W/10	195	10	NW	CICG (2016)
CICG-17	1015374	529638	N35E/15	305	15	NE	CICG (2016)
CICG-18	1011200	533717	S30W/20	120	20	SW	CICG (2016)
CICG-19	1015828	528547	N20E/5	290	5	NE	CICG (2016)
CICG-20	1016951	524073	N45E/20	315	20	NE	CICG (2016)
CICG-21	1016945	529081	N30E/40	300	40	NE	CICG (2016)

Fuente: Levantamiento de campo y CICG (2016).

- Fracturas o diaclasas

El levantamiento de diaclasas en la zona de estudio se realizó principalmente en las rocas de la Fm. Térraba que afloran en el sector de la “cola de la ballena”. Se levantaron 29 diaclasas, las cuales en su mayoría muestran un rumbo predominante NE-SW según se observa en la tabla 8 y en la figura 29 (vector medio 36.1° determinado mediante el programa Stereonet V.11).

Analizando la información recopilada y enfocándose en la búsqueda de posibles pares conjugados que evidenciaran las direcciones de los principales esfuerzos tectónicos que han afectado la zona, se identificaron 6 posibles familias de diaclasas que conforman al menos 3 sistemas conjugados con rumbos predominantes 1) N60E/N10W, 2) N40E/N80W y 3) N20E/N40W. Los sistemas conjugados 1 y 2 evidencian la existencia de esfuerzos con

rumbo predominante NE-SW, mientras que el sistema 3 muestra un esfuerzo con rumbo aproximado N10W que puede indicar una cierta variación en las direcciones de los esfuerzos compresivos generados a partir de la tectónica regional. En todo caso, la información recopilada muestra un predominio de los esfuerzos con rumbo NE-SW, lo cual concuerda con la tectónica compresiva que ha dado origen a la Fila Costeña.

Tabla 8

Levantamiento de diaclasas – cuenca del río Uvita

Código	Latitud	Longitud	Rumbo	Dirección de Inclinación de plano	Ángulo
AF-93	1013802	529102	N46E	N44W	72
AF-93	1013802	529102	N40E	N50W	60
AF-93	1013802	529102	N6E	N84W	60
AF-95	1013806	528665	N35E	S55E	89
AF-95	1013806	528665	N80W	N10E	22
AF-112	1011184	526459	N40E	S50E	88
AF-112	1011184	526459	N60E	S30E	70
AF-112	1011184	526459	N60E	S30E	70
AF-112	1011184	526459	N20E	N70W	70
AF-112	1011184	526459	N18E	N72W	75
AF-114	1011216	526397	N60E	S30E	58
AF-114	1011216	526397	N20E	N70W	82
AF-114	1011216	526397	N35E	N55W	80
AF-114	1011216	526397	N10W	S80W	42
AF-114	1011216	526397	N11W	S79W	56
AF-114	1011216	526397	N40W	S50W	60
AF-117	1011274	526325	N50E	S40E	50
AF-118	1011417	526146	N70E	S20E	58
AF-118	1011417	526146	N68E	S22E	66
AF-118	1011417	526146	N5W	S85W	35
AF-119	1011464	526153	N40E	S50E	80
AF-119	1011464	526153	N35E	S55E	85
AF-119	1011464	526153	N20E	N70W	60
AF-119	1011464	526153	N22E	N68W	58
AF-120	1011479	526039	N60E	S30E	25
AF-120	1011479	526039	N55E	S35E	45
AF-120	1011479	526039	N20E	N70W	80

AF-120	1011479	526039	N48E	N42W	40
AF-120	1011479	526039	N32E	N58W	58

Fuente: Levantamiento de campo.

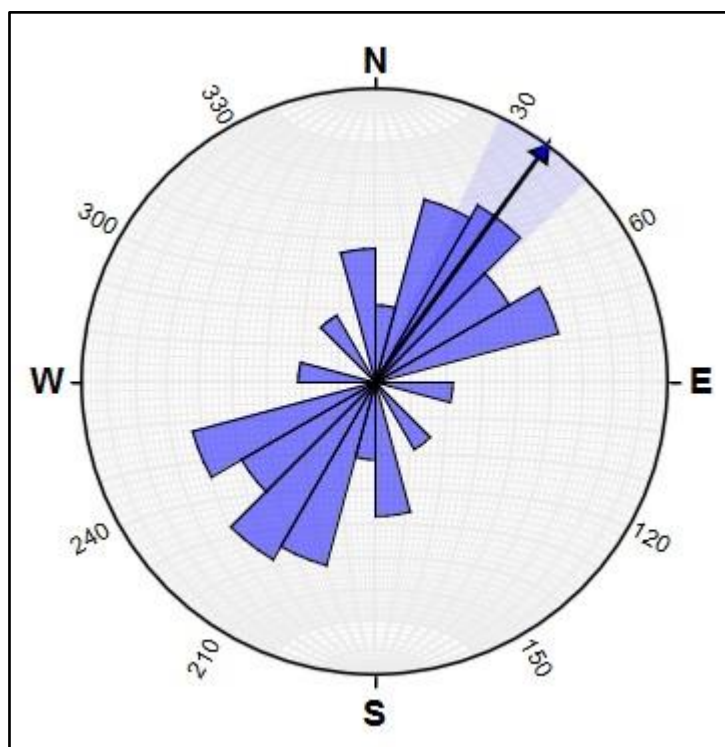


Figura 29. Diagrama de rosa para las diaclasas levantadas en el área de estudio. Se observa un rumbo predominante NE-SW. La flecha muestra el vector de rumbo medio de 36.1° determinado por el programa Stereonet V.11. Elaboración propia con base en el levantamiento de campo.

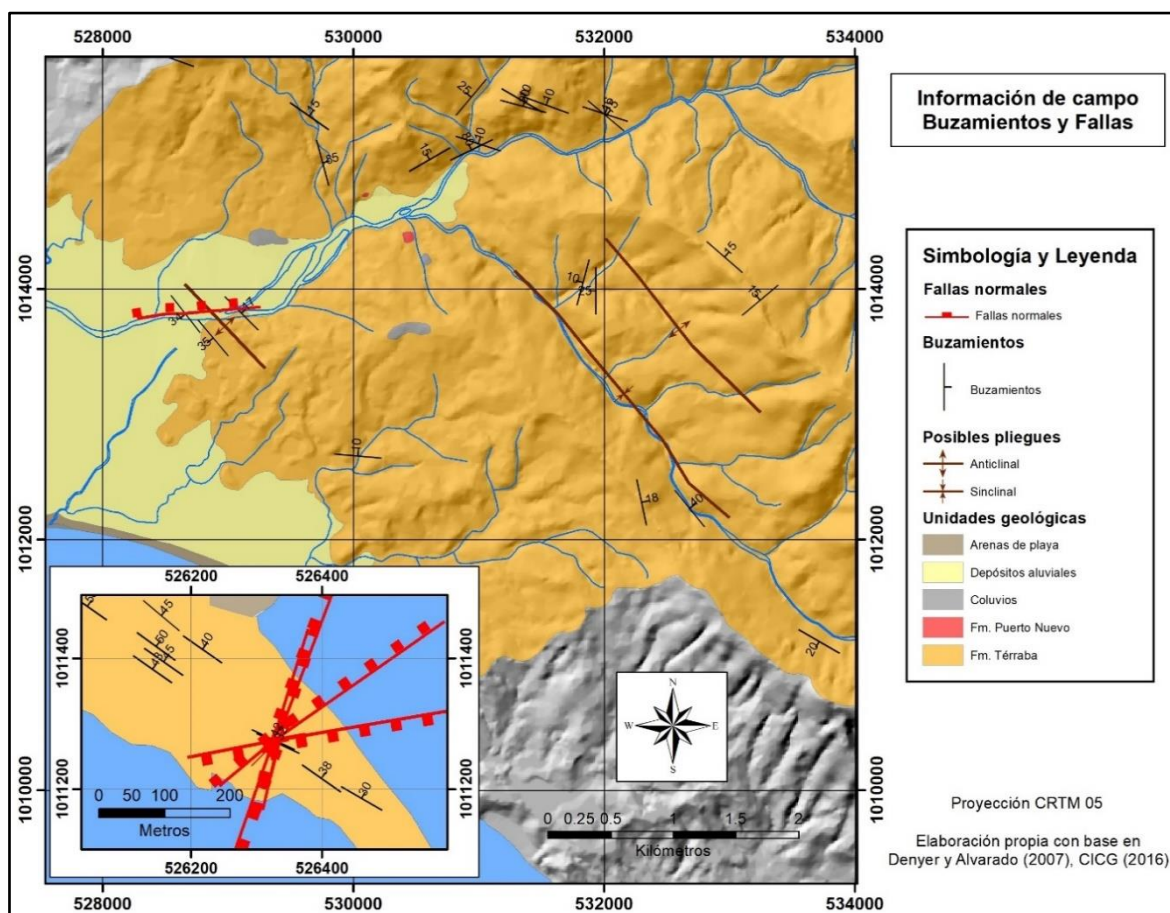


Figura 30. Buzamientos y fallas identificadas en el campo en la Fm. Térraba. Elaboración propia con base en Denyer y Alvarado (2007) y CIGC (2016).

- Fallas

Se logró realizar el levantamiento de algunas fallas en el sector de la cola de la ballena (AF-116 y AF-117), y en un afloramiento sobre el cauce del río Uvita (AF-95). Todas las fallas levantadas son de tipo normal y en algunos casos presentan un componente de desplazamiento de rumbo tipo sinistral. El desplazamiento relativo entre ambos bloques es variable, pero en el caso de una de las fallas ubicada en AF-117 se registró un desplazamiento entre los estratos de 176 cm.

Como se observa en la tabla 9 el rumbo predominante para estas fallas es hacia el NE, es decir que tienen una orientación aproximada que concuerda con la dirección del esfuerzo

compresivo principal que tiene lugar en la zona de estudio y que ha dado origen a los plegamientos y fallamiento de tipo inverso con rumbo NW-SE.

En ese sentido Montero et al. (1998) indican que la falla longitudinal de Costa Rica corresponde con una falla de tipo inverso que presenta un componente de desplazamiento de rumbo probablemente de tipo dextral, por lo que es posible que las fallas de tipo normal identificadas en el campo se asocien con probables zonas de distensión dentro del modelo estructural de la zona según se observa en la figura 31. Cabe señalar, que gran parte del curso actual del río Uvita, así como su cauce antiguo, presentan una orientación aproximada hacia el NE que concuerda bastante bien con el rumbo de algunas de estas fallas de tipo normal.

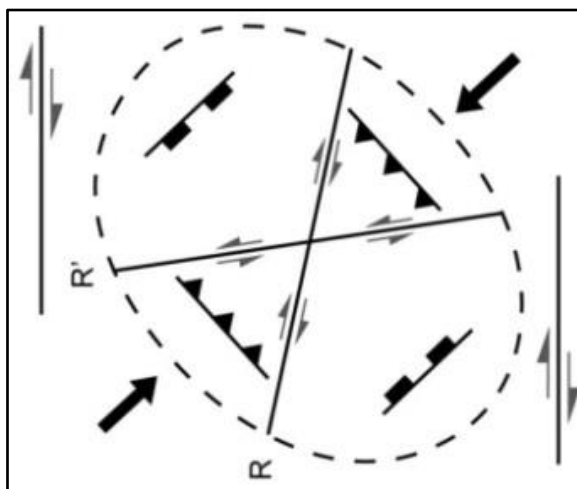


Figura 31. Modelo de deformación para un sistema dextral en el que se aprecia el fallamiento asociado (compresión – extensión) con relación a la dirección del esfuerzo principal. Tomado de Ramsay (1967).

Al respecto, CIGC (2016) considera que los esfuerzos de tipo distensivo asociados con el fallamiento de tipo normal con rumbo NE-SW, han generado en la zona una estructura tipo graven a lo largo del río Uvita, que se ha correlacionado con la cuenca sobre la cual se ha depositado la Unidad de Depósitos Aluviales, en la que se ha determinado que los sectores

de mayor profundidad se ubican en el centro del poblado de Uvita y disminuyendo en las cercanías de la zona montañosa como en la costa.

Tabla 9

Levantamiento de fallas – cuenca del río Uvita

Código	Latitud	Longitud	Tipo de falla	Rumbo	Inclinación de plano	Ángulo	Inclinación de plano
AF-95	1013806	528665	Normal con componente sinistral	N86E	356	30	N4W
AF-116	1011268	526332	Normal con componente sinistral	N14E	284	50	N76W
AF-117	1011274	526325	Normal	N80E	170	45	S10E
AF-117	1011274	526325	Sinistral con componente normal	N45E	315	65	N45W
AF-117	1011274	526325	Normal con componente sinistral	N22E	112	68	S68E

Fuente: Levantamiento de campo.



Figura 32. Zona de falla tipo normal en lutitas de la Fm. Térraba. Sitio en el cauce del río Uvita en coordenadas 1013806 N / 528665 E.

Es importante mencionar que, el levantamiento de diaclasas y fallas en la zona de estudio fue realizado únicamente como un complemento al modelo geológico e hidrogeológico del área. Es claro, que estudios cuyo objetivo primordial sea el análisis de la tectónica regional, deberán contar con levantamientos de este tipo de estructuras mucho más numerosos y con análisis estadísticos mucho más detallados, que permitan con mucha más certeza determinar aspectos tales como la cronología, direcciones y posibles variaciones en los rumbos de los esfuerzos tectónicos que se han desarrollado en la zona de estudio.

Por otra parte, no existen evidencias que indiquen que las fallas cartografiadas en la zona funcionen como algún tipo de barrera hidrogeológica o ejerzan algún tipo de influencia sobre la dinámica del flujo del agua subterránea en los depósitos aluviales, de forma que, como se verá en los apartados siguientes, las fallas no fueron consideradas como algún tipo de condición de frontera durante la modelación numérica del acuífero poroso desarrollado en los materiales aluviales.

5.2. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

5.2.1. Cuencas hidrográficas de la zona de estudio

El río Uvita se localiza en la vertiente del Pacífico de nuestro país, su cuenca es de tipo exorreica y se enmarca dentro de las denominadas cuencas costeras del Pacífico Central. Las sub-cuencas de los ríos Ballena y Cortezal alimentan al río Uvita en los sectores montañosos, mientras que hacia los sectores costeros se localizan otras pequeñas sub-cuencas como la de la quebrada Villegas, quebrada Colonia y el Estero Negro. El río Uvita se une con el río Higuerón aproximadamente unos 400 metros antes de su desembocadura en el océano Pacífico.

El área de la cuenca del río Uvita es de 60.12 km², su perímetro de 40.78 km y su longitud axial de 10.75 km. Su orientación preferencial es NE – SW, aunque algunos cauces como el del río Ballena se orientan hacia el NW debido a la existencia de un fuerte control de tipo estructural (figura 30).

El coeficiente de compacidad (K_c) relaciona la forma de la cuenca con respecto a un círculo y su rango esta entre 1 a 1.75. Entre más cercano a la unidad sea se interpreta una forma más circular y suele asociarse con mayores problemas de crecientes o inundaciones. Para la cuenca del río Uvita se ha determinado un coeficiente de compacidad de 1.47, lo cual indica una forma predominante oval oblonga.

Por otra parte, el factor de forma de Horton ($K_f = \text{Área}/(\text{longitud de cuenca})^2$) es de 0.52, relación que evidencia la presencia de un río principal largo en la cuenca, con una capacidad mayor para evacuar el escurrimiento de lluvias intensas, y por lo tanto menos susceptible a grandes crecidas.

La mayor elevación en la divisoria de aguas de la cuenca es de 1220 m.s.n.m., y el nacimiento del río Uvita se ubica a una cota de elevación aproximada de 783 m.s.n.m., mientras que la confluencia con el río Higueron se localiza aproximadamente a los 3 m.s.n.m.. Tomando en consideración que la longitud total del río Uvita es aproximadamente de unos 10.6 km., se ha estimado que su pendiente media es de 0.073 (7.3%).

Para los sectores montañosos el patrón de drenaje predominante en los ríos y quebradas es el tipo dendrítico en sentido de la pendiente, el cual evidencia cierta uniformidad en las propiedades y resistencia de los materiales. Para las zonas de los planos aluviales (Uvita, Bahía y sector Colonia) el patrón de drenaje que predomina es el de tipo meándrico, típico de ambientes menos energéticos, con presencia de abundantes meandros y cauces abandonados.

Ahora bien, ciertos sectores, principalmente en la zona montañosa, muestran la existencia de un patrón de drenaje más rectangular que pone en evidencia un control de tipo estructural, ya sea por la estratificación de las rocas sedimentarias o por un rasgo tectónico como alguna falla o plegamiento. Como se observa en la figura 30, dos alineamientos muy marcados de rumbo NW – SE en el río Ballena y otro cauce sin nombre, pueden estar relacionados con la dirección estratigráfica de las rocas, el eje de un plegamiento, o alguna falla asociada al sistema de la falla longitudinal de Costa Rica. Además, otros dos alineamientos de rumbo NE – SW a lo largo del actual cauce del río Uvita, así como del antiguo cauce del mismo río, pueden estar relacionados con posibles fallas que se extienden tierra adentro (figura 14).

5.2.2. Clima, estaciones meteorológicas

Según Solano y Villalobos (s.f.), la cuenca del río Uvita se localiza en una zona intermedia entre las regiones climáticas Pacífico Central (PC) y Pacífico Sur (PS) (figura 33).

Para la región climática Pacífico Central, Solano y Villalobos (s.f.) mencionan que se caracteriza por presentar el régimen de precipitación del Pacífico, pero que su posición geográfica al sureste, con la protección de la Fila Costeña, impide la incursión de vientos alisios del noreste, estableciéndose una modificación de este régimen con un clima tropical con una estación seca con un período lluvioso muy severo y largo, y un período seco corto y moderado.

La subregión climática asociada al Pacífico Central corresponde con la denominada Cuenca del río Barú – Dominical (PC3), que va desde la parte costera de playa Matapalo hasta Punta Uvita (figura 33). En esta subregión el clima es de tipo lluvioso con influencia

monzónica, con temperaturas anuales medias de 25°C (máximas) a 19°C (mínimas), 148 días promedio de lluvias, lluvia media anual de 3923 mm y una duración del período seco de 3 meses.



Figura 33. Subregiones climáticas de Costa Rica. Tomado de Solano y Villalobos (s.f.).

Por otra parte, la región climática del Pacífico Sur se localiza en el extremo sureste del Pacífico de Costa Rica, en donde los contrastes geográficos como valles, barreras montañosas e influencia oceánica, generan en esta región un régimen de lluvia sumamente contrastado con relación al resto de las regiones de la vertiente, en donde el período seco es muy favorable y corto y el lluvioso intenso (Solano y Villalobos, s.f.).

La subregión climática asociada al Pacífico Sur corresponde con Valle de Diquís (PS2) (figura 33), cuyo clima también se describe por Solano y Villalobos (s.f.) como de tipo

lluvioso con influencia monzónica. No obstante, para esta subregión se registran temperaturas anuales medias de 32°C (máximas) a 22°C (mínimas), 174 días promedio de lluvias, lluvia media anual de 3710 mm y una duración del período seco de 2 meses (Solano y Villalobos, s.f.).

Debido a su ubicación geográfica, muy posiblemente el clima en la cuenca del río Uvita se encuentre influenciado en cierta medida por las condiciones existentes en ambas regiones o subregiones climáticas. A partir de la información climatológica existente en las cercanías, se realiza a continuación un análisis más detallado de las condiciones climatológicas en el área de estudio.

- ***Estaciones meteorológicas, precipitación y temperatura***

A partir de la búsqueda de información climatológica realizada tanto en Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT), como en las bases de datos del SENARA y del Instituto Meteorológico Nacional, se determinó que no existen estaciones meteorológicas localizadas dentro del área de estudio.

Las estaciones meteorológicas más cercanas se localizan en la cuenca del río Barú hacia el noroeste del área de estudio y corresponden con las estaciones Tinamaste (96001) y Hacienda Barú (96002). La estación Tinamaste se ubica en el sector montañoso a una elevación aproximada de 724 m.s.n.m. y a una distancia de 15 km con respecto al poblado de Uvita, mientras que la estación Hacienda Barú se localiza en la zona de planos aluviales a 10 m.s.n.m. y a una distancia de 18.7 km con respecto al poblado de Uvita. Por otra parte, los registros climatológicos incluyen tanto precipitación como temperatura, en el caso de Tinamaste se extienden desde 1986 al 2006 y para Hacienda Barú van de 1981 al 2015.

En las tablas 10 y 11 se presenta el resumen de la información climática registrada en estas dos estaciones:

Tabla 10

Información climatológica – Estación Hacienda Barú

Hacienda Barú 1025012.6 N / 513183.7 E Promedios mensuales					
Mes	Lluvia (mm) 1981 - 2017	Temp. Max. (°C) 1991 -2017	Temp. Min. (°C) 1991 -2017	Temp. Med. (°C) 1991 -2017	Días con lluvia
Enero	77.6	31.9	23.1	27.5	7
Febrero	53.2	32.6	23.5	28	5
Marzo	81.8	33.2	23.9	28.6	7
Abril	230.2	32.7	24.1	28.4	13
Mayo	519.1	31.6	23.8	27.7	21
Junio	437.3	31.1	23.5	27.3	20
Julio	454.6	30.8	23.4	27.1	21
Agosto	538.2	30.8	23.3	27	22
Setiembre	593.3	30.9	23.2	27	22
Octubre	731.3	30.4	23.3	26.8	25
Noviembre	472.8	30.3	23.3	26.8	21
Diciembre	221.9	31	23.3	27.2	12
TOTAL	4411.3				

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (2020).

Tabla 11

Información climatológica – Estación Tinamaste

Tinamaste 1028335.6 N / 524168.1 E Promedios mensuales					
Mes	Lluvia (mm) 1986 - 2006	Temp. Max. (°C) 1986 -1992	Temp. Min. (°C) 1986 -1992	Temp. Med. (°C) 1986 -1992	Días con lluvia
Enero	56.2	25.9	18.6	22.2	9
Febrero	26.5	26.7	18.7	22.7	5
Marzo	63.7	27.3	19.4	23.3	7
Abril	189.7	26.8	20	23.4	16
Mayo	449.6	25.9	20.1	23	24
Junio	371.7	25.5	19.8	22.7	26
Julio	304.7	25.1	19.5	22.3	26
Agosto	422.2	25.1	19.5	22.3	27
Setiembre	593.1	25	19.4	22.2	28
Octubre	645.5	24.9	19.3	22.1	27
Noviembre	395.8	25.1	19.4	22.2	25
Diciembre	142.4	25.3	18.8	22.1	16
TOTAL	3661.1				

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (2020).

La figura 34 corresponde con el hidrograma de precipitación para las estaciones Hacienda Barú y Tinamaste. En este hidrograma se puede observar para ambas estaciones el comportamiento típico climático para la región Pacífico, con una estación seca bien marcada de enero a marzo y una lluviosa a partir de abril y disminuyendo hacia noviembre y diciembre. Si bien es cierto, Hacienda Barú registra en promedio 750.2 mm anuales más de lluvia, es notable la similitud que existe en el comportamiento de las precipitaciones a lo largo del año entre ambas zonas.

Por otra parte, aunque Solano y Villalobos (s.f.) mencionan que los efectos de los vientos alisios del noreste no son tan intensos en esta zona debido a la protección de la Fila Costeña, se debe mencionar que para estas dos estaciones si se notan claramente sus efectos, al generarse un “veranillo” con disminución de lluvias hacia los meses de junio y julio.

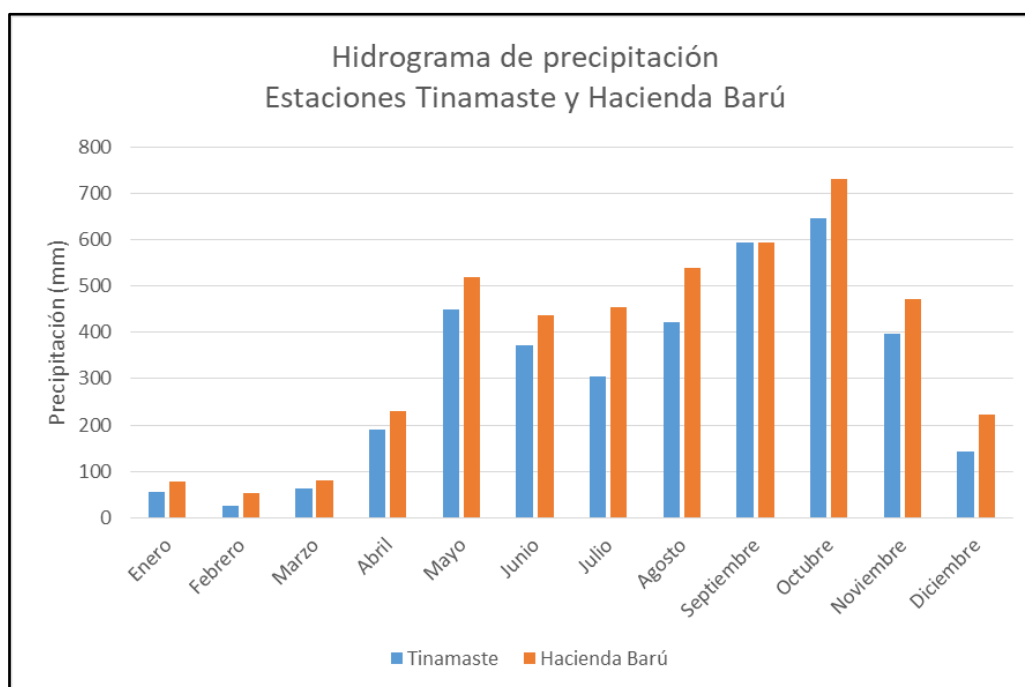


Figura 34. Hidrograma de precipitaciones para las estaciones Tinamaste y Hacienda Barú. Elaboración propia con base en Instituto Meteorológico Nacional (2020).

5.2.3. Evapotranspiración

A partir de los datos de temperatura registrados, se ha procedido a estimar la evapotranspiración potencial tanto en la estación Barú como en la Tinamaste, con el objetivo de poder realizar un análisis comparativo entre ambas estaciones.

Para la determinación de la evapotranspiración potencial se ha utilizado la fórmula de Blaney & Criddle (ONU, 1972):

$$ETP \text{ (mm/mes)} = (8.10 + 0.46T) Ps$$

ETP = evapotranspiración potencial en mm/mes.

T = temperatura media mensual en grados centígrados

Ps = porcentaje de horas de luz solar mensual, con respecto al año (%)

Los valores de evapotranspiración potencial determinados para cada mes en cada estación se muestran en la tabla 12.

Tabla 12

Evapotranspiración potencial estimada para las estaciones Hacienda Barú y Tinamaste

Mes	Hacienda Barú	Tinamaste
	Evapotranspiración potencial (mm)	Evapotranspiración potencial (mm)
Enero	168.69	148.87
Febrero	156.72	138.50
Marzo	179.61	159.01
Abril	177.14	157.89
Mayo	183.61	164.57
Junio	177.65	159.46
Julio	182.21	162.65
Agosto	178.72	159.89
Setiembre	169.29	151.07
Octubre	170.36	152.33
Noviembre	161.58	144.84
Diciembre	166.95	147.95

Fuente: Elaboración propia con base en Instituto Meteorológico Nacional (2020).

La figura 35 muestra las diferencias obtenidas en los valores de evapotranspiración potencial entre la estación Tinamaste y la Hacienda Barú. Es claro que los valores de la estación Hacienda Barú son superiores con respecto a Tinamaste, lo cual es acorde con

los valores de temperatura superiores que se registran en esta estación. En general, los valores de ETP de la estación Hacienda Barú se ubican entre un 10.24% a un 11.74% por encima de la estación Tinamaste.

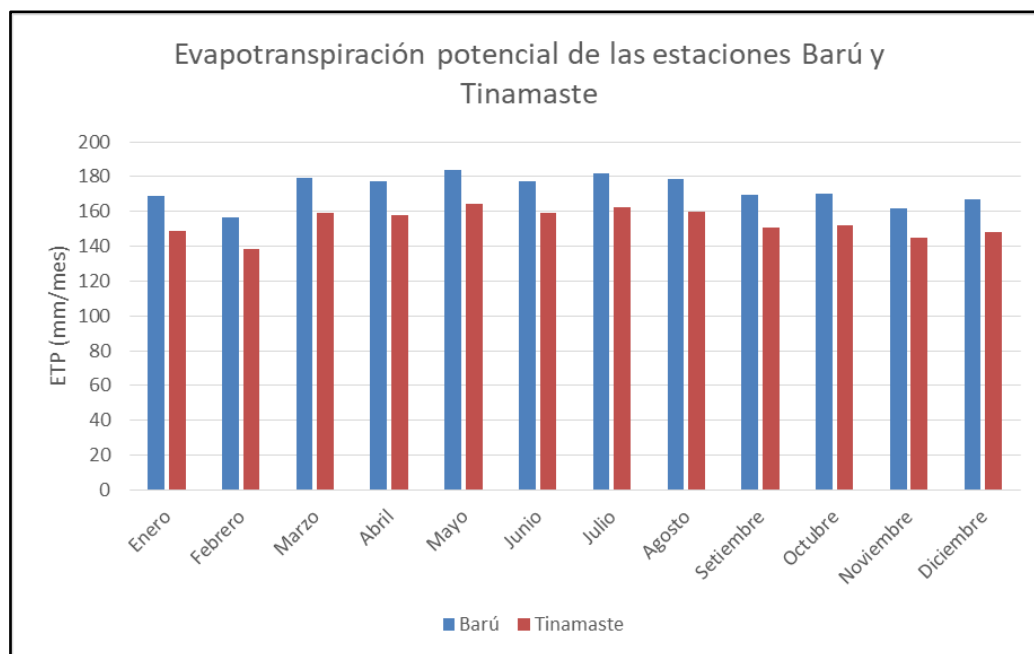


Figura 35. Comparación entre la evapotranspiración potencial de la estación Hacienda Barú y la estación Tinamaste. Elaboración propia con base en Instituto Meteorológico Nacional (2020).

Ahora bien, la construcción de isoyetas o polígonos de Thiesen con la precisión adecuada para el área de estudio, no es posible a partir de la ubicación de estas dos estaciones meteorológicas, fuera de la cuenca y a más de 15 km de distancia. Sin embargo, tanto la metodología para la estimación de la recarga potencial de los acuíferos, como el análisis de modelación numérica del acuífero aluvial, requieren como parámetros de entrada, la utilización de valores de precipitación y temperatura representativos para la zona de análisis.

En ese sentido, si bien es cierto en general ambas estaciones muestran similitudes en el comportamiento climático a lo largo del año, se ha optado por utilizar los parámetros de

temperatura y precipitación de la estación Hacienda Barú, tomando en consideración los siguientes criterios:

- La Estación Hacienda Barú cuenta con un registro continuo de precipitación desde 1981 a 2017, lo que significa que cuenta con 16 años más de registros de precipitación que la estación Tinamaste (1986 a 2006).
- La estación Tinamaste únicamente cuenta con 6 años de registros de temperatura (1986 a 1992), mientras que la estación Hacienda Barú registra 26 años de temperatura (1991 a 2017).
- Como se observa, los registros más recientes de la estación Hacienda Barú, tanto en temperatura como en precipitación son del año 2017, mientras que en la estación Tinamaste son del 2006 para lluvia y de 1992 para temperatura. En ese sentido, se considera que la estación Hacienda Barú es más representativa para las condiciones climáticas actuales.
- La estación Hacienda Barú se localiza en la zona de plano aluvial a una elevación aproximada de 10 m.s.n.m. Esta ubicación se considera más representativa para las condiciones de modelación que se desean realizar en el acuífero aluvial del río Uvita.

El gráfico de la figura 36 presenta una comparación entre los valores de precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial (ETP) para la estación Hacienda Barú. Hacia los meses de la época seca, con menos precipitaciones, se nota un aumento de la evapotranspiración potencial en estrecha relación con el incremento de temperaturas. Conforme avanza el año, aumentan las precipitaciones y disminuye la temperatura, con lo que se observa una caída en la evapotranspiración potencial. Entre los meses de mayo a agosto se observan valores muy constantes en la ETP a pesar de la caída en las temperaturas, esto se encuentra en relación con el porcentaje de horas luz para cada mes analizado.

Cabe mencionar, que los valores más altos de evapotranspiración potencial no necesariamente corresponden con la evapotranspiración real más alta, ya que por ejemplo, en los meses más secos hay menos agua para evapotranspirar, pero a la vez, con menos agua disponible en el sistema, las plantas tienden a reducir la transpiración precisamente para evitar la pérdida de líquido. Como se observa en la fórmula de Blaney & Criddle (ONU,

1972), estos son aspectos que no considerada la ecuación y por lo tanto es posible que la evapotranspiración potencial esté sobreestimada. No obstante, para fines del balance hídrico de suelos y estimación de la recarga potencial, se considera que este aspecto conduce a un análisis más conservador sobre la recarga y disponibilidad del recurso hídrico.

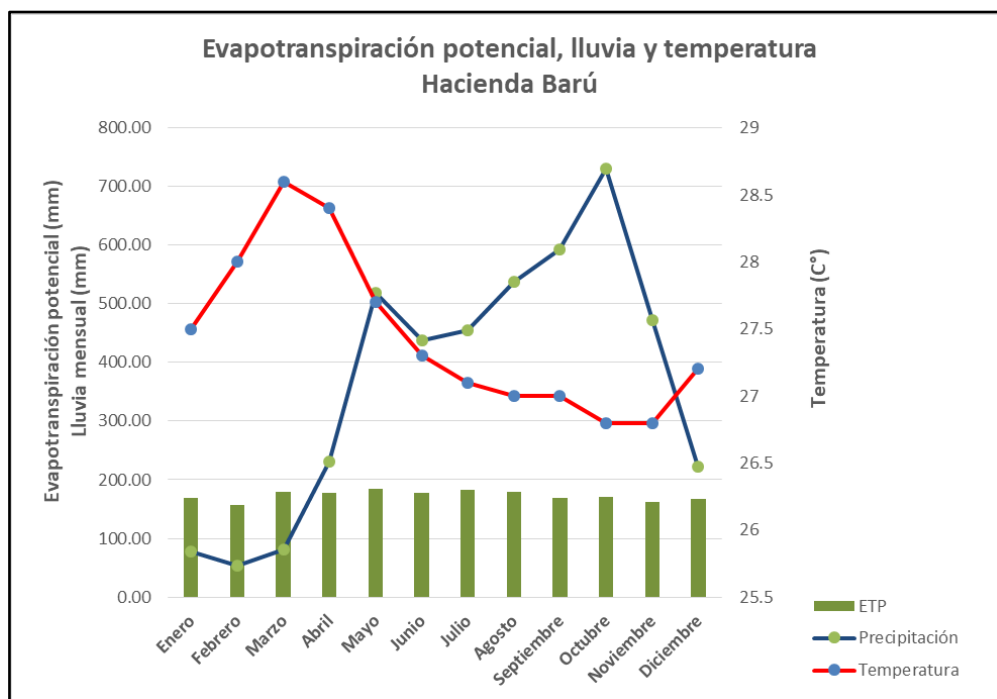


Figura 36. Comparación entre la evapotranspiración potencial, precipitación y temperatura media de la estación Hacienda Barú. Elaboración propia con base en Instituto Meteorológico Nacional (2020).

5.2.4. Aforos en los cauces principales

Como parte de las labores para caracterización del río Uvita, durante la primera semana del mes de mayo del 2020, se realizaron mediciones del caudal en distintos sectores a lo largo de su cauce, así como de algunos otros ríos y quebradas que le son tributarias. Estas mediciones (aforos diferenciales) fueron realizadas utilizando molinetes de la marca Gurley, específicamente los modelos 622 y 625D. Las memorias de cálculo respectivas se encuentran en el anexo 2.

Además de conocer el comportamiento de los caudales mínimos generados a partir de la época de estiaje, se ha tenido como objetivo la caracterización hidrogeológica del río en cuanto a su comportamiento efluente o influente con respecto a los acuíferos identificados en el área. Este comportamiento será tomado en consideración más adelante en la descripción del modelo hidrogeológico conceptual, así como en el apartado de modelación numérica.

En la tabla 13 se presenta el resumen de los aforos diferenciales llevados a cabo durante la primera semana del mes de mayo del 2020 en el cauce del río Uvita y algunos tributarios. Adicionalmente, en la figura 37 se muestra la ubicación de estos aforos a lo largo del cauce, su caudal, y el comportamiento interpretado para cada tramo del cauce.

Tabla 13

Aforos realizados en el cauce del río Uvita y otros cauces tributarios

Aforo	Cauce	Latitud	longitud	Caudal (l/s)
Q1	Río Uvita	1013773	528439	1417.8
Q2	Río Uvita	1013671	528179	1093.2
Q3	Río Uvita	1013777	527739	911.2
Q4	Quebrada (Margen derecha)	1013997	527363	44.3
Q5	Río Uvita	1013819	527316	672.1
Q6	Quebrada (Margen izquierda)	1013719	527258	48.9
Q7	Río Uvita	1013802	529102	782.6
Q8	Río Uvita	1014721	530633	229.4
Q9	Quebrada (Margen derecha)	1014386	527844	10.2

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el mapa de la figura 37 entre los sitios de aforo Q7 y Q1 se observa un incremento en el caudal de 635.2 l/s, lo que sugiere la existencia de un aporte de agua subterránea desde el acuífero hacia el río, que se interpreta entonces como un comportamiento de tipo efluente en el cauce.

Este sector, entre los sitios Q7 y Q1, corresponde precisamente con un área de transición entre la Fm. Térraba y la zona de planos aluviales del río Uvita, por lo que se ha interpretado que posiblemente este aumento esté relacionado precisamente con la zona de descarga de parte de las aguas subterráneas provenientes del acuífero desarrollado en la Fm. Térraba, las cuales aportarían caudal tanto al cauce del río Uvita como a los depósitos aluviales.

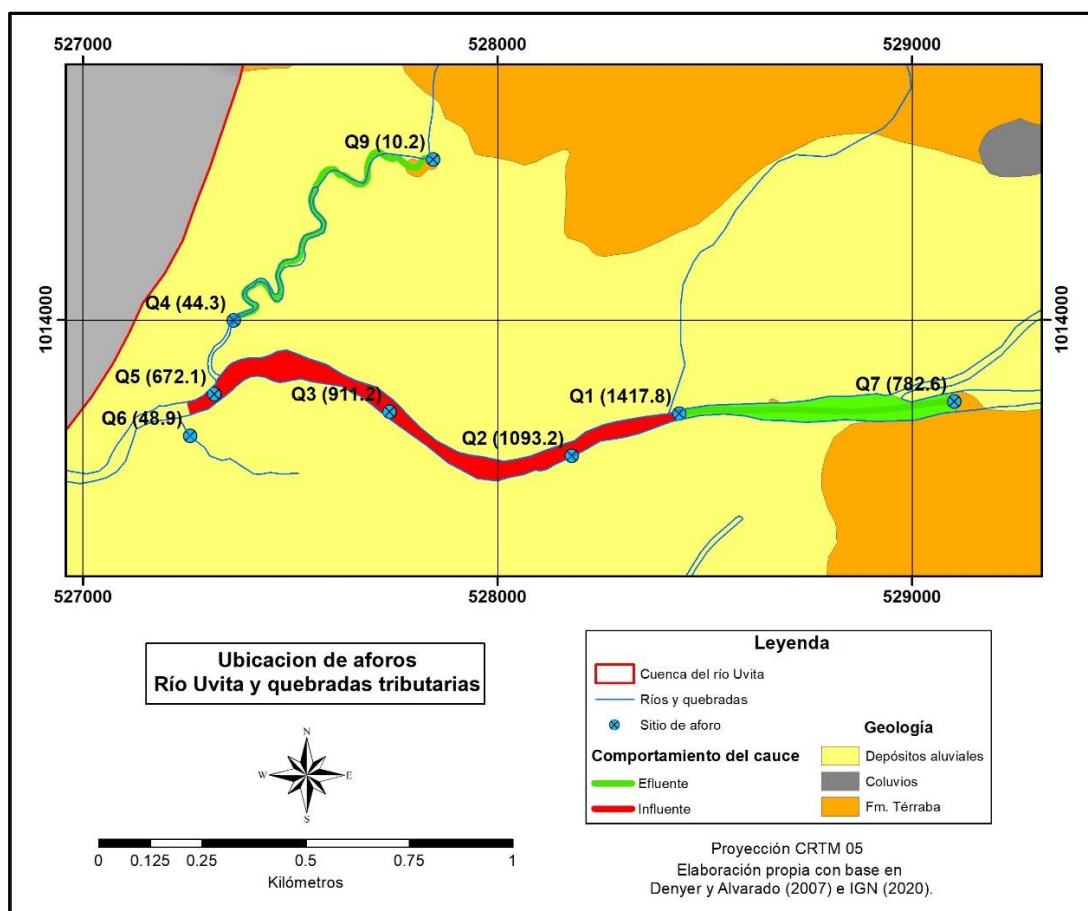


Figura 37. Mapa de ubicación de afloros en el río Uvita y comportamiento del cauce efluencia – influencia. Elaboración propia con base en Denyer y Alvarado (2007) e IGN (2020).

Otra zona en la cual se ha detectado un comportamiento de tipo efluente se ubica en la quebrada sin nombre ubicada hacia el NW, entre los sitios de aforo Q9 y Q4, tramo en el cual el agua subterránea del acuífero aluvial estaría generando un incremento de 34.1 l/s.

Por otra parte, a lo largo del río Uvita entre los sitios de aforo Q1 a Q5, se nota una disminución progresiva en el caudal de 745.1 l/s, lo cual indica un comportamiento de tipo influyente en el cauce. En este caso, debido a la disminución en las precipitaciones y la recarga acuífera, el techo del acuífero se ubica bajo la cota topográfica del cauce, de tal manera que más bien es el río el que aporta agua al acuífero al generarse infiltración en el lecho del cauce.

Finalmente, es importante mencionar que a partir del sitio de aforo Q5 y hasta la desembocadura en el mar, no fue posible realizar aforos en el cauce debido a que esta es una zona con una importante influencia de las mareas, lo cual afectaba el flujo del agua en el cauce.

5.3. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

El modelo hidrogeológico conceptual para la cuenca del río Uvita se elaboró a partir de la integración de la información geológica existente, perfiles hidrogeológicos, registros litológicos de pozos y piezómetros, el análisis de pruebas de bombeo, así como el desarrollo de pruebas de infiltración y muestreo de suelos para la obtención de parámetros hidrogeológicos.

Geológicamente, hacia los sectores montañosos de la Fila Costeña se presentan rocas asociadas a la Fm. Térraba, mientras que en las zonas planas cercanas a la costa se ubican depósitos de tipo aluvial sobreyaciendo al basamento conformado por la misma Fm. Térraba. Además, se localizan rocas de la Fm. Puerto Nuevo intruyendo los materiales sedimentarios de la Fm. Térraba. Según la información disponible, tanto las rocas de la Fm. Térraba, como de Puerto Nuevo y los depósitos aluviales recientes, tienen la capacidad de almacenar y transmitir agua, generando de esta forma acuíferos, aunque de muy diferente potencial y extensión en función de su génesis y propiedades hidráulicas.

Se tiene entonces la presencia de un sistema que incluye varias unidades hidrogeológicas acuíferas, siendo las principales las rocas asociadas con la Fm. Térraba y los depósitos aluviales recientes. En este sistema, parte del agua de precipitación se infiltra en el terreno y se incorpora al flujo subterráneo como recarga. De modo general, la tendencia del flujo subterráneo, tanto en la Fm. Térraba como en los depósitos aluviales es hacia el SW, descargando directamente al mar o previamente en algunos cursos superficiales. Muy probablemente exista conexión hidráulica entre los acuíferos desarrollados en los depósitos aluviales y la Fm. Térraba, sin embargo, la información hidrogeológica disponible no ha permitido comprobar con total certeza esta condición.

Los perfiles hidrogeológicos de las figuras 39, 40 y 42 muestran el modelo hidrogeológico descrito para distintos sectores del área de estudio.

Se describe a continuación las principales características hidrogeológicas de las unidades acuíferas presentes en el área de estudio.

5.3.1. Parámetros hidrogeológicos de las unidades acuíferas

a) Acuífero en rocas sedimentarias fracturadas

Comprende rocas sedimentarias (lutitas, areniscas y gravas) asociadas con la Fm. Térraba y con presencia principalmente de porosidad secundaria debido al fracturamiento de las rocas por tectonismo y meteorización, aunque también presenta un componente de porosidad primaria debido al origen de las rocas (sedimentarias). Corresponde con el acuífero más explotado en la zona de estudio, reportándose en la base de datos del SENARA un total de 11 pozos de extracción, así como 9 pozos adicionales que fueron inventariados en las labores de campo y que se incorporaron en la red de monitoreo de niveles. Adicionalmente, en la base de concesiones del SINIGIRH se reportan 52 expedientes para aprovechamiento de manantiales y pozos (40 y 12 expedientes respectivamente) que representan un caudal total de extracción concesionado de 3.52 l/s. Cabe mencionar, que en la base del SINIGIRH se reportan adicionalmente los pozos COR-57, RE-41, RE-35, RE-36 y un artesanal, que no se encuentran reportados en la base de datos del SENARA (Anexo 1).

Por otra parte, en la base de datos del SENARA se registran también 5 manantiales cuya información básica se desglosa en la tabla 14.

Tabla 14

Manantiales de la base de datos del SENARA – Acuífero en rocas sedimentarias fracturadas

Código	Propietario	Latitud	Longitud	Uso
NAC-85	AYA	1015733	536014	Abastecimiento Público
NAC-2459	ASADA UVITA	1016425	529548	Consumo Humano
NAC-2460	ASADA UVITA	1016445	529524	Consumo Humano
NAC-2461	ASADA UVITA	1016470	529512	Consumo Humano
NAC-2462	ASADA UVITA	1016466	529517	Consumo Humano

Fuente: SENARA (2020).

Para esta zona ninguno de los pozos reportados en la base de datos del SENARA supera los 2 l/s como caudal de extracción. En este mismo sentido, se cuenta con información de 5 pruebas de bombeo en pozos, cuyos valores de transmisividad se ubican entre los 3 y los 58.18 m²/d, a excepción del pozo COR-23 en el que se registró un valor extraordinario de 527 m²/d (valor reinterpretado en este estudio).

La existencia de un valor tan contrastante de transmisividad pone en evidencia la heterogeneidad que puede existir en el medio (típico de acuíferos fracturados), como sucede con el pozo COR-34 con transmisividad de 25 m²/d y el pozo COR-23 con transmisividad de 527 m²/d, ambos localizados en esta misma cuenca a solamente 340 metros de distancia.

La mayoría de pozos existentes en esta cuenca registran este acuífero como de tipo libre, no obstante, se tiene el reporte de 3 pozos en los que se indica algún grado de confinamiento para las aguas subterráneas (COR-24, COR-34 y COR-42). Estos pozos confinados se ubican en sectores al sur del río Uvita, sin embargo, su ubicación con respecto a otros pozos descritos como libres en esta misma zona, no permite establecer una distribución particular para los sectores confinados o libres en el acuífero.

A partir del análisis de los pozos en que se registra algún tipo de confinamiento, se ha podido determinar que pueden existir de 2 a 3 niveles principales de aguas subterráneas. El nivel más superficial suele ubicarse a profundidades menores a los 40 metros aproximadamente, existen pozos en los cuales no se registra este nivel, y además puede presentarse tanto libre como confinado. El segundo nivel se registra entre los 50 a 90 metros de profundidad y se presenta confinado. Finalmente, el nivel más profundo también es de tipo confinado y se localiza a partir de los 100 metros de profundidad, según se registra en el pozo COR-42.

Los reportes de perforación indican espesores de saturación en el acuífero de hasta 95 metros, con localización de niveles estáticos muy variables entre los 9.74 y hasta los 160 metros de profundidad (RE-31 y COR-13 respectivamente).

En cuanto a los mecanismos de recarga para este acuífero, se considera que los sectores libres tienen recarga directa por infiltración de un porcentaje de las aguas de precipitación en el terreno. Por su parte, los niveles confinados que han sido registrados en ciertos pozos del área, sugieren también la existencia de recarga desde zonas localizadas topográficamente a mayor elevación, en las cercanías de las divisorias de aguas de la Fila Costeña.

Para la cuenca del río Uvita no se cuenta con información de aforos diferenciales en los cauces ubicados en el área montañosa donde aflora la Fm. Terraba, sin embargo, se considera que debe existir un comportamiento predominante de tipo efluente en ellos, al

tomar en cuenta según las observaciones de campo, que cauces principales como el río Uvita, Ballena o Cortezal no se llegan a secar durante la época seca, tal y como también se consigna en los mapas de la cartografía nacional. Adicionalmente, la existencia de aportes desde la Fm. Térraba a los cursos fluviales se evidenció entre los sitios de aforo Q7 y Q1, que corresponde con un área de transición entre la Fm. Térraba y la zona de planos aluviales, en donde se registró un aumento considerable de caudal que se considera está relacionado posiblemente con la zona de descarga de aguas provenientes del acuífero en la Fm. Térraba. De esta forma, la existencia de un comportamiento de tipo efluente, ha sido considerada al momento de construir, junto a información de pozos, piezómetros y manantiales, las curvas equipotenciales para ciertos sectores de este acuífero.

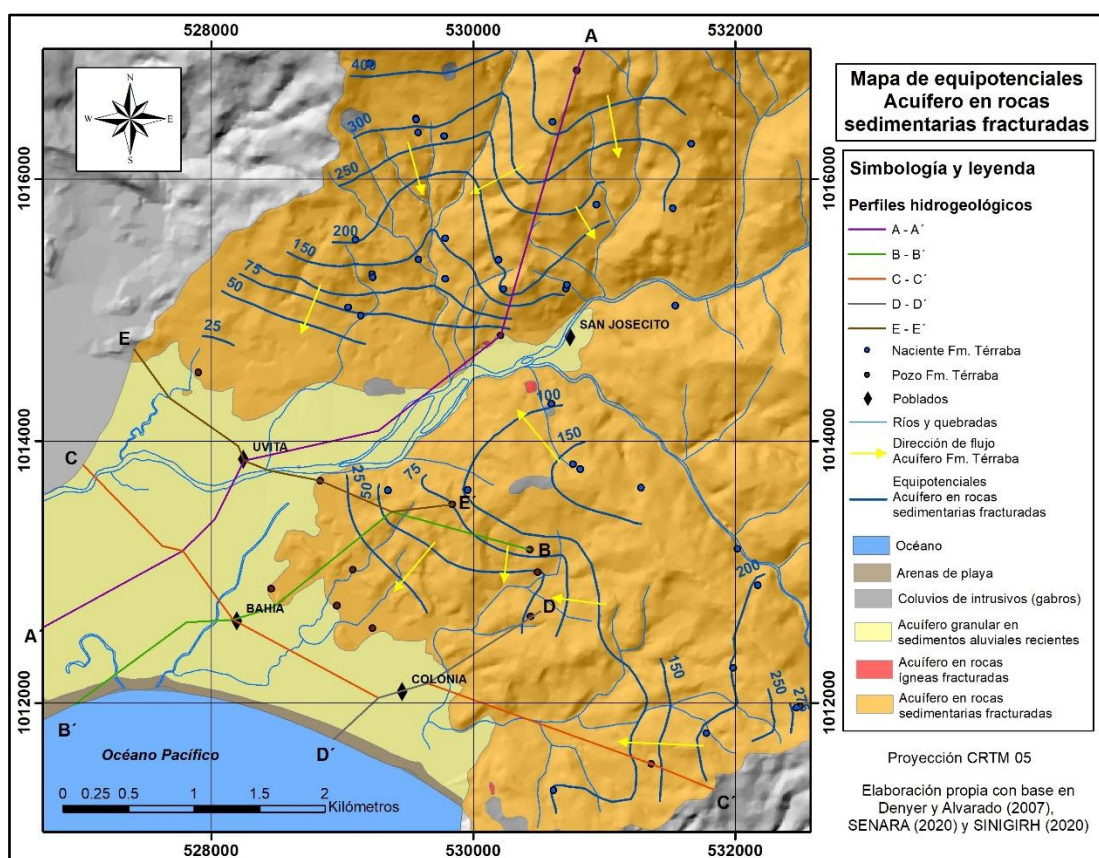


Figura 38. Mapa de equipotenciales del nivel de agua subterránea más somero para un sector del acuífero en rocas sedimentarias fracturadas. Elaboración propia con base en Denyer y Alvarado (2007), SENARA (2020) y SINGIRH (2020).

Como fue mencionado, solamente se ha logrado la elaboración de equipotenciales en ciertos sectores de esta unidad, y según se observa en la figura 38, la dirección de flujo predominante para el agua subterránea es hacia el SW, en dirección al mar o hacia los sectores del acuífero desarrollado en los materiales aluviales. El gradiente hidráulico es variable y se ubica aproximadamente entre 0.07 hasta 0.37.

A partir de las direcciones de flujo determinadas, se interpreta que la descarga del agua subterránea puede darse en ciertos sectores en forma directa al mar, mientras que en las zonas de plano aluvial muy probablemente exista algún grado de recarga en forma lateral hacia los depósitos aluviales, aunque la información existente no ha podido comprobar con total certeza este aspecto. También, parte de la descarga se da hacia algunos cursos superficiales debido al comportamiento efluente, como sucede entre los sitios de aforo Q7 y Q1 en el río Uvita. Otros mecanismos de descarga para este acuífero lo representan los abundantes manantiales que se registran en la zona de estudio, así como la extracción artificial generada mediante pozos.

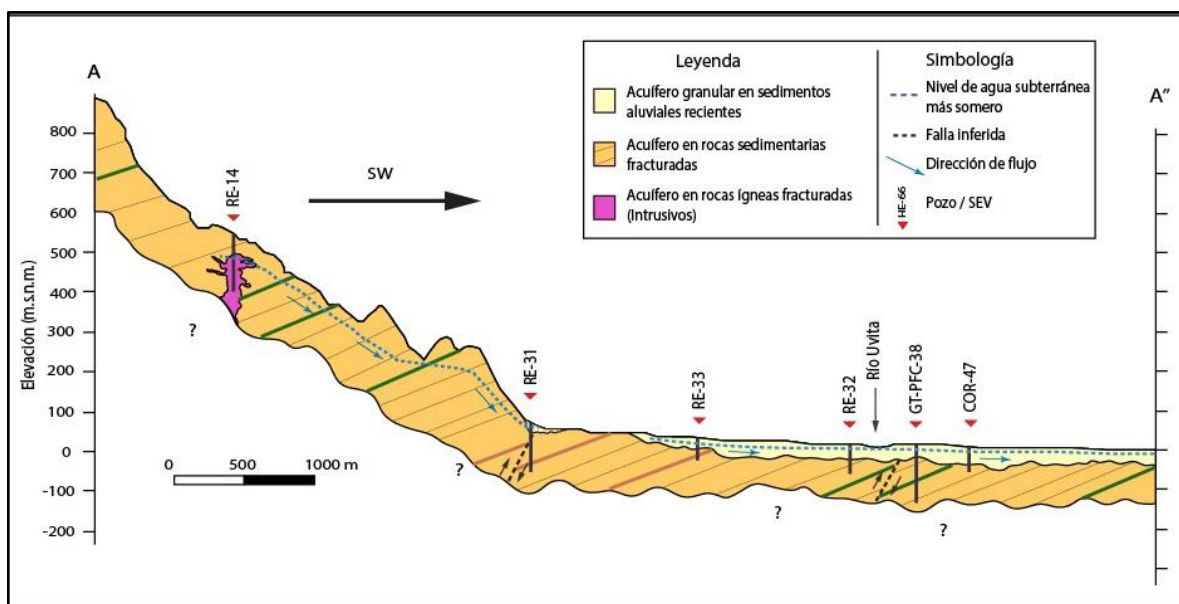


Figura 39. Perfil hidrogeológico A - A' donde se muestra la ubicación de los niveles de agua subterránea en los distintas unidades acuíferas y su dirección de flujo. Elaboración propia con base en Denyer y Alvarado (2007), SENARA (2020) y SINGIRH (2020).

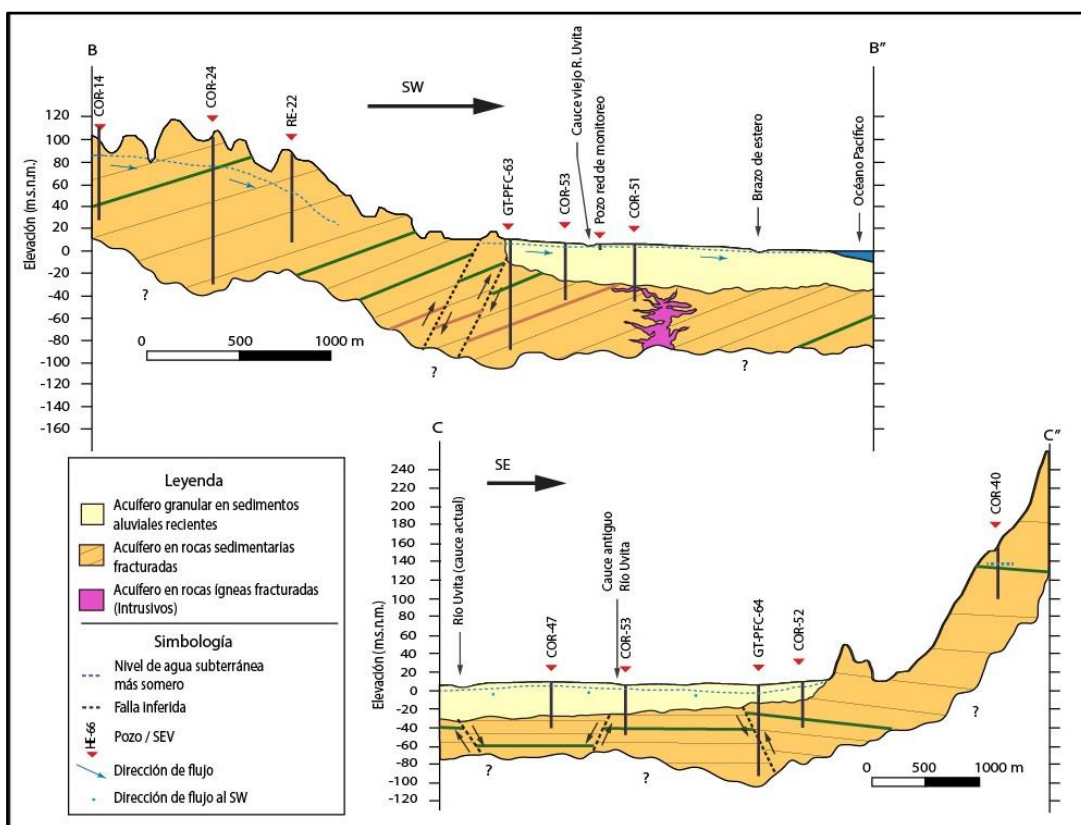


Figura 40. Perfiles hidrogeológicos B - B' y C - C' donde se muestra la ubicación de los niveles de agua subterránea en los distintas unidades acuíferas y su dirección de flujo. Elaboración propia con base en Denyer y Alvarado (2007), SENARA (2020) y SINGIRH (2020).

Los perfiles hidrogeológicos A – A', B – B', D – D' y E – E' de las figuras 39, 40 y 42 muestran el modelo hidrogeológico descrito para este acuífero, así como la dirección de flujo del agua subterránea hacia el océano o a los depósitos de tipo aluvial.

Para este acuífero solamente se cuenta con registros de conductividad eléctrica en los pozos 14, 34 (RE-31) y 59 de la red de monitoreo. Aun así, en estos pozos los registros se ubicaron por debajo de los 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Anexo 2), cumpliendo de esta forma con el valor recomendado (400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, decreto 32327-S. Incluso, los pozos 14 y 59 muestran valores por debajo de los 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pudiendo estar relacionados con una rápida recarga del agua de precipitación.

Finalmente, a partir de los registros de pozos y análisis de laboratorio, se ha determinado que la cobertura de suelos que se desarrolla sobre esta unidad puede tener entre 5 y 35 metros de espesor (RE-14). Además, se clasifican desde limos de alta plasticidad hasta gravas limosas, con valores de conductividad hidráulica según el método de doble anillo entre 0.004 a 1.98 m/d, y la porosidad esta entre el 39.6 a 83.98% (Anexo 2).

b) Acuífero en rocas ígneas fracturadas

Esta unidad se asocia con las rocas ígneas de la Fm. Puerto Nuevo. La información existente es muy limitada, y se considera que, debido a su naturaleza ígnea e intrusiva, únicamente tiene la capacidad de almacenar y transmitir el agua subterránea cuando presenta porosidad secundaria por fracturas generadas a partir de la actividad tectónica o la meteorización.

En la zona de estudio esta unidad se identificó en el subsuelo únicamente en el piezómetro exploratorio COR-51 y en el pozo de producción RE-14, sin embargo, en el piezómetro COR-51 el espesor reportado fue de apenas 50 centímetros intercalados entre materiales arenosos y lutitas, por lo que no se logró efectuar una caracterización más detallada en cuanto a parámetros hidráulicos.

En el pozo RE-14 se reporta esta unidad entre los 50 a 150 metros de profundidad, con una cobertura de suelos arcillosos de 35 metros de espesor y un nivel estático localizado a partir de los 55 metros de profundidad. Adicionalmente, no se reportó ningún grado de confinamiento para el acuífero, y mediante una prueba de bombeo a caudal constante de 2.5 l/s se determinó una transmisividad para el acuífero de 10 m²/d.

Se considera, que cuando esta unidad se encuentra aflorando sobre el terreno y presenta las condiciones de fracturamiento y meteorización adecuada, la recarga puede generarse por infiltración directa del agua de precipitación. Por otra parte, en profundidad puede provenir de percolación vertical o recarga lateral a partir de los sedimentos saturados asociados con la Fm. Térraba.

Por la poca información disponible, no fue posible construir equipotenciales exclusivas para esta unidad, además por su naturaleza intrusiva tampoco se tiene conocimiento sobre la extensión que pueda tener en profundidad.

Con respecto a la cobertura de suelos desarrollados a partir de esta unidad, solamente se cuenta con un dato de conductividad hidráulica de 1.24 m/d tomada en depósitos coluviales generados a partir de esta litología (Anexo 2).

c) Acuífero en sedimentos aluviales recientes

Este acuífero es de naturaleza porosa y se desarrolla en materiales sedimentarios recientes (gravas, arenas y limos) que han sido acarreados y depositados principalmente por el río Uvita, así como por otros ríos tributarios y quebradas de menor tamaño.

En la base de datos del SENARA únicamente se reporta para esta unidad la existencia de los piezómetros exploratorios construidos por la institución, y no existe registro alguno asociado con manantiales o pozos para explotación del recurso hídrico. Por otra parte, la base de concesiones del SINIGIRH si reporta la existencia de 7 expedientes, de los cuales 3 corresponden al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y a la ASADA de Bahía y Uvita, pero se registran como cancelados y archivados. Los cuatro expedientes restantes se asocian con pozos privados de tipo artesanal con un caudal total de explotación de 1.04 l/s.

A pesar de la poca información reportada en las bases de datos institucionales, durante la elaboración de este estudio se logró inventariar en campo un total de 41 pozos adicionales, la mayoría de ellos excavados, que son utilizados en la zona principalmente para usos domésticos y turísticos.

Los informes de perforación de los piezómetros exploratorios realizados en esta unidad no reportan un nivel de confinamiento para el acuífero. Por otra parte, se considera que la recarga a este acuífero se genera por infiltración directa de un porcentaje de la precipitación, aunque también es muy probable que se presente recarga lateral a partir del acuífero de rocas sedimentarias fracturadas, geológicamente asociadas con las rocas de la Fm. Térraba. Adicionalmente, para la época de estiaje el cauce del río Uvita representa una fuente de recarga importante para el acuífero debido a la existencia de sectores influentes, tal y como fue determinado mediante los aforos diferenciales realizados.

A partir de las direcciones de flujo determinadas, se interpreta que la principal descarga natural del agua subterránea se da en forma directa al mar, aunque también puede existir

el aporte hacia algunos cursos superficiales debido al comportamiento de tipo efluente, según se comprobó en una quebrada sin nombre localizada hacia el NW del área de estudio (figura 37).

Según la información existente en las bases de datos de SENARA y SINIGIRH, para esta zona únicamente se reportan caudales de extracción máximos de 0.9 l/s, sin embargo, durante esta investigación se determinó, mediante aforos y pruebas de bombeo realizadas en los pozos de abastecimiento público de la ASADA de Uvita, caudales de extracción de entre 28.78 l/s (Pozo 2) y 33.4 l/s (Pozo 1).

En cuanto a parámetros hidráulicos del acuífero, se cuenta con las pruebas de bombeo realizadas en los pozos de la ASADA de Uvita, a partir de las cuales se determinaron transmisividades para el acuífero de 7376 m²/d en el pozo 1 y entre 3121 y 7861 m²/d en el pozo 2. Estos valores resultan muy altos, pero deben ser considerados con precaución ya que las pruebas de bombeo no pudieron tener una duración superior a los 180 minutos debido a problemas eléctricos con los equipos de bombeo.

Ahora bien, en los piezómetros exploratorios COR-51, COR-52, COR-53, RE-32 y RE-33, se realizaron ensayos para determinación de la conductividad hidráulica mediante la metodología Hvorslev a caudal constante. En estos ensayos se determinaron valores de conductividad hidráulica entre 1.42 y hasta 237 m/d, lo cual ponen en evidencia la variabilidad de este parámetro en función de las granulometrías captadas y que tan libre de finos se presente el aluvión. También se determinaron conductividades hidráulicas del orden de 0.0034 m/d en algunos estratos de arcillas que se encuentran intercalados en los depósitos aluviales.

El espesor de esta unidad es variable, pero puede alcanzar hasta los 35 metros tal y como se registró en el piezómetro COR-51. Se ha considerado, que muy posiblemente el incremento de espesor para esta unidad y en esta área, se encuentre influenciado por la actividad tectónica de la región.

Para esta zona los niveles del agua subterránea en la unidad aluvial se encuentran bastante someros, a menos de 5 metros de profundidad, y solamente en el caso del piezómetro RE-32 y un pozo excavado, ambos localizados en las cercanías del salón comunal de Uvita, se tiene registro de un nivel del agua subterránea aproximadamente a los 7 m de profundidad.

A partir de la información de los pozos inventariados en campo, los piezómetros exploratorios, así como los aforos realizados en el cauce del río Uvita y una quebrada cercana, se trazaron equipotenciales para la determinación de la dirección de flujo en el acuífero aluvial de este sector (figura 41). Es importante mencionar, que en estas equipotenciales no se ha considerado el piezómetro RE-32, debido a que su dato de nivel estático tiende a generar una distorsión en el trazado de las equipotenciales. Analizando la información de elevaciones que proporciona el modelo de elevación digital disponible, es posible que este efecto se deba a la falta de detalle en este sitio y en el cauce del río Uvita. Tampoco se descarta la existencia de una condición particular para el acuífero en esta zona, sin embargo, la información disponible en el piezómetro y la poca cantidad de pozos en sus alrededores, no permiten realizar un análisis más detallado de las condiciones acuíferas en esta zona, de ahí, que se ha optado por no utilizar su dato de nivel estático en la construcción de equipotenciales.

Como se observa en la figura 41, en el área de Uvita esta unidad muestra una dirección de flujo subterráneo predominante hacia el SW, con gradientes hidráulicos que varían entre 0.004 y hasta 0.02 aproximadamente (promedio general de 0.012). Para la zona de Bahía el gradiente hidráulico es bajo, alrededor de 0.007, en el sector de Colonia o Chaman es un poco más alto en el orden de 0.013, mientras que los mayores gradientes se registran hacia el NE de Uvita, alcanzando hasta 0.02.

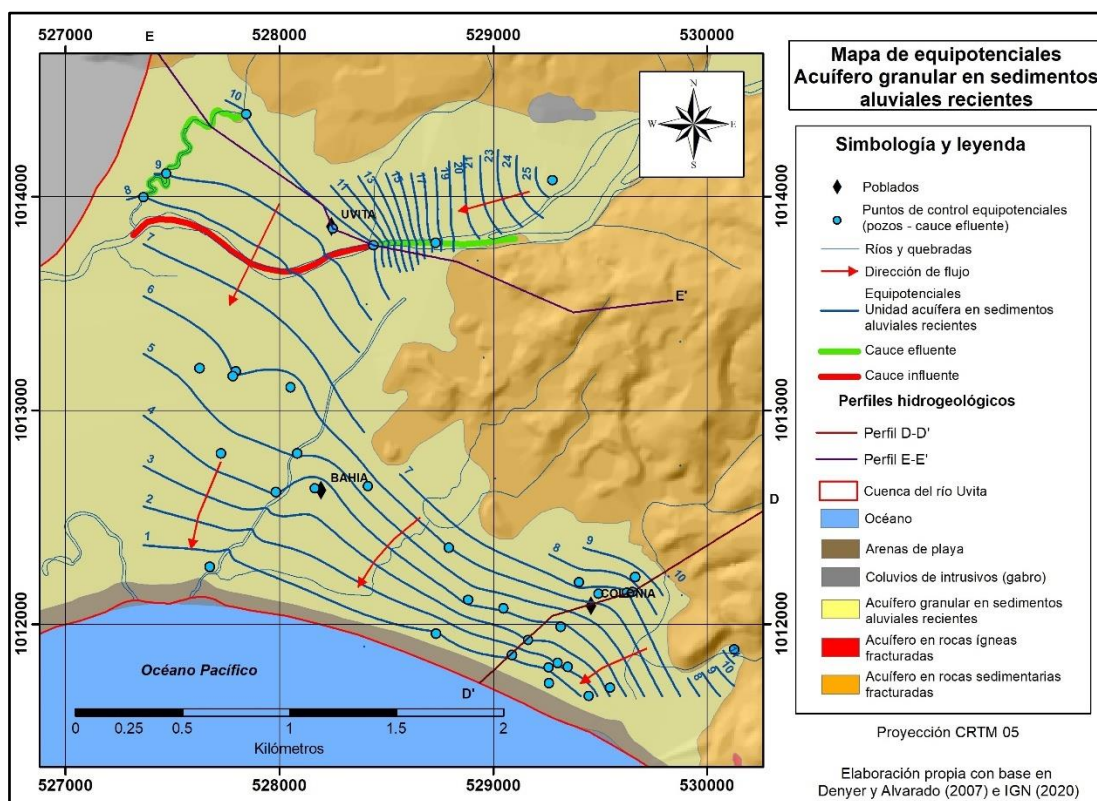


Figura 41. Mapa de equipotenciales del nivel de agua subterránea para un sector del acuífero en sedimentos aluviales recientes. Elaboración propia con base en Denyer y Alvarado (2007) e IGN (2020).

Para el caso del río Uvita se tiene un tramo en el cual el cauce se comporta de manera efluente registrando un incremento en el caudal de 635.2 l/s. Aguas abajo de este sector (figura 41) el río cambia su comportamiento a influente, donde el techo del acuífero se localiza bajo el nivel del lecho del cauce, de tal manera que en esta zona es el río el que aporta al acuífero un caudal de 745.1 l/s. Cabe mencionar, que esta condición fue registrada para el mes de mayo del 2020 y es muy posible que conforme avanza la época lluviosa y se incrementan los niveles del acuífero, se tenga una variación a lo largo del cauce en el comportamiento efluente o influente.

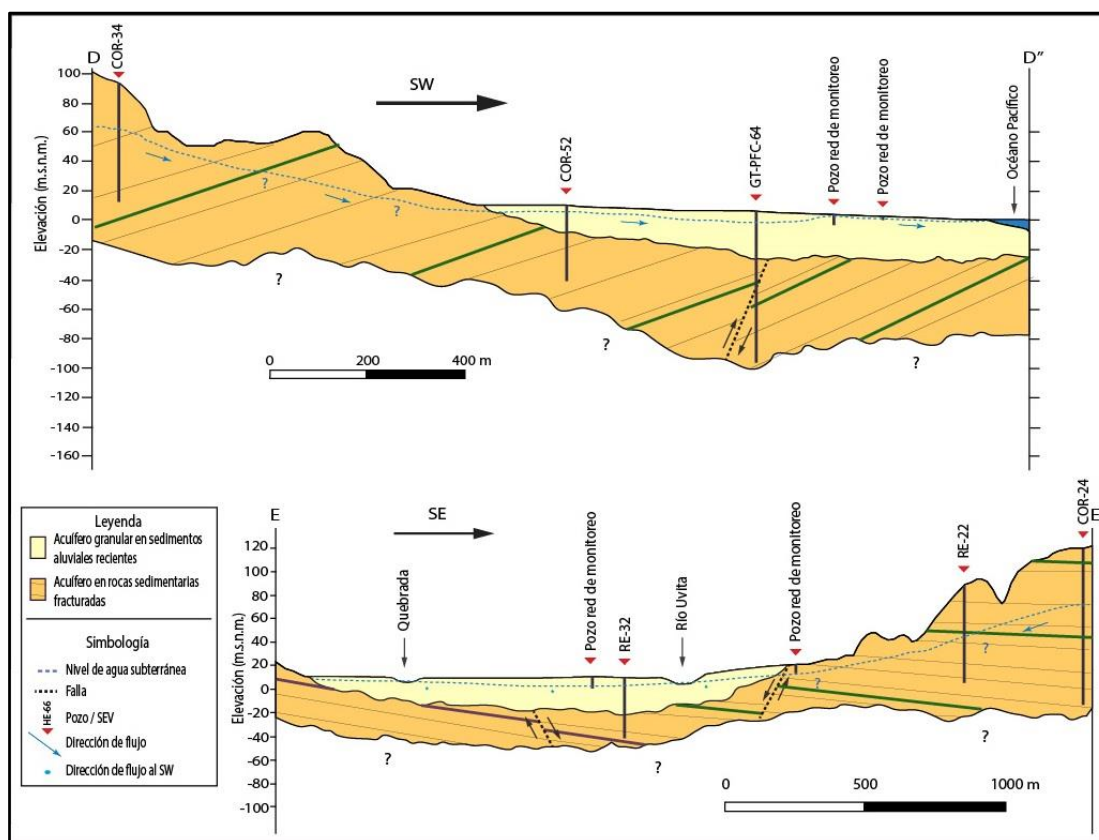


Figura 42. Perfiles hidrogeológicos D - D' y E - E' donde se muestra la ubicación de los niveles de agua subterránea en los distintas unidades acuíferas y su dirección de flujo. Elaboración propia con base en Denyer y Alvarado (2007), SENARA (2020). y SINGIRH (2020).

No se observaron evidencias de intrusión marina en el acuífero a partir de los monitoreos realizados, determinando que en general la conductividad eléctrica del agua subterránea se ubica bajo los 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cumpliendo de esta forma con el valor recomendado según el Reglamento para la Calidad de Agua Potable, decreto No. 32327-S. Únicamente se tiene el registro de 3 pozos (Anexo 2 – monitoreo Uvita) en los cuales se detectaron valores superiores a los 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (valor máximo medido de 760 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pero cuyos valores se considera que responden a condiciones muy específicas, tal es el caso de la cercanía con una zona de manglar (Anexo 2 – pozo 32 red de Uvita) o el hecho de que anteriormente el pozo se encontrara seco y a al momento de monitorearlo apenas estaba recuperando nivel

por efecto de la recarga acuífera (Anexo 2 – pozo 19 red de Uvita). Finalmente, hacia el inicio de la temporada de lluvias algunos pozos muestran un decrecimiento importante en los valores de conductividad eléctrica, lo cual se ha interpretado como el efecto generado a partir de la rápida recarga directa del agua de precipitación.

Los perfiles D–D´ y E–E´ de la figura 42 muestran el modelo hidrogeológico general para la zona de Uvita.

5.4. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA POTENCIAL (BALANCE HÍDRICO DE SUELOS – HIDROGRAMA DE POZOS)

5.4.1. Balance hídrico de suelos

Para la estimación de la recarga potencial a los acuíferos en la zona de estudio, se ha utilizado como primera herramienta la metodología desarrollada por Schosinsky (2006), la cual evalúa esta recarga a partir de un balance hídrico de suelos, en el cual el agua de lluvia que se infiltra en el terreno y completa su ciclo, eventualmente puede percollar, alcanzar y recargar los niveles acuíferos. Este método toma en consideración varios parámetros que influyen en la recarga acuífera, tales como la precipitación mensual, capacidad de infiltración del suelo (factor K_{fc}), uso del suelo (factor K_v), pendiente del terreno (factor K_p), evapotranspiración de las plantas (ETP), y otros parámetros agronómicos como son la capacidad de campo (CC), Densidad del suelo (DA) y el punto de marchitez (PM).

Para el procesamiento de la información y el desarrollo de las distintas ecuaciones que involucra esta metodología, se construyeron los mapas de los distintos parámetros y se aplicó el álgebra correspondiente mediante la utilización del sistema de información geográfica ArcGis 10.5. En función de la escala de las curvas de nivel disponibles (1:25 000), que se utilizaron para la generación del mapa de pendientes y parámetro K_p de la metodología, se ha determinado el utilizar un tamaño de celda de 10 metros para todos los mapas raster involucrados en este análisis.

Para el manejo e interpolación de los datos asociados con los parámetros de capacidad de campo, punto de marchitez, densidad aparente de suelos y capacidad de infiltración, se ha optado por utilizar el método de polígonos de Thiessen en la generación de los mapas respectivos. Lo anterior, ya que es el método que recomienda Schosinsky (2006), pero además porque se considera como un método más adecuado para extender la validez areal de datos puntuales que no necesariamente presentan una variación continua entre dos o más puntos de observación.

Por otra parte, la unidad básica de balance que se ha utilizado para determinar la recarga potencial de los acuíferos existentes en la cuenca, corresponde con los polígonos que representan las litologías asociadas a la Fm. Térraba y los Depósitos Aluviales. En los

materiales asociados con la Fm. Puerto Nuevo y depósitos coluviales de intrusivos no fue realizada esta estimación al considerar que no cuentan con todos los parámetros de entrada necesarios para el análisis, como es la capacidad de campo y punto de marchitez, pero también al tomar en cuenta que solamente representan el 0.31% del área de la cuenca en estudio.

Como fue indicado anteriormente, los parámetros básicos de entrada en esta metodología son:

- La fracción que infiltra por medio de la textura del suelo (factor K_{fc}) y que se obtiene a partir de la capacidad de infiltración de los suelos en la zona no saturada (F_c).
- La fracción que infiltra por efecto de la pendiente del terreno (factor K_p).
- La fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal (factor K_v), obtenida a partir de los usos del suelo.
- La retención de lluvia, densidad del suelo, capacidad de campo y punto de marchitez.
- La precipitación y evapotranspiración potencial, obtenida a partir de la información de estaciones climáticas.

5.4.1.1. Datos climáticos

Según se indicó en el apartado 5.2.2 Clima y estaciones meteorológicas, se considera que para la zona de estudio la estación más representativa corresponde con la Estación Hacienda Barú, con un registro de precipitación continuo desde 1981 hasta el 2017 y de temperatura de 1991 a 2017. Por lo anterior, para el balance hídrico se han considerado los registros de precipitación y evapotranspiración mostrados en la tabla 15.

Tabla 15

Información climática mensual utilizada en el balance hídrico y tomada de la Estación Hacienda Barú.

Mes	Precipitación (mm)	Evapotranspiración potencial (mm)
Enero	77.6	168.69
Febrero	53.2	156.72
Marzo	81.8	179.61
Abril	230.2	177.14
Mayo	519.1	183.61
Junio	437.3	177.65
Julio	454.6	182.21
Agosto	538.2	178.72
Setiembre	593.3	169.29
Octubre	731.3	170.36
Noviembre	472.8	161.58
Diciembre	221.9	166.95

Fuente: Elaboración propia con base en Instituto Meteorológico Nacional (2020).

Para cada uno de estos meses se generó el correspondiente mapa raster de precipitación y evapotranspiración potencial que luego se utilizó en el álgebra de mapas de la metodología. Estos mapas raster, con tamaño de celda 10 metros, se incluyen en el anexo 3.

5.4.1.2. Coeficiente de retención de lluvia (Cfo)

Según la metodología Schosinsky (2006), para el caso de bosques este coeficiente tiene un valor de 0.2, mientras que para otros usos este coeficiente es de 0.12. Adicionalmente, en forma conservadora se ha asignado a las zonas con uso urbano un coeficiente de 1 tomando en consideración la impermeabilización del terreno. Para el caso de cuerpos de agua este coeficiente se ha asignado como 0. A partir de lo anterior y según el uso de suelo determinado para el área de estudio (ver apartado 5.4.1.4 Cobertura vegetal), se ha elaborado el mapa raster de coeficiente de retención de lluvia (Cfo) que se observa en la figura 43. El mapa raster correspondiente se incluye en el anexo 3.

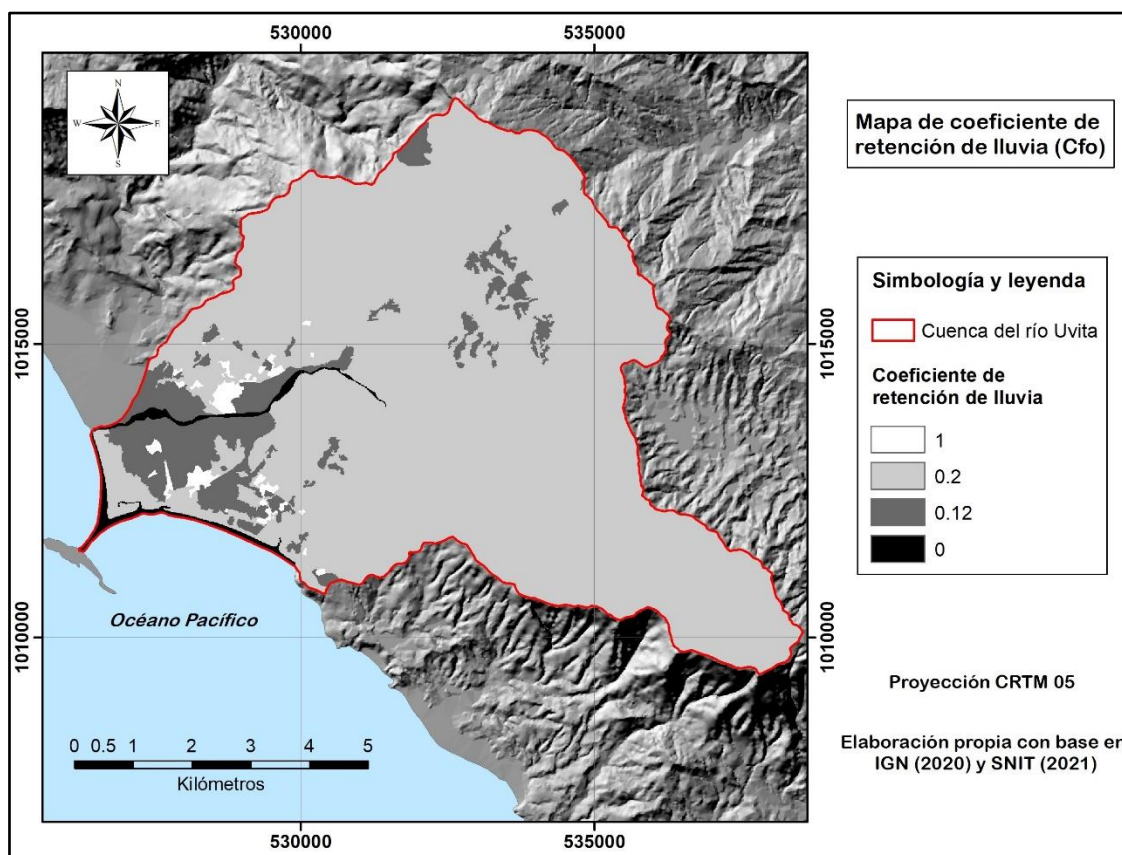


Figura 43. Mapa de coeficiente de retención de lluvia para la cuenca del río Uvita. Elaboración propia con base en IGN (2020) y SNIT (2021).

5.4.1.3. Fracción que infiltra en el terreno por efecto de la pendiente (K_p)

A partir de las curvas de nivel escala 1:25 000 existentes para la cuenca, se generó mediante la utilización del sistema de información geográfica ArcGis 10.5, un modelo de elevación digital del terreno que permitió la elaboración del mapa de pendientes del área que se muestra en la figura 13 (apartado 5.1.4. Geomorfología local).

Posteriormente, este mapa de pendientes fue reorganizado según los rangos de pendientes que establece la metodología Schosinsky (2006) para asignar el factor K_p que se desglosa en la tabla 16. Este mapa de pendientes según los rangos establecidos en la metodología Schosinsky (2006) se observa en la figura 44. Se observa que en la cuenca del río Uvita

predominan las pendientes fuertes (>7%), principal en los sectores montañosos, mientras que en el área de plano aluvial el porcentaje de pendiente es en general menor al 2%.

Tabla 16

Valores de factor Kp, fracción que infiltra en función de la pendiente.

Descripción de pendiente	Pendiente (%)	Factor Kp
	<0.02	0.35
Muy plana	0.02 – 0.06	0.30
	0.06 – 0.3	0.25
Plana	0.3 – 0.4	0.20
	0.4 – 1	0.175
Algo plana	1 – 2	0.15
Promedio	2 – 7	0.10
Fuerte	>7	0.06

Fuente: Modificado de Schosinsky (2006).

Una vez que se reorganizó el mapa de porcentajes de pendientes en las categorías establecidas por Schosinsky (2006), mediante la calculadora raster del programa ArcGis 10.5 se realizó la reclasificación del mapa, asignando a cada celda el valor de factor Kp respectivo según el rango de porcentaje de pendiente en que se ubicaba.

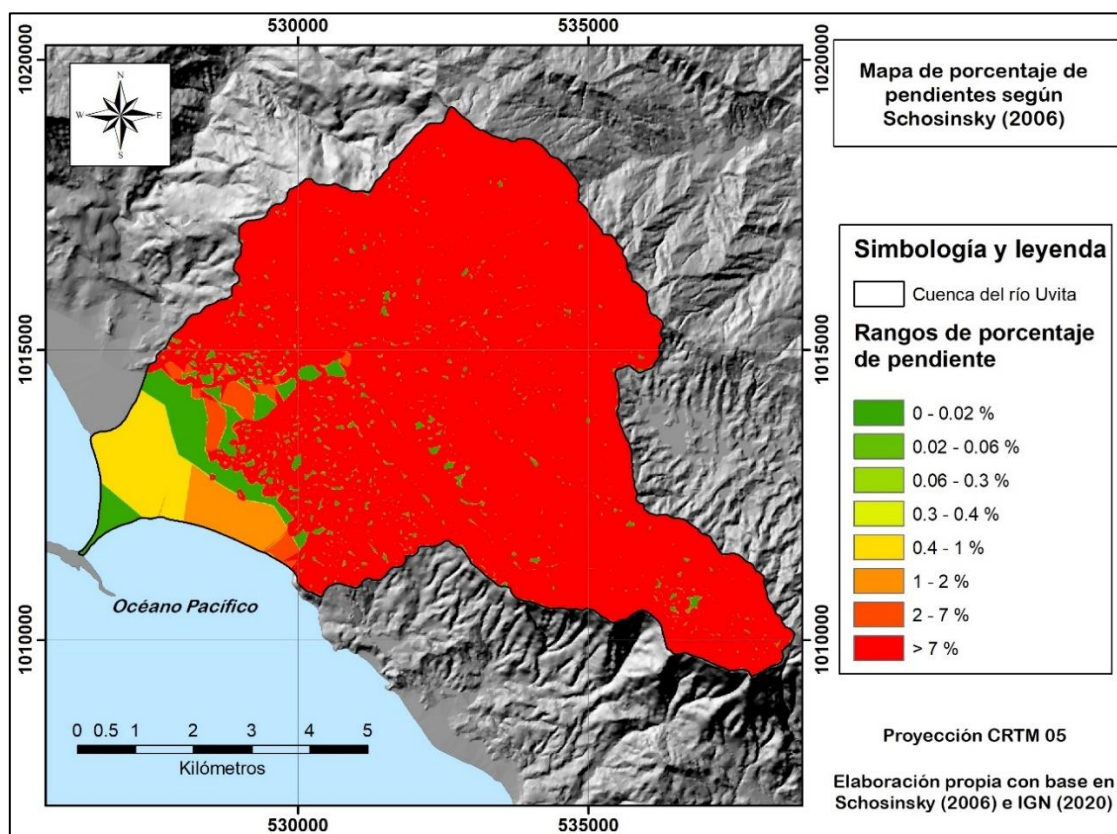


Figura 44. Mapa de porcentaje de pendientes según Schosinsky (2006). Elaboración propia con base en IGN (2020) y Schosinsky (2006).

El mapa raster de factor Kp se observa en la figura 45, y como es de esperar es consistente con el mapa de porcentajes de pendientes construido previamente. En el predomina el valor 0.06 asociado con pendientes fuertes, mientras que en la zona de plano aluvial los valores predominantes son 0.35, 0.3, 0.17 y 0.15 correspondientes a zonas algo planas hasta muy planas.

Los mapas raster generados, tanto de porcentaje de pendiente como de factor Kp asociados cuentan con un tamaño de celda de 10 metros y se incluyen en el anexo 3.

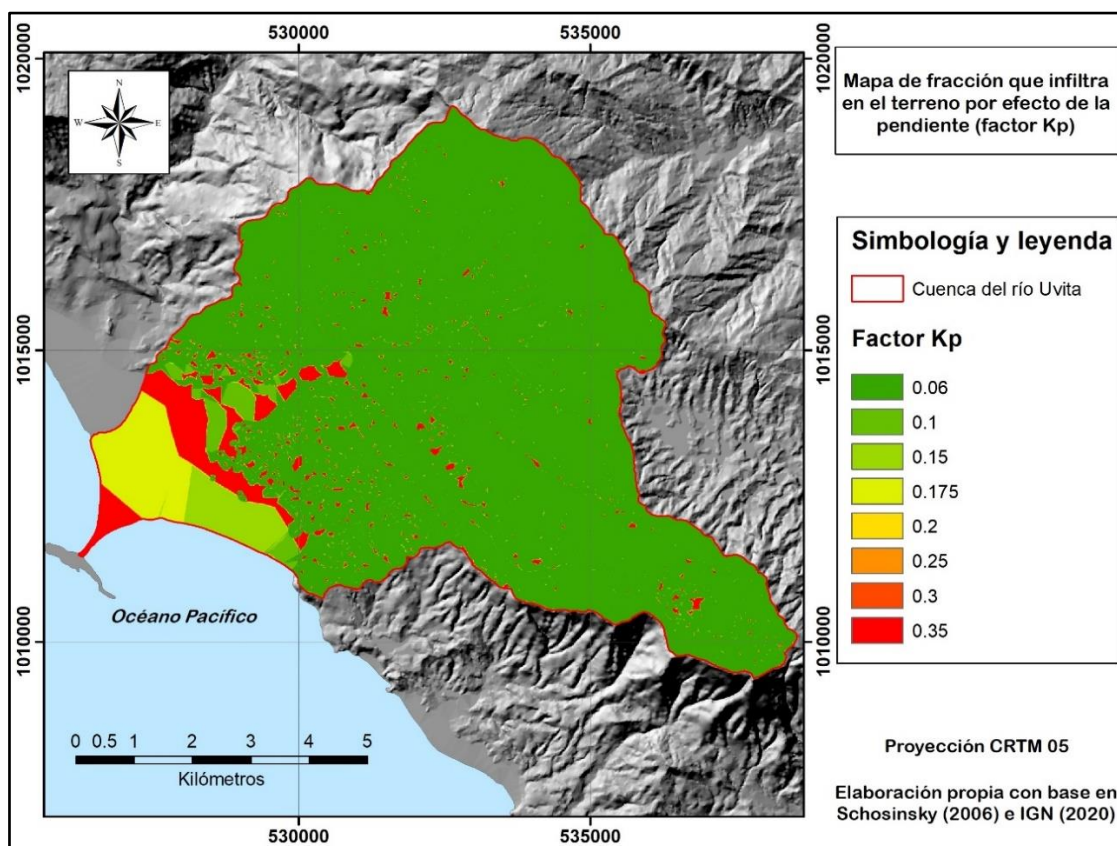


Figura 45. Mapa de fracción que infiltra en el terreno por efecto de la pendiente (factor K_p). Elaboración propia con base en IGN (2020) y Schosinsky (2006).

5.4.1.4. Fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal (K_v)

Para la asignación de este parámetro se procedió a elaborar en conjunto con el personal del SENARA el mapa de uso de suelo que se observa en la figura 46. Los usos de suelo que predominan en la cuenca del río Uvita corresponden con los de tipo bosque, cobertura con pastizal, mixto y urbano, con presencia de pocas áreas asociadas con actividad agrícola y terreno descubierto. Adicionalmente, para efectos del análisis de recarga también se diferenciaron áreas que corresponden con cuerpos de agua en la cuenca (ríos, lagunas o manglares) y con arenas de playa.

En la tabla 17 se presentan los valores del factor Kv que asigna la metodología de Schosinsky (2006) según el tipo de uso de suelo y vegetación asociada en cada área.

Tabla 17

Valores de factor Kv, fracción que infiltra en función de la vegetación

Tipo de cobertura vegetal	Kv
Cobertura con zacate menos del 50%	0.09
Terrenos cultivados	0.10
Cobertura con pastizal	0.18
Bosques	0.20
Cobertura con zacate más de 75%	0.21

Fuente: Schosinsky (2006)

Por otra parte, para el caso de zonas urbanas el Kv asignado fue de 0 debido a la impermeabilización del terreno. En áreas descritas como arenas de playa o cuerpos de agua (ríos, lagunas o manglares) también se ha asignado un factor Kv de 0, al considerar que en estos sectores el agua de precipitación no formará parte de la recarga acuífera, sino que pasará en forma inmediata a formar parte de la escorrentía superficial o a incorporarse al agua de mar luego de infiltrarse en las zonas de playa.

Finalmente, el uso de tipo mixto no se encuentra descrito dentro de la metodología Schsinsky (2006). Corresponde con áreas en que se presentan coberturas de pastos con árboles dispersos, así como una cantidad importante de viviendas, caminos y otro tipo de edificaciones, pero que no llegan a tener una densidad tal que justifique su separación como un polígono de naturaleza totalmente urbana. En estos sectores el valor de Kv asignado es de 0.12 basado en SENARA (2007).

Para efectos del álgebra mediante la cual se realizó el balance hídrico de suelos, con la información de uso de suelo y cobertura vegetal asociada, se elaboró el mapa raster de factor Kv correspondiente, mismo que se incluye dentro del anexo 3.

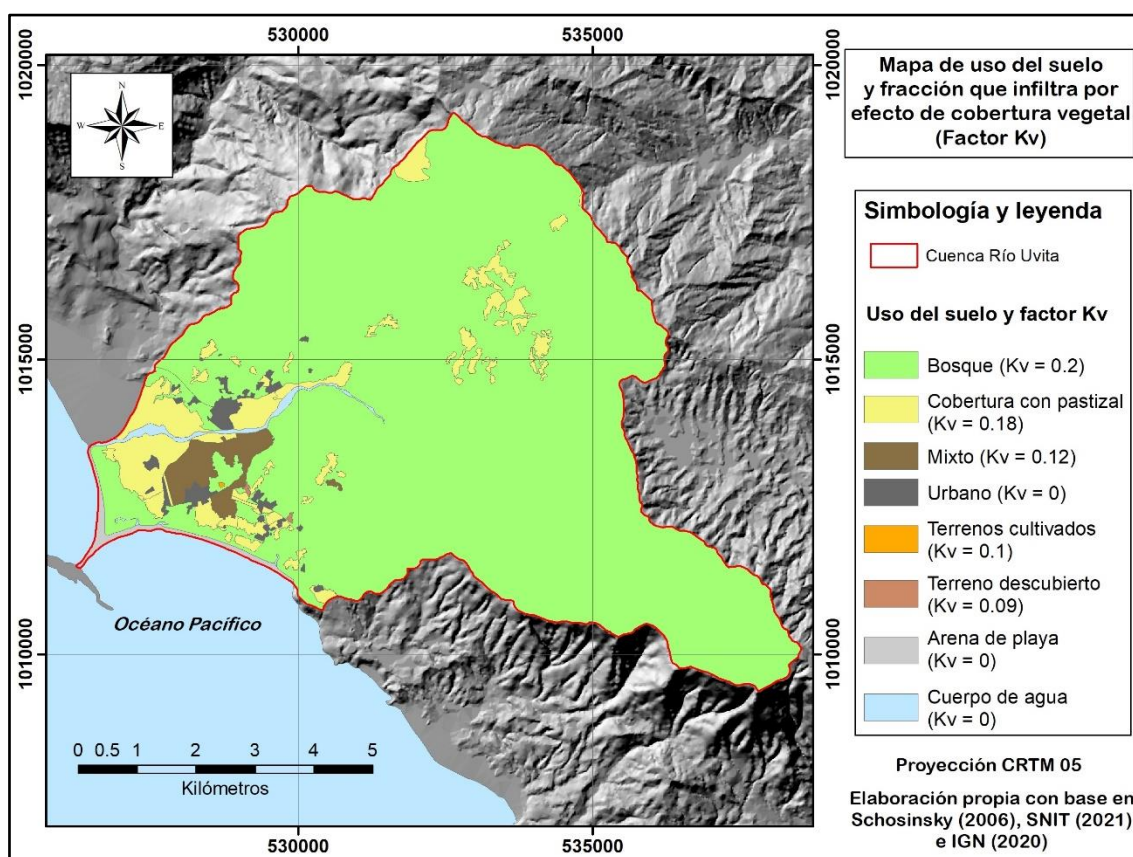


Figura 46. Mapa de uso de suelo y fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal (factor Kv). Elaboración propia con base en Schosinsky (2006), SNIT (2021) e IGN (2020).

5.4.1.5. Capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente

Como se mencionó en el apartado 5.1.5.3 Caracterización de suelos, el SENARA mediante los procesos de licitación 2013-LN-000008-OC y 2018LA-000002-OC realizó el muestreo y caracterización de suelos en ciertos sectores del área de estudio. Adicionalmente, como parte de esta investigación y en conjunto con el personal del SENARA, durante el 2016 se tomaron un total de 12 muestras de suelos para determinación de capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente, que fueron analizadas en el laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).

Finalmente, también se consideraron para este análisis los datos de suelos que fueron determinados en el área de estudio como parte de la investigación desarrollada por CIGG (2016).

En total se cuenta con 28 muestras de suelos en el área de estudio, cuyo resumen de información se muestra en la tabla 18 y en la figura 47 se muestra su distribución en la cuenca del río Uvita. Para los análisis de recarga se descartaron las muestras IBB-10 e I-9 debido a que se localizan sobre materiales coluviales. En el anexo 2 se incluyen los resultados de laboratorio.

Tabla 18

Muestras de suelo, capacidad de campo (CC), punto de marchitez (PM) y densidad aparente (DA)

Muestra	Latitud	Longitud	CC	PM	DA	Formación	Fuente
12	1017780	530686	42	30	1.46	Fm. Térraba	2018LA-000002-OC
27	1011780	529126	42	34	1.6	Aluvion	2018LA-000002-OC
28	1017100	533968	51	47	1.19	Fm. Térraba	2018LA-000002-OC
29	1010460	535422	51	47	1.2	Fm. Térraba	2018LA-000002-OC
36	1015370	529708	36	34	1.28	Fm. Térraba	2018LA-000002-OC
GT-PFC-38	1013403	528025	31.6	20.7	1.79	Aluvión	2013LN-000008-OC
GT-PFC-39	1014425	529468	39.7	21.9	1.44	Fm. Térraba	2013LN-000008-OC
I-1	1016382	529173	41.6	21.9	0.79	Fm. Térraba	Elaboración propia
I-2	1016343	532797	38.91	21.64	0.81	Fm. Térraba	Elaboración propia
I-3	1015417	532111	38.59	20.79	0.92	Fm. Térraba	Elaboración propia
I-4	1012150	529637	39.71	20.57	1.19	Aluvión	Elaboración propia
I-5	1012843	527735	21.39	16.12	1.23	Aluvión	Elaboración propia
I-6	1015617	531472	37.52	21.43	0.97	Fm. Térraba	Elaboración propia
I-7	1013078	534047	38.6	20.87	0.93	Fm. Térraba	Elaboración propia
I-8	1014199	527928	42.5	22.01	1.18	Aluvión	Elaboración propia
I-9	1011121	530320	41.9	22.18	1.16	Coluvio	Elaboración propia
I-10	1013342	531277	42.3	22.5	1.03	Fm. Térraba	Elaboración propia
I-11	1011539	532852	42.8	22.9	1.15	Fm. Térraba	Elaboración propia
I-12	1013303	526747	22.4	15.95	1.08	Aluvión	Elaboración propia
IB-1	1015993	531731	40.32	22.59	1.12	Fm. Térraba	CIGG (2016)
IB-2	1012958	534125	36.94	21.49	1.16	Fm. Térraba	CIGG (2016)
IB-3	1016658	529047	23.55	15.72	1.21	Fm. Térraba	CIGG (2016)
IB-4	1012408	532204	29.62	19.66	1.09	Fm. Térraba	CIGG (2016)
IBB-5	1012670	528221	36.28	20.07	1.16	Aluvión	CIGG (2016)
IBB-8	1014371	527831	39.72	21.86	1.09	Fm. Térraba	CIGG (2016)
IBB-9	1011743	529249	20.71	14.52	1.01	Aluvión	CIGG (2016)
IBB-10	1014385	529384	22.15	16.94	1.21	Coluvio	CIGG (2016)
IBB-11	1011898	530050	30.86	20.87	1.15	Fm. Térraba	CIGG (2016)

Fuente: Elaboración propia y CIGG (2016)

A partir de la ubicación de las muestras de suelo se generaron los polígonos de Thiessen respectivos para cada parámetro, posteriormente se generaron los mapas raster y se transformaron los valores de capacidad de campo y punto de marchitez a unidades de milímetros según la metodología Schosinsky (2006). Estos mapas raster finales fueron los utilizados en el álgebra de mapas y se incorporan como parte del anexo 3 de este trabajo.

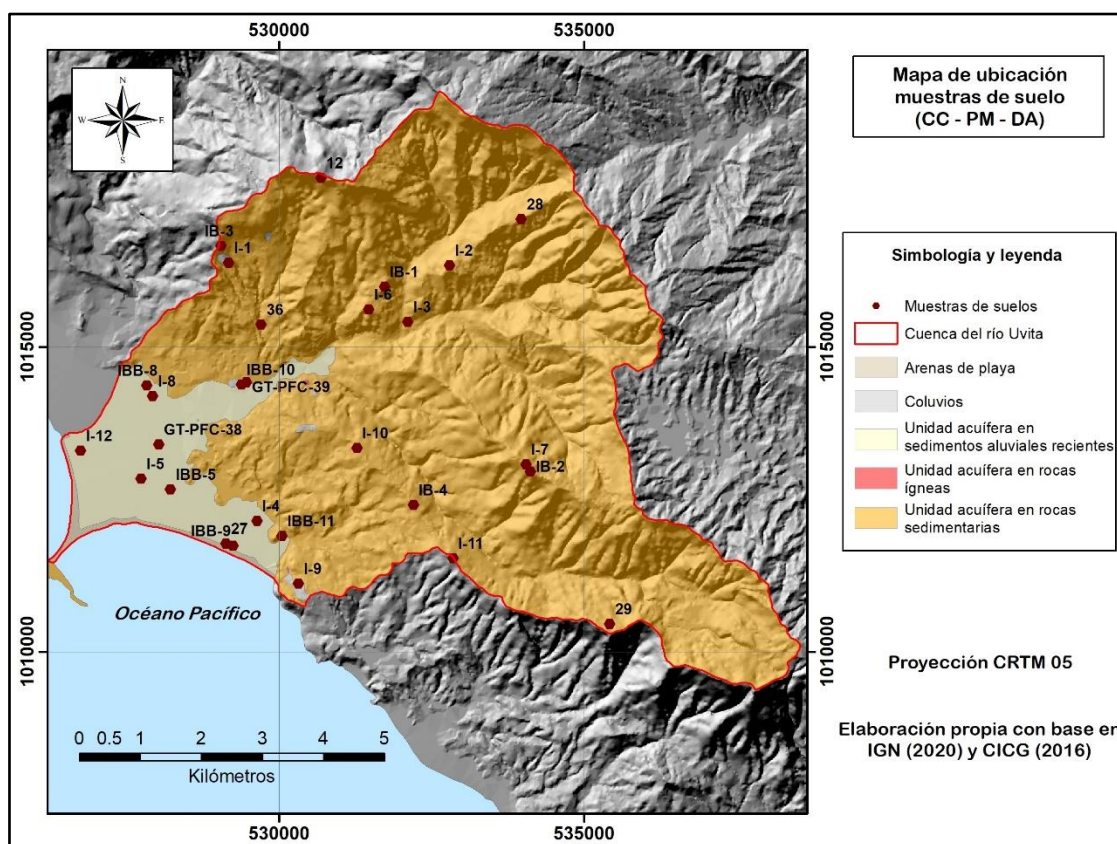


Figura 47. Mapa de ubicación de muestras de suelo para determinación de capacidad de campo (CC), punto de marchitez (PM) y densidad aparente (DA). Elaboración propia con base en IGN (2020) y CIGC (2016).

5.4.1.6. Profundidad de raíces

Según los tipos de uso de suelo determinados se asignó el parámetro de profundidad de raíces (PR) considerando la cobertura vegetal que predominara en cada sector. Para lo

anterior, se tomaron en consideración los valores indicados en la metodología Schosinsky (2006) (Tabla 19).

De esta forma, al bosque se le asignó un valor de 2.5 m, a los pastizales 0.4 m, y a sectores asociados con cuerpos de agua, arenas de playa, terrenos descubiertos y área urbana se les asignó un valor de profundidad de raíces igual a cero. Los terrenos cultivados en esta cuenca se relacionan con pequeñas áreas en donde se producen cultivos de subsistencia como frijoles, por lo que se les ha asignado un valor de 0.5 m. Finalmente, en los terrenos de uso mixto predominan los pastos con presencia de algunos árboles dispersos, por lo que se ha determinado asignarles una profundidad de raíces de 0.45 m.

Tabla 19

Profundidad de raíces según Schosinsky (2006)

Cultivo	Profundidad de raíz (m)
Alfalfa	1 - 2
Algodón	1 – 1.7
Banano	0.5 – 0.8
Caña de azúcar	1.2 – 2
Frijol	0.5 – 0.7
Cebolla	0.3 – 0.5
Cítricos	1.2 – 2
Zacate	0.3 - 0.5
Bosques	2 - 3

Fuente: Schosinsky (2006)

A partir de la información anterior, se generó para la cuenca el mapa raster de profundidad de raíces que se observa en la figura 48.

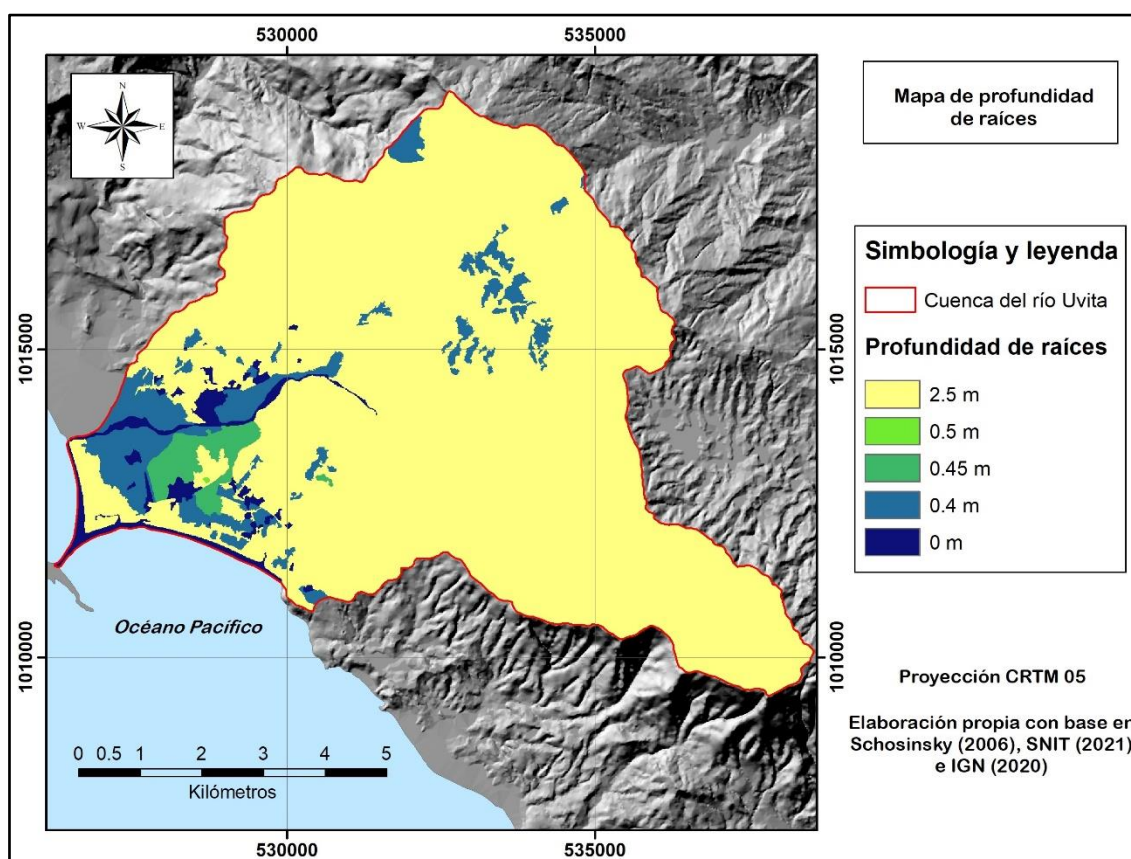


Figura 48. Mapa de profundidad de raíces. Elaboración propia con base en Schosinsky (2006), SNIT (2021) e IGN (2020).

5.4.1.7. Infiltración y coeficiente de infiltración por textura de suelo (K_{fc})

Para determinar la velocidad de infiltración del agua en los suelos de la cuenca del río Uvita fueron realizados varios ensayos de doble anillo como parte de las licitaciones 2013-LN-000008-OC y 2018LA-000002-OC. También como parte de esta investigación y en conjunto con el personal del SENARA, durante el 2016 se realizaron otros 11 ensayos de doble anillo distribuidos en el área de estudio, y finalmente también se consideraron para este análisis los datos de pruebas de infiltración doble anillo que fueron realizados en el área por CICG (2016).

En total se cuenta con 27 pruebas de infiltración doble anillo distribuidas en el área de estudio, sin embargo, las pruebas I-9 e IBB-10 se descartan para este análisis por ubicarse sobre coluvios. El resumen de la información se muestra en la tabla 20, mientras que en el mapa de la figura 49 se muestra su distribución en la cuenca. En el anexo 2 se incluyen las memorias de cálculo para estas pruebas.

Tabla 20

Velocidad de infiltración (fc) y coeficiente de infiltración por textura de suelo (Kfc)

Muestra	Latitud	Longitud	fc m/d	fc mm/d	Kfc	Formación	Fuente
12	1017780	530686	0.004	4	0.003	Fm. Térraba	2018LA-000002-OC
27	1011780	529126	0.292	292	0.810	Aluvion	2018LA-000002-OC
28	1017100	533968	0.012	12	0.011	Fm. Térraba	2018LA-000002-OC
29	1010460	535422	0.012	12	0.011	Fm. Térraba	2018LA-000002-OC
36	1015370	529708	0.685	685	0.837	Fm. Térraba	2018LA-000002-OC
GT-PFC-38	1013403	528025	0.293	293	0.810	Aluvión	2013LN-000008-OC
GT-PFC-39	1014425	529468	0.135	135	0.837	Fm. Térraba	2013LN-000008-OC
I-1	1016382	529173	0.33	330	0.805	Fm. Térraba	Elaboración propia
I-2	1016343	532797	1.11	1110	0.978	Fm. Térraba	Elaboración propia
I-3	1015417	532111	0.05	50	0.313	Fm. Térraba	Elaboración propia
I-4	1012150	529637	1.38	1380	0.994	Aluvión	Elaboración propia
I-5	1012843	527735	2.67	2670	1	Aluvión	Elaboración propia
I-6	1015617	531472	0.52	520	0.837	Fm. Térraba	Elaboración propia
I-7	1013078	534047	0.27	270	0.730	Fm. Térraba	Elaboración propia
I-8	1014199	527928	0.41	410	0.810	Aluvión	Elaboración propia
I-9	1011121	530320	1.24	1240	0.987	Coluvio	Elaboración propia
I-10	1013342	531277	1.98	1980	1	Fm. Térraba	Elaboración propia
I-11	1011539	532852	0.67	670	0.911	Fm. Térraba	Elaboración propia
IB-1	1015993	531731	0.96	960	0.962	Fm. Térraba	CICG (2016)
IB-2	1012958	534125	2.16	2160	1	Fm. Térraba	CICG (2016)
IB-3	1016658	529047	0.432	432	0.805	Fm. Térraba	CICG (2016)
IB-4	1012408	532204	1.152	1152	0.980	Fm. Térraba	CICG (2016)
IBB-5	1012670	528221	0.576	576	0.810	Aluvión	CICG (2016)
IBB-8	1014371	527831	3.36	3360	1	Fm. Térraba	CICG (2016)
IBB-9	1011743	529249	44.35	44350	1	Aluvión	CICG (2016)
IBB-10	1014385	529384	0.672	672	0.911	Coluvio	CICG (2016)
IBB-11	1011898	530050	14.4	14400	1	Fm. Térraba	CICG (2016)

Fuente: Elaboración propia y CICG (2016)

A partir de la ubicación de los ensayos de infiltración se generaron los polígonos de Thiessen respectivos, y posteriormente se generó el mapa raster de coeficiente Kfc que fue utilizado en el álgebra para determinar el coeficiente de infiltración del suelo. Los mapas raster de los parámetros fc y Kfc se incluyen como parte del anexo 3.

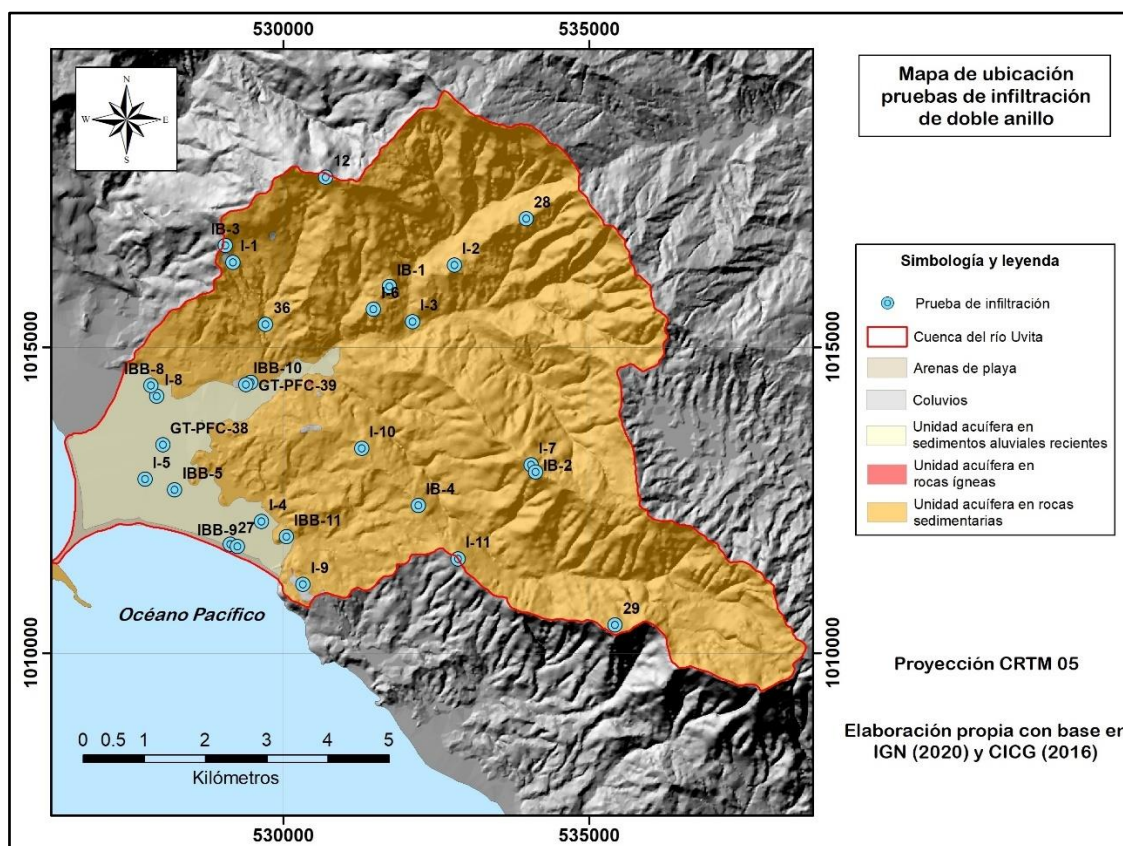


Figura 49. Mapa de ubicación de pruebas de infiltración por el método doble anillo. Elaboración propia con base en IGN (2020) y CIGC (2016).

5.4.1.8. Balance hídrico y estimación de la recarga potencial

Mediante la aplicación de la metodología desarrollada por Schosinsky (2006), se obtuvieron para el área de estudio los distintos mapas raster con información mensual de retención de lluvia, precipitación que infiltra, escorrentía, evapotranspiración real y humedades iniciales, finales y disponibles, cuya integración permitió determinar para cada pixel el valor de la recarga potencial mensual. La sumatoria de los doce raster de recarga potencial mensual permitió finalmente establecer la recarga potencial anual de los acuíferos existentes en la cuenca del río Uvita.

Los mapas raster de todos los parámetros involucrados en la determinación de la recarga potencial anual se incluyen como parte del anexo 3 de este estudio.

Se debe mencionar, que la estimación de la recarga potencial no ha sido realizada en forma individual para el acuífero fracturado en rocas ígneas, debido a que esta litología no cuenta con todos los parámetros de caracterización necesarios para hacer el análisis respectivo, pero además porque cuenta con una distribución espacial muy limitada, por lo que su área ha sido incorporada dentro del análisis general de recarga potencial que se efectuó para el acuífero en rocas sedimentarias fracturadas.

La tabla 21 muestra los valores de recarga potencial obtenidos para cada unidad hidrogeológica, así como el total para la cuenca del río Uvita.

Tabla 21

Recarga potencial para las unidades hidrogeológicas en la cuenca del río Uvita

Acuífero	Área para estimación de recarga (m²)	Caudal (l/año)	Caudal (l/s)
Acuífero en rocas sedimentarias fracturadas	53283242.75	5.5701x10 ¹⁰	1766.29
Acuífero en sedimentos aluviales recientes	6377656.47	1.0770x10 ¹⁰	341.52
TOTAL		6.6471x10¹⁰	2107.81

Fuente: Elaboración propia con base en Schosinsky (2006)

A partir del balance hídrico de suelos se establece que la recarga potencial total en la cuenca del río Uvita es de 2107.81 l/s. Esta recarga equivale al 25.05% de la precipitación total anual en esta cuenca (8411.82 l/s).

El 83.79% de la recarga potencial se genera en sitios asociados con el acuífero en rocas sedimentarias fracturadas, lo cual evidentemente está relacionado con el predominio de esta litología en la zona de estudio, mientras que el acuífero en sedimentos aluviales recientes registra una recarga potencial equivalente al 16.2%.

5.4.1.9. Mapa de recarga potencial anual

La recarga potencial en la cuenca del río Uvita ha sido categorizada en cinco clases siguiendo la metodología desarrollada por el SENARA para la elaboración de estudios hidrogeológicos de planes reguladores cantonales, publicada en el periódico oficial La Gaceta No. 137 del 16 de julio del 2015.

En la zona de estudio el valor máximo de recarga obtenido fue de 2120.89 mm anuales y el mínimo de 0 mm, por lo que las cinco clases de recarga potencial se establecen según lo mostrado en la tabla 22.

Tabla 22

Clases de recarga potencial en función del rango.

Clase	Recarga potencial	Rango (mm)
1	Muy baja	0 – 424.178
2	Baja	424.178 – 848.356
3	Media	848.356 – 1272.534
3	Alta	1272.534 – 1696.712
5	Muy alta	1696.712 – 2120.89

Fuente: Elaboración propia.

La figura 50 corresponde con el mapa de clases de recarga potencial para la cuenca del río Uvita. Se debe aclarar, que en este mapa las zonas que se presentan sin información de recarga están asociadas principalmente con cuerpos de agua como ríos, lagunas o manglares, pero también se incluyen sectores urbanos, debido a que en forma conservadora esas zonas urbanas no se consideraron dentro de la cuantificación de recarga, al tomar en cuenta la impermeabilización que sufren los terrenos por el desarrollo de infraestructura.

Por otra parte, existen sectores en la zona de estudio en los que la categoría de recarga fue estimada como muy baja, en el orden de 0 a 424.178 mm anuales, que se asocian con valores de velocidad de infiltración en el terreno muy bajos, por debajo de los 50 mm/d. Valores de velocidad de infiltración tan bajos no son tan comunes en toda la zona de estudio, pudiendo encontrar variaciones en función de las facies litológicas y los suelos desarrollados. Es por esto, que con un enfoque conservador y de protección hacia el recurso hídrico, se mantiene en estos sectores la categoría de recarga potencial muy baja,

sin embargo, se considera adecuado que en estos sectores se investigue con mayor detalle las velocidades de infiltración y otros parámetros del suelo, de tal manera que se pueda establecer con mayor detalle la continuidad espacial de la categoría de recarga muy baja que se determinó.

En el mapa de la figura 50 se observa que en la zona de estudio predominan las clases de recarga alta y muy alta, y específicamente para los sectores aluviales, la clase de recarga que predomina es la de muy alta.

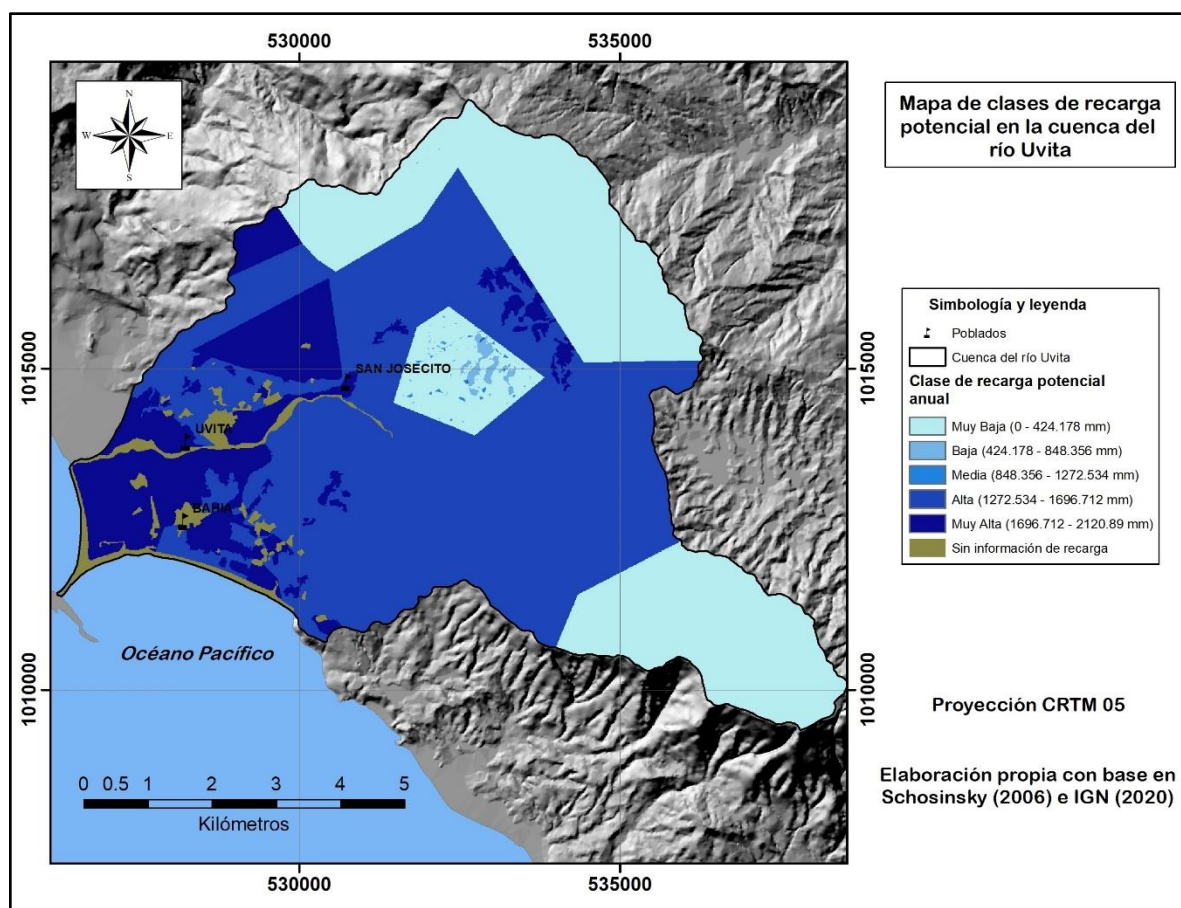


Figura 50. Mapa de clases de recarga potencial para la cuenca del río Uvita. Elaboración propia con base en Schosinsky (2006).

5.4.2. Hidrograma de pozos

Como parte de esta investigación, en la cuenca del río Uvita se llegaron a inventariar un total de 53 pozos (43 excavados / 10 perforados) y 7 piezómetros exploratorios construidos por el SENARA. De estos, se lograron monitorear con certeza los niveles del agua subterránea en 6 piezómetros y 31 pozos, algunos desde el 2014 y en general con mayor frecuencia a partir del 2017 y hasta noviembre del 2020. La información de niveles monitoreados en estos pozos y piezómetros se incluye como parte del anexo 2 de este informe.

Como fue mencionado, en campo se inventariaron más pozos de los contemplados en este análisis, pero algunos fueron descartados al tomar en consideración aspectos tales como la continuidad de mediciones entre época seca y lluviosa, efectos de bombeo, presencia de confinamiento o surgencia, o la existencia de muy pocos datos ya que se incorporaron al final del monitoreo.

Por otra parte, los niveles de los piezómetros en la zona de Uvita se han considerado para el análisis de recarga de los depósitos aluviales. Esto, tomando en cuenta que en los informes de perforación no se registraron variaciones en los niveles de agua subterránea de los depósitos aluviales, aún después de que la perforación había alcanzado el basamento de la Fm. Térraba.

A partir de la litología en cada unidad hidrogeológica determinada, se han asignado los valores de rendimiento específico según Rodríguez et al. (2010). De esta forma, para el acuífero en rocas sedimentarias fracturadas el valor utilizado es de 0.15, mientras que, para el acuífero granular en sedimentos aluviales recientes el valor es de 0.20.

La tabla 23 muestra el resumen de la estimación de recarga realizada para cada unidad hidrogeológica, tomando en consideración el cambio de nivel promedio del agua subterránea según la información recopilada en el monitoreo de los pozos o piezómetros de cada unidad.

Se determina por este método una recarga de 1976.83 l/s para la Fm. Térraba y de 83.07 l/s para los depósitos aluviales recientes, lo que da una recarga total para la cuenca del río Uvita de 2059.9 l/s, que correspondería con el 24.48% de la precipitación total (8411.82 l/s).

Tabla 23

Estimación de la recarga – hidrograma de pozos.

Acuífero	Rendimiento específico	Cantidad de pozos	Cambio de nivel promedio (m)	Área considerada (m²)	Recarga (m³/año)	Recarga (l/s)
Rocas sedimentarias fracturadas	0.15	2	7.8	53283242.75	62341394.02	1976.83
Granular en sedimentos aluviales recientes	0.2	35	2.054	6377656.47	2619941.2	83.07
TOTAL					64961335.22	2059.9

Fuente: Elaboración propia.

5.4.3. Comparación entre metodologías utilizadas

La tabla 24 muestra la comparación entre la recarga potencial obtenida por el método de balance hídrico de suelos y el valor de recarga obtenido mediante el método de hidrograma de pozos.

Tabla 24

Comparación de recarga entre las metodologías de balance hídrico de suelos e hidrograma de pozos

Acuífero	Recarga (l/s) Balance hídrico de suelos	Recarga (l/s) Hidrograma de pozos
Rocas sedimentarias fracturadas (Fm. Térraba)	1766.29	1976.83
Granular en depósitos aluviales recientes	341.52	83.07
TOTAL	2107.81	2059.9

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla anterior, las recargas totales para la cuenca del río Uvita son muy similares entre ambos métodos, e incluso, en el caso de la Fm. Térraba esta diferencia es apenas de un 11% aproximadamente. Sin embargo, para el caso de los depósitos aluviales la diferencia en la recarga determinada es mucho más contrastante, obteniéndose una disminución en la recarga de aproximadamente un 75% con el método de hidrogramas

de pozos. Con este método, la recarga en la zona aluvial representaría apenas un 4.07% de la recarga total, lo cual parece ser un valor muy bajo al considerar la extensión de los depósitos aluviales (alrededor de un 11% en la cuenca) y la existencia de algunos factores favorables para la recarga, como lo son coeficientes de retención de lluvia y pendientes menores en comparación con los sectores montañosos de la Fm. Térraba.

La determinación de recarga por fluctuación de niveles en pozos es un método excelente y muy válido para las estimaciones, pues parte de mediciones realizadas directamente en los niveles del acuífero, sin embargo, su precisión puede verse afectada debido a la ausencia de datos reales de rendimiento específico para cada acuífero, escaso seguimiento en el registro de niveles, inadecuada distribución en las redes de monitoreo, e incluso ausencia de conocimiento con respecto al grado de confinamiento hidráulico en los acuíferos que son captados en los pozos.

Para el área de estudio, ciertamente se tienen algunas de las limitantes mencionadas en el párrafo anterior, tal es el caso de los rendimientos específicos o la existencia de una distribución adecuada de los pozos en todos los sectores analizados, de tal manera, que para fines de la estimación del balance hídrico de aguas subterráneas, rendimiento sostenible, disponibilidad de caudales y modelación numérica, se considera que los valores más representativos a utilizar son los obtenidos mediante el balance hídrico de suelos.

5.4.4. Rendimiento sostenible (caudal utilizable)

Para el cálculo del rendimiento sostenible se utilizan los datos de recarga potencial generados por el método de balance hídrico de suelos. Esta recarga expresada como caudal instantáneo es de 2107.81 l/s, valor al cual se debe sustraer la extracción por pozos y la descarga por nacientes, para finalmente determinar el caudal utilizable o rendimiento sostenible. Ponce (2007), indica que el rendimiento sostenible puede expresarse como un porcentaje de la recarga, en el que los valores medios pueden ser de alrededor del 40%. En todo caso, este valor del 40% debe tratarse con precaución, ya que la determinación certera del rendimiento sostenible en los acuíferos debe ir ligado a la ejecución de otros

estudios sobre caudal ambiental o ecológico, así como consumo poblacional o retornos al sistema.

La recarga expresada como caudal instantáneo es de 2107.81 l/s, de tal manera que al considerar un rendimiento sostenible del 40% según lo sugerido por Ponce (2007), el caudal utilizable en la cuenca del río Uvita sería de 843.12 l/s. Sin embargo, como el valor de caudal de recarga obtenido mediante el balance hídrico de suelos no considera la extracción que se está generando por parte de los pozos o la descarga de nacientes, a continuación, se determinará el caudal de extracción que eventualmente se debe restar al caudal de recarga antes de determinar el caudal utilizable final.

5.4.4.1. Extracción y disponibilidad de caudal

La estimación de la extracción de aguas subterráneas en la cuenca del río Uvita se ha realizado a partir del inventario de pozos y nacientes existentes en la zona, tomando en consideración la información levantada en campo y los registros de las bases de datos del SENARA, SINIGIRH y la ASADA de Uvita y Bahía.

Se debe mencionar, que en la mayoría de los pozos inventariados en campo no se tiene información certera sobre los caudales de extracción, por lo que, se les ha asignado un caudal de explotación según el tipo de uso y basándose en lo recomendado por SENARA (2006), tal y como se observa en la tabla 25.

Tabla 25

Caudales de extracción según el tipo de uso

Uso de agua - MINAE	Uso de agua - SENARA	Caudal medio (L/s)
Industrial	Industrial	5.8
Abastecimiento Público	Abastecimiento Público	9.5
	Doméstico	0.50
Consumo Humano	Urbanístico	4.50
	Varios	3.30

	Riego – Doméstico	1.80
	Rieg. – Domést. Turismo	7
	Riego	7
Agrícola	Agroindustrial	3.80
	Abrevadero	2.80
Turismo	Turismo	4
	Riego Turismo	7

Fuente: SENARA (2006)

Por otra parte, para aquellos pozos que fueron inventariados en campo, y de los cuales se tiene certeza que ya estaban incluidos en alguna de las bases de datos institucionales, se ha considerado su caudal de explotación una única vez, como parte de los registros en las bases de datos institucionales.

La tabla 26 muestra el resumen de los caudales de extracción según el tipo de uso, a partir de la información existente en SENARA, SINIGIRH, ASADA de Uvita-Bahía y el levantamiento de campo. El desglose de los pozos, nacientes, concesiones y caudales indicados en la tabla 26 se presenta como tablas incluidas en el anexo 1 de este informe.

Tabla 26

Caudales de extracción en la cuenca del río Uvita según distintas fuentes de información

Fuente de información	Caudal de extracción		
	Uso	Caudal (l/s)	Caudal total (l/s)
SENARA	Doméstico	5.1	7.3
	Riego-doméstico-turístico	2.2	
ASADA UVITA	Abastecimiento público	23.14	23.14
SINIGIRH (expedientes concesiones)	Turismo	1.47	4.79
	Riego	0.74	
	Consumo humano	1.9	
Inventario de campo	Agropecuario	0.68	67.3
	Doméstico	7.5	
	Riego-Doméstico	19.8	
	Turístico	40	

Fuente: Elaboración propia con base en SENARA (2020), SENARA (2006) y SINIGIRH (2020)

Es importante mencionar, que los pozos COR-40, COR-14, RE-20, COR-34, COR-23 y COR13 se registran tanto en las bases de datos del SENARA como del SINIGIRH, sin embargo, los caudales de extracción reportados en SENARA son mayores, por lo que, para realizar un análisis más conservador serán esos caudales mayores los que se considerarán en el análisis de disponibilidad. De esta forma, en los caudales de SINIGIRH mostrados en la tabla 26, se debe restar un total de 0.54 l/s (0.47 de consumo humano y 0.07 de turismo), que eran los caudales que reportaban en esa base los pozos mencionados, quedando entonces un caudal final de extracción para los expedientes de SINIGIRH de 4.25 l/s.

A partir de lo anterior, la extracción total en la cuenca del río Uvita corresponde a la sumatoria del caudal en SENARA (7.3 l/s), más el caudal de la ASADA de Uvita (23.14 l/s), más el caudal de concesiones de SINIGIRH (4.25 l/s), más el caudal de inventario de campo (67.3 l/s), lo que da un total de extracción de **101.99 l/s**.

Es importante mencionar, que las estimaciones realizadas en este apartado son bastante conservadoras y dirigidas hacia la protección del recurso hídrico. Es por esto, que a los pozos y nacientes se les han asignado los caudales de extracción y períodos de bombeo máximos según la información técnica disponible. No obstante, es muy probable que la extracción sea menor, al tomar en cuenta que muchos de los pozos tienen períodos de bombeo menores, no han entrado en operación, o más bien han caído en desuso por parte de sus propietarios debido a que en la actualidad cuentan con suministro de agua potable por parte de la ASADA de Uvita y Bahía.

5.4.4.2. Caudal utilizable en la cuenca del río Uvita

La recarga en la zona de estudio obtenida mediante el método de balance hídrico, y expresada como caudal instantáneo es de 2107.81 l/s. A este valor se le sustraen los 101.99 l/s, correspondientes a las extracciones por pozos y nacientes, con lo que se obtiene un valor de 2005.82 l/s.

Finalmente, efectuando el análisis de rendimiento sostenible (40%), se determina que en forma general en la cuenca del río Uvita se podrían extraer **802.32 l/s** para satisfacer las distintas necesidades sociales o económicas de la población.

5.5. MODELACIÓN NUMÉRICA MATEMÁTICA – ACUÍFERO ALUVIAL

La modelación numérica matemática se ha realizado exclusivamente para un sector del acuífero aluvial, debido a que este es el acuífero que cuenta con la mayor cantidad de investigación, parámetros hidráulicos y monitoreo de niveles en pozos y piezómetros, que corresponden con los insumos necesarios para el desarrollo y calibración de la modelación.

El modelo se ha corrido en estado estacionario, utilizando el código para modelamiento de aguas subterráneas MODFLOW 2005 basado en diferencias finitas y desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), utilizando además la interfase gráfica Visual MODFLOW Flex 7.0 64 bit con licencia de tipo estudiantil otorgada por Waterloo Hydrogeologic.

5.5.1. Dominio del modelo y discretización horizontal

La zona aluvial modelada cuenta con un área aproximada de 6.43 km², que corresponde con el 10.69% de la cuenca definida para el río Uvita, y se extiende desde el área de la costa hasta aproximadamente la coordenada en longitud CRTM 05 529500 E (figura 51), ya que este es el extremo hasta el cual se contaba con información de cargas en pozos y piezómetros que permitieran un adecuado control y calibración de la información generada. En forma general se puede indicar que la zona activa modelada se encuentra definida por los siguientes límites:

- Superficie del terreno, obtenida del modelo de elevación digital generado para el sitio. Es importante mencionar, que el raster de elevación cuenta con un tamaño de celda de 10 x 10 metros y se construyó a partir de las curvas de nivel 1: 25 000 disponibles en el SNIT, en combinación con curvas de nivel cada metro generadas a partir de imágenes LiDAR tomadas por la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) para el área de costa. Lo anterior, como una forma de mejorar el detalle de la superficie para la zona cercana a la costa, ya que la curva de elevación menor proporcionada por las curvas 1: 25 000 era de apenas 10 msnm.
- La línea de costa con el Océano Pacífico hacia el extremo SW.

- La zona de contacto hacia el N y el NE entre los depósitos aluviales y las rocas sedimentarias de la Fm. Térraba. Esta zona de contacto se ha simplificado tal y como se observa en la figura 51, ya que sectores tan irregulares, así como la falta de información con respecto al espesor de aluvión en la zona de pie de monte, pueden generar ciertas inconsistencias al momento de la modelación numérica e incrementar los errores.
- El cauce del río Uvita y la divisoria de cuenca con el río Higuerón hacia el extremo NW.
- La base o piso del aluvión. Esta superficie se construyó a partir de la información de contactos litológicos registrados en las perforaciones exploratorias y sondeos eléctricos verticales, así como la información de contactos litológicos en los extremos del área a modelar y la estimación de espesores de aluvión en la zona de costa. La información fue interpolada en el programa Surfer 13 con el método Kriging y las curvas resultantes exportadas al programa ArcGis 10.5, en donde se generó el raster respectivo con tamaño de celda 10 x 10 m. Este raster fue posteriormente convertido a un archivo .grd con el programa QGis 2.18.6, que son los archivos de superficie que se pueden cargar en el programa de modelación Modflow Flex 7.0.

Para la construcción de la malla del dominio se ha definido un tamaño de celda uniforme de $\Delta x=10$ m y $\Delta y=10$ m (área de 100 m² por celda). El tamaño de celda se ha definido en función del raster de elevación digital, cuyas celdas tenían estas mismas dimensiones a partir de la escala original de las curvas de nivel (1:25000). Esta configuración ha dado como resultado un total de 150480 celdas organizadas en 418 columnas con orientación NE-SW y 360 filas orientadas NW-SE.

La malla del dominio abarca un área muy superior a la elegida para la modelación numérica, debido a que en este paso el programa Visual Modflow Flex únicamente permite introducir la información para la construcción de polígonos regulares en la malla, sin embargo, si se debe aclarar, que en el programa únicamente se consignan como celdas activas un total de 60201, que son aquellas contenidas dentro de los 6.43 km² del acuífero a modelar. Aquellas celdas fuera de estos límites no se consideran dentro de los análisis matemáticos del programa. (Figuras 51 y 52)

Por otra parte, se ha dado una orientación a la malla del dominio hacia los 210° , buscando de esta forma que el eje X de esta malla (columnas) sea aproximadamente paralelo con la dirección de flujo principal del agua subterránea que se determinó con las curvas equipotenciales construidas en el modelo hidrogeológico. (Figura 51)

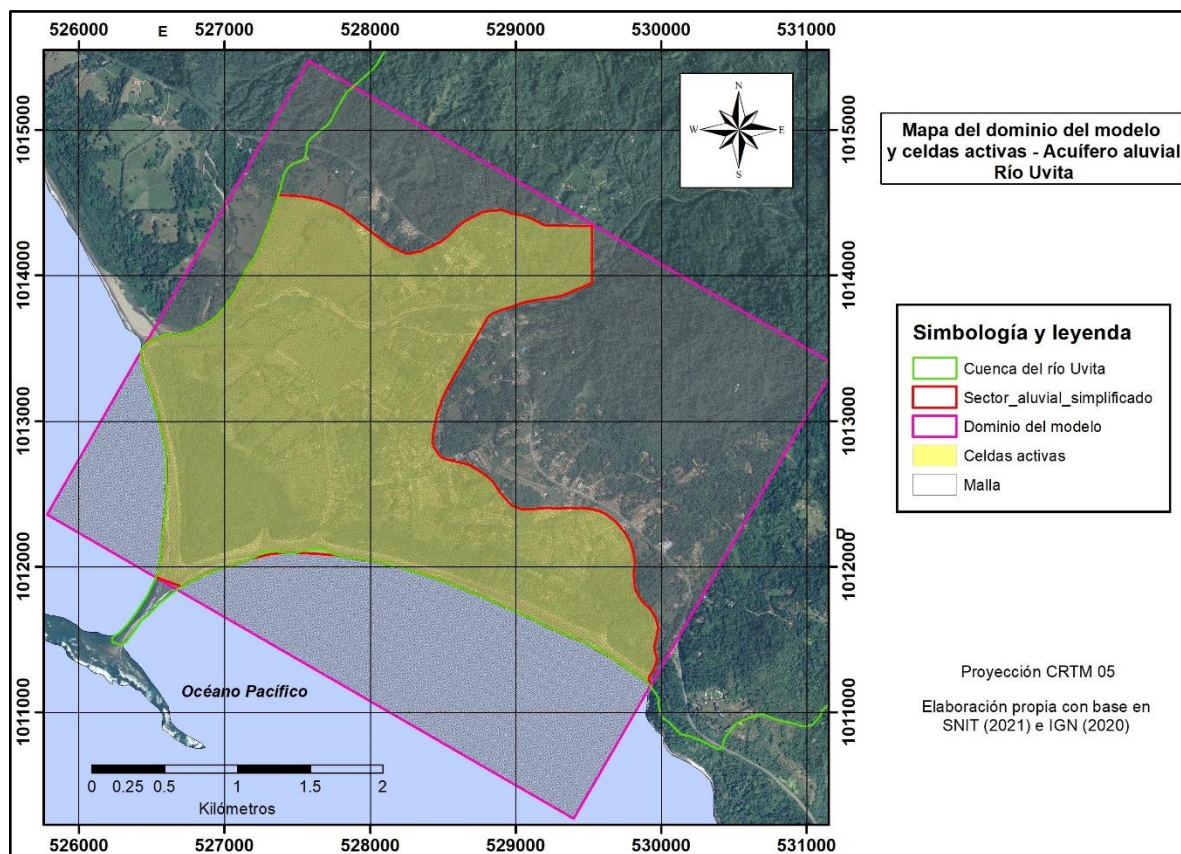


Figura 51. Mapa del dominio del modelo y celdas activas en el acuífero granular de sedimentos aluviales recientes del río Uvita. Elaboración propia con base en SNIT (2021) e IGN (2020).

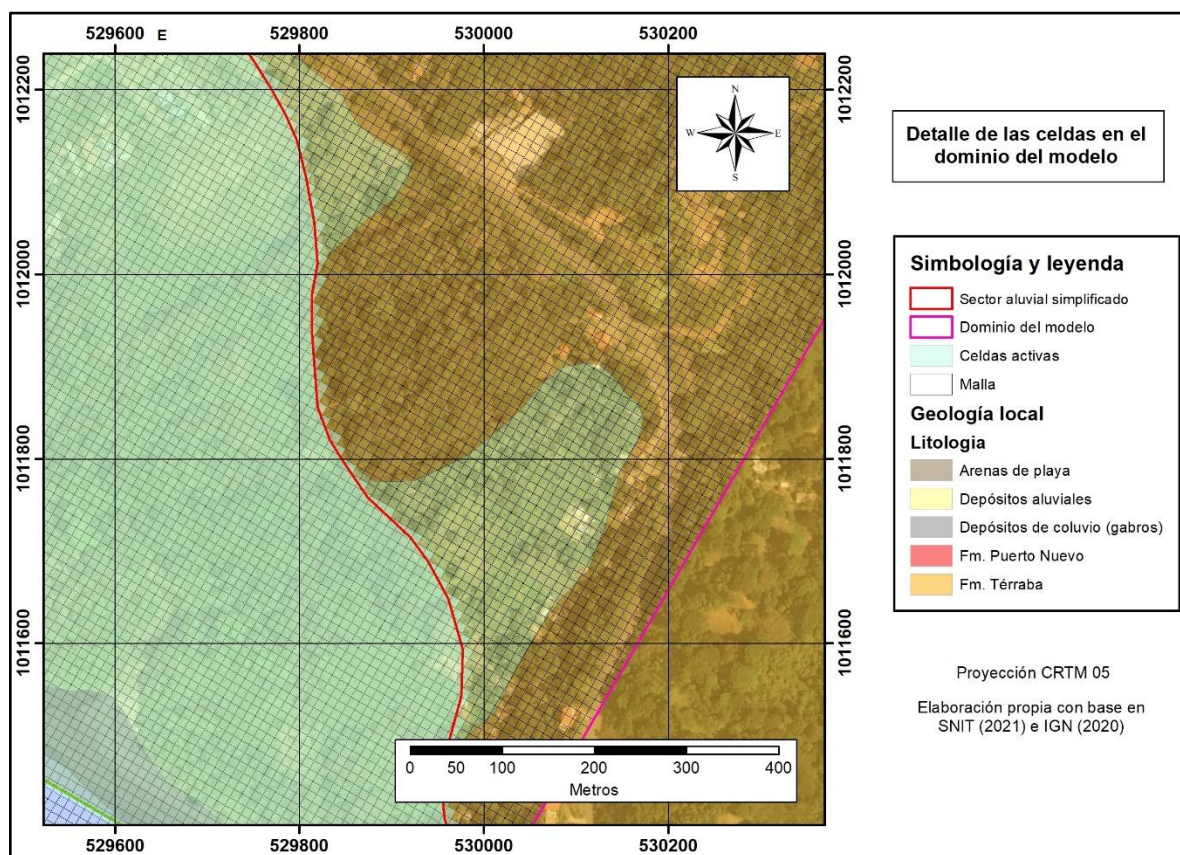


Figura 52. Detalle de las celdas en el dominio del modelo. Nótese la malla con tamaños de celdas 10 x 10 metros orientadas con rumbo 210°. Adicionalmente se observan las celdas activas y la simplificación que se dio del área a modelar en la zona de contacto litológico al pie de monte. Elaboración propia con base en SNIT (2021) e IGN (2020).

5.5.2. Superficies y capas del modelo

Como fue indicado anteriormente, la modelación se realizó exclusivamente para el acuífero desarrollado en los materiales aluviales, por lo que, la discretización vertical para este acuífero fue realizada considerando una única capa delimitada por la superficie del terreno y la zona de contacto en profundidad con los materiales de la Fm. Térraba.

La superficie del terreno y la base del aluvión fueron construidas según se describió en el apartado 5.5.1, obteniendo los archivos .grd que se alimentan en el programa Visual Modflow Flex y se observan en la figura 53. Las dos superficies delimitan la única capa

modelada para el acuífero aluvial, el cual se ha considerado como de tipo libre, constituido por una intercalación de gravas, arenas, limos y arcillas que llega a alcanzar un espesor de hasta 35 metros, sin embargo, como se observa en las figuras 54 y 55, este espesor es variable, disminuyendo hacia la línea de costa y la zona de contacto con la Fm. Térraba e incrementándose hacia la parte central, donde alcanza los espesores de hasta 35 metros.

Es importante mencionar que, como parte de los análisis realizados inicialmente se consideró un modelo de dos capas, incorporando sobre la capa de aluvión un espesor constante de 60 cm constituido por suelos de textura limo arcillosa que fueron identificados en algunas perforaciones y taludes. Sin embargo, la utilización de esta capa generaba serias inconsistencias en las cargas generadas por el modelo, de manera que, finalmente se optó por no utilizarla al considerar su reducido espesor y el hecho de que no se tenían suficientes sitios de control mediante los cuales se garantizara la continuidad de ese espesor en toda el área de estudio, así como su caracterización en cuanto al parámetro de conductividad hidráulica.

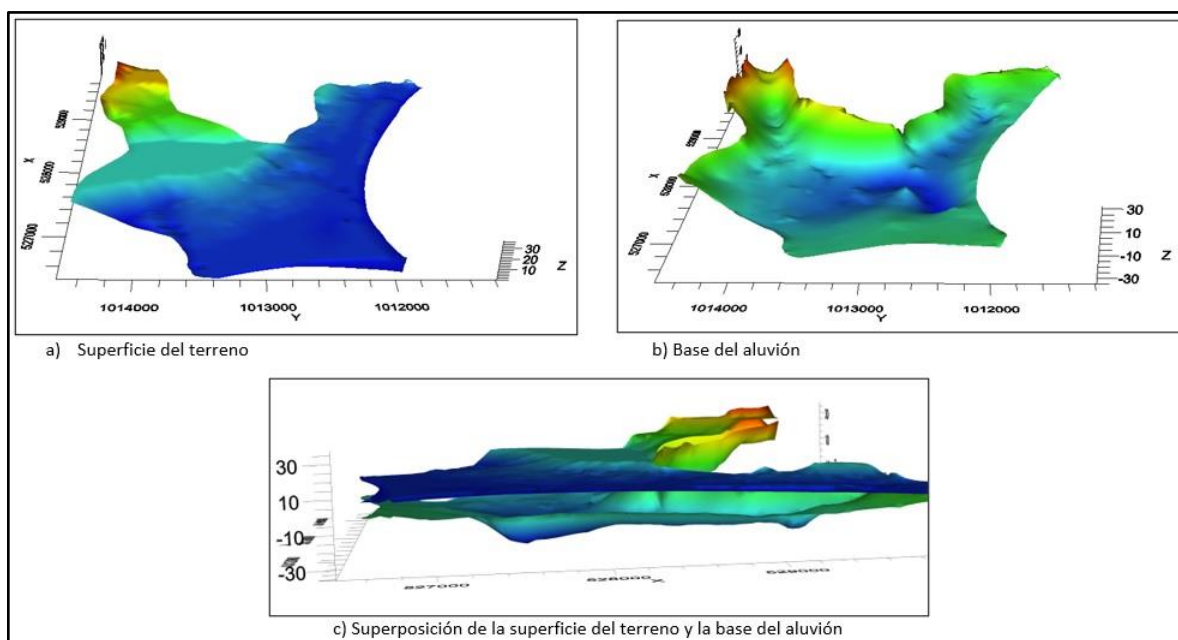


Figura 53. Superficies generadas como parte de la modelación numérica. a) Superficie del terreno, b) base del aluvión en contacto con la Fm. Térraba, nótese la profundización hacia la parte central del modelo, c) superposición de superficies que delimitan verticalmente el acuífero aluvial a modelar. Elaboración propia con base en IGN (2020).

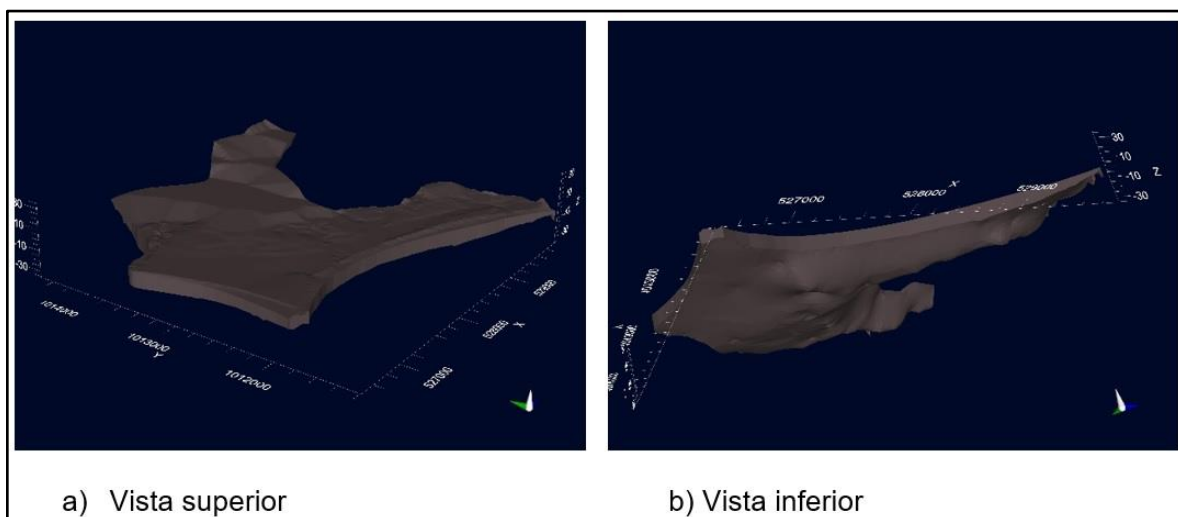


Figura 54. Vista superior e inferior de la capa que conforma el acuífero aluvial a modelar. Elaboración propia con base en IGN (2020).

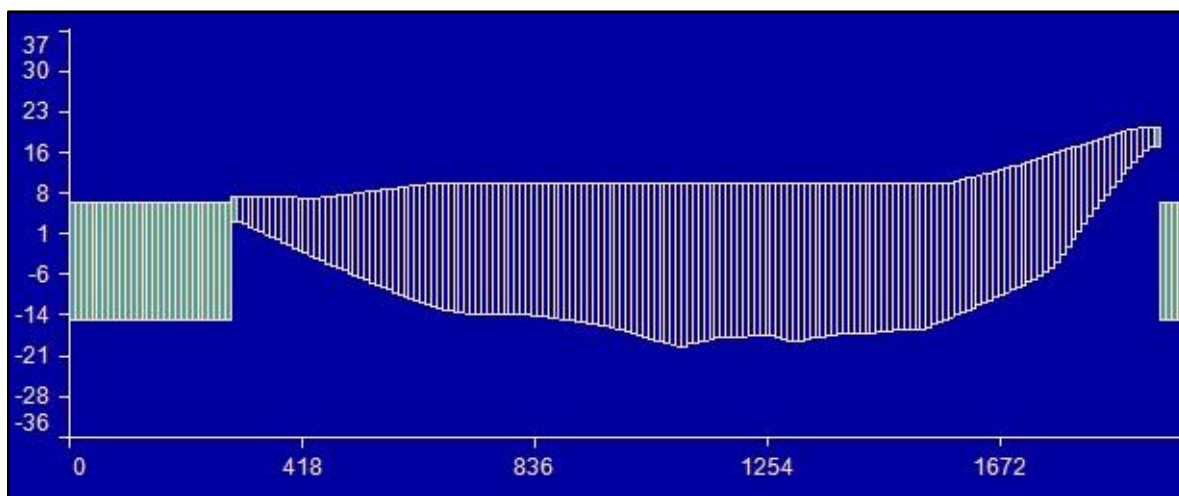


Figura 55. Sección transversal a lo largo de la fila 100 en que se observa el espesor de la única capa del modelo. Nótese la superficie del terreno, la base irregular que corresponde con el área de contacto con la Fm. Térraba, el aumento de espesor hacia la parte central y finalmente las celdas inactivas (color celeste claro) hacia los extremos del perfil. Elaboración propia con base en IGN (2020).

5.5.3. Propiedades hidráulicas de las capas

- Conductividad hidráulica

En las perforaciones exploratorias que cortaron la unidad de depósitos aluviales, fueron realizados a distintas profundidades de esta unidad, 11 ensayos mediante la metodología Hvorslev para la determinación de la conductividad hidráulica de los materiales. Como se observa en la tabla 4 de la sección 5.1.5.2 Perforaciones exploratorias, los valores de conductividad hidráulica pueden ser bastante contrastantes incluso en una misma perforación, lo cual está en estrecha relación con la heterogeneidad que puede caracterizar a los depósitos de tipo aluvial.

Debido a lo anterior, inicialmente se optó por conocer el valor de conductividad hidráulica promedio para cada piezómetro (COR-52 = 96.705 m/d, COR-51 = 138.85 m/d, COR-53 = 154.16 m/d, RE-32 = 93.055 m/d y RE-33 = 107.4 m/d), determinando que estos se ubicaban en órdenes de magnitud similares entre 96.7 a 154.16 m/d como máximo, de tal forma que se tomó la decisión de utilizar un valor promedio general de 119 m/d para la capa de depósitos aluviales modelada. Para el eje Z por convención se asigna un valor con un orden de magnitud menor al indicado al considerar una relación de anisotropía horizontal – vertical de 10:1, por lo que, en la tabla 27 se muestran los valores para cada eje de la capa modelada.

Tabla 27

Conductividad hidráulica utilizada en la capa de materiales aluviales a modelar

Capa	Tipo de material	Kx (m/d)	Ky (m/d)	Kz (m/d)
1	Depósitos aluviales (gravas, arenas y limos intercalados con arcillas)	119	119	11.9

Fuente: Elaboración propia con base en ensayos de campo

- Coeficiente de almacenamiento y rendimiento específico

Como fue descrito en el apartado de modelo hidrogeológico, durante la etapa de investigación no fueron registradas evidencias de algún grado de confinamiento en el

acuífero aluvial, por lo que, este se ha considerado como un acuífero libre y se le ha asignado un valor de coeficiente de almacenamiento representativo de 0.1.

Por otra parte, Rodríguez et al. (2010) reportan valores de rendimiento específico (S_y) entre el 13 y el 26% para este tipo de materiales aluviales, de tal forma que se optó por dejar el valor representativo de 20% que trae predeterminado el programa Visual Modflow Flex.

En todo caso, se debe aclarar que, la modelación numérica en este trabajo será en estado estacionario, en la cual no hay variación de la carga con respecto al tiempo y por lo tanto los valores de coeficiente de almacenamiento y rendimiento específico no serán considerados por la ecuación de flujo al momento de estimar las cargas hidráulicas en cada celda del modelo.

5.5.4. Condiciones de frontera

- Recarga

Para el área de la modelación numérica en los depósitos aluviales se ha definido una recarga potencial de 1956.18 mm/año con base en la metodología Schosinsky (2006). El valor de esta condición de frontera tipo 2 le es asignada en el modelo desde la parte superior de las celdas que conforman el dominio activo del acuífero aluvial a modelar. Es importante aclarar, que este valor representa la recarga potencial anual pero se basa en los promedios mensuales, de tal forma que, incluye tanto los períodos de estiaje como los picos de la época lluviosa.

- Celdas inactivas sin flujo

El dominio activo del modelo, en donde se determinarán las cargas y flujo del agua subterránea, corresponde exclusivamente con el polígono de la zona aluvial mostrado en la figura 51. Para efectos de la modelación se ha considerado a la Fm. Térraba como una unidad de no flujo en la cual las celdas se han establecido como inactivas. Adicionalmente, hacia la margen derecha del río Uvita, en sectores que se ubican fuera de su cuenca delimitada, las celdas también se han consignado como inactivas, por lo que estas corresponden con sectores de no flujo (figura 51). Otro aspecto de simplificación al momento de establecer la configuración del modelo, es que no se ha considerado en este

análisis la posible existencia de recarga lateral desde la Fm. Térraba hacia los materiales del acuífero aluvial.

- Carga Constante

A partir de la información recopilada en los pozos de monitoreo, la cual sirvió de base para la generación de las equipotenciales en el modelo hidrogeológico, se determinó que las cargas del agua subterránea tendían a cero al acercarse hacia la línea de costa. Es por esto, que en el modelo se optó por definir una condición de frontera tipo carga constante con elevación de 0 metros a lo largo de toda la línea de línea de costa en la cuenca del río Uvita. La figura 56 muestra la ubicación de la carga constante de 0 metros en el extremo izquierdo del perfil coincidente con la costa. Se observa también como las cargas van disminuyendo precisamente hacia este sector.

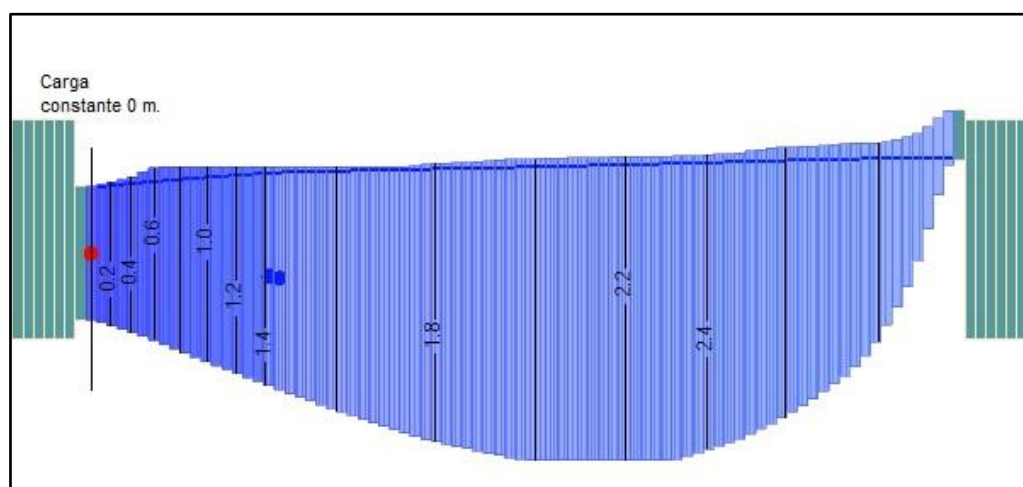


Figura 56. Sección transversal a lo largo de la columna 220 en la que se muestra la carga constante de 0 metros (línea vertical coincidente con el punto rojo) definida a lo largo de la línea de costa (extremo izquierdo del perfil). Nótese la disminución de cargas en intervalos cada 0.2 m hacia la zona de costa. Las celdas en tono verde claro corresponden con áreas inactivas del modelo (a la izquierda el mar y a la derecha rocas de la Fm. Térraba). Elaboración propia con base en IGN (2020).

- Ríos

En el caso de los ríos y quebradas, estos fueron considerados en el modelo como una frontera tipo 3 de río. No obstante, debido a sus diferencias morfológicas, para la asignación de los parámetros físicos e hidráulicos se tomó la decisión de crear dos fronteras separadas, una que corresponde exclusivamente con el cauce principal del río Uvita, y la otra que agrupa al resto de cauces menores de la zona como son las quebradas Villegas y Colonia, entre otros.

En ambas fronteras se deben asignar como parámetros físicos las elevaciones del fondo del río (*bottom*) y del espejo de agua (*stage*), sin embargo, debido a que a lo largo de los cauces no se cuenta con levantamientos topográficos de detalle, se optó por tomar las elevaciones del archivo .grd de la superficie del terreno y según estimaciones de campo promedio se le restaron los siguientes valores para cada frontera:

- Fondo río Uvita: superficie_integrada – (2.5 m)
- Espejo de agua río Uvita: superficie_integrada – (1.5 m)
- Fondo de cauces menores: superficie_integrada – (1 m)
- Espejo de agua en cauces menores: superficie_integrada – (0.5 m)

Con respecto al ancho del cauce se asignó al río Uvita un valor promedio de 36 metros, mientras que, para los cauces menores el valor fue de 5 metros. Otro aspecto importante por considerar en este tipo de frontera es el valor de la conductancia, sin embargo, debido a la poca literatura al respecto, se optó por la opción de que el programa estimara por defecto este parámetro, a partir de la asignación de valores conductividad hidráulica para el lecho del río y su espesor. Para el cauce del río Uvita se asignó un espesor de 0.5 metros y en los cauces menores de 0.25 metros según estimaciones de campo, y en cuanto a la conductividad hidráulica se asignó para ambos casos un valor de 11.9 m/d, lo que representa un orden de magnitud menor con respecto a la del acuífero, ya que en este tipo de frontera este parámetro representa la resistencia al flujo entre el lecho del río y las celdas del acuífero.

Es importante mencionar que, como parte del análisis, en determinado momento los ríos también fueron simulados como fronteras de carga constante y de carga general, sin embargo, al correr el modelo se generaban inconsistencias en las equipotenciales

generadas y los errores en la convergencia aumentaban, de tal forma que se optó por mantener a los ríos como una frontera tipo 3 de río.

- Pozos de extracción

En este punto es importante mencionar, que en el apartado 5.4.4.1 *Extracción y disponibilidad de caudal*, el análisis realizado fue bastante conservador y enfocado hacia la protección del recurso hídrico, por lo que, a todos los pozos inventariados les fue asignado un caudal de extracción, aún y cuando no se llegó a registrar ninguna utilización durante los períodos de monitoreo. Sin embargo, en este apartado de la modelación numérica, se considera que el enfoque debe ser distinto y dirigido a reproducir lo más fiel posible las condiciones del área del estudio. Es por esto, que como pozos de extracción (tabla 28) únicamente se han consignado aquellos pozos en los cuales se llegó a registrar extracción de agua en algún momento del monitoreo.

Tabla 28

Pozos de extracción en el sector activo del acuífero aluvial

Pozo	Propietario	Longitud	Latitud	Caudal de extracción (m ³ /d)
12	ASADA Uvita	527795	1013183	-950.4
13	ASADA Uvita	527885	1013247	-950.4
17	Cabinas Arboura	528860	1012143	-345.6
20	MINAE Colonia	529261	1011724	-345.6
22	Camping Renán	529546	1011701	-155.52
25	Cabinas Marialuisa	529314	1011987	-4.32
27	Cabinas El Tecal	529401	1012196	-345.6
32	MINAE Uvita	527673	1012268	-345.6
33	Ganadería 36	529276	1014077	-43.2
35	Cabinas DVAL	528791	1012384	-345.6
43	Yeudi Murillo	528444	1012756	-43.2
Total de extracción (m ³ /d)				-3875.04

Fuente: Elaboración propia con base en información de campo

Las condiciones de frontera descritas anteriormente pueden observarse en la figura 57.

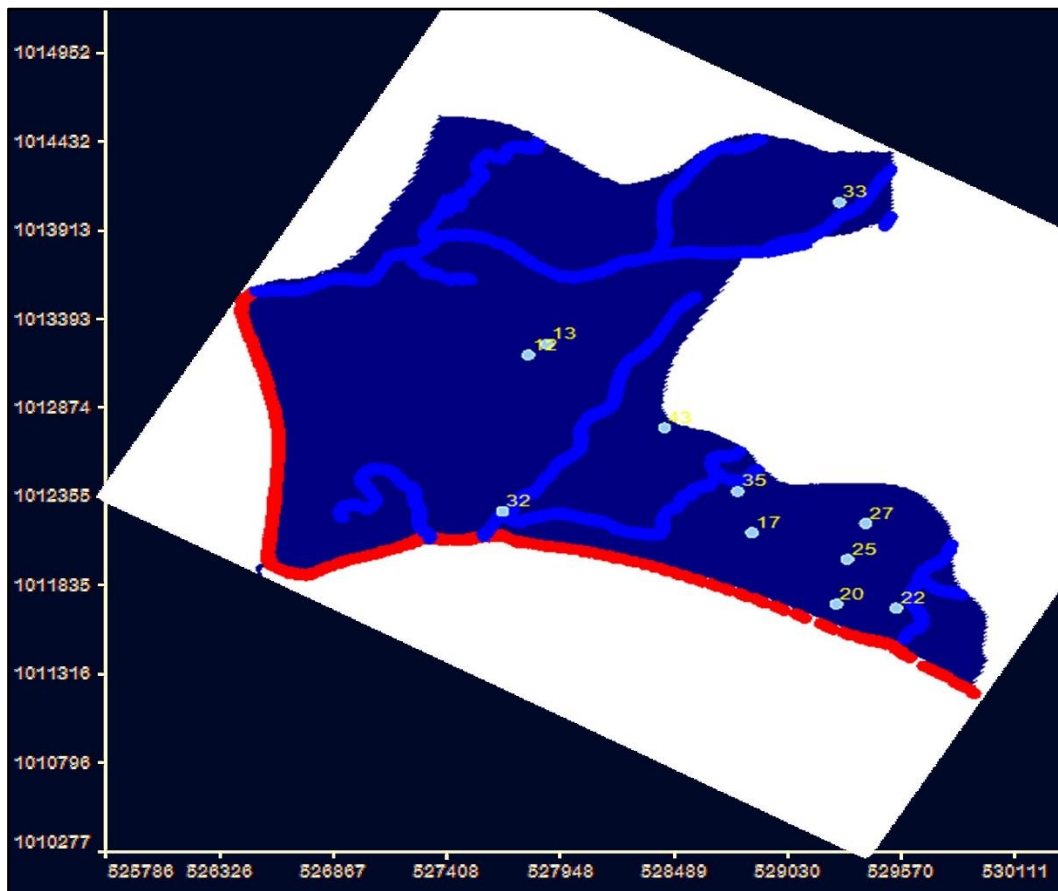


Figura 57. Condiciones de frontera en el modelo numérico. La línea roja representa la carga constante en la línea de costa, los ríos se representan con las líneas celeste, los pozos de extracción con puntos numerados, la recarga aplicada a todo el polígono azul que representa el dominio activo y las áreas blancas corresponden con celdas inactivas. Elaboración propia.

5.5.5. Tiempo de modelación

El tipo de corrida en el modelo numérico es estacionario, para el cual el programa por defecto asigna un tiempo de modelación de 1 día. Por otra parte, la fecha de inicio para el modelo numérico fue configurada para el 01 de mayo del 2020, que corresponde con el tiempo cero en la modelación.

5.5.6. Escenario actual (datos climáticos al 2017)

El escenario actual considera las condiciones de frontera y propiedades hidráulicas descritas anteriormente. En ese sentido, la recarga potencial estimada fue obtenida a partir de la información climática disponible, que en este caso considera los registros de precipitación y temperatura hasta el año 2017.

- Dirección de flujo, gradiente y cargas hidráulicas

Las figuras 58 y 59 representan la tabla de agua y las curvas equipotenciales generadas por la modelación numérica para el acuífero aluvial. Como se observa en estas figuras, la dirección de flujo predominante es hacia el SW en dirección al mar, con ciertas variaciones locales que representan la influencia de los cursos de agua superficial y su comportamiento influente o efluente. En forma general se observa una coincidencia adecuada entre las equipotenciales generadas por el modelo numérico y las construidas en el apartado de modelo hidrogeológico (sección 5.3.1).

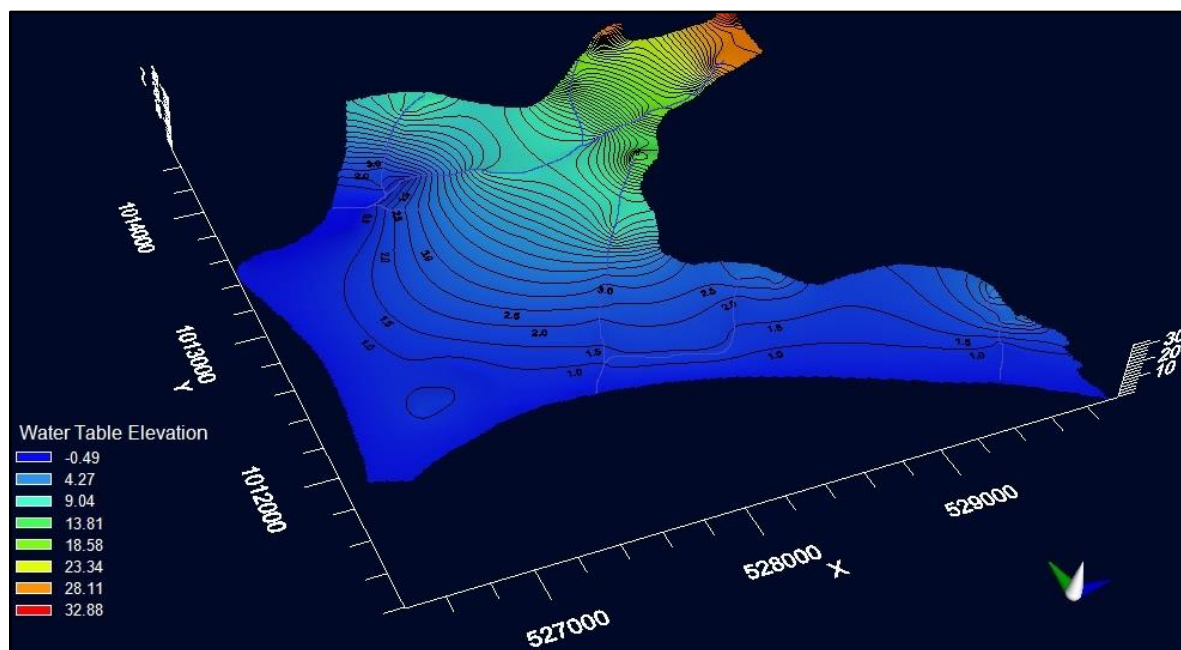


Figura 58. Tabla de agua y equipotenciales. Nótese la dirección de flujo al mar, el incremento del gradiente hacia la parte alta y el contorno de las curvas en la zona de cauces, según el comportamiento de tipo efluente o influente. Elaboración propia.

El gradiente hidráulico es variable, pero se ubica en general entre 0.002 y hasta 0.078 (figura 59). Los valores más bajos se registran en el sector de Colonia donde se ubican entre 0.002 a 0.003. Hacia el oeste y en los alrededores del poblado de Bahía, el gradiente hidráulico va desde 0.0037 hasta 0.007, y conforme nos acercamos hacia el centro de la comunidad de Uvita los gradientes hidráulicos van aumentando. Propiamente en el poblado de Uvita el gradiente determinado es de 0.006 pero hacia el este, en los sectores topográficamente más elevados del área aluvial y más cercanos con el bode montañoso, es donde los gradientes oscilan entre 0.02 y hasta 0.078, posiblemente influenciados por el aumento en las pendientes de la topografía, del basamento y la disminución en espesores del aluvi6n.

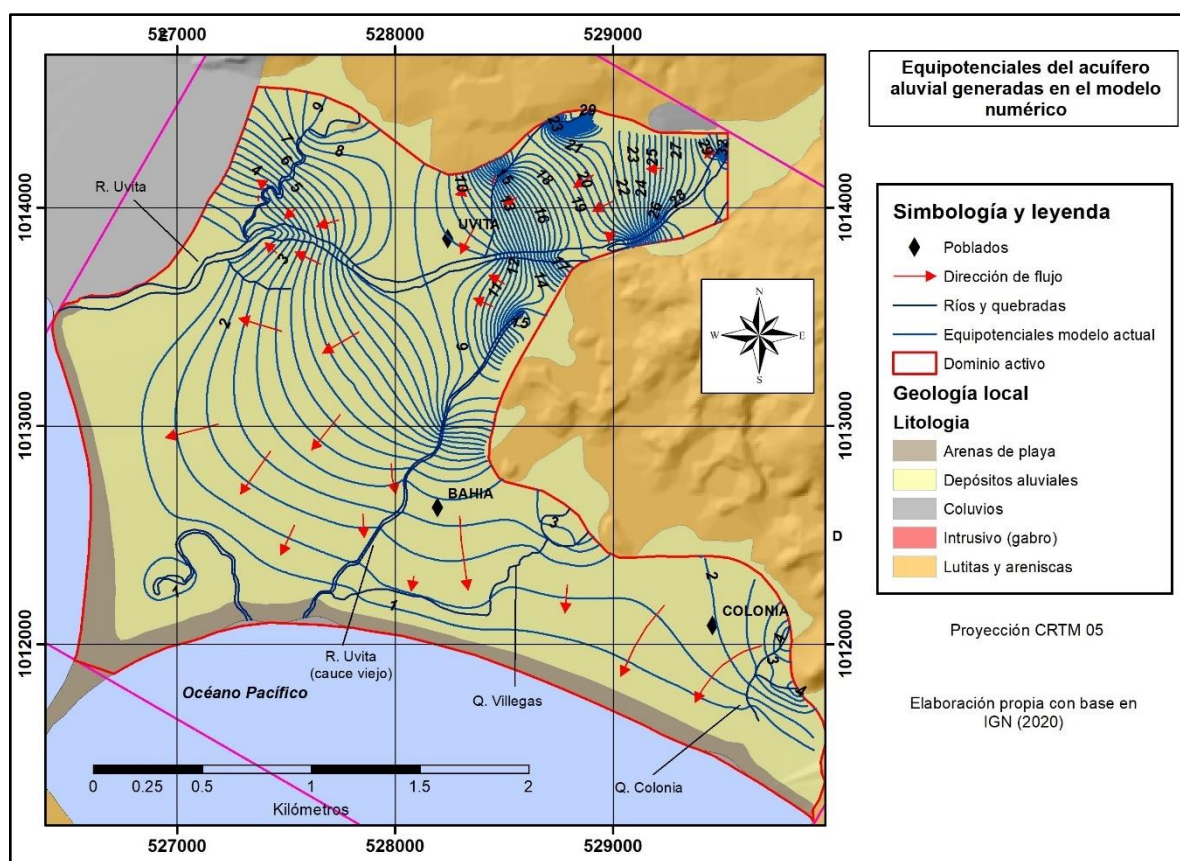


Figura 59. Equipotenciales del acuífero aluvial. Nótese la dirección de flujo al mar, el incremento del gradiente al este de Uvita y el contorno de las curvas en la zona de cauces, marcando un comportamiento ya sea de tipo efluente o influente. Elaboración propia.

En cuanto al comportamiento de los cauces, en la figura 59 se observa claramente la existencia de un comportamiento efluente, así como, para aquellos sectores del cauce viejo del río Uvita ubicados hacia el sur de Bahía. Si bien es cierto, para estos cauces (Q. Villegas, Q. Colonia y cauce viejo río Uvita) no se cuenta con información de aforos, si se logró comprobar en campo que durante las épocas de estiaje mantienen caudal, de tal forma que existe una correlación adecuada entre la información de campo y las equipotenciales generadas por el modelo.

Con respecto al cauce actual del río Uvita, se observa una fuerte interacción con el acuífero, en el que a lo largo de su cauce el comportamiento varía por sectores entre efluente a influente. Ciertamente, algunos de estos sectores coinciden con el comportamiento determinado a partir de los aforos que se realizaron en la época de estiaje (sección 5.2.4), sin embargo, en otros sectores el comportamiento no coincide, tal como sucede en la parte baja del cauce casi llegando a su desembocadura, en donde el modelo numérico describe un comportamiento de tipo efluente, pero los aforos más bien registraron una disminución de los caudales que fue interpretada como comportamiento influente.

Es posible, que las diferencias observadas en el comportamiento del cauce del río Uvita, se deban a que los aforos fueron realizados al final de la época de estiaje, cuando los niveles se encuentran en su punto más bajo y la recarga aún no se empieza a generar, mientras que, el modelo numérico se ha corrido con la recarga potencial total anual, valor que considera también el aporte de los meses más lluviosos y por lo tanto puede influir en los resultados generando niveles un poco más elevados.

Es importante mencionar, que como se observa en la figura 60, prácticamente todas las celdas del modelo se encuentran saturadas y únicamente unas pocas celdas localizadas hacia el borde del sector montañoso, que es precisamente donde se presentan los mayores errores del modelo y se carece de información más precisa para calibrar, se reportan como secas en el modelo numérico.

En la figura 60 se muestran cinco líneas de perfil que han sido construidas a partir de los resultados de la modelación numérica y que ilustran con mejor detalle la ubicación de las cargas y condiciones de influencia o efluencia.

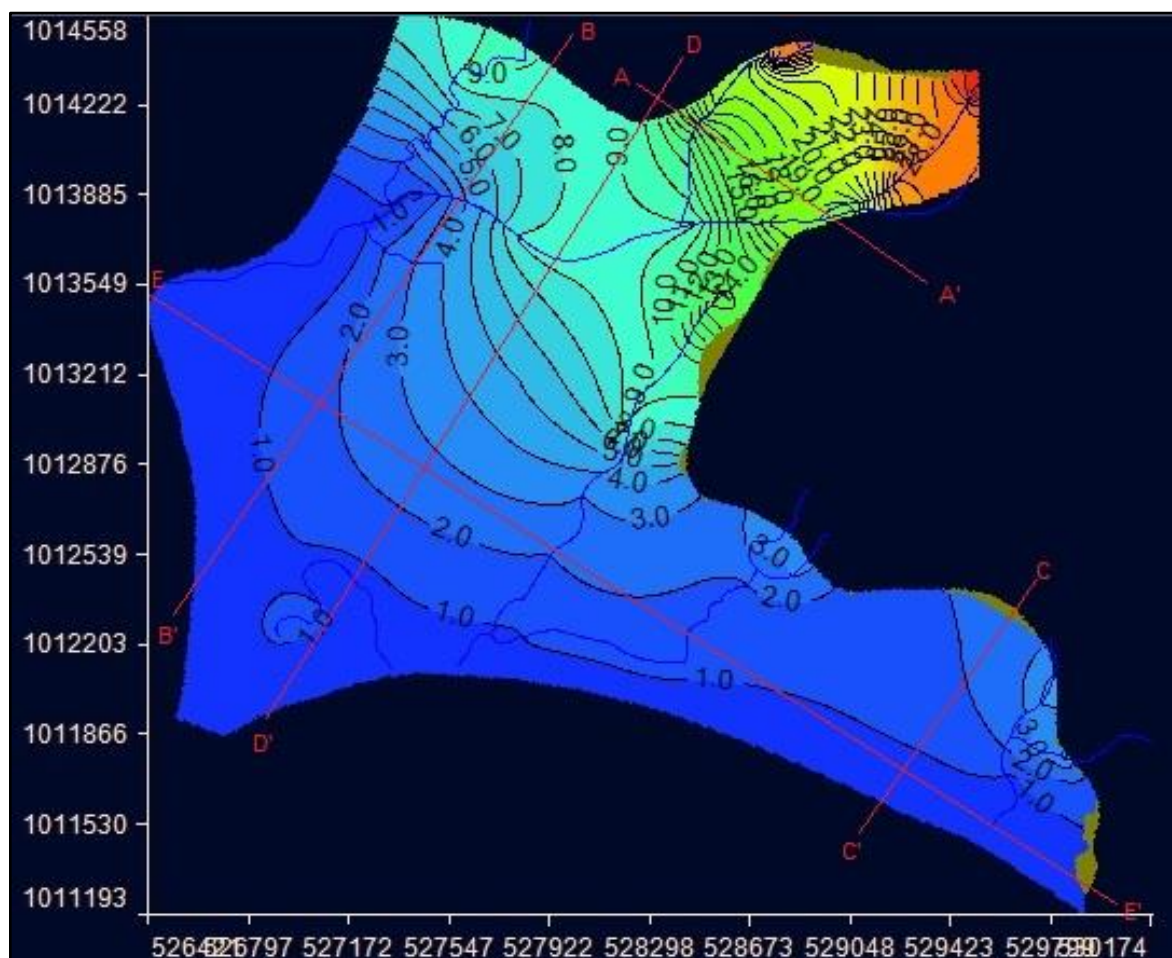


Figura 60. Tabla de agua y equipotenciales. Nótese la presencia de algunas celdas secas (tono verde musgo) hacia los bordes del sector montañoso. Líneas de perfil en color rojo. Elaboración propia.

El perfil A-A' (figura 61a) presenta un rumbo NW-SE y se localiza en la fila 74 del modelo, en los sectores de mayor elevación topográfica. Las cargas hidráulicas para este sector se ubican entre los 13 y 18 msnm y en esta zona la profundidad del agua subterránea se ubica entre los 1.5 a 3.5 metros de profundidad. Hacia el extremo NW del perfil se observa la presencia de una quebrada con la tabla de agua sobre la base de su lecho, lo que evidencia el comportamiento efluente determinado por el modelo en ese sector.

Por otra parte, el perfil B-B' (figura 61b) presenta un rumbo NE-SW y corresponde con la columna 82 del modelo numérico. En este perfil las cargas se ubican entre los 0 y los 8.5 m.s.n.m., el flujo es hacia el SW en dirección a descargar al mar, la profundidad de los

niveles es muy somera, predominando un valor de alrededor de 1.5 metros de profundidad, con un máximo de 3.18 metros bajo la superficie y un mínimo de varios centímetros en zonas muy cercanas al Parque Marino Ballena, tal y como ha sido verificado en las observaciones de campo. En este perfil resulta interesante el comportamiento efluente que se puede observar en la zona del cauce del río Uvita.

El perfil C – C' (figura 62a) corresponde con la columna 340 del modelo numérico y se ubica en el sector de Colonia. Como se puede observar, corresponde con uno de los sectores con menor gradiente hidráulico, la dirección de flujo es a descargar hacia el mar, lo cual se evidencia por las cargas hidráulicas, que en este caso se ubican entre 0 y 2.2 m.s.n.m. La profundidad del agua subterránea es de menos de 1 metro bajo la superficie en los sectores más cercanos a la costa y se modela una profundidad de hasta 7.6 metros de profundidad en la cercanía con el borde montañoso. Sin embargo, esa profundidad de hasta 7.6 metros no es coincidente con la información de campo, ya que, los pozos reportan para estos mismos sectores la ubicación de niveles más someros. Esta zona es precisamente uno de los sitios en que se reporta mayor error para la correlación con el modelo numérico. Es posible, que las diferencias en esta zona cercana al borde montañoso tengan relación con variaciones muy puntuales en la conductividad hidráulica del acuífero o una posible recarga lateral desde el acuífero de rocas sedimentarias fracturadas asociadas a la Fm. Térraba que no se está modelando, sin embargo, estos son aspectos que no han podido ser analizados con mayor detalle en este trabajo debido a la información disponible.

El perfil D – D' presenta un rumbo NE-SW y es paralelo al perfil B-B' pero corresponde con la columna 119 y se ubicó en este sitio con el objetivo de mostrar como el nivel del agua para esta zona describe un comportamiento influente para el cauce del río Uvita (nivel bajo el lecho). Al igual que para el perfil B – B', en este perfil los niveles son bastante someros con una profundidad máxima de 3.2 m. Las cargas hidráulicas se ubican entre 0 y 8.5 m.s.n.m. y la dirección de flujo es hacia el mar.

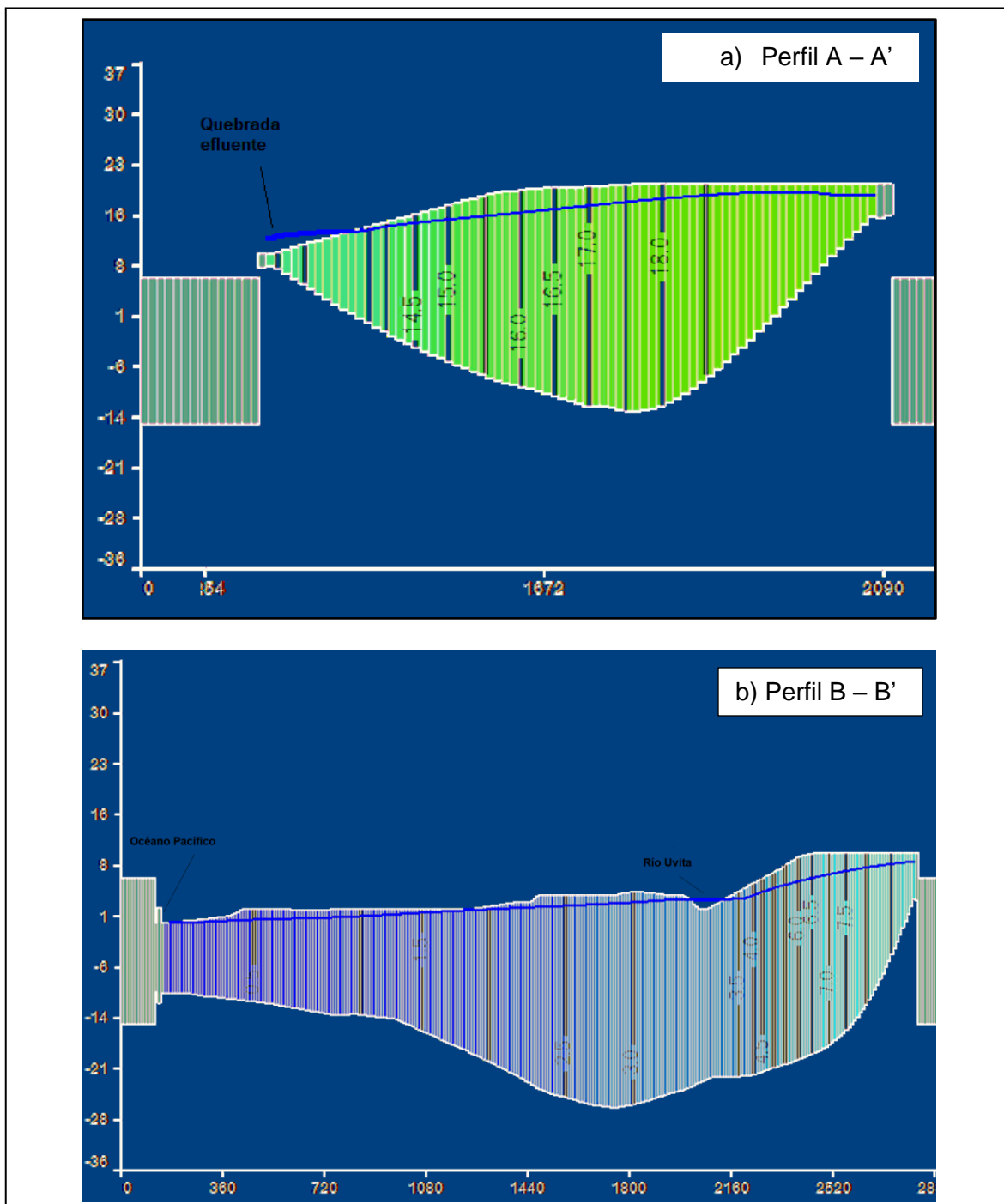


Figura 61. Perfiles A-A' y B-B' de la modelación numérica. Nótese la elevación en metros sobre el nivel del mar de las cargas hidráulicas, representadas como líneas negras verticales numeradas, también la tabla de agua como línea de color azul y el río Uvita como efluente. Elaboración propia.

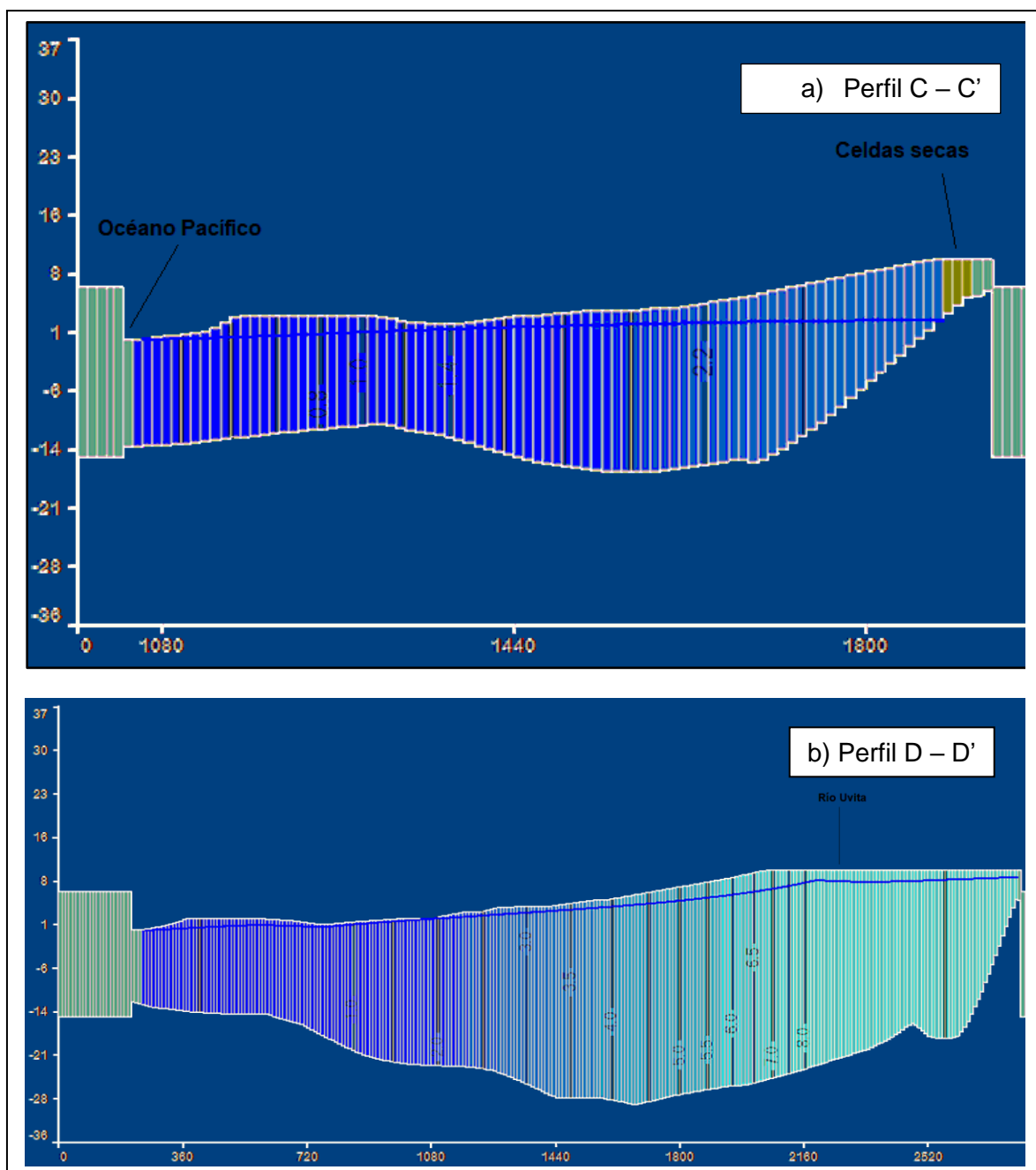


Figura 62. Perfiles C - C' y D - D'. Nótese la elevación en metros sobre el nivel del mar de las cargas hidráulicas, representadas como líneas negras verticales numeradas, también la tabla de agua como línea de color azul y el río Uvita como influente en el perfil D - D'. Elaboración propia.

Finalmente, el perfil E – E' (figura 63) presenta un rumbo NW – SE y corresponde con un sector de la fila 235 del modelo numérico. La situación observada es muy similar con presencia de niveles entre los 1.5 a 2.2 metros de profundidad, se observa además el comportamiento efluente hacia el cauce viejo del río Uvita y destaca la presencia de niveles muy someros a escasos centímetros de profundidad ubicados en las cercanías del Parque Nacional Marino Ballena.

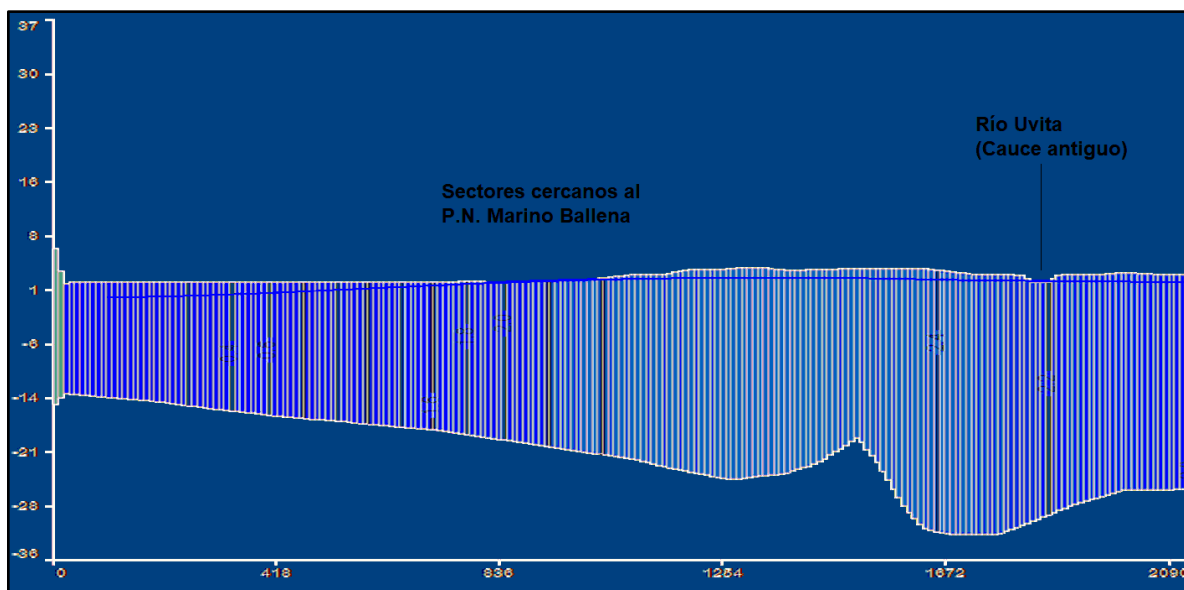


Figura 63. Perfil E - E' de la modelación numérica. Nótese la tabla de agua muy somera representada por una línea azul y las cargas por una línea negra vertical numerada. Obsérvese el comportamiento efluente hacia el cauce viejo del río Uvita. Elaboración propia.

- Análisis de cargas hidráulicas determinadas en el modelo numérico vs valores observados en la red de monitoreo

Una vez corrido el modelo con los parámetros y condiciones descritas anteriormente, se procedió a revisar la correlación existente entre las cargas hidráulicas medidas en los pozos de la red de monitoreo para el mes de mayo del 2020, y las determinadas para esos mismos sitios de pozos por el modelo numérico. Para esto, se utilizó el mismo paquete de gráficos y correlaciones que incluye el programa Visual Modflow Flex en su ventana de resultados.

Inicialmente se incorporaron en el análisis un total de 30 pozos, dentro de los cuales se incluía el piezómetro RE-32, que como fue indicado en el apartado de modelo hidrogeológico, finalmente fue eliminado al momento de construir las equipotenciales debido a que su nivel estático, en combinación con la falta de topografía adecuada en ese sector, generaba inconsistencias en las curvas obtenidas. Utilizando este piezómetro en el análisis, el valor de la raíz del error cuadrático medio (RMSE por sus siglas en inglés) era de 7.0083%, lo cual al ser mayor al 5% no se consideraba adecuado para efectos de la calibración.

Conociendo las condiciones para el piezómetro RE-32, se tomó la decisión de eliminarlo del análisis de correlación, de tal manera que éste finalmente se ejecutó con un total de 29 pozos cuya información de cargas se muestra en la tabla 29. Con este análisis el valor de RMS normalizado es de 4.96% y se tiene un coeficiente de correlación de 0.98 (figura 64), lo cual se considera un buen ajuste para el modelo tomando en consideración la heterogeneidad del medio, la incertidumbre de los datos y la falta de más pozos de monitoreo que ayuden en la calibración de sectores intermedios del dominio en donde las cargas se ubican entre los 6 y 25 m.s.n.m. aproximadamente.

Cabe mencionar que, como parte de la investigación realizada, se probaron diversos escenarios en los cuales se variaba por zonas la conductividad hidráulica del acuífero, de tal forma, que los datos de carga modelada se ajustaran mejor con las cargas observadas. Estos escenarios permitieron bajar el valor de RMS hasta aproximadamente un 3%, sin embargo, finalmente estas opciones fueron descartadas al tomar en consideración que los valores de conductividad con que mejor se ajustaba el error no necesariamente coincidía con los valores reales que se obtuvieron en las pruebas realizadas en los piezómetros. Es decir, al final se optó por un escenario que tenía un error un poco más alto (4.96%), pero que coincidía con el modelo planteado originalmente, se ubicaba dentro de los rangos de error aceptables, y coincidía con la información técnica de respaldo.

Como se observa en la tabla 29, en 18 de los pozos el valor residual es menor a 1 metro, y solamente en 3 de los pozos de monitoreo (27, 30 y 46) este valor supera los 2 metros. Estos pozos se ubican precisamente en la misma zona de Colonia, en donde ya se indicó que es posible que las diferencias se deban a la cercanía con el borde del modelo, o tengan relación con variaciones puntuales en la conductividad hidráulica del acuífero o una posible

recarga lateral desde la Fm. Térraba que no se está modelando, pero que en este momento no pueden ser analizados con mayor detalle debido a la información disponible.

Tabla 29

Valores de carga hidráulica medida en campo (mayo 2020) y carga hidráulica determinada en la modelación numérica. El valor residual negativo indica un valor de carga hidráulica observado inferior a la carga hidráulica modelada.

Código	Carga hidráulica observada (m.s.n.m)	Carga hidráulica modelada (m.s.n.m)	Valor residual (m)
1	2.27	3.14	-0.87
5	1.62	3.47	-1.85
7	3.13	4.19	-1.06
8	5.54	6.22	-0.68
12	3.81	4.85	-1.04
18	1.85	1.29	0.56
19	1.57	0.83	0.74
20	1.37	0.51	0.86
21	1.28	0.65	0.63
22	1.72	0.91	0.81
23	1.5	0.90	0.60
24	1.9	1.06	0.84
25	1.57	1.48	0.09
26	2.44	1.62	0.82
27	5.25	1.73	3.52
29	3.98	2.53	1.45
30	4.16	2.07	2.09
31	2.32	2.81	-0.49
32	1.08	0.88	0.20
33	25.82	27.08	-1.26
36	1.7	1.96	-0.26
37	1.67	1.26	0.41
38	3.44	4.78	-1.34
39	1.67	1.14	0.53
40	1.36	0.71	0.65
46	4.81	2.63	2.18
47	1.55	2.82	-1.27
50	25.82	27.08	-1.26
57	1.56	2.54	-0.98

Fuente: Elaboración propia con base en información de campo y modelado numérico

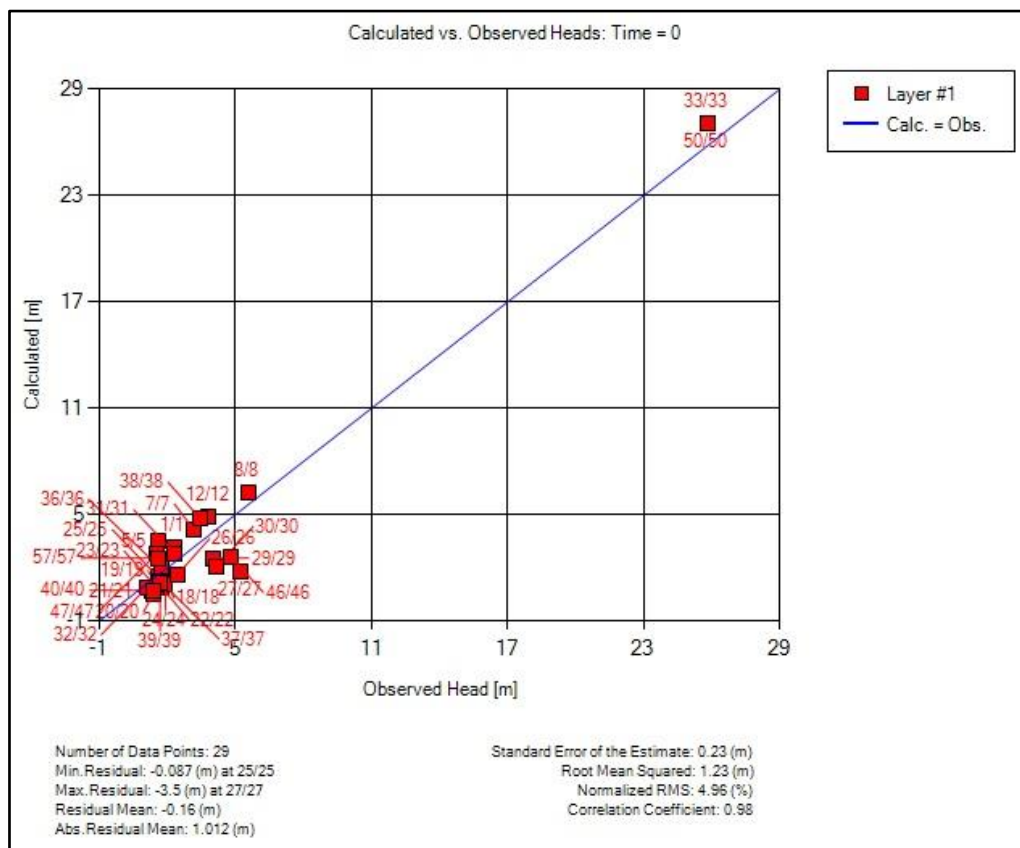


Figura 64. Gráfico de correlación generado por el programa Visual Modflow Flex para las cargas observadas en los pozos de monitoreo contra las cargas modeladas en el programa. Nótese el RMS de 4.96%, coeficiente de correlación de 0.98, valor residual máximo de 3.5 m en el pozo 27 y mínimo de 0.087 en el pozo 25. Elaboración propia con base en información de campo y modelada.

- Balace de agua subterránea

Una vez corrido con éxito el modelo numérico, el balance de masas es generado automáticamente por el programa Visual Modflow Flex como uno de los productos en la ventana de resultados. La figura 65 muestra los resultados del balance de masas de la modelación numérica en el acuífero aluvial del río Uvita, y en ella se puede observar que el cambio en el almacenamiento del sistema es igual a cero, con las entradas ($227\ 753.5\ \text{m}^3/\text{d}$

o 2636 l/s) y salidas (227 753.5 m³/d o 2636 l/s) totales equilibradas, tal y como corresponde a un análisis en estado estacionario.

La recarga, con un valor de 31 643.02 m³/d (366.23 l/s), se registra en el gráfico de la figura 65 únicamente como una entrada para la capa de aluvión, tal y como debe ser, y además es consistente con el valor de recarga que fue definido en las condiciones de frontera. Por otra parte, los pozos se registran únicamente como una salida del sistema con un valor de 3874.64 m³/d (44.84 l/s), lo cual es consistente con la sumatoria de caudales de extracción que fueron registrados en los pozos.

Con respecto a la carga constante, esta registra un valor de entradas de 1062.22 m³/d (12.29 l/s), sin embargo, se debe mencionar que, esta representa en el modelo numérico principalmente la descarga al mar, que cuantifica un total de 38 296.92 m³/d y corresponde con una de las principales salidas en el sistema. Resulta interesante, que si estimamos el caudal de descarga al mar considerando el gradiente promedio general descrito en el apartado de modelo hidrogeológico (0.012), la longitud de línea de costa (5276.6 m), la conductividad promedio determinada en los piezómetros (120 m/d) y un espesor de aluvión de 5 metros en la zona de costa (según las superficies generadas), se obtiene un valor mediante $Q=TiL$ de 37 991.52 m³/d, lo cual representa un valor muy consistente con el determinado por el modelo numérico.

Por su parte, los ríos y quebradas claramente juegan un papel muy importante en el balance de aguas subterráneas del sistema, permitiendo a lo largo de sus cauces el intercambio de agua mediante la variación en su comportamiento efluente o influente. Las entradas en los ríos son de 195 048.3 m³/d (2257.5 l/s) y las salidas de 185 581.6 m³/d (2147.9 l/s), lo que representa un balance neto de 9466.7 m³/d (109.56 l/s) como entrada al sistema en ríos y quebradas. La tabla 30 muestra el resumen de los datos obtenidos en el balance de agua subterránea.

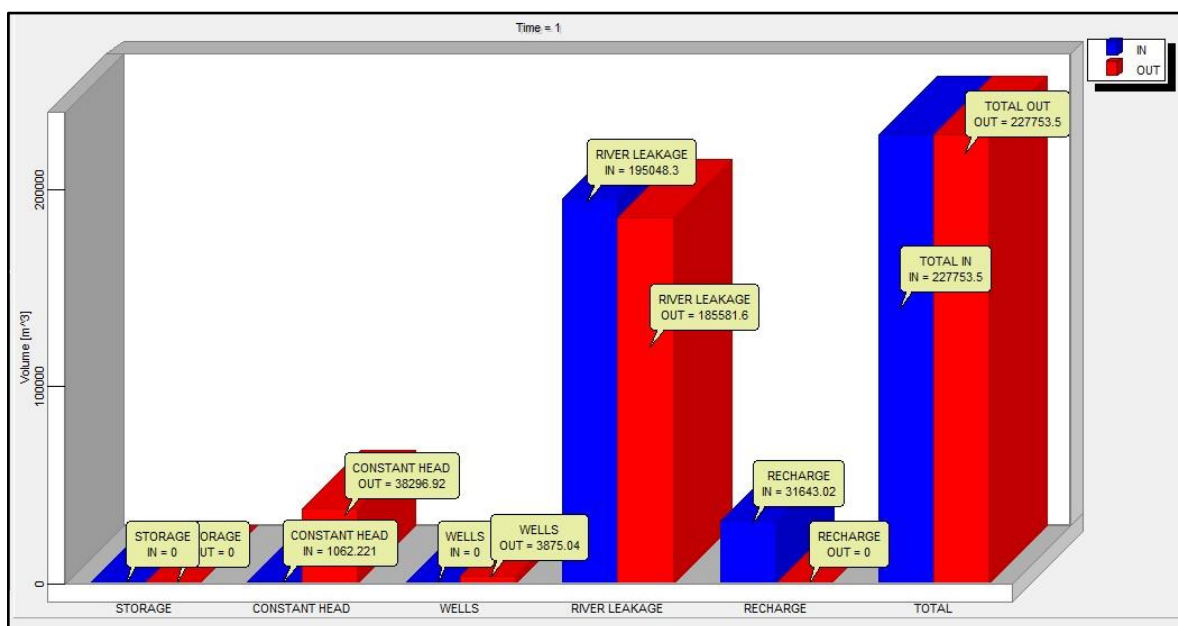


Figura 65. Gráfico de balance de masas para el escenario actual. Nótese las entradas al sistema representadas por barras de color azul y las salidas, representadas por barras de color rojo. Elaboración propia con base en la modelación numérica.

Tabla 30

Resumen del balance de masas de agua subterránea – escenario actual

	Almacenamiento	Carga constante	Pozos	Ríos	Recarga	Total
Entradas al acuífero (m³/d)	0	1062.22	0	195 048.3	31 643.02	227 753.5
Salidas al acuífero (m³/d)	0	38 296.92	3874.64	185 581.6	0	227 753.5
Entradas al acuífero (l/s)	0	12.29	0	2257.5	366.23	2636
Salidas al acuífero (l/s)	0	443.25	44.84	2147.9	0	2636

Fuente: Elaboración propia con base en la modelación numérica

5.5.7. Escenarios de cambio climático (2030 y 2050)

El clima es el factor principal que gobierna la variabilidad espacio-temporal en la recarga de agua subterránea, y la precipitación es el elemento climático que más directamente afecta esta recarga (Amanambu et al. (2020). En promedio condiciones húmedas suelen resultar en el incremento de la recarga, mientras que, períodos de sequía pueden generar el efecto contrario (Mote et al., 2013; Fu et al., 2019; Zhou et al., 2010 en Amanambu et al., 2020).

Ahora bien, la recarga del agua subterránea también está influenciada por otros aspectos como la intensidad de las lluvias y no solo la cantidad, dado que, ciertas intensidades pueden inhibir la infiltración en el subsuelo, así mismo, descensos en las aguas subterráneas pueden estar influenciados por cambios en la evapotranspiración asociados con el calentamiento global (Bellot & Chirino, 2013; Scanlon et al., 2005; Touhami et al., 2013 y Bloomfield et al. (2019) en Amanambu et al., 2020).

Por otra parte, el cambio climático puede afectar las interacciones agua subterránea – agua superficial, pues períodos extensos de sequía pueden implicar el incremento en la explotación de las aguas subterráneas, lo que a su vez genera caídas en la tabla de agua subterránea y con ello la disminución en la descarga a manantiales o cuerpos de agua superficiales (Christensen & Bergman, 2005; Williams & Pelletier, 2015 en Amanambu et al., 2020).

Amanambu et al. (2020) mencionan que, el impacto del cambio climático es evidenciado por el incremento en el calentamiento global, el cual se espera que afecte cada componente del sistema climático, incluyendo las aguas subterráneas. En ese sentido, la síntesis de 40 estudios de modelaje, sugieren que los cambios en las aguas subterráneas debido al clima resultarán en disminuciones en la recarga, almacenamiento y niveles, particularmente en las regiones tropicales áridas/semiáridas y secundariamente en los trópicos húmedos.

Hughes et al. (2011) también mencionan que el clima y los patrones meteorológicos afectan los recursos de agua subterránea alterando la recarga, patrones de flujo y en general el ciclo hidrológico en aspectos tales como el balance con aguas superficiales, la evapotranspiración, humedad del suelo, entre otros aspectos.

A nivel nacional, el IMN (2012) realizó una serie de pronósticos con escenarios de cambio climático para distintos sectores del país. Estos pronósticos, basados en posibles

escenarios de emisiones, son el resultado de 5 modelos climáticos (4 globales y 1 regional) corridos con horizontes de tiempo cada treinta años (2011-2040 corto plazo, 2040-2070 mediano plazo y 2070-2100 largo plazo).

En cuanto a temperaturas, todos los escenarios pronostican incrementos cada vez mayores hasta el 2100, año en que el peor de los escenarios muestra aumentos de entre 2 y hasta 5 °C. En aspectos de precipitación, tres de los modelos climáticos pronostican disminuciones a nivel general, y dos reportan aumentos para ciertos sectores de la vertiente Caribe y Pacífico Sur. Específicamente para la Fila Costeña, los escenarios que pronostican aumentos reportan un incremento del 15% a corto plazo, 30% a mediano plazo y no más del 30% a largo plazo (IMN, 2012).

Más recientemente Almazroui et al. (2021), a través del Proyecto de Modelos de Intercomparación Acoplados Fase 6 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 6*), que según sus criterios presentan una mejor resolución que los Modelos de Circulación General (*General Circulation Models*), analizaron las proyecciones de cambio climático en temperatura y precipitación a partir de un conjunto de 31 modelos sobre la zona de Estados Unidos, América Central y el Caribe. Este estudio, basado en los Escenarios de trayectorias Socioeconómicas Compartidas (*Shared Socioeconomic Pathways*) para estimar las emisiones de efecto invernadero, realiza proyecciones a corto, mediano y largo plazo para los periodos 2021 – 2040, 2041 – 2060 y 2080 – 2099 respectivamente.

Para la región del Sur de Centro América, la cual incluye a Costa Rica, Almazroui et al. (2021) proyectan para la temperatura media anual y para el escenario más crítico incrementos promedio de alrededor de 0.85 °C a corto plazo, 1.78 °C a mediano plazo y hasta 4.11 °C a largo plazo con respecto al clima de referencia actual (1995 – 2014). En el caso de las precipitaciones, se proyectan disminuciones promedio del 1.52% a corto plazo, 5.88% a mediano plazo y 18.64% a largo plazo con respecto al clima actual y para el escenario más crítico.

Con respecto a la modelación numérica del acuífero aluvial del río Uvita y los posibles efectos que se generen en la dinámica del flujo subterránea a partir del cambio en las condiciones climáticas, resulta de mucho interés, que Almazroui et al. (2021) reportan para la región del Sur de Centro América y para los escenarios más conservadores, los cambios proyectados para la temperatura media y la precipitación en forma mensual, lo cual permite

que las variaciones en la recarga potencial al acuífero sean evaluados mediante la metodología Schosinsky (2006) con más certeza.

Amananbu et al. (2020) señalan que, las proyecciones futuras en la evaluación de los cambios del agua subterránea deben enfocarse más en pronósticos de corto y mediano plazo, en lugar de pronósticos a largo plazo que suelen involucrar alta incertidumbre y por lo tanto no se consideran adecuados para el establecimiento de políticas de manejo o protección serias. A partir de esto, para la modelación de cambios climáticos en este trabajo, se ha optado por utilizar dos escenarios, uno a corto y otro a mediano plazo según los rangos utilizados por Almazroui et al. (2021), para lo cual se han seleccionado los años 2030 y 2050 respectivamente.

La tabla 31 muestra en forma mensual las variaciones proyectadas por Almazroui et al. (2021) en la temperatura media y la precipitación de los años mencionados, así como, las temperaturas y precipitaciones resultantes con estas variaciones.

Tabla 31

Variaciones proyectadas en la temperatura media y precipitación mensual para los años 2030 y 2050 en la estación Hacienda Barú.

PARÁMETRO	PRECIPITACIÓN (mm)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Precipitación promedio 2017 (mm)	77.6	53.2	81.8	230.2	519.1	437.3	454.6	538.2	593.3	731.3	472.8	221.9
Cambio proyectado al 2030 (%)	+0.01	+0.05	-0.13	+0.03	+0.11	-0.01	-0.07	-0.05	-0.09	+0.01	-0.09	-0.05
Cambio proyectado al 2030 (mm)	+0.78	+2.66	-10.6	+6.91	+57.10	-4.37	-31.82	-26.91	-53.39	+7.31	-42.55	-11.09
Precipitación promedio proyectada al 2030 (mm)	78.38	55.86	71.2	237.11	576.2	432.93	422.78	511.29	539.91	738.61	430.25	210.81
Precipitación total 2030	4305.33											
Cambio proyectado al 2050 (%)	+0.07	-0.15	-0.07	+0.11	-0.05	-0.05	-0.09	-0.03	-0.09	+0.13	+0.11	+0.03
Cambio proyectado al 2050 (mm)	+5.43	-7.98	-5.73	+25.32	-25.95	-21.86	-40.91	-16.15	-53.40	+95.06	+52.01	+6.66
Precipitación promedio proyectada al 2050 (mm)	83.03	45.22	76.07	255.52	493.15	415.44	413.69	522.05	539.90	826.36	524.81	228.56
Precipitación total 2050	4423.74											

	TEMPERATURA (°C)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temperatura media 2017 (°C)	27.5	28	28.6	28.4	27.7	27.3	27.1	27	27	26.8	26.8	27.2
Cambio proyectado al 2030 (°C)	+0.75	+0.75	+0.75	+0.75	+0.75	+0.75	+0.75	+0.75	+0.75	+0.75	+0.75	+0.75
Temperatura media proyectada al 2030 (°C)	28.25	28.75	29.35	29.15	28.45	28.05	27.85	27.75	27.75	27.55	27.55	27.95
Cambio proyectado al 2050 (°C)	+1.75	+2.25	+1.75	+1.75	+1.75	+1.75	+1.75	+1.75	+1.75	+1.75	+1.75	+1.75
Temperatura media proyectada al 2050 (°C)	29.25	30.25	30.35	30.15	29.45	29.05	28.85	28.75	28.75	28.55	28.55	28.95

Fuente: Elaboración propia con base Almazroui et al. (2021)

Según se puede observar en la tabla 31, las proyecciones de precipitación para el año 2030 muestran en varios meses la posible disminución entre el 1 y el 13% con respecto al dato actual, sin embargo, en los meses restantes se proyectan incrementos de hasta un 11%, lo que al final viene a compensar las pérdidas en precipitación anual y de esta forma se explica la razón por la cual la proyección del 2030 (4305.33 mm anuales) difiere únicamente en un 2.4% con respecto al dato de clima actual (4411.3 mm anuales). Para el 2050 el comportamiento es similar en cuanto a incrementos y descensos en ciertos meses, sin embargo, en aquellos meses donde se registran incrementos los porcentajes son mucho mayores y eventualmente esta situación conlleva a un aumento en la precipitación anual de 0.28% (4423.74 mm) con respecto a la precipitación actual (4411.3 mm anuales).

En cuanto a la temperatura mensual, en ambos escenarios se registran proyecciones de incremento, siendo de 0.75 °C para el 2030 y entre un 1.75 a 2.25 °C para el 2050. Este comportamiento en la temperatura es un aspecto muy importante a considerar ya que, implica directamente un aumento en la evapotranspiración potencial, que a su vez repercute sobre la posible recarga potencial a los acuíferos. La tabla 32 muestra para los años 2030 y 2050 el incremento generado en la evapotranspiración potencial a partir de los cambios proyectados en temperatura por Almazroui et al. (2021).

Tabla 32

Variaciones proyectadas en la evapotranspiración potencial (ETP) para los años 2030 y 2050 con respecto al escenario actual (Hacienda Barú 2017)

	Evapotranspiración potencial (mm)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
ETP Actual	168.69	156.72	179.61	177.14	183.61	177.65	182.21	178.72	169.29	170.36	161.58	166.95
ETP 2030	171.50	159.30	182.53	180.03	186.66	180.63	185.27	181.73	172.14	173.25	164.31	169.75
ETP 2050	175.24	164.45	186.41	183.88	190.71	184.58	189.34	185.74	175.93	177.08	167.95	173.47

Fuente: Elaboración propia con base en Blaney & Criddle (ONU, 1972) y Almazroui et al. (2021)

Como se ha observado en las tablas anteriores, la temperatura, y su efecto en la evapotranspiración, corresponde con un parámetro que en los meses proyectados muestra una tendencia al incremento mucho más estable y con menos incertidumbre que los datos de precipitación, en que el incremento o disminución puede variar de un mes a otro e incluso los porcentajes no son consistentes en crecimiento a lo largo de los años. Sin embargo, para el caso de la precipitación resulta notable, al menos para los escenarios a corto y mediano plazo, que el dato anual final si se mantiene prácticamente sin variaciones con respecto a la precipitación actual e inclusive para el año 2050 más bien registra cierto incremento, aunque de igual manera en un porcentaje ínfimo.

A partir de lo anterior, para efectos de la modelación de escenarios de cambio climático, se ha optado por mantener la precipitación como un parámetro constante, variando únicamente los datos de evapotranspiración potencial según los incrementos de temperatura reportados. Este enfoque resulta más conservador, pues como se ha mencionado anteriormente, en los escenarios proyectados algunos meses reportan incrementos de la precipitación que eventualmente pueden generar un aumento en la recarga potencial. Esta situación se ilustra en la tabla 33 efectuada para la proyección del año 2050, en donde se observa que el valor de recarga potencial en las celdas 14, 16 y 17 aumenta levemente con respecto al escenario actual si se varía la precipitación, mientras que, al variar únicamente la evapotranspiración potencial se obtiene en todas las celdas un valor más conservador en que disminuye la recarga.

Tabla 33

Variaciones en la recarga potencial para 5 celdas representativas del algebra de mapas según cambios en precipitación o ETP.

Celda	3	14	15	16	17
Recarga potencial actual (mm)	2120.36	1663.43	2104.68	1663.43	1612.48
Recarga potencial variando precipitación (mm)	2101.39	1671.6	2099.62	1671.6	1619.93
Recarga potencial variando ETP (mm)	2072.7	1602.05	2053.85	1602.05	1547.52

Fuente: Elaboración propia con base en Schosinsky (2006)

Finalmente, es importante aclarar que, los escenarios a modelar en este trabajo se relacionan exclusivamente con las posibles variaciones en las condiciones climáticas de la zona (precipitación y temperatura), y no así con sus posibles efectos, como lo es el incremento en el nivel del mar u otros aspectos de orden socio-económico como el posible incremento en los caudales de extracción de pozos, aumentos en la cobertura del terreno o cambios en el uso del suelo.

Es por esto, que en los escenarios del 2030 y 2050 se mantendrán constantes los caudales de extracción de pozos y no se variará la carga constante de cero metros definida a lo largo de la línea de costa. En el caso del nivel del mar, también se tomó en consideración que la zona de estudio es sumamente plana y no se cuenta con levantamientos topográficos a detalle en la zona de playa, de tal manera, que la simulación de un incremento en el nivel del mar podría generar escenarios que no necesariamente coinciden con la realidad, tal es el caso de inundaciones de algunos terrenos o incrementos en la tabla de agua en zonas sin verificación posible.

5.5.7.1. Escenario 2030

Este modelo numérico será desarrollado en estado estacionario y tomando en consideración las siguientes condiciones:

- La precipitación promedio determinada para el escenario actual se mantiene constante.
- Los caudales de extracción en pozos, carga constante a nivel del mar y demás condiciones de frontera se mantienen constantes.
- Se variará únicamente la recarga potencial a partir de los incrementos en la evapotranspiración debidos al aumento proyectado en la temperatura para el 2030. Una vez realizada el álgebra de mapas respectiva según la metodología Schosinsky (2006) (Anexo 3), se determinó que la recarga potencial para el año 2030 es de **1933.44** mm/año, lo que representa una disminución de apenas un 1.16% con respecto a la recarga del escenario actual (1956.18 mm/año).

Dirección de flujo y gradiente hidráulico

La figura 66 muestra las equipotenciales generadas por el modelo, una vez modificada la recarga potencial según el escenario del 2030. Como se aprecia en la figura general, la variación en las equipotenciales es prácticamente imperceptible, sin embargo, en el recuadro de esta misma figura, que corresponde con un acercamiento extremo de las equipotenciales, es posible observar el leve retroceso existente entre las equipotenciales del 2030 y las del escenario actual debido a los leves abatimientos generados.

El cambio entre las equipotenciales de ambos escenarios es tan ligero, que las del 2030 mantienen la misma dirección de flujo predominante hacia el SW en dirección al mar y muestran las mismas variaciones locales principalmente en las cercanías de los cauces. Además, el gradiente hidráulico se mantiene sin variaciones y los sectores de comportamiento efluente e influente en los cauces tampoco muestran una variación perceptible en el modelo. A nivel de la costa tampoco se registran variaciones, lo cual es consistente con el hecho de que en la modelación 2030 no se consideraron ascensos en el nivel del mar.

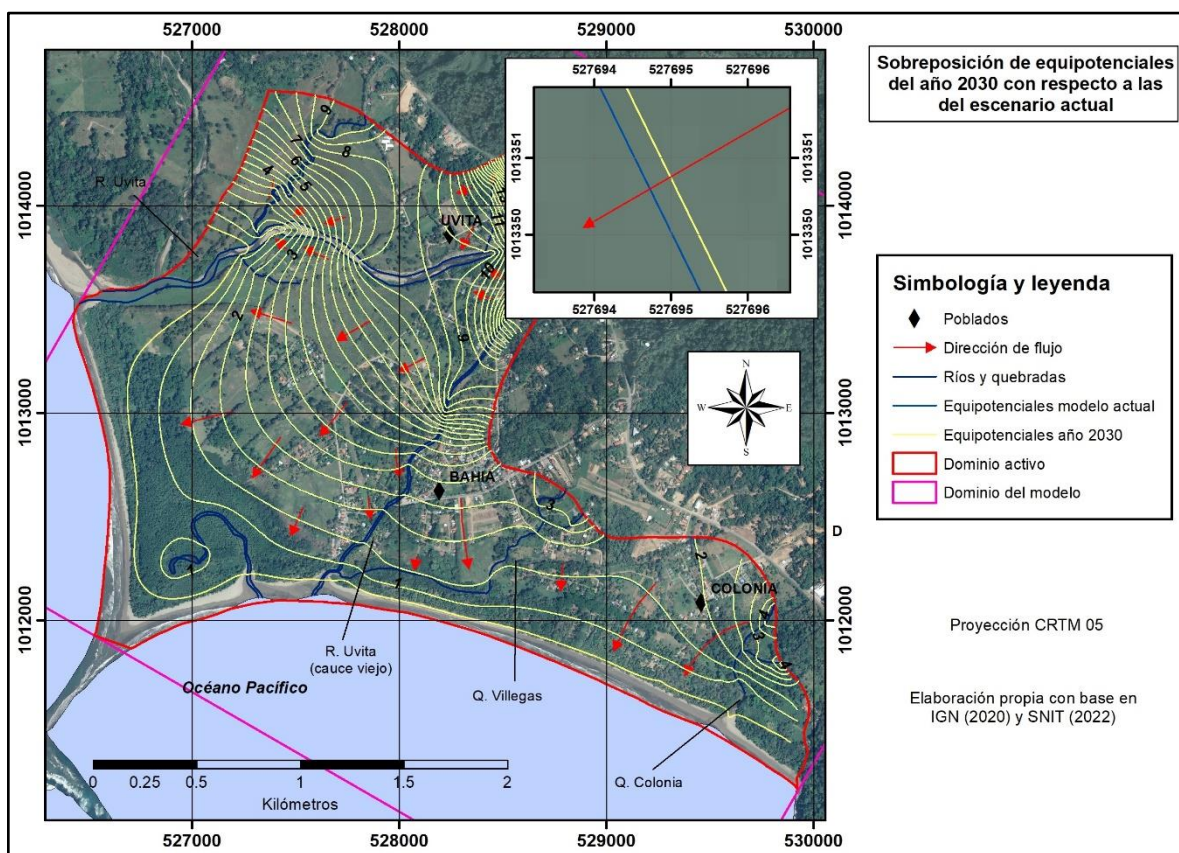


Figura 66. Sobreposición de las equipotenciales del escenario actual con respecto a las generadas para el 2030. Nótese en el recuadro de detalle la diferencia existente entre ambas. Elaboración propia con base en la modelación numérica, SNIT (2022) e IGN (2022).

Abatimientos proyectados

En cuanto a las variaciones en los niveles del agua subterránea, se ha observado que los abatimientos son sumamente leves con respecto al escenario actual y estos se ubican en el orden de algunos milímetros y hasta un máximo de alrededor de 1.5 centímetros en la zona de Colonia. En el gráfico de la figura 67 se observan los abatimientos registrados para varios pozos distribuidos en el área de modelación, observando que, en estos casos el abatimiento máximo se registró en el pozo COR-52 y corresponde apenas con un aproximado de 4 mm con respecto al escenario actual.

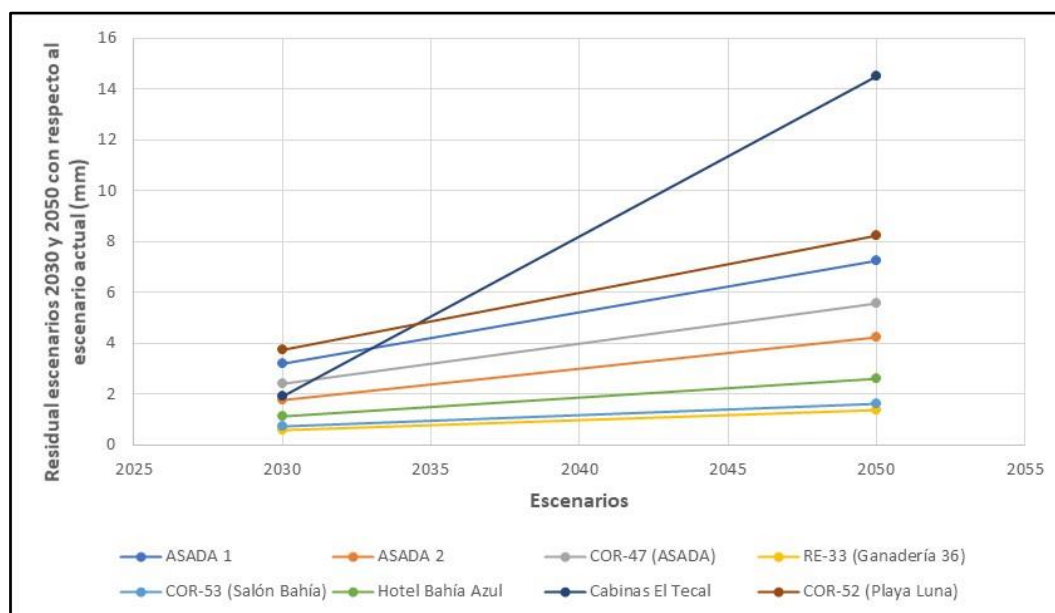


Figura 67. Abatimientos registrados en pozos de la zona de modelación para los años 2030 y 2050 con respecto al escenario actual. Elaboración propia con base en la modelación numérica.

Ahora bien, la figura 68 se ha construido para toda el área de modelación a partir de la diferencia de niveles entre el escenario actual y el escenario del 2030. Claramente se observa que, las magnitudes de los abatimientos son sumamente leves para toda el área y predominan los abatimientos menores a 3 mm. Abatimientos en el orden de 3 a 5 mm se registran al oeste de Bahía, en sectores colindantes con el Parque Nacional Marino Ballena, y en la zona de Colonia (hasta aproximadamente 1.5 cm). Si bien es cierto, los abatimientos en estos sectores se siguen considerando de magnitud leve, no se deben pasar por alto ya que, a nivel de la modelación nos están indicando aquellos sectores del acuífero que son más susceptibles a cambio ante una disminución en la recarga. De hecho, la zona colindante con el Parque Nacional resulta de especial interés para investigaciones más detalladas, debido a las posibles implicaciones que puedan tener los abatimientos en los niveles del agua subterránea sobre los ecosistemas que se desarrollan en esa área de protección.

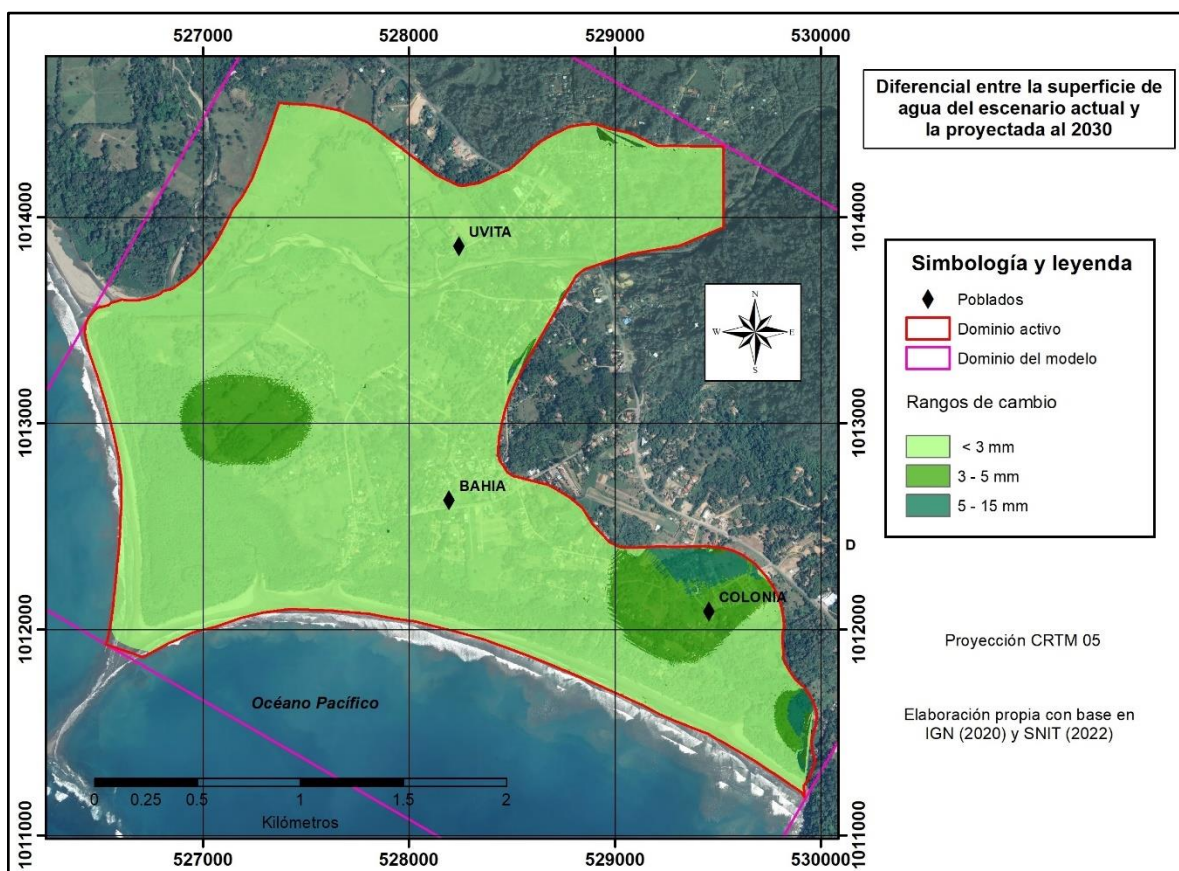


Figura 68. Mapa que muestra las diferencias obtenidas al restar la superficie generada por las equipotenciales proyectadas para el 2030 con respecto a las del escenario actual. Elaboración propia con base en la modelación numérica, SNIT (2022) e IGN (2020).

Se considera, que los abatimientos tan leves registrados en este escenario son consistentes con el hecho de que la simulación es realizada a muy corto plazo, en el cual no se está registrando una variación dramática en los parámetros de entrada, y que se ve reflejado en una disminución de apenas 1.12% de la recarga. Esta situación, en combinación con la existencia de un acuífero aluvial, considerado según Custodio (1983) como bueno a partir de su conductividad hidráulica promedio de 120 m/d, contribuyen precisamente a que los abatimientos modelados sean mínimos.

Balance de agua subterránea

El gráfico de la figura 69 representa el balance de agua para el escenario proyectado 2030. Se observa que, las entradas y salidas totales se encuentran equilibradas y que el cambio en el almacenamiento es igual a cero, como corresponde en un modelo en estado estacionario. La extracción en pozos se mantiene constante y el valor de recarga modelado evidencia la variación asignada con una disminución del 1.16%. En este escenario los aspectos más relevantes se ubican a nivel de los ríos y de la carga constante a nivel de la costa.

En los ríos, se observa un pequeño incremento en las entradas, pasando de 195 048.3 m³/d (2257.5 l/s) en el escenario actual a 195 193 m³/d (2259.18 l/s) en el 2030, y en las salidas se tiene el efecto contrario, donde disminuyen de 185 581.6 m³/d (2147.9 l/s) a 185 426.5 m³/d (2146.1 l/s) en el 2030. Es posible que este comportamiento se deba a cambios muy sutiles entre la tabla de agua del acuífero y el lecho del río, que a nivel del modelo implica una variación muy leve entre el comportamiento efluente e influente de ciertos tramos (una caída del nivel implicaría el incremento de tramos influentes y disminución de efluentes, lo que explicaría el aumento de entradas y disminución de salidas). Ahora bien, Alfaro (2021) menciona que, comportamientos como este deben manejarse con precaución, ya que esto puede ser un resultado del modelo numérico tratando de compensar la disminución en la recarga con el objetivo de mantener el equilibrio en las cargas hidráulicas.

En cuanto a la carga constante a nivel del mar, esta experimentó una disminución leve en las salidas, pasando de 38 296.92 m³/d (443.25 l/s) a 38 223.98 m³/d (442.4 l/s) en el 2030. Esta leve caída evidencia la estrecha relación que existe con disminuciones en la recarga, y si bien es cierto, en esta proyección genera un efecto muy leve en la descarga al mar, no por esto debe pasar desapercibida, ya que la descarga al mar juega un papel fundamental en cuanto a la ubicación de la cuña salina, que ante la ocurrencia de escenarios más críticos podría sufrir variaciones y afectar las condiciones del acuífero.

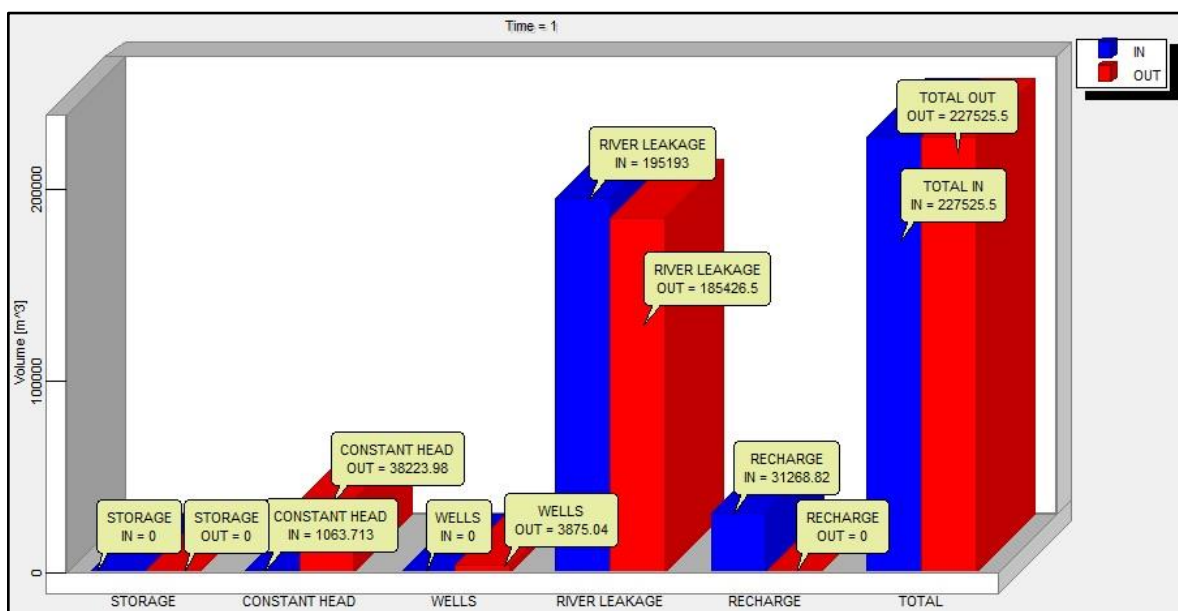


Figura 69. Gráfico de balance de masas generado para el escenario 2030. Nótese las entradas al sistema representadas por barras de color azul y las salidas, representadas por barras de color rojo. Elaboración propia con base en la modelación numérica.

5.5.7.2. Escenario 2050

Este modelo numérico será desarrollado en estado estacionario y tomando en consideración las siguientes condiciones:

- La precipitación promedio determinada para el escenario actual se mantiene constante.
- Los caudales de extracción en pozos, carga constante a nivel del mar y demás condiciones de frontera se mantienen constantes.
- Se variará únicamente la recarga potencial a partir de los incrementos en la evapotranspiración debidos al aumento proyectado en la temperatura para el 2050. Una vez realizada el álgebra de mapas respectiva según la metodología Schosinsky (2006) (Anexo 3), se determinó que la recarga potencial para el año 2050 es de **1903.37** mm/año, lo que representa una disminución de apenas un 2.69% con respecto a la recarga del escenario actual (1956.18 mm/año).

Dirección de flujo y gradiente hidráulico

La figura 70 muestra las equipotenciales generadas para el escenario del 2050. Como se observa, al igual que para el escenario 2030 la dirección de flujo predominante hacia el SW se mantiene prácticamente sin variación, así como el gradiente hidráulico y los sectores de comportamiento efluente o influente en los cauces. Hacia la costa tampoco se registran variaciones, lo cual es consistente con que en este escenario no se consideraron ascensos en el nivel del mar. Como se verá más adelante, en este escenario los abatimientos son un poco mayores que en el 2030 y esto se refleja en una variación un poco mayor de las equipotenciales con respecto al escenario actual. Esta variación se observa en el recuadro a detalle de la figura 70.

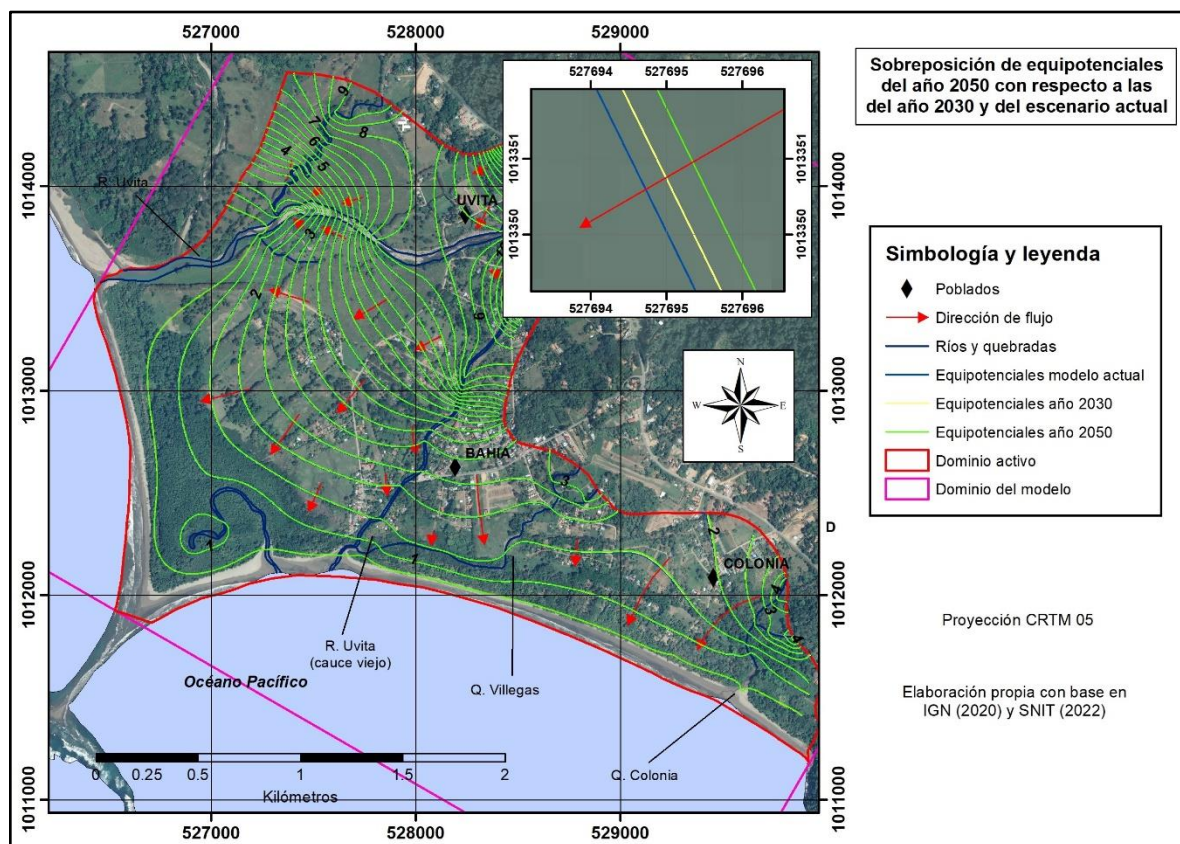


Figura 70. Sobreposición de las equipotenciales del escenario actual con respecto a las generadas para el 2030 y 2050. Nótese en el recuadro de detalle el incremento en la diferencia para el 2050. Elaboración propia con base en la modelación numérica, SNIT (2022) e IGN (2022).

Abatimientos proyectados

Los abatimientos para este escenario resultan mayores que en el 2030, como era de esperar para el caso de un porcentaje de disminución mayor en la recarga. Los abatimientos en los pozos de la figura 67 se ubican entre 1.5 y hasta 14 mm y en el mapa de la figura 71 se puede apreciar como las zonas con abatimientos mayores a los 3 mm se hacen más extensas en el área de modelación. Para el sector de Colonia se registran los mayores abatimientos de hasta 25 mm, y resulta de especial atención el hecho de que los abatimientos hacia el oeste de Bahía se incrementen hasta los 10 mm y abarquen un importante sector del Parque Nacional. Una vez más se pone de manifiesto la necesidad de investigaciones más detalladas hacia este sector y con un carácter interdisciplinario que evalúe las posibles implicaciones en los ecosistemas del área.

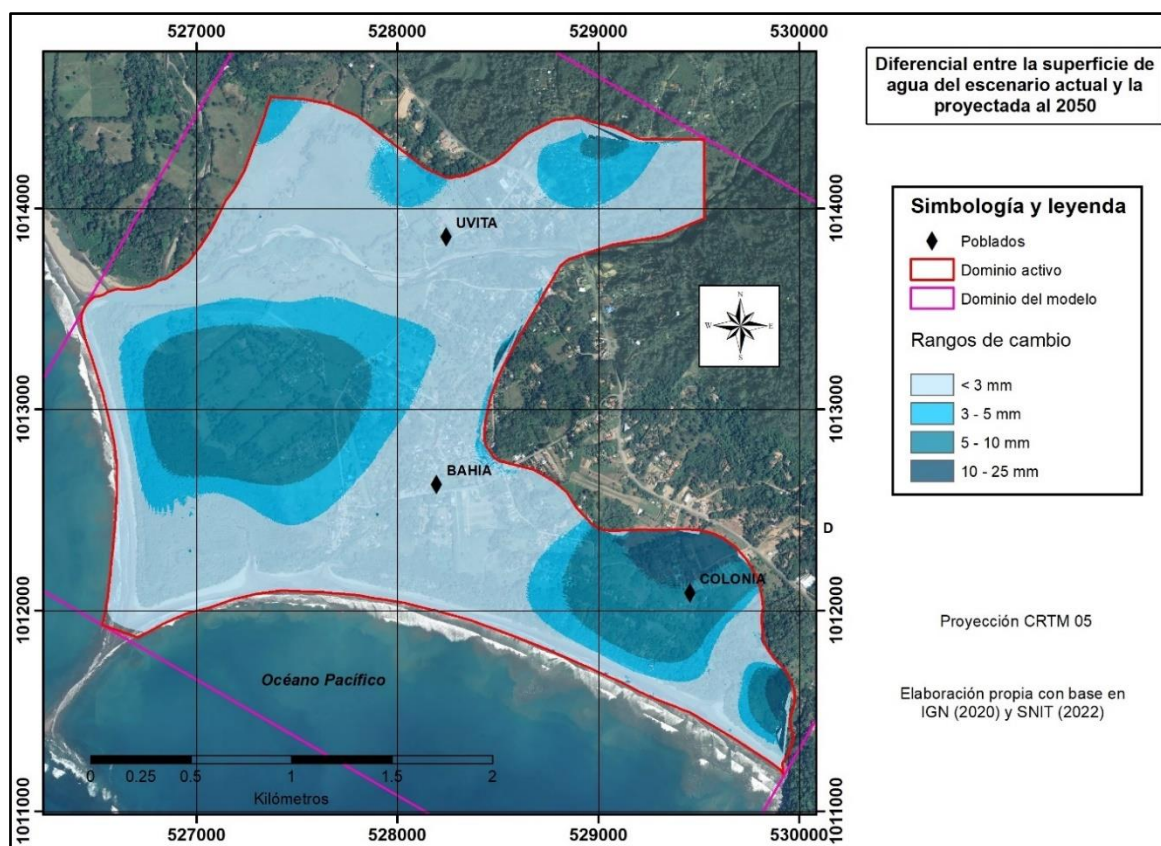


Figura 71. Mapa que muestra las diferencias al restar la superficie de las equipotenciales del 2050 con respecto a las del escenario actual. Nótese el incremento de abatimientos mayores a los 3 mm con respecto al 2030 y su extensión hacia el P.N. Marino Ballena. Elaboración propia con base en la modelación numérica, SNIT (2022) e IGN (2020).

Balance de agua subterránea

El gráfico de la figura 72 representa el balance de agua para el escenario proyectado 2050. Entradas y salidas totales se encuentran equilibradas y el cambio en el almacenamiento es igual a cero según la corrida en estado estacionario. La extracción en pozos se mantiene constante y el valor de recarga modelado evidencia la variación asignada con una disminución del 2.69%.

En los ríos, se observa un incremento en las entradas mayor que en el 2030, pasando de 195 048.3 m³/d (2257.5 l/s) en el escenario actual a 195 381.2 m³/d (2261.36 l/s) en el 2050, y en las salidas se tiene el efecto contrario, donde disminuyen de 185 581.6 m³/d (2147.9 l/s) a 185 224.7 m³/d (2143.80 l/s) en el 2050. Este comportamiento, muy similar al observado para el 2030 aunque en un porcentaje levemente mayor, se considera que igualmente puede estar relacionado con cambios sutiles entre la tabla de agua del acuífero y el lecho del río, que a nivel del modelo implica una variación entre el comportamiento efluente e influente de ciertos tramos (una caída del nivel implicaría el incremento de tramos influentes y disminución de efluentes, lo que explicaría el aumento de entradas y disminución de salidas).

En cuanto a la descarga al mar, representada por la carga constante, su disminución es levemente mayor, pasando de 38 296.92 m³/d (443.25 l/s) a 38 129.68 m³/d (441.31 l/s) en el 2050 y por lo tanto manteniendo las mismas consideraciones descritas en el apartado del escenario 2030.

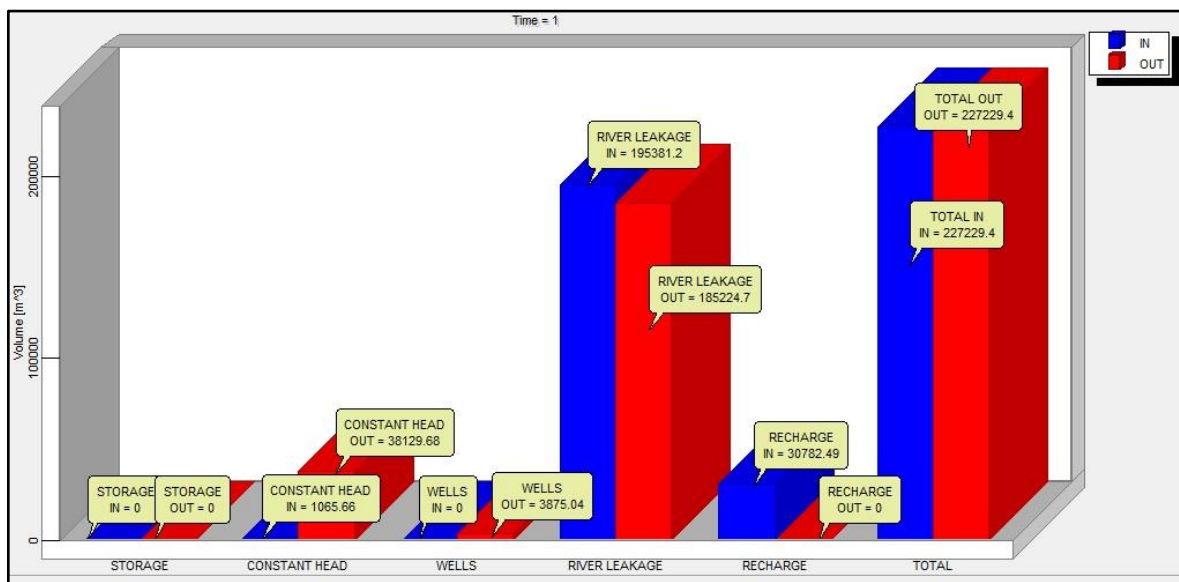


Figura 72. Gráfico de balance de masas generado para el escenario 2050. Nótese las entradas al sistema representadas por barras de color azul y las salidas, representadas por barras de color rojo. Elaboración propia con base en la modelación numérica.

A modo de resumen, en la tabla 34 se muestran las principales diferencias entre el escenario actual y las proyecciones para los años 2030 y 2050.

Tabla 34

Resumen de los principales parámetros obtenidos en los distintos escenarios modelados para el acuífero aluvial del río Uvita

Parámetro	Actual		Escenario 2030		Escenario 2050	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Almacenamiento (l/s)	0	0	0	0	0	0
Carga constante (l/s)	12.29	443.25	12.31	442.4	12.33	441.31
Pozos (l/s)	0	44.84	0	44.85	0	44.85
Ríos (l/s)	2257.5	2149.9	2259.18	2146.14	2261.36	2143.80
Recarga (l/s)	366.23	0	361.9	0	356.27	0
Total (l/s)	2636	2636	2633.3	2633.3	2629.9	2629.9
Dirección de flujo predominante	SW		SW		SW	
Gradiente hidráulico	0.002 hasta 0.078		Sin variación		Sin variación	
Abatimientos (mm)	-		Predominan los menores a 3 mm y hasta 15 mm		Predominan los menores a 3 mm y hasta 25 mm	

Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación numérica

5.5.8. Delimitación de zonas de protección para los pozos de la ASADA Uvita

En la modelación numérica, el seguimiento de partículas es una herramienta utilizada para trazar las líneas o patrones de flujo del agua subterránea, a partir del seguimiento de partículas imaginarias localizadas en el campo de flujo. En esta herramienta, a partir de la distribución de cargas en el modelo de flujo se estima la distribución de velocidades, que a su vez se utiliza para trazar las líneas de trayectoria preferencial de esas partículas (Anderson & Woessner, 2002).

Las aplicaciones de esta herramienta son variadas, pudiendo utilizarse para visualizar y entender con detalle las redes de flujo locales, intermedias o regionales, junto con sus áreas de recarga y descarga asociadas. En el seguimiento de contaminantes advectivos, partículas imaginarias pueden ubicarse en un área de descarga y darles seguimiento a través del campo de flujo, conociendo de esta forma su localización en un determinado momento y los tiempos de viaje en el acuífero. Así mismo, el seguimiento inverso de partículas es útil en la ubicación de posibles fuentes de contaminación (Anderson & Woessner, 2002).

Anderson & Woessner (2002) mencionan que, el modelado de transporte advectivo puede ser utilizado para delinear las zonas de captura y áreas de protección de pozos basados en criterios de tiempos de tránsito de posibles contaminantes. En ese sentido, la zona de captura se refiere a la porción del sistema de flujo que aporta agua a un pozo o a un cuerpo superficial de agua como un río o manantial. Por su parte, Gárfias (2010) señala que el tamaño de una zona de captura está determinado por factores tales como, el confinamiento del acuífero, la recarga y su distribución superficial, el caudal de bombeo (constante o transitorio), el campo de flujo y sus variaciones estacionales en el gradiente, así como las posibles fronteras hidrogeológicas regionales.

Las zonas de captura se delinear utilizando el seguimiento inverso de partículas, en el cual estas son introducidas en el pozo y rastreadas aguas arriba a lo largo de las líneas de flujo hasta su fuente (Anderson & Woessner, 2002). Gárfias (2010) menciona, que la zona de captura es la base técnica (no arbitraria) de una zona de protección de captaciones subterráneas, y constituye una importante herramienta para la planificación rural y urbana.

En este orden de ideas, como parte de este trabajo se ha querido delimitar, mediante la herramienta de seguimiento de partículas, las zonas de captura para los pozos de

abastecimiento público con que actualmente cuenta la ASADA de Uvita - Bahía, que se encuentran captando el acuífero aluvial de la zona y cuya información básica se muestra en la tabla 35.

Tabla 35

Pozos de abastecimiento público de la ASADA de Uvita - Bahía

Pozo	Latitud (CRTM 05)	Longitud (CRTM 05)	Caudal de extracción (l/s)	Profundidad (m)
ASADA 1 (12)	1013183	527795	11	11
ASADA 2 (13)	1013247	527885	11	11

Fuente: Levantamiento de campo y registros de la ASADA de Uvita - Bahía

La idea con esto, es demarcar sobre la superficie del terreno el área que estaría aportando agua al pozo (zona de captura), y por lo tanto, que en caso de existir una posible fuente de contaminación en ella, podría afectar la calidad del recurso hídrico que se distribuye a la comunidad. Esta delimitación sobre el terreno, representa un insumo importante para instituciones tales como la Municipalidad de Osa o la ASADA de Uvita - Bahía, al momento de establecer posibles regulaciones en el uso del suelo para garantizar la calidad del recurso hídrico subterráneo.

Para efectos de la simulación, se ha considerado un bombeo continuo de 11 l/s (950.4 m³/d), y los radios de ubicación de las partículas se han ido incrementando cada metro desde el sitio de pozo y hasta los 10 metros, con el objetivo de observar los radios a partir de los cuales las partículas ya continuaban su viaje aguas abajo en el campo de flujo y no se dirigían hacia el pozo. Adicionalmente, para delimitar de una forma más adecuada las dimensiones de la zona de captura de los pozos, se ha realizado el seguimiento de partículas tanto hacia aguas arriba ("*backward*") como hacia aguas abajo ("*forward*") del sitio de pozos.

La figura 73 corresponde con la salida del *Visual Modflow Flex* para la corrida del seguimiento de partículas tanto hacia aguas arriba como aguas abajo del sitio de pozo 1 localizado en coordenadas 1013183 N / 527795 E. En esta figura se observa, como las partículas correspondientes al radio de 6 metros (color amarillo) y que se localizan a lo largo de las líneas de flujo más externas para la zona de captura definida, continúan su viaje aguas abajo una vez atravesada la zona del pozo. Esta misma situación ocurre para

partículas ubicadas en el radio de 7 metros, pero no así, en el caso de partículas ubicadas a los 5 metros, en el cual varias de estas partículas se dirigen hacia el pozo y no vuelven a registrar flujo hacia aguas abajo. De esta manera, en forma conservadora se han tomado las líneas de flujo externas de las partículas de 6 metros como los límites laterales que definen el ancho de la zona de captura del pozo.

Por otra parte, mediante un análisis similar realizado para el sector aguas abajo del pozo, se ha determinado un punto de no retorno en el pozo de 2 metros, distancia a partir de la cual ya se observa el flujo de partículas que eventualmente continúan su viaje aguas abajo en la red de flujo.

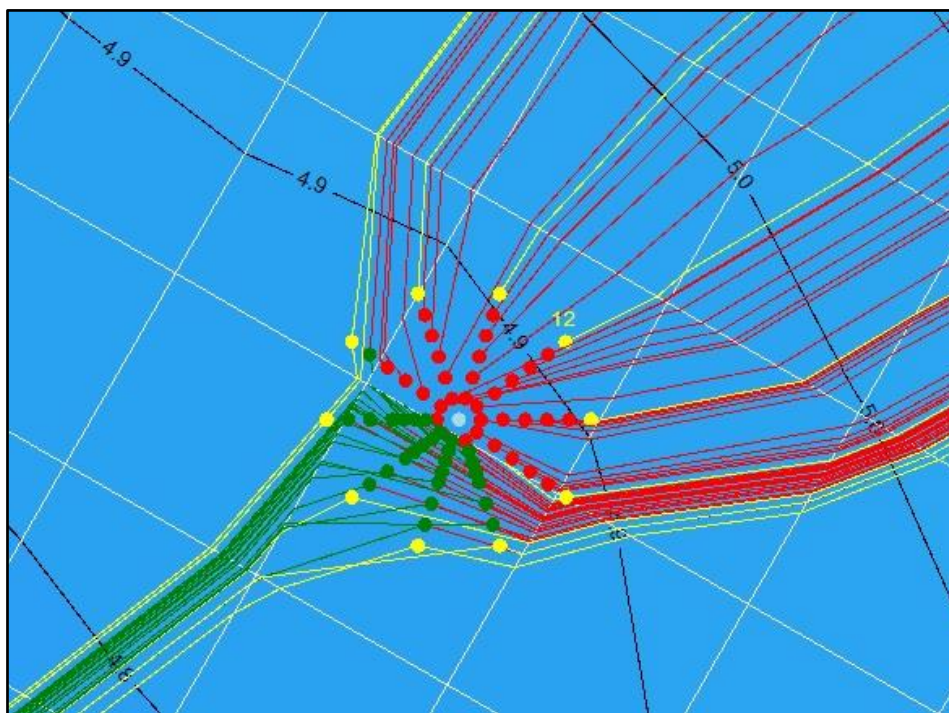


Figura 73. Salida del seguimiento de partículas para el pozo 1 de la ASADA de Bahía y Uvita. Las líneas rojas representan el flujo desde aguas arriba y hacia el pozo, las verdes el flujo de aquellas partículas que continúan aguas abajo luego de pasar la zona del pozo. Las líneas amarillas corresponden al radio de 6 metros, y en ellas se puede notar como las más externas del tubo de flujo llegan a la zona del pozo y continúan aguas abajo. Elaboración propia con base en la modelación numérica.

La figura 74 muestra las zonas de captura totales para los pozos 1 y 2 de la ASADA, las cuales presentan una orientación predominante NE - SW. Destaca en esta figura el que, dadas las ubicaciones de los pozos y la dirección de flujo en el acuífero, ambas zonas de captura se traslapan, lo que genera un aumento en el ancho del tubo de flujo definido a partir de la ubicación del pozo 2 debido al efecto combinado del bombeo a partir de este sector.

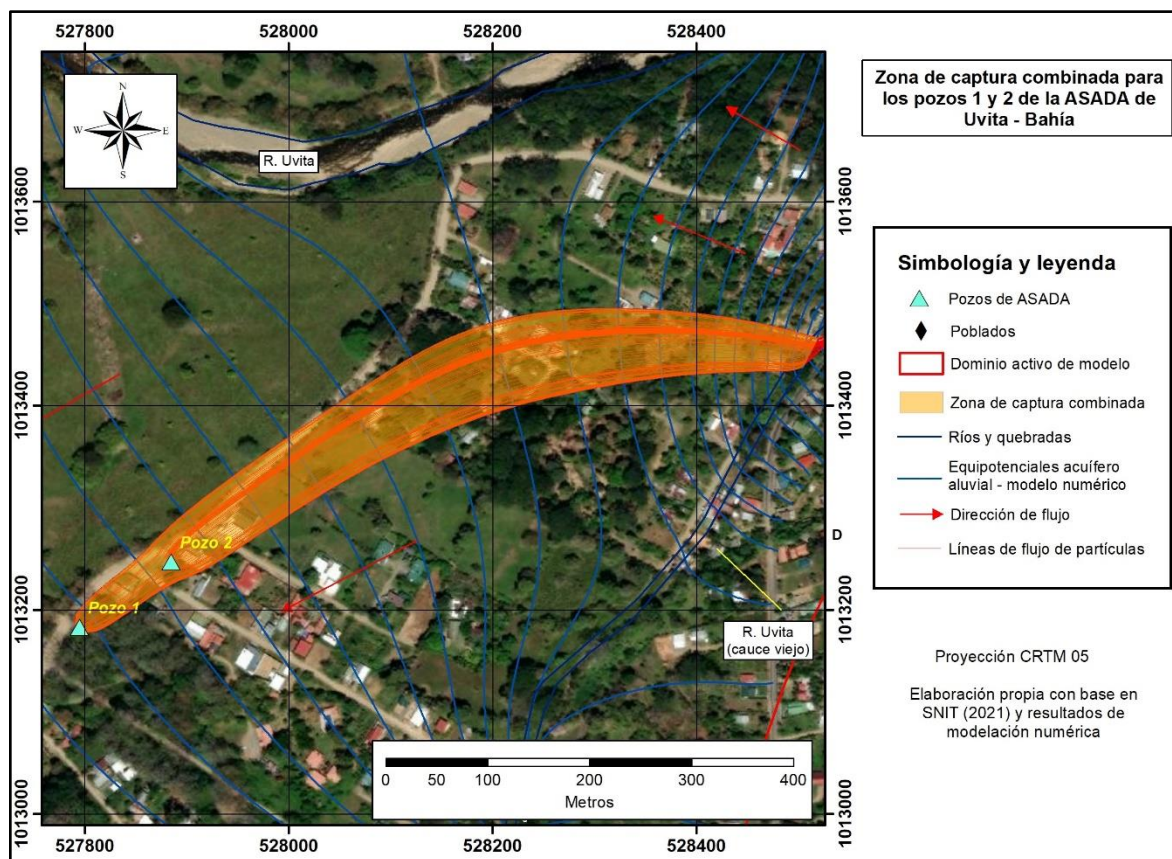


Figura 74. Zona de captura delimitada para los pozos 1 y 2 de la ASADA de Uvita y Bahía. Nótese el incremento en el ancho del tubo de flujo a partir del pozo 2 debido al efecto combinado de sus caudales de extracción. Elaboración propia con base en la modelación numérica.

En cuanto a las dimensiones de esta zona de captura combinada, su punto de no retorno es de 2 metros según se explicó anteriormente y su ancho es variable, iniciando con 12 metros en la zona del pozo 1 e incrementándose hasta los 38 metros poco antes de llegar al sitio del pozo 2, a partir de donde aumenta a unos 60 metros y llega a un máximo de 86 metros en las cercanías del sitio en coordenadas 1013441 N / 528209 E, en donde el tubo de flujo muestra un cambio de dirección a E – W, debido a las direcciones de flujo en esta área.

Cabe mencionar, que el tubo de flujo se extiende casi hasta el contorno del área de modelación, pero no llega a interceptarlo porque justo antes se ubica una frontera definida por el cauce antiguo del río Uvita y el programa modela las partículas hasta encontrarse con esta frontera. Sobre la relación entre este cauce y el sector del acuífero que alimentaría al tubo de flujo en este sitio en específico, las curvas equipotenciales muestran un posible comportamiento influente, sin embargo, para este cauce no se cuenta con información de afloros que respalden este comportamiento.

Con respecto al uso del suelo a lo largo de esta zona de captura, predominan los pastos y árboles dispersos, pero también se logra identificar un pequeño sector de cultivo y la presencia de varias edificaciones o viviendas que eventualmente pueden representar un posible foco de contaminación al acuífero y por ello al agua subterránea que abastece los pozos.

En ese sentido, Rodríguez (1994) describe la metodología a aplicar para evaluar los posibles tiempos de tránsito entre los drenajes de tanques sépticos y las fuentes de agua subterránea, como una herramienta complementaria para delimitar técnicamente la zona de protección de pozos y manantiales con respecto a contaminantes bacteriológicos generados de este tipo de efluentes. Señala, además que el tiempo de residencia máximo de las bacterias en el subsuelo y para un medio poroso es de 70 días.

A partir de lo anterior, para los pozos 1 y 2 de la ASADA se ha delimitado la zona de protección para contaminantes de tipo bacteriológico generados por la posible presencia de tanques sépticos en sus tubos de flujo. Para lo anterior, en la herramienta de seguimiento de partículas de la modelación numérica, se ha limitado el tiempo de tránsito de las partículas a un máximo de 70 días coincidente con el tiempo máximo de residencia de las bacterias. Así, la zona de protección estará definida por el punto de no retorno mencionado

(2 m.), el ancho variable del tubo de flujo y la distancia aguas arriba hasta la cual se cumple el tiempo de 70 días (Tabla 36).

Cabe mencionar, que esta zona de protección resulta conservadora en cuanto a la longitud del tubo de flujo hacia aguas arriba, ya que no se están considerando los posibles tiempos de tránsito en la zona no saturada, lo cual podría reducir el tiempo de 70 días en la zona saturada. La figura 75 muestra la delimitación sobre el terreno de las zonas de protección descritas anteriormente, las cuales, podrían ser utilizadas por las instituciones competentes como una herramienta para regular el uso del suelo en función de la protección del recurso hídrico.

Tabla 36

Dimensiones de la zona de protección combinada que se delimita para ambos pozos

Pozos	Punto de no retorno X_o (m)	Ancho del tubo de flujo +/- Y_{max} (m)	Longitud aguas arriba (m)
ASADA 1 y 2	2	Variable, desde los 12 hasta 83 metros	450

Fuente: Elaboración propia con base en la modelación numérica

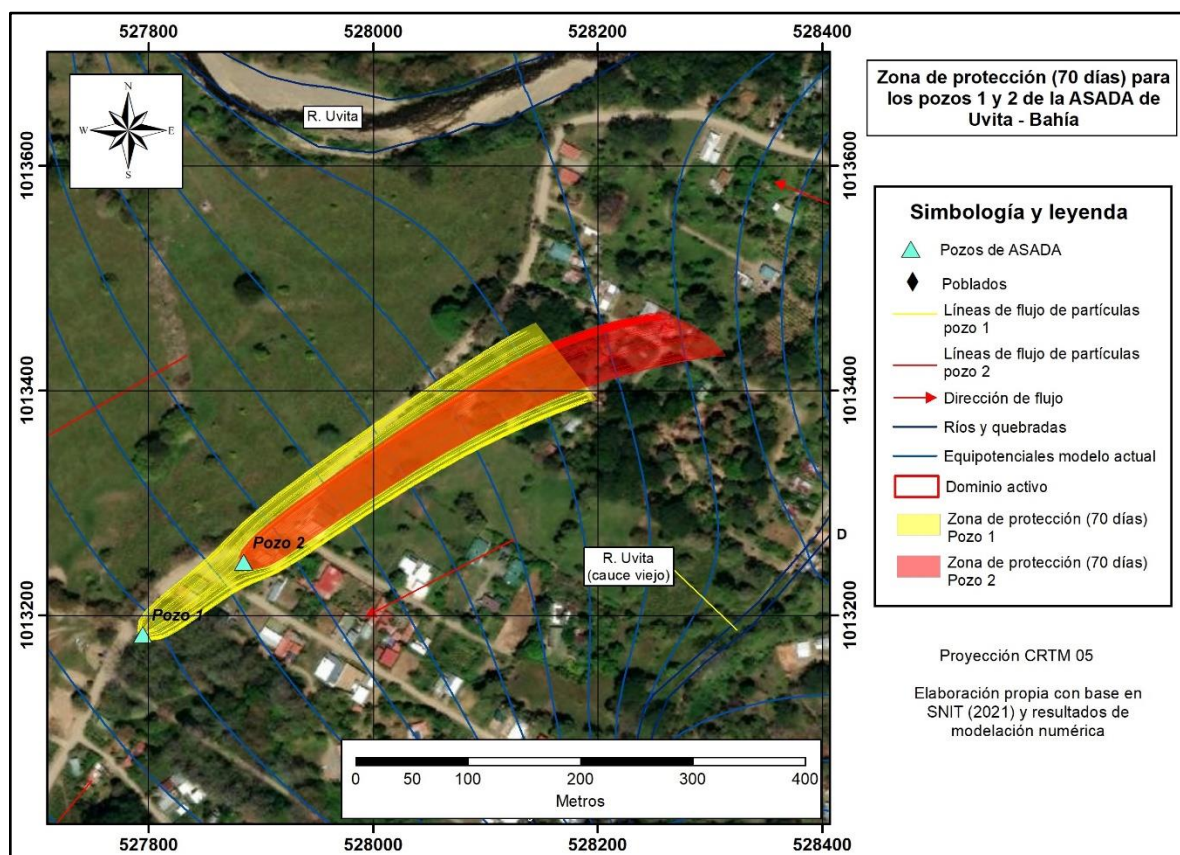


Figura 75. Zona de protección para un tiempo de tránsito de 70 días delimitada para los pozos 1 y 2 de la ASADA de Uvita y Bahía. Elaboración propia con base en la modelación numérica.

Es importante mencionar, que las zonas de protección mostradas en la figura 75 se relacionan exclusivamente con contaminantes de tipo bacteriológico, por lo que, en caso de otro tipo de contaminante la dimensión en la longitud de esta zona de protección deberá reevaluarse en función de las propiedades de ese contaminante.

6. DISCUSIÓN

El modelo numérico generado para el escenario actual ha demostrado tener un buen ajuste con respecto a los parámetros y cargas hidráulicas registradas en el campo a través de los pozos y piezómetros de monitoreo y exploración. Por otra parte, los modelos numéricos para los escenarios de corto y mediano plazo 2030 y 2050, basados en una de las proyecciones de cambio climático futuro más reciente desarrollada para la región, han evidenciado los efectos sobre la dinámica del flujo de agua subterránea que podrían generarse a partir de cambios en las condiciones climáticas de temperatura y precipitación.

Si bien es cierto, se considera que los cambios proyectados en cuanto al abatimiento futuro de los niveles del agua subterránea son de magnitud leve, no deben despreciarse sino considerarse como indicadores para el control del comportamiento futuro del acuífero y definición de áreas futuras para el desarrollo de investigaciones multidisciplinarias más detalladas. Por otra parte, este tipo de resultados también nos brinda una visión más amplia sobre el enfoque de los estudios a futuro, pudiendo resultar más conveniente, el concentrar los esfuerzos para el análisis de aspectos relacionados con la calidad de las aguas subterráneas y su protección ante posibles fuentes de contaminación.

Adicionalmente, a partir de la base construida para el escenario actual, se abren las puertas para el desarrollo de nuevas modelaciones que involucren escenarios diversos en aspectos relacionados con el cambio de uso del suelo, incrementos en el nivel del mar, aumento de la cobertura del terreno e incluso mayores caudales de extracción en los pozos. Estos aspectos no se desarrollaron como parte de este trabajo ya que no fueron contemplados dentro de los objetivos iniciales de la investigación, sin embargo, constituyen elementos propios del entorno socio-económico y ambiental de la zona de estudio, que podrían generar cambios significativos en el modelo actual o al menos en ciertos sectores del área, y por lo tanto, su consideración resulta de sumo interés para el desarrollo de investigaciones futuras sobre la dinámica del flujo del agua subterránea.

Relacionado con el aspecto anterior, precisamente otros estudios de modelación numérica en zonas costeras tales como el desarrollado por Alfaro (2021) en la zona de Jacó, o Murillo (2017) en la zona de Palmar-Cortés, han incorporado dentro de sus análisis la variación en aspectos tales como el nivel del mar o incrementos en los caudales de extracción de pozos, obteniendo resultados interesantes en cuanto al decrecimiento en los niveles de la tabla de

agua de los acuíferos o inclusive la posible generación de inundaciones en los sectores más cercanos a la costa. A partir del modelo numérico generado en esta investigación, escenarios similares pueden ser evaluados para la zona costera de Uvita.

Como principales limitaciones para el desarrollo de este trabajo se puede mencionar la falta de una estación meteorológica ubicada dentro de la misma cuenca que aporte datos más representativos de la zona. Tampoco se contó con información topográfica de detalle para toda la zona, debiendo utilizar en su mayoría las curvas de nivel 1:25 000 que en sectores muy planos como los depósitos aluviales omiten detalles importantes.

Por otra parte, hacia los sectores altos de la cuenca se cuenta con pocos caminos de acceso, de tal manera que el alcance del cartografiado geológico y distribución de muestras de suelos y pruebas de infiltración se ven limitados.

En la base de datos del SENARA no se registran pozos perforados con información de pruebas de bombeo en la zona aluvial, por lo que el grado de caracterización de estos depósitos se limita. Adicionalmente, hacia la zona del poblado de Uvita y en sectores de la margen derecha e izquierda del río Uvita cercanos a su desembocadura, se careció de pozos o piezómetros a partir de los cuales se pudieran monitorear las cargas y generar con mayor detalle las equipotenciales para esas zonas, así como, utilizarlas en la calibración del modelo numérico.

Parámetros tales como el rendimiento específico o la conductancia en los lechos de los ríos, son necesarios para el análisis de aspectos tales como la recarga acuífera o la determinación de intercambio de volúmenes de agua durante la modelación numérica, sin embargo, al no contar con este tipo de parámetros determinados específicamente para el área de estudio, han tenido que ser asignados a partir de referencias bibliográficas y por correlaciones de campo. Precisamente, como parte de esos nuevos enfoques de investigación que se pueden realizar en la zona, análisis de campo para determinar este tipo de parámetros pueden ser llevadas a cabo con miras a disminuir las incertidumbres en el modelo generado.

Precisamente, entre aspectos las limitaciones mencionadas anteriormente implican también la existencia de incertidumbres dentro del procesos de investigación realizado. Sin embargo, se considera que las incertidumbres existentes no han generado un efecto negativo importante dentro de la modelación numérica desarrollada, ya que, el análisis

comparativo entre las cargas hidráulicas calculadas por el programa de modelación y las registradas en el campo muestran correlaciones muy buenas y porcentajes de error bajos inferiores al 5%.

En todo caso, a partir de este trabajo deben iniciar, como parte del protocolo para la adecuada aplicación del modelo numérico en el monitoreo del acuífero aluvial del río Uvita, las etapas de auditoría y posible rediseño del modelo. En este proceso, con la obtención de nueva información de campo mediante el monitoreo de niveles, aforos diferenciales en cauces, datos climáticos específicos para la cuenca, pruebas de bombeo, entre otros, se disminuyen las incertidumbres y se podrá valorar la fiabilidad de las proyecciones realizadas y calibrar los datos, con miras a una validación final del modelo desarrollado. Al respecto, los escenarios analizados en esta investigación se plantearon precisamente a corto y mediano plazo, de tal forma que el proceso de investigación pueda ser continuo y se pueda dar un mejor seguimiento a las proyecciones obtenidas.

7. CONCLUSIONES

Modelo geológico

- Localmente, el basamento en la cuenca del río Uvita se encuentra constituido por rocas turbidíticas asociadas con la Fm. Térraba, las cuales afloran principalmente hacia los sectores montañosos de la Fila Costeña. Hacia las zonas planas cercanas a la costa se ubican depósitos recientes de tipo aluvial con espesores de hasta 38 metros, que han sido acarreados y depositados por el río Uvita y otros cauces menores, y que sobreyacen a los materiales asociados con la Fm. Térraba. Es común, principalmente en los sectores montañosos con pendientes fuertes, la presencia de depósitos coluviales recientes de poca extensión. Finalmente, en forma muy localizada se han cartografiado rocas ígneas de composición gabroica asociadas con la Fm. Puerto Nuevo que intruyen a las rocas sedimentarias de la Fm. Térraba.
- La dirección de buzamiento predominante en las rocas de la Fm. Térraba es hacia el noreste, coincidiendo con la tectónica compresiva regional generada a partir de la colisión de la cordillera submarina del Coco y la existencia de la Falla Longitudinal de Costa Rica que dio origen a la Fila Costeña. sin embargo, en ciertos sectores esta dirección de buzamiento puede variar fuertemente debido a la influencia de fallas o existencia de plegamientos en las rocas.
- A partir del análisis tectónico realizado, se considera que las fallas de tipo normal identificadas en el campo se asocian con probables zonas de distensión dentro del modelo estructural de la zona. Esta tectónica distensiva muy localizada, ha provocado a través de fallas de tipo normal con rumbo SW - NE, la subsidencia del basamento de la formación Térraba en la zona de los poblados de Bahía y Uvita, y con ello la formación de una especie de concavidad que se ha ido relleno paulatinamente con la depositación de los materiales aluviales, propiciado de esta forma una mayor acumulación y el engrosamiento de los depósitos aluviales hacia esta zona.

Modelo hidrogeológico

- La información disponible evidencia, que tanto los sedimentos aluviales recientes, como las rocas sedimentarias de la Fm. Térraba y las rocas ígneas de la Fm. Puerto Nuevo, tienen la capacidad de almacenar y transmitir agua, generando de esta forma acuíferos, aunque de muy diferente potencial y extensión en función de su génesis y propiedades hidráulicas.
- En el sistema acuífero que se desarrolla en la cuenca del río Uvita, parte del agua de precipitación se infiltra en el terreno y se incorpora al flujo subterráneo como recarga. La tendencia general del flujo subterráneo, tanto en las rocas sedimentarias como en los depósitos aluviales es hacia el SW, en donde va a descargar directamente al mar o previamente en algunos cursos superficiales. Muy probablemente exista conexión hidráulica entre los acuíferos desarrollados, sin embargo, la información hidrogeológica disponible no ha permitido comprobar con total certeza esta condición.
- Las principales características de los acuíferos de esta investigación son:

Acuífero en rocas sedimentarias fracturadas

Desarrollada en lutitas, areniscas y conglomerados brechosos finos asociados con la Fm. Térraba. Predomina la porosidad secundaria por fracturamiento y es una de las más importantes desde el punto de vista de abastecimiento, tanto por la cantidad de pozos reportados como por los manantiales captados para abastecimiento público. Los caudales de extracción generalmente se ubican bajo los 2 l/s, y las transmisividades entre los 3 y 58 m²/d. Se describe principalmente como un acuífero libre, aunque en ciertos sectores puede encontrarse confinado. La recarga es directa hacia los sectores libres y en el caso de sectores confinados desde zonas localizadas topográficamente a mayor elevación, en las cercanías de las divisorias de aguas de la Fila Costeña. En donde se ha logrado la construcción de equipotenciales su dirección de flujo predominante es hacia el SW con gradientes entre 0.07 a 0.37.

Los registros de conductividad eléctrica se ubicaron por debajo de los 250 μ S/cm, cumpliendo con el valor recomendado (400 μ S/cm) según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, decreto 32327-S.

Acuífero en rocas ígneas fracturadas

Desarrollado en rocas ígneas intrusivas de la Fm. Puerto Nuevo únicamente cuando estas se encuentran fracturadas. Por su naturaleza, se considera que puede recibir recarga directa cuando aflora en el terreno o recarga lateral a partir del acuífero en rocas sedimentarias fracturadas. Su información es muy escasa y únicamente se cuenta con el reporte de un caudal de extracción de 2.5 l/s y transmisividad de 10 m²/d. Por la poca información disponible, no fue posible construir equipotenciales exclusivas para esta unidad.

Acuífero granular en sedimentos aluviales recientes

Este es un acuífero libre de naturaleza porosa desarrollado en arenas, limos y gravas asociadas con los depósitos aluviales recientes. Su recarga es directa y muy probablemente recibe aportes laterales a partir del acuífero de rocas sedimentarias fracturadas. Para la época de estiaje el río Uvita representa también una importante fuente de recarga debido a la existencia de sectores influentes en el cauce. El espesor de esta unidad puede alcanzar hasta los 35 metros y en general los niveles del agua subterránea son bastante someros, a menos de 5 metros de profundidad. La dirección de flujo predominante es hacia el SW, con gradientes hidráulicos que varían entre 0.004 y hasta 0.02. La principal descarga natural se da en forma directa al mar, aunque también puede existir el aporte hacia algunos cursos superficiales debido al comportamiento de tipo efluente. Su conductividad hidráulica es variable, con un máximo de 237 m/d y un promedio de 119.9 m/d obtenida en los piezómetros exploratorios. En los pozos de abastecimiento público se registró un caudal máximo de extracción de 33.4 l/s.

Este acuífero prácticamente no es explotado por la población para abastecimiento privado debido al buen servicio de la ASADA, sin embargo, en el se localizan dos pozos de la ASADA que son utilizados principalmente como respaldo en las épocas de verano.

En general la conductividad eléctrica del agua subterránea se ubica bajo los 400 µS/cm, cumpliendo de esta forma con el valor recomendado según el Reglamento para la Calidad de Agua Potable, decreto No. 32327-S. Únicamente se tiene el registro de 3 pozos con valores superiores a los 400 µS/cm, pero se considera que responden a condiciones muy específicas, como es el caso de pozos secos que apenas estaban recuperando nivel o la cercanía de una zona de manglar.

Recarga potencial y disponibilidad de recurso hídrico

- En la cuenca del río Uvita predomina la cobertura boscosa como uso del suelo, seguida por los terrenos con pastizal, luego el uso mixto (pastizales con árboles y pocas viviendas) y en menor grado la cobertura urbana, de cultivos y terrenos descubiertos.
- Mediante la metodología de balance hídrico de suelos desarrollada por Schosinsky (2006), se determinó una recarga potencial anual en la cuenca del río Uvita de 2107.81 l/s, que corresponde al 25.05% de la precipitación anual (8411.82 l/s) registrada para la estación Hacienda Barú más cercana al sitio de estudio.
- El 83.79% (1766.29 l/s) de la recarga potencial se genera en rocas asociadas con el acuífero de rocas sedimentarias fracturadas, mientras que, en el acuífero granular de sedimentos aluviales recientes se genera el 16.21% (341.52 l/s) restante. Se considera, que sobre esta diferencia ejerce un peso importante el predominio que a nivel de la cuenca tienen las rocas de la Fm. Térraba con respecto a los depósitos aluviales.
- Para el acuífero en rocas sedimentarias fracturadas predomina la categoría de recarga alta, mientras que, en el acuífero granular de sedimentos aluviales recientes la recarga se clasifica como muy alta.
- Mediante el método de fluctuación de niveles se determinó una recarga potencial para el acuífero en rocas sedimentarias fracturadas de 1976.83 l/s y de 83.07 l/s para el acuífero granular en sedimentos aluviales recientes. El valor obtenido para el acuífero en rocas sedimentarias fracturadas es muy consistente con la metodología Schosinsky (2006), pero no así con los sedimentos aluviales recientes en que difiere más de un 75%. Se considera, que aspectos tales como no contar con valores de rendimiento específico reales para la zona, o la distribución inadecuada de los pozos de la red de monitoreo pueden estar afectando negativamente este análisis, de tal manera, que se estima más acertado el valor de recarga potencial obtenido mediante la metodología Schosinsky (2006) para los sedimentos aluviales.
- Según la información existente en las bases de datos institucionales y la recopilada en campo, se estima en forma conservadora una extracción de agua subterránea en la cuenca de 101.99 l/s.
- A partir de la recarga potencial de 2107.81 l/s, el caudal extraído de 101.99 l/s, y un caudal máximo utilizable del 40% según el enfoque de rendimiento sostenible, se estima que en forma general la disponibilidad de caudal en la cuenca es de 802.32 l/s.

Modelación numérica y escenarios de cambio climático

- El modelo numérico para el acuífero en sedimentos aluviales ha sido corrido con éxito en estado estacionario y considerando las condiciones climáticas del escenario actual. Como corresponde a un modelo en estado estacionario, el cambio en el almacenamiento ha sido igual a cero y las entradas totales al sistema (+2636 l/s) se encuentran en equilibrio con las salidas (-2636 l/s).
- Bajo las condiciones de frontera simuladas, la recarga anual al acuífero ha sido considerada como directa a los depósitos aluviales con un valor de 366.23 l/s.
- A partir de las equipotenciales generadas por el programa de modelación, se determinó que la dirección de flujo predominante en el dominio es hacia el SW, en dirección a descargar al mar, coincidiendo en forma general con las equipotenciales generadas en el apartado de modelo hidrogeológico. El gradiente hidráulico es variable, entre 0.002 y 0.078, con los valores más bajos hacia las zonas de Colonia y Bahía y los más altos en zonas topográficamente más elevadas y cercanas a los bordes del modelo, en donde el espesor de acuífero disminuye y las pendientes del terreno y basamento son mayores.
- Las equipotenciales ponen en evidencia la fuerte interacción que existe entre los cauces y el acuífero aluvial. Para el caso de cauces menores como la Q. Colonia o el cauce antiguo del río Uvita, se evidencia un comportamiento efluente (salida de agua del acuífero), que es precisamente el responsable de que estos cursos y otros cuerpos de agua en la zona mantengan cierto caudal durante la época de estiaje. Por otra parte, a lo largo del cauce actual del río Uvita se evidencia la variabilidad entre comportamientos de tipo efluente e influente, lo que explica los caudales altos que en el balance de masas se reportan como entradas al acuífero desde los cauces (+2257.5 l/s) y también como salidas (-2147.9 l/s). El balance general entre estas entradas y salidas en los cauces resulta en una ganancia neta al acuífero de +109.56 l/s, lo que contribuye a mantener el equilibrio de las cargas en el sistema.
- La fuerte interacción cauce – acuífero, demostrada en el modelo numérico, es un aspecto importante a considerar en la planificación del uso del suelo y el control de las actividades humanas con un enfoque de protección a los recursos hídricos, tanto subterráneos como superficiales, pues se evidencia que la afectación de uno puede repercutir en el otro y viceversa.

- La descarga al mar representa una de las principales salidas del sistema con un valor de 443.23 l/s y su función es muy importante ya que mantiene el equilibrio con respecto a la ubicación de la cuña de intrusión salina.
- La extracción total en pozos para el acuífero aluvial (44.84 l/s) representa apenas el 1.7% de las salidas en todo el sistema y menos del 13% de la recarga anual al acuífero. Considerando además el caudal que está saliendo del sistema como descarga al mar (443.25 l/s), se estima que en este momento es factible la extracción de un caudal mayor a través de otras perforaciones en el acuífero analizado. Sin embargo, su posible autorización debe realizarse de conformidad con la legislación vigente y en estricto apego a los estudios técnicos que garanticen su aprovechamiento sostenible y la no generación de procesos de intrusión salina, principalmente hacia los sectores más cercanos a la costa.
- El análisis de correlación entre las cargas medidas en los pozos de monitoreo y las calculadas por el programa, muestra un coeficiente de correlación de 0.98 y un valor de RMS normalizado es de 4.96%, lo cual se considera un buen ajuste para el modelo tomando en consideración la heterogeneidad del medio, la incertidumbre de los datos y la falta de más pozos de monitoreo que ayuden en la calibración de sectores intermedios del dominio.

Escenarios de cambio climático

- Los escenarios modelados se ubican a corto y mediano plazo y corresponden con los años 2030 y 2050 respectivamente. Según las variaciones en las condiciones climáticas establecidas para estos años, en la cuenca del río Uvita se espera una disminución en la recarga potencial anual de 1.16% para el año 2030 y de 2.69% para el año 2050.
- Aplicando las disminuciones en las recargas potenciales descritas para ambos años, se tiene que las equipotenciales del acuífero se mantienen prácticamente sin variación en ambos escenarios modelados, así como la dirección de flujo de las aguas subterráneas y el rango del gradiente hidráulico.
- Las variaciones más notables en cuanto a los efectos sobre el acuífero se observan en la disminución de las cargas hidráulicas y, aun así, se considera que el efecto sobre estas es leve. Para el 2030 los abatimientos máximos proyectados son de 15 mm hacia

el sector de Colonia y en general se ubican por debajo de los 3 mm para la mayor parte del área de estudio. Para el año 2050 los abatimientos se incrementan y en el sector de Colonia se alcanzan hasta los 25 mm, además, las zonas con abatimientos entre los 3 a 10 mm se hacen más extensas en la zona de estudio llegando incluso a impactar un área importante del Parque Nacional Marino Ballena.

- Se considera, que la afectación tan baja en la recarga potencial (entre 1.16 a 2.69% como máximo), en combinación con la presencia de un acuífero libre con buenos valores de conductividad hidráulica, poca extracción de recurso hídrico y el no incorporar dentro de los escenarios otros aspectos como el incremento en las coberturas del terreno o de la explotación en pozos, son las causas por las cuales los efectos sobre la dinámica del flujo subterráneo presentan una magnitud leve debido a variaciones en las condiciones climáticas.
- Ante los resultados obtenidos en los escenarios de modelación, no se prevé que el aspecto de la cantidad de recurso hídrico en el acuífero aluvial sea el tema de mayor preocupación a corto o mediano plazo debido al cambio climático, de tal manera, que los ejes de investigación y protección en la zona deben diversificarse hacia otros aspectos como el monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas y superficiales, el manejo de vertidos, práctica agrícolas amigables o la planificación en el uso del suelo y su cobertura, entre otras.
- Las zonas en que se registran los mayores abatimientos para el año 2050 se consideran como zonas de especial interés para el desarrollo de investigaciones más detalladas, y en el caso de aquellas cercanas al Parque Nacional Marino Ballena, de naturaleza multidisciplinaria con miras a evaluar los posibles efectos que tengan esos abatimientos de nivel, sobre la dinámica de los organismos y ecosistemas que ahí se desarrollan.
- En cuanto al balance de masas, para ambos escenarios se ha registrado una disminución en los caudales totales de entradas y salidas, así como en la descarga al mar, lo cual evidencia la estrecha relación y equilibrio que existe con la recarga potencial al acuífero. Estas disminuciones en los caudales son levemente mayores en el escenario 2050, como es de esperar.
- Finalmente, en los cauces se ha visto un incremento sutil en las entradas al acuífero (en 2050 pasa de 2257.5 l/s a 2261.36 l/s) y una disminución en las salidas (pasa en 2050 de 2147.9 l/s a 2143.8 l/s). Se considera que, este comportamiento puede estar

relacionado con cambios sutiles entre la tabla de agua del acuífero y el lecho del río, que a nivel del modelo implica una variación entre el comportamiento efluente e influente de ciertos tramos (una caída del nivel implicaría el incremento de tramos influentes y disminución de efluentes en el cauce, lo que explicaría el aumento de entradas y disminución de salidas al acuífero).

Zonas de protección de los pozos de abastecimiento público

- Mediante el análisis de seguimiento de partículas en la modelación numérica se logró delimitar el tubo de flujo que alimenta los dos pozos de abastecimiento público de la ASADA de Bahía y Uvita. Debido a la ubicación relativa entre ambos pozos, estos tubos de flujo se traslapan y generan una única zona con orientación preferencial al SW que se ensancha a partir de la ubicación del pozo dos debido al efecto combinado del bombeo de ambos pozos.
- A partir del tubo de flujo definido, se delimitó para los pozos la zona de protección para contaminantes de tipo bacteriológico (70 días de tiempo de tránsito por tratarse de un medio poroso). Las dimensiones de esta zona de protección son: a) Punto de no retorno (X_o) = 2 m., b) Ancho de tubo de flujo (+/- Y_{max}) = inicia en 12 m y se ensancha hasta los 83 m y c) Longitud aguas arriba = 450 metros.
- En la zona de captura delimitada para estos pozos predomina el uso de suelo como pastos y árboles dispersos, pero también se ha identificado un pequeño sector de cultivo y la presencia de algunas edificaciones o viviendas que podrían representar un foco de contaminación al acuífero y con ello al agua que abastece los pozos.

8. RECOMENDACIONES

- En el caso de SENARA, mantener en la zona el monitoreo de niveles de pozos y la ejecución de aforos diferenciales en los cauces, como parte del proceso de auditoría y valoración de la fiabilidad de las proyecciones, enfocado hacia la validación final del modelo numérico desarrollado.
- Desarrollo de investigaciones hidrogeológicas por parte de la Universidad de Costa Rica, el SENARA y la Dirección de Agua del MINAE, enfocadas en el muestro de aguas meteóricas, subterráneas y superficies, para su caracterización hidrogeoquímica, monitoreo de calidad y control de posibles procesos de intrusión salina en los sectores más cercanos a la costa. Dentro de este componente se recomienda la instalación en la cuenca de al menos una estación meteorológica ubicada en la zona de planos aluviales.
- Desarrollo de investigaciones hidrogeológicas más detalladas para caracterización de la zona no saturada en cuanto a espesor, estratigrafía, conductividad hidráulica, porosidad, entre otros. Este trabajo puede ser desarrollado en forma conjunta entre el SENARA y la ASADA de Bahía y Uvita, enfocándose en la zona del tubo de flujo de los pozos de abastecimiento público, como una forma para mejorar su delimitación y establecer con mayor certeza los tiempos de tránsito de posibles contaminantes en la zona saturada y no saturada.
- Se recomienda a la Municipalidad del cantón de Osa, que establezca regulaciones para el uso futuro del suelo en los sectores localizados dentro de las zonas de protección delimitadas para los pozos de abastecimiento público de la ASADA de Bahía y Uvita. Lo anterior, a partir de las recomendaciones técnicas establecidas por instituciones como el SENARA y la Dirección de Agua, así como la legislación vigente relacionada.
- Como parte de investigaciones hidrogeológicas más detalladas llevadas a cabo por el SENARA, la Universidad de Costa Rica o la Dirección de Agua del MINAE, se considera necesaria la perforación de al menos cuatro piezómetros exploratorios localizados aproximadamente en las coordenadas: 1) 1012950 N / 527270 E, 2) 1014050 N / 527750 E, 3) 1013995 N / 528640 E y 4) 1013600 N / 528370 E, que aporten información sobre

los parámetros hidráulicos del acuífero en esos sectores y cuya información de niveles pueda ser utilizada para detallar las curvas equipotenciales y calibrar el modelo numérico, en especial para aquellas cargas entre los 10 y 20 msnm para las cuales no se tiene pozos de correlación.

- A lo largo de la zona de costa se recomienda al SENARA la ejecución de estudios geofísicos más detallados como tomografías eléctricas, para tratar de delimitar la ubicación de la interfase agua dulce – agua salada y de esta forma establecer la línea base de control para su monitoreo y desarrollo de investigaciones más detalladas en cuanto a posible intrusión marina.
- Con el modelo numérico de flujo desarrollado y una vez que se cuente con una delimitación de la interfase agua dulce – agua salada mediante estudios geofísicos detallados, se recomienda al SENARA el desarrollo de un modelo numérico acoplado en el que se evalúe, a partir de las herramientas de transportes de contaminantes, los posibles efectos que se puedan generar en la ubicación de la interfase (intrusión salina) según la existencia de distintos escenarios en la zona (campos de pozos cercanos a la costa, incrementos en el nivel del mar, disminución drástica de recarga, entre otros posibles).
- El SENARA, la Dirección de Agua del MINAE y la SETENA, deben incorporar dentro su accionar la utilización del modelo numérico desarrollado, al momento de valorar los posibles efectos que sobre el acuífero se puedan generar a partir de la perforación de nuevos pozos o el desarrollo de cierto tipo de proyectos.

9. REFERENCIAS

- Alfaro, A. (2021). *Modelo numérico de los acuíferos Herradura y Jacó, cantón de Garabito, provincia de Puntarenas, Costa Rica* [Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica]. Kérvá Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.
- Almazroui, M., Islam, M. N., Saeed, F., Saeed, S., Ismail, M., Ehsan, M. A., Diallo, I., O'Brien, E., Ashfaq, M., Martínez-Castro, D., Cavazos, T., Cerezo-Mota, R., Tippett, M. K., Gutowski, W. J., Alfaro, E., Hidalgo, H. G., Vichot-Llano, A., Campbell, J. D., Kamil, S., Rashid, I. U., Sylla, M. B., Stephenson, T., & Barlow, M. (2021). Projected Changes in Temperature and Precipitation Over the United States, Central America and the Caribbean in CMIP6 GCMs. *Earth Syst Environ*, 5, 1-24. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00199-5>
- Alpizar, R. (2014). *Modelo conceptual y aplicación de modelo numérico usando visual modflow del acuífero aluvial del río Tempisque en el sector de Trancas, provincia de Guanacaste, Costa Rica* [Tesis de maestría no publicada]. Universidad de Costa Rica.
- Alvarado, G. (2005). *La Falla Longitudinal de Costa Rica: Un insumo neotectónico hacia la Amenaza Sísmica del P.H. Boruca-Veraguas* (Informe). Instituto Costarricense de Electricidad. <https://rsn.ucr.ac.cr/component/content/article/99-actividad-sismica/fallas-activas-ii/2594-falla-longitudinal>
- Alvarado, G. y Gans, P. (2012). Síntesis geocronológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central. *Revista geológica de América Central*, 1(46), 7-122.
- Amanambu, A. C., Obarein O. A., Mossa, J., Li L., Ayeni S. S., Balogun, O., Oyebamiji, A. & Ochege, F. (2020). Groundwater system and climate change: Present status and future considerations. *Journal of Hydrology*, 589, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125163>.
- Anderson, M. P. & Woessner, W. W. (2002): *Applied groundwater modeling: Simulation of flow and advective transport*. Academic Press.
- Berrangé, J. P. & Thorpe, R. S. (1988). The geology, geochemistry and emplacement of the Cretaceous-Tertiary ophiolitic Nicoya Complex of the Osa Península, southern Costa

- Rica. *Tectonophysics*, (147), 193-220. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(88\)90187-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(88)90187-4)
- Berrangé, J. P., Bradley, D. R. & Snelling, N. J. (1989). K/Ar age dating of the ophiolite Nicoya complex of the Osa Península, Southern Costa Rica. *Journal of south american earth sciences*, 2(1), 49-59. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(89\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0895-9811(89)90026-6)
- Betancur, T. y Palacio, C. (25 de setiembre, 2009). La modelación numérica como herramienta para la exploración hidrogeológica y construcción de modelos conceptuales (Caso de aplicación: Bajo Cauca Antioqueño). *Dyna*, 76(160), 39-49. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0012-73532009000400004&lng=es&nrm=is&tIng=es
- Buchs, D. M., Baumgartner, P. O., Baumgartner-Mora, C., Bandini, A. N., Jackett, S. J., Diserens, M. O. & Stucki, J. (2009). Late Cretaceous to Miocene seamount accretion and mélangé formation in the Osa and Burica Peninsulas (Southern Costa Rica): episodic growth of a convergent margin. En: K. James, M. Lorente, & J. Pindell (Eds.), *The Origin and Evolution of the Caribbean Plate* (pp. 411-456). The Geological Society.
- Buchs, D. M., Arculus, R., Baumgartner, P. O., Baumgartner-Mora, C., Ulianov, A. (2010). Late Cretaceous arc development on the SW margin of the Caribbean Plate: Insights from the Golfito, Costa Rica, and Azuero, Panama, complexes. *Geochemistry, Geophysics, Geosystemns*, 11(7). <https://doi.org/10.1029/2009GC002901>
- Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas. (2016). *Estudio hidrogeológico del acuífero aluvial de Bahía Ballena: Comprendido en la cuenca del río Uvita y río Higerón hasta la quebrada Tibia, en Osa, Puntarenas*. http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2019/01/DIRECCION_AGUA_MAYO_2016_ESTUDIO_HIDROGEOLOGICO_BAHIA_BALLENA.pdf
- Collins, J. (1999). *A groundwater resource evaluation of a volcanic aquifer system near the city of Liberia, Costa Rica* [Tesis de maestría no publicada]. Universidad de Waterloo.

- Collins, L. S., Coates, A. G., Jackson, J. B. C. & Obando, J. (1995). En P. Mann. (Ed.), *Geologic and tectonic development of the Caribbean plate boundary in southern Central America* (pp. 263-290). Geological Society of America.
- Custodio, E. (1983). Teoría elemental del flujo de agua en los medios porosos. En E. Custodio y M. R. Llamas. (Eds.), *Hidrología subterránea* (pp. 43-62). Ediciones Omega S.A..
- Chaves, M. (2016). *Estimación de los efectos en el caudal y el nivel del agua subterránea por la excavación de los túneles de desvío Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquires, Limón, Costa Rica* [Tesis de maestría no publicada]. Universidad de Costa Rica.
- Dengo, G. (1953). *A preliminary survey of geology of Puntarenas Province, Costa Rica*. Ministerio de Agricultura e Industrias.
- Dengo, G. (1962a). *Tectonic-igneous sequence in Costa Rica*. Geological Society of America.
- Dengo, G. (1962b). *Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica*. Instituto Geográfico Nacional.
- Denyer, P. y Alvarado, G. (2007). *Mapa geológico de Costa Rica*. [Mapa]. San José: Editorial de la Librería Francesa S.A..
- Denyer, P. y Cárdenas, G. (2000). Costas Marinas. En P. Denyer y S. Kussmaul. (Eds.), *Geología de Costa Rica* (pp. 185-218). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Denyer, P. & Gazel, E. (2009). The Costa Rican Jurassic to Miocene oceanic complexes: Origin, tectonics and relations. *Journal of south american earth sciences*, 28(4), 429-442. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2009.04.010>
- Denyer, P., Montero, W. y Alvarado, G. (2003). *Atlas tectónico de Costa Rica*. Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Denyer, P., Baumgartner, P. O. & Gazel, E. (2006). Caracterización and tectonic implications of Mesozoic-Cenozoic oceanic assemblages of Costa Rica and Western Panama, *Geologica Acta*, 4(1-2), 219-235. https://www.researchgate.net/publication/28129597_Characterization_and_tectonic

_implications_of_Mesozoic-

Cenozoic_oceanic_assemblages_of_Costa_Rica_and_Western_Panama

- Deboer, J. Z., Drummond, M. S., Bordelon, M. J., Defant, M. J., Bellon, H. & Maury, R. C. (1995). Cenozoic magmatic phases of the Costa Rica island arc (cordillera de Talamanca). En P. Mann. (Ed.), *Geologic and tectonic development of the Caribbean plate boundary in southern Central America* (pp. 35-56). Geological Society of America.
- Di Marco, G. (1994). *Les terrains accrétés du sud du Costa Rica. Evolution Tectonostratigraphique de la marge occidentale de la plaque Caraïbe* [Tesis de Doctorado, Université de Lausanne].
https://serval.unil.ch/en/notice/serval:BIB_F8548CB22276
- Di Marco, G., Baumgartner, P. O. & Channell, J. E. (1995). Late Cretaceous-early Tertiary paleomagnetic data and revised tectonostratigraphy subdivision of Costa Rica and western Panama. En P. Mann. (Ed.), *Geologic and tectonic development of the Caribbean plate boundary in southern Central America* (pp. 1-27). Geological Society of America.
- Galofré, A. (1983). Conceptos geológicos básicos de aplicación en Hidrogeología. En E. Custodio y M. R. Llamas. (Eds.), *Hidrología subterránea* (pp. 43-62). Ediciones Omega S.A..
- García, P. y Romero, C. (2012). *Informe de inspección a nacientes de la ASADA Ballena y Uvita* (Expediente SENARA 111-2012).
<http://150.136.35.148/dsweb/View/Collection-4031>
- García, M. (2013). *Modelación hidrogeológica del acuífero Nimboyores, Guanacaste, Costa Rica, utilizando modflow premium 2010* [Tesis de maestría no publicada]. Universidad de Costa Rica.
- Gárfias, J. (2010). *Modelación Numérica de Aguas Subterráneas y Transporte de Contaminantes usando MODFLOW* [Material de curso]. Modelación numérica, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Granados, R. y Aguilar, T. (1983). Geopaleontología de la cuenca baja del río Savegre, Costa Rica. *Brenesia*, 1(21), 229-260.

- Grijalva, A. (2008). *Hidroestratigrafía del acuífero del valle del río Yaqui, Sonora*. [Tesis profesional, Universidad de Sonora]. <http://repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/handle/unison/1198/grijalvamontoyaadrianl.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hauff, F., Hoernle, K., Van Den Bogaard, P., Alvarado, G. & Garbe-Shönberg, D. (2000) Age and Geochemistry of Basaltic Complexes in Western Costa Rica: Contributions to the Geotectonic Evolution of Central America. *Geochemistry, Geophysics, Geosystemns*, 1(1). <https://doi.org/10.1029/1999GC000020>
- Henningsen, D. (1965). *La fila costeña del Pacífico en Costa Rica y su posición dentro del sistema montañoso centroamericano meridional*. Dirección General de Geología, Minas y Petróleo, Ministerio de Industria y Comercio.
- Hoernle, K., Van Den Boogard, P., Werner, R., Lissina, B., Hauff, F., Alvarado, G. & Garbe-Schönber, D. (2002): Missing history (16-71 Ma) of the Galápagos hotspot: Implications for the tectonic and biological evolution of the Americas. *Geology*, 30(9), 795-798. [http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613\(2002\)030%3C0795:MHMOTG%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613(2002)030%3C0795:MHMOTG%3E2.0.CO;2)
- Hughes, C., Cendón, D., Johansen, M. & Meredith, K. (2011). Climate Change and Groundwater. En J.A. Jones (Ed.), *Sustaining Grundwater Resources: A critical element in the global water* (pp. 97-117). doi: 10.1007/978-90-481-3426-7
- Instituto Colombiano de Geología y Minería. (2004). *Programa de exploración de aguas subterráneas*. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM. http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=18820&shelfbrowse_itemnumber=19841
- Instituto Geográfico Nacional. (2016). Costa Rica. *Curvas de nivel a escala 1:25000*. [Base de datos]. Recuperado de http://www.snitcr.go.cr/servicios_ogc_lista_capas?k=bm9kbzo6Mjc=&nombre=IGN%20Cartograf%C3%ADa%201:25mil
- Instituto Geográfico Nacional. (2020). Costa Rica. *Curvas de nivel a escala 1:25000*. [Base de datos]. Recuperado de

https://www.snitcr.go.cr/ico_servicios_ogc_info?k=bm9kbzo6Mjc=&nombre=IGN%20Cartograf%C3%ADa%201:25mil

Instituto Meteorológico Nacional. (2012). *Escenarios de cambio climático regionalizados para Costa Rica*. <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/escenarios-de-cambio-climatico-regionalizados-para-costa-rica/>

Instituto Tecnológico de Costa Rica. (2008). *Atlas digital de Costa Rica 2008* [DVD-ROM]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/3140>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Cambio climático 2013, bases físicas – Resumen para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability – Sixth Assessment Report*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

Kusssmaul, S. (2000). Estratigrafía de las rocas ígneas. En P. Denyer y S. Kusssmaul. (Eds.), *Geología de Costa Rica* (pp. 63-86). Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Linkimer, L. y Aguilar, T. (2000). Estratigrafía sedimentaria. En P. Denyer y S. Kusssmaul. (Eds.), *Geología de Costa Rica* (pp. 43-62). Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Llamas, M. E. y Galofré, A. (1983). Conceptos básicos y definiciones. En E. Custodio y R. Llamas. (Eds.), *Hidrología subterránea* (pp. 247-280). Ediciones Omega S.A..

Ministerio de Agricultura y Ganadería y Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas. (1995). *Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica*. I.M.R. S.A.

Monge, M. (2013). *Estudio Hidrogeológico y Balance Hídrico de los acuíferos de Playa Potero y Playa Brasilito, Santa Cruz, Guanacaste* [Tesis de licenciatura]. Universidad de Costa Rica.

Montero, W. (2000a). Geotectónica. En P. Denyer y S. Kusssmaul. (Eds.), *Geología de Costa Rica* (pp. 115-132). Editorial Tecnológica de Costa Rica.

- Montero, W. (2000b). Sismología y neotectónica. En P. Denyer y S. Kussmaul. (Eds.), *Geología de Costa Rica* (pp. 219-239). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Montero, W. (2001). Neotectónica de la región central de Costa Rica: Frontera oeste de la microplaca de Panamá. *Revista geológica de América Central*, 1(24), 29-56.
- Montero, W., Denyer, P., Barquero, R., Alvarado, G.E., Cowan, H., Machette, M., Haller, K. & Dart, R. (1998). *Map and database of Quaternary faults and folds in Costa Rica and its offshore regions*. [Base de datos]. Recuperado de <https://pubs.usgs.gov/of/1998/0481/report.pdf>
- Mora, S. (1979). *Estudio geológico de una parte de la región sureste del Valle del General, provincia de Puntarenas, Costa Rica* [Tesis de licenciatura no publicada]. Universidad de Costa Rica.
- Murillo, J. (2017). *Modelación numérica del acuífero costero Palmar-Cortés, Bajo diferentes escenarios hidrológicos* [Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica]. Repositorio del SIBDI - UCR.
- Organización de las Naciones Unidas. (1972). *Manual de instrucciones, estudios hidrológicos: proyecto hidrometeorológico centroamericano (Publicación 70)*. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=1895#.YGZuCOgzblU
- Orozco, E. (2014). *Modelo numérico del acuífero de la margen derecha del río Tempisque, desde Monte Galán hasta Filadelfia, Guanacaste, Costa Rica* [Tesis de maestría no publicada]. Universidad de Costa Rica.
- Ponce, V. M. (2007). *Rendimiento sostenible del agua subterránea*. <http://ponce.sdsu.edu/rendimiento.html>
- Ramsay, J. G. (1967). *Folding and Fracturing of Rocks*. McGraw-Hill.
- Rodríguez, H. (1994). *Normas para el cálculo de tiempos de tránsito entre los drenajes de tanques sépticos y las fuentes de agua subterránea*. http://www.senara.go.cr/proyectos/aguassubterraneas/terminos_de_referencia_estudios_hidrogeologicos/Apendice%203_tiempo_transito_bacteriologicos_%20Rodriguez%201994.pdf

- Rodríguez, C., Vargas, N., Jaramillo, O., Piñeros, A. y Cañas, H. (2010). Oferta y uso de agua subterránea en Colombia. En Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM). (Ed.), *Estudio Nacional del Agua 2010* (pp. 111-168). <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP4.pdf>
- Saénez, R., Magallón, F., Cevo, J. y Flores, E. (1975). Los tómbolos Catedral y Uvita. *Revista Geográfica de América Central*, 1(2), 41-48. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2066>
- Sahuquillo, A. (1983). Modelos en hidrogeología subterránea. En E. Custodio y R. Llamas. (Eds.), *Hidrología subterránea* (pp. 247-280). Ediciones Omega S.A..
- Salazar, L. G. (2000). Geomorfología. En P. Denyer y S. Kussmaul. (Eds.), *Geología de Costa Rica* (pp. 171-184). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. *Revista geológica de América Central*, 1(34-35), 13-30.
- Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico. (2020). *DA_Concesiones – DA_Dictámenes*. [Base de datos]. Recuperado de <http://mapas.da.go.cr/mapnew.php>
- Sistema Nacional de Información Territorial. (2021). *Ortofotos 2014– 2017 a escala 1: 5000*. [Base de datos]. Recuperado de https://www.snitcr.go.cr/ico_servicios_ogc_info?k=bm9kbzo6NDM=&nombre=Ortofoto%202014-2017%205k
- Segura, G. A. (2011). *Estudio hidrogeológico para análisis de vulnerabilidad para contaminantes por hidrocarburos, proyecto de instalación de Estación de Servicio Marino Ballena* (Expediente de SENARA 89-2011). <http://150.136.35.148/dsweb/View/Collection-3790>.
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento. (2006). *Variables para la estimación de caudal de extracción por pozos según uso reportado (Informe interno 1)*. Archivo físico institucional.
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento. (2007). *Recarga potencial del acuífero Colima y Barva, Valle Central, Costa Rica*.

<https://silo.tips/download/recarga-potencial-del-acuifero-colima-y-barva-valle-central-costa-rica>

Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento. (2016). *Evaluación y propuesta de la explotación de las aguas subterráneas utilizando modelación hidrogeológica y numérica del Valle Central de Costa Rica, América Central*. http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2019/01/MODELACION-HIDROGEOLOGICA-Y-NUMERICA_VALLE-CENTRAL-SENARA.pdf

Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento. (2017). *Matriz genérica de protección de acuíferos*. http://www.senara.or.cr/acerca_del_senara/direcciones/direccion_de_investigacion_y_gestion_hidrica/matriz%20proteccion%20acuiferos/Guia%20metodologica%20para%20la%20aplicacion%20de%20la%20matriz.pdf

Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento. (2020). *Archivo nacional de pozos*. [Base de datos]. Recuperado de <http://base-digh.senara.or.cr/>

Solano, J. y Villalobos, R. (Sin fecha). *Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica*. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>

Tournon, J. (1984). *Magmatismes du Mesozoique a l' Actuel en Amerique Centrale: L'exemple de Costa Rica, des Ophiolites aux Andesites*. [Tesis de doctorado, Universidad Pierre y Marie Curie]. <https://www.scienceopen.com/document?vid=1cf8de9f-e67e-46f9-b19d-8f4fac41353d>

Tournon, J. y Alvarado, G. (1997). *Mapa geológico de Costa Rica*. [Mapa]. Editorial Tecnológica de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/12470?show=full>

Tournon, J. & Bellon, H. (2009). The southern Central America puzzle: Chronology and structure. A review. *Revista geológica de América Central*, 1(40), 11-47.

Van Zuidam, R. A. (1986). *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. Smits Publishers.

- Vargas, A. (2000). Acuíferos. En: P. Denyer y S. Kussmaul (Eds.), *Geología de Costa Rica* (pp. 425-441). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Vargas, C. (2013). *Estudio hidrogeológico Servicentro Bahía Ballena* (Expediente de SENARA 87-2013). <http://150.136.35.148/dsweb/View/Collection-5339>.
- Vásquez, M. (2005). *Evaluación del potencial hidrogeológico del acuífero La Bomba, cuenca del río Banano, Limón, Costa Rica* [Tesis de maestría no publicada]. Universidad de Costa Rica.
- Zúñiga, H. (2006). *Caracterización hidrogeológica del acuífero Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica* [Tesis de maestría no publicada]. Universidad de Costa Rica.

10. ANEXOS

Anexo 1

- Informes de perforación de pozos base de datos del SENARA
- Informes de perforación piezómetros exploratorios
- Información de concesiones y cuerpos de agua SINIGIRH
- Información de fuentes de abastecimiento de la ASADA de Bahía y Uvita

Anexo 2

- Resultados de análisis de laboratorio en suelos
- Aforos en cauces
- Red de monitoreo de niveles en pozos
- Monitoreo de conductividad eléctrica en pozos
- Pruebas de infiltración doble anillo

Anexo 3

- Información de mapas raster utilizados en el análisis de recarga potencial del escenario actual
- Información de mapas raster utilizados en el análisis de recarga potencial de los escenarios 2030 y 2050
- Archivos digitales de superficies, shapes, hojas de cálculo y demás utilizados en la modelación numérica.

ANEXO 1

REPORTE DE PERFORACION - Bitácora No.		POZO : COR-13	
Universal Environmental Services, S.A. Fax: 268-2363 Céd. 3-101-457278		Teléfono: 268-2363 Apdo.Postal: 35-2120	
PROPIETARIO: LA PRINCESSA DIL MARE, S.A. Dirección: Camino La Unión, 5 km hacia Noreste, antes de llegar a La Tigra, propiedad mano izquierda		Teléfono: 787-8214	
CROQUIS DEL SITIO 		UBICACION GEOGRAFICA 	
LATTITUD: 344,066 LONGITUD: 496,667 HOJA: Coronado No. 3443 II			
USO DEL AGUA: Doméstico	METODO DE PERFORACION: Rotación		
FECHA DE INICIO: 23 Junio 2007	EQUIPO DE PERFORACION: Schramm		
FECHA DE CONCLUSION: 24 Junio 2007	PERFORACION TOTAL: 200 m		
DESCRIPCION LITOLOGICA			
VARIAION DEL NIVEL DE AGUA (m)	TRAMO (m)	DESCRIPCION	
	0,0 - 27,0 m	Suelo con alto contenido de arcillas color naranja, plásticas	
	27,0 - 55,0 m	Lutitas y areniscas finas, altamente meteorizadas y fracturadas	
	55,0 - 200,0 m	Estratos de lutitas y areniscas finas, color gris. Fracturas secundarias presentes. Presencia de arcillas	
CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS El fracturamiento secundario y la meteorización aportan agua al pozo.			
OBSERVACIONES A los 160 m de profundidad el material es estable.			

REPORTE DE PERFORACION - Bitácora No.		POZO : COR-13	
Universal Environmental Services, S.A. Fax: 268-2363 Céd. 3-101-457278		Teléfono: 268-2363 Apdo.Postal: 35-2120	
PROPIETARIO: LA PRINCESSA DIL MARE, S.A. Dirección: Camino La Unión, 5 km hacia Noreste, antes de llegar a La Tigra, propiedad mano izquierda		Teléfono: 787-8214	
Prof. (m)	LITOLOGIA	ARMADO POZO	DESCRIPCION
0	Suelo limo arcilloso color naranja, estratos de lutitas y areniscas finas color gris. N.E.: 160 m	Diámetro de perforación: 8 1/2" de 0 m a 66 m Sello sanitario en concreto 0 m - 66 m Tubo ciego 0- 66 m PVC, diámetro 6", SR-26 Diámetro de perforación: 6 1/2" de 66 m a 200 m Regilla PVC 5 1/2" diámetro de 66 m hasta 200 m	PROFUNDIDAD POZO: 200 m
20			NIVEL ESTÁTICO: 160 m
40			SELLO SANITARIO: 66 m concreto
60			EMPAQUE DE GRAVA: --
80			DESARROLLO: Aire y espumante
100			DESINFECCION: Cloro
120			CALIDAD DEL AGUA: Clara, incolora
140			ADITIVOS: Jabón Industrial
160			PRUEBA BOMBEO
180			EQUIPO Bomba --
200	PROFUNDIDAD BOMBA --		
220	FECHA --		
	TIEMPO BOMBEO --		
	CAUDAL (l/s) 2,0 l/s		
	NIVEL INICIAL (m) --		
	NIVEL DINAMICO (m) --		
	TIEMPO RECUPERACION --		
	TRANSMISIVIDAD (m2/d)		
	CAPACIDAD ESPECIFICA		
RECOMENDACIONES DEL EQUIPO A INSTALAR			
Tipo bomba: 5 HP		Caudal: --	
Motor: --		Electrodo arranque: 55 m	
Profundidad bomba: 190 m		Electrodo de pares: 105 m	
RECOMENDACIONES EXPLOTACION			
Caudal: --		Tiempo bombeo: --	
		Nivel máximo bombeo: --	
GEOLOGA María Gómez Tristán Carné No. 286 Fecha: 26-06-2007		UNIVERSAL ENVIRONMENTAL SERVICES, S.A. Ana L. Alonso Cédula No. 0-76641854 Fecha: 26-06-2007	

Pura Vida

Perforación & Servicios de Pozos

"Pura Vida comienza con Agua Pura"

Introducción de datos generales

Localidad: La Princesa D'il Mare

Pozo #: CZ-453

Fecha de prueba: 25/5/07

Realizada por: Sergio Fonseca

Pozo de Bombeo

Diámetro de perforación: 6 1/2

Diámetro de ademe: 6

Prof. Inicio de rejillas: _____

Prof. Final de rejillas: _____

Profundidad de pozo: 200

Material de rejilla: PVC

Introducción de datos prueba de bombeo
Nivel inicial (metros): 148.92

Tiempo (min.)	Nivel Dinámico	LPS	Tiempo (min.)	Nivel Dinámico	LPS
.50	149.38	1	780.00		
1.00	149.45		840.00		
1.50	149.49		900.00		
2.00	149.45		960.00		
2.50	149.43		1020.00		
3.00	149.43		1080.00		
3.50	149.38		1140.00		
4.00	149.45		1200.00		
4.50	149.49		1260.00		
5.00	149.45		1320.00		
7.00	149.43		1380.00		
9.00	149.43		1440.00		
11.00	149.38				
15.00	149.25				
20.00	149.49				
25.00	149.69				
30.00	149.43				
40.00	149.56	1			
50.00	149.38	1			
60.00	149.45				
75.00	149.21				
90.00	149.45				
105.00	149.43				
120.00	149.43				
150.00	149.45				
180.00	149.43				
210.00	149.43				
240.00	149.42				
300.00	149.45				
360.00	149.49	1			
420.00					
480.00					
540.00					
600.00					
660.00					
720.00					

Santa Elena, San Isidro, Heredia
Apartado 35-2120 Calle Blancos, San José Costa Rica
268-2363 / 841-7612
jerry@suravidadrilling.com
www.suravidadrilling.com



TecnoANALITICA INTERNACIONAL S.A.
Laboratorio de análisis químico

Teléfono: (506) 285 7500
Fax: (506) 285 7500
E-mail: tecnoanalitica@ice.co.cr

INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS QUÍMICO

Señor: Pura Vida Perforaciones
Empresa / Solicitante: Pura Vida Perforaciones
Fecha de muestreo: 25 de junio el 2007
Fecha de reporte de resultados: 05 de julio del 2007
Dirección del Muestreo: no indica

Análisis # 045449
Reporte de Campo N A
Hora de muestreo: NA
Recolector (es): Intersado

Muestra : COR 13

Recipientes: 045449

Según el Reglamento para la calidad del agua potable, se puede concluir que la muestra cumple con los mínimos permisibles, por tanto se califica como potable.

NO presentó crecimiento de coliformes fecales, lo que indica que microbiológicamente es potable.

MUESTRA	MICROBIOLÓGICAMENTE
045449	POTABLE



TecnoANALITICA INTERNACIONAL S.A.
Laboratorio de análisis químico

Teléfono: (506) 285-7500
Fax: (506) 285-7500
E-mail: tecnoanalitica@ice.co.cr

REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICO

Señor: Pura Vida Perforaciones
Empresa / Solicitante: Pura Vida Perforaciones
Fecha de muestreo: 25 de junio el 2007
Fecha de reporte de resultados: 04 de julio del 2007
Dirección del Muestreo: no indica

Análisis # 045449
Reporte de Campo N A
Hora de muestreo: NA
Recolector (es): Intersado

Muestra : COR 13

Recipientes: 045449

Cuadro 1. Resultados Análisis de Laboratorio.

Prueba	Resultado Promedio	Incidencia	Unidades
Coliformes fecales	< 2	—	NMP/ 100 mL

METODOLOGÍA:

1. Métodos de Análisis según: "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Twentieth Edition.
OBSERVACIONES": Reférase al número del análisis para cualquier consulta.

Sello

TA-P01-C01-F01



* Estos resultados son válidos únicamente para la muestra indicada, y no pueden ser utilizados para inferir sobre lotes o categorías. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento por otros medios a la dirección del Laboratorio.

REPORTE DE PERFORACION - Bitácora No. 01 UNIVERSAL ENVIRONMENTAL SERVICES, S.A. Fax: 268-2363 Céd. 3-101-357278		POZO : COR-14 Teléfono: 434-1362 Apdo.Postal: 35-2120													
PROPIETARIO: Villa Dana Point Harbor, S.A. Dirección: De soda Kin-Vari, 200 m pasando rótulo Villa Vista, 1 km, propiedad Izquierda															
CROQUIS DEL SITIO 		UBICACION GEOGRAFICA LATTITUD: 346,144 LONGITUD: 493,584 HOTA: 566.938													
USO DEL AGUA: Doméstico FECHA DE INICIO: 19 diciembre 2007 FECHA DE CONCLUSION: 20 diciembre 2007		METODO DE PERFORACION: Rotación EQUIPO DE PERFORACION: Schramm PERFORACION TOTAL: 80 m													
DESCRIPCION LITOLOGICA															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROF. (m)</th> <th>NIVEL</th> <th>TRAMO (m)</th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,0</td> <td>-</td> <td>5,0 m</td> <td>Arcilla color anaranjado, plasticidad alta</td> </tr> <tr> <td>5,0</td> <td>-</td> <td>80,0 m</td> <td>Limos y lutitas meteorizadas con presencia de arcilla plástica y bloques de material sedimentario</td> </tr> </tbody> </table>	PROF. (m)	NIVEL	TRAMO (m)	DESCRIPCION	0,0	-	5,0 m	Arcilla color anaranjado, plasticidad alta	5,0	-	80,0 m	Limos y lutitas meteorizadas con presencia de arcilla plástica y bloques de material sedimentario	DIRECCION DE REGISTRO SE DE LA R. A. AGUAS SUBTERRANEAS 28 DE MAYO 2008 RECEPTIVO		
PROF. (m)	NIVEL	TRAMO (m)	DESCRIPCION												
0,0	-	5,0 m	Arcilla color anaranjado, plasticidad alta												
5,0	-	80,0 m	Limos y lutitas meteorizadas con presencia de arcilla plástica y bloques de material sedimentario												
CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS La presencia de meteorización le aporta agua al pozo OBSERVACIONES Durante la perforación, las formaciones geológicas fueron bastante inestables															

REPORTE DE PERFORACION - Bitácora No. 01 UNIVERSAL ENVIRONMENTAL SERVICES, S.A. Fax: 268-2363 Céd. 3-101-357278		POZO : COR-14 Teléfono: 434-1362 Apdo.Postal: 35-2120	
PROPIETARIO: Villa Dana Point Harbor, S.A. Dirección: De soda Kin-Vari, 200 m pasando rótulo Villa Vista, 1 km, propiedad Izquierda			
LITOLOGIA Prof. (m) 0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240		ARMADO POZO Descripción: Diámetro de perforación: 9 1/2" de 0 m a 80 m Tubería ciega de 0 a 30 m, PVC diámetro de 6", SDR-26 Rejilla en PVD, SDR-26 de 30 m a 80 m, diámetro de 6" Sello sanitario de 0 a 8 m de profundidad en concreto Empaque de grava de 8 m a 80 m	
DESCRIPCION PROFUNDIDAD POZO: 80 m NIVEL ESTÁTICO: 14 m SELLO SANITARIO: 8 m EMPAQUE DE GRAVA: 0 m a 72 m DESARROLLO: Aire y ocupante DESINFECCION: Cloro CALIDAD DEL AGUA: Buena ADITIVOS: Jabón industrial			
PRUEBA BOMBEO EQUIPO -- PROFUNDIDAD BOMBA -- FECHA n.d. TIEMPO BOMBEO -- CAUDAL (l/s) +/- 5 l/s NIVEL INICIAL (m) -- NIVEL DINAMICO (m) -- TIEMPO RECUPERACION -- TRANSMISIVIDAD (m2/d) CAPACIDAD ESPECIFICA			
RECOMENDACIONES DEL EQUIPO A INSTALAR Tipo bomba: -- Caudal: -- Motor: -- Electrodo arranque: -- Profundidad bomba: -- Electrodo de gases: --			
RECOMENDACIONES EXPLOTACION Caudal: -- Tiempo bombeo: -- Nivel máximo bombeo: --			
GEOLÓGIA María Gómez Tristán Carné No. 286 Fecha: 15-03-2008		UNIVERSAL ENVIRONMENTAL SERVICES, S.A. Ana L. Alonso Cédula No. 0-7681384 Fecha: 15-03-2008	

Pura Vida

Perforacion & Servicios de Pozos

Reporte prueba de bombeo
 VILLA DANA POINT HARBOR, S.A.
 Pozo No. COR-14

Hidrogeól. Guillermo Guzmán A.
 Julio 2008

UNIVERSAL ENVIRONMENTAL SERVICE, S.A.

Prueba de bombeo Pozo COR-14 – Villa Dana Point Harbor, S.A.

El día 20 de diciembre del 2007 fue realizada la prueba de bombeo en el pozo COR-14, ubicado en Bahía Ballena, Osa, Puntarenas.
 El pozo tiene una profundidad de 80m y fue perforado de 0-80 en 9 1/2". Se le colocó un sello sanitario en concreto de 8m con tubería ciega de PVC en su interior hasta los 30m y de 30 a 80 se colocó rejilla PVD, SDR-26 de 6" de diámetro. Empaque de grava de 8 a 80m.

DATOS GENERALES

LOCALIDAD : Bahía Ballena, Osa, Puntarenas
 POZO : COR-14
 FECHA DE PRUEBA : 20/12/2007
 REALIZADA POR : Sergio Solera H.
 FECHA DE ANALISIS : 15/07/2008
 ANALIZADO POR : Hidrogeól. Guillermo Guzmán A.

ARMADO GENERAL DE POZO

DIAMETRO DE PERFORACION [m] = 0.24
 DIAMETRO DE ADEME [m] = 0.15
 MATERIAL DE ADEME = PVC
 PROFUNDIDAD DE POZO [m] = 80.00

Prueba escalonada

Se realizó una prueba escalonada con dos etapas cada una de una hora de duración. En la primer etapa se bombeó un caudal de 1 l/s del pozo obteniéndose un abatimiento total de 13.46m y en la segunda etapa se bombeó un caudal de 3 l/s y el pozo se abatíó 10.91m.

PRUEBA POR ETAPAS
 NUMERO DE ETAPAS = 2.00
 CAUDAL ETAPA 1 [lps] = 1.00
 CAUDAL ETAPA 2 [lps] = 3.00
 COEFICIENTE DE TURBULENCIA "C" [m/lps²] =
 COEFICIENTE DE ACUIFERO "B" [m/lps-día] = 21.20
 EFICIENCIA DEL POZO [%] =

DATOS PRUEBA ESCALONADA

Etapa	Tiempo [min]	NE inicial [m]	
		N	Q
0.50	12.89	1	1
1.00	14.56	1	1

UNIVERSAL ENVIRONMENTAL SERVICE, S.A.
Prueba de bombeo Pozo COR-14 – Villa Dana Point Harbor, S.A.

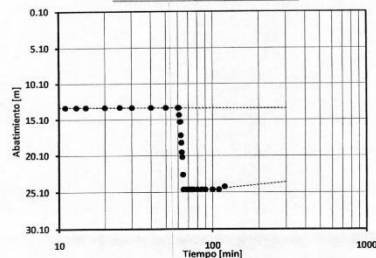
1.50	15.36	1	
2.00	16.25	1	
2.50	17.25	1	
3.00	19.89	1	
3.50	22.58	1	
4.00	26.32	1	
4.50	26.32	1	
5.00	26.32	1	
7.00	26.35	1	
9.00	26.35	1	
11.00	26.35	1	
13.00	26.35	1	
15.00	26.35	1	
20.00	26.34	1	
25.00	26.31	1	
30.00	26.35	1	
40.00	26.35	1	
50.00	26.35	1	
Etap1	60.00	26.35	1

ETAPA 2

Etap2	0.0	26.35	3
	0.5	26.35	3
	1.0	27.35	3
	1.5	28.35	3
	2.0	28.32	3
	2.5	30.25	3
	3.0	31.25	3
	3.5	32.56	3
	4.0	33.23	3
	4.5	35.63	3
	5.0	37.65	3
	7.0	37.65	3
	9.0	37.65	3
	11.0	37.65	3
	13.0	37.65	3
	15.0	37.65	3
	20.0	37.65	3
	25.0	37.65	3
	30.0	37.65	3
	40.0	37.65	3
	50.0	37.64	3
Etap2	60.0	37.26	3

UNIVERSAL ENVIRONMENTAL SERVICE, S.A.
Prueba de bombeo Pozo COR-14 – Villa Dana Point Harbor, S.A.

PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL VARIABLE
Bahía Ballena, Osa, Puntarenas



Prueba de bombeo continuo

Dados los anteriores resultados se determinó realizar la prueba de bombeo de 21 horas con un caudal constante de 3,0 l/s. Los datos de esta prueba se incluyen en el informe.

PRUEBA DE BOMBEO	
NIVEL ESTÁTICO - POZO BOMBEO [m]	= 12.26
CAUDAL DE BOMBEO [l/s]	= 3.0
DURACION DE BOMBEO CONTINUO [min]	= 1260
NIVEL DINÁMICO POZO DE BOMBEO [m]	= 37.65
TRASMISIVIDAD [m ² /día]	= 3.00
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	= 10
CAUDAL DE EXPLOTACION	
CAUDAL DE EXPLOTACION [lps]	= 2.05
ABATIMIENTO [m]	= 50
TIEMPO DE BOMBEO CONTINUO [hrs]	= 24.00

UNIVERSAL ENVIRONMENTAL SERVICE, S.A.
Prueba de bombeo Pozo COR-14 – Villa Dana Point Harbor, S.A.

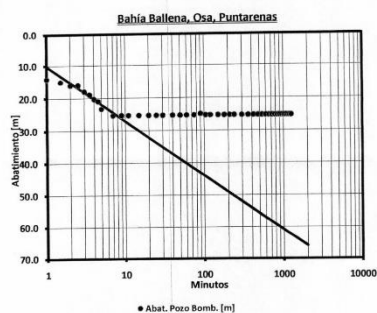
	NE inicial [m]	12.26
	N ₁	
Tiempo [min]	Dinámico [m]	Q [lps]
0.00	12.26	3.00
0.50	26.35	3.00
1.00	26.35	3.00
1.50	27.35	3.00
2.00	28.35	3.00
2.50	28.32	3.00
3.00	30.25	3.00
3.50	31.25	3.00
4.00	32.56	3.00
4.50	33.23	3.00
5.00	35.63	3.00
7.00	37.65	3.00
9.00	37.65	3.00
11.00	37.65	3.00
13.00	37.65	3.00
15.00	37.65	3.00
20.00	37.65	3.00
25.00	37.65	3.00
30.00	37.65	3.00
40.00	37.65	3.00
50.00	37.65	3.00
60.00	37.65	3.00
75.00	37.64	3.00
90.00	37.26	3.00
105.00	37.65	3.00
120.00	37.65	3.00
135.00	37.65	3.00
150.00	37.65	3.00
165.00	37.65	3.00
180.00	37.65	3.00
210.00	37.65	3.00
240.00	37.65	3.00
300.00	37.65	3.00
360.00	37.65	3.00
420.00	37.65	3.00
480.00	37.64	3.00
540.00	37.65	3.00
600.00	37.65	3.00
660.00	37.65	3.00
720.00	37.65	3.00
780.00	37.65	3.00
840.00	37.65	3.00
900.00	37.65	3.00
960.00	37.65	3.00
1020.00	37.65	3.00
1080.00	37.64	3.00
1140.00	37.65	3.00
1200.00	37.65	3.00
1260.00	37.65	3.00

UNIVERSAL ENVIRONMENTAL SERVICE, S.A.
Prueba de bombeo Pozo COR-14 – Villa Dana Point Harbor, S.A.

Cuadro resumen de resultados

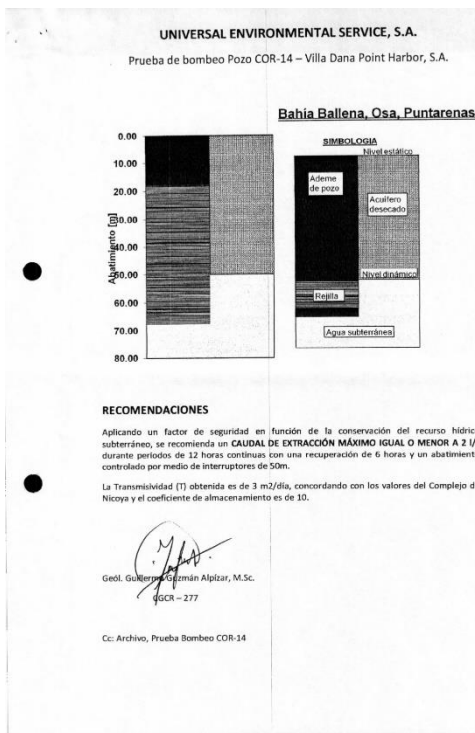
Caudal [l/s]	Tiempo total [horas]	Nivel Estático [m]	Nivel Dinámico [m]	Abatimiento [m]	Tubería Descarga
3,0	21	12.26	37.65	25.39	1 1/2" diámetro

GRÁFICO PRUEBA DE BOMBEO CAUDAL CONSTANTE



CAUDAL DE EXPLOTACIÓN

Nivel de abatimiento máximo permisible [m]	= 50.00
Caudal de explotación [lps]	= 2.05
Abatimiento de caudal de explotación [m]	= 50.00
Tiempo de bombeo continuo [hrs]	= 24



LABORATORIO QUIMICO LAMBDA
Tels.: 2286-1168 / 2226-4462 • Fax (506) 2226-4462 • Apartado 877-1011 San José, Costa Rica
e-mail: lambda@racsa.co.cr

RESULTADO DE ANALISIS # 179,008

---RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO---

FECHA: 31 DE JULIO DE 2008 SOLICITANTE: PURA VIDA DRILLINGS.
ATENCIÓN: Sra. ANA ALONZO

REFERENCIA: MUESTRA DE AGUA POZO COR-14 VILLA DANA POINT HARBOR., RECIBIDA POR PERSONAL DEL LABORATORIO QUIMICO LAMBDA EL DIA 23 DE JULIO DEL 2008.

ANÁLISIS: **RESULTADO PROMEDIO:**

pH	6.19
TURBIDEZ	0.99 NTU
COLOR (Pt Co)	< 0.1
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	84 µS/cm
SOLIDOS DISUELTOS	88 mg/L (ppm)
SOLIDOS SUSPENDIDOS	< 6 mg/L (ppm)
ALCALINIDAD PARCIAL (FF expresado como CaCO ₃)	< 1 mg/L (ppm)
ALCALINIDAD TOTAL (AM expresado como CaCO ₃)	55 mg/L (ppm)
DUREZA TOTAL (expresado como CaCO ₃)	29 mg/L (ppm)
DUREZA DE CARBONATOS (expresado como CaCO ₃)	29 mg/L (ppm)
DUREZA DE NO-CARBONATOS (expresado como CaCO ₃)	< 1 mg/L (ppm)
CALCIO (Ca)	7.1 mg/L (ppm)
MAGNESIO (Mg)	4.1 mg/L (ppm)
CLORUROS (Cl)	3.6 mg/L (ppm)
SULFATOS (SO ₄)	1.5 mg/L (ppm)
SILICE (SiO ₂)	87.6 mg/L (ppm)
AMONIO (NH ₄)	0.16 mg/L (ppm)
Hierro (Fe)	< 0.01 mg/L (ppm)

OBSERVACIONES:

- VER DETALLES DE LAS REFERENCIAS DE LOS METODOS DE ENSAYO EN EL ALCANCE DE ACREDITACION DEL LABORATORIO EN LA DIRECCION ELECTRONICA: www.rca.cr
- PROCEDIMIENTOS UNICAMENTE DE REFERENCIA LOS UTILIZADOS EN EL STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 21st 2005.
- EL AGUA SE CATALOGA DE DUREZA BAJA. VER LOS PARAMETROS SEGUN LAS NORMAS Aya Y EPA ANOTADOS EN EL REVERSO.
- CODIGO LAMBDA: 0510SF-3.

KAREN HOXTER PORRAS
N.I. CTQIQ-2580

NOTA: Refírase al número de este resultado para cualquier consulta.

MICROLAB
LABORATORIO MICROBIOLÓGICO

Código de reporte: 17407 Fecha de muestreo: 23/05/2008
Empresa solicitante: TECNOLABOR Fecha de reporte: 28/05/2008
Responsable: LUIS PARELLI Muestreado por: SOLICITANTE

045925

MUESTRA (s)	DESCRIPCION / ANALISIS	RESULTADOS	UNIDAD	METODO
	CLIENTE VILLA DANA POINT HARBOR S.A. COR 14			
	Coliformes Totales	< 2	NMP/100mL	SI M 9221
	Coliformes Fecales	< 2	NMP/100mL	SI M 9221

MÉTODOS: Standard Methods 19th Edition (APHA)

Tel: 234-6837 Tel./Fax: 224-6541
Guadalupe, del correo 75 metros al norte
e-mail: microlab@racsa.co.cr; <http://www.eureka.ya.com/webmicrolab>

Firma M.O.C.

REPORTE DE PERFORACION - Bitácora No. PERFORADORA PURA VIDA DRILLING S.A. Fax: 268-2363 Céd. 3-101-347766		POZO: COR-23 Teléfono: 24-34-13-62 Apdo.Postal: 35-2120	
PROPIETARIO: Inversiones Nueve Mil Treinta F.E.B., S.A. Dirección: 900 m sobre camino hacia La Unión, finca mano derecha, Bahía Ballena			
LITOLOGIA Prof. (m) 0 Suelo arcilloso con bloques de arenas y lutitas grises, lutitas y areniscas consolidadas color gris, aluvión subredondeado 10 20 30 N.E.: 25 m 40 50 60 70 80 90 100 110		ARMADO POZO Diámetro de perforación: 9 1/2" de 0 m a 46 m, 6 1/2" de 46 a 52 m, 5 3/4" de 52 a 70 m Sello sanitario en concreto 0-34 m Tubo ciego 0 - 34 m PVC, diámetro 6", SDR-26 Sin ademe de 46 m a 70 m	
DESCRIPCION PROFUNDIDAD POZO: 70 m NIVEL ESTÁTICO: 25 m SELLO SANITARIO: 34 m concreto EMPAQUE DE GRAVA: 34 m a 46 m DESARROLLO: Aire y espumante DESINFECCION: Cloro CALIDAD DEL AGUA: Clara, incolora ADITIVOS: Jabón Industrial			
PRUEBA BOMBEO EQUIPO Bomba -- PROFUNDIDAD BOMBA -- FECHA -- TIEMPO BOMBEO -- CAUDAL (l/s) +/- 10 l/s NIVEL INICIAL (m) -- NIVEL DINAMICO (m) -- TIEMPO RECUPERACION -- TRANSMISIVIDAD (m ² /d) CAPACIDAD ESPECIFICA			
RECOMENDACIONES DEL EQUIPO A INSTALAR Caudal: -- Motor: -- Electrodo arranques: -- Profundidad bomba: -- Electrodo de pared: --			
RECOMENDACIONES EXPLOTACION Caudal: -- Tiempo bombeo: -- Nivel máximo bombeo: --			
GEOLOGA María Gómez Tristán Carné No. 286 Fecha: 1-04-2008		PURA VIDA DRILLING, S.A. Ana L. Alonso Cédula No. D-76641854 Fecha: 1-04-2008	

REPORTE DE PERFORACION - Bitácora No. PERFORADORA PURA VIDA DRILLING S.A. Fax: 268-2363 Céd. 3-101-347766		POZO: COR-23 Teléfono: 24-34-13-62 Apdo.Postal: 35-2120																					
PROPIETARIO: Inversiones Nueve Mil Treinta F.E.B., S.A. Dirección: 900 m sobre camino hacia La Unión, finca mano derecha, Bahía Ballena																							
CROQUIS DEL SITIO 		UBICACION GEOGRAFICA LATITUD: 127,651 LONGITUD: 566,511 HOJA: Corredor No. 3443 II																					
USO DEL AGUA: Doméstico FECHA DE INICIO: 21 marzo 2008 FECHA DE CONCLUSION: 22 marzo 2008		METODO DE PERFORACION: Rotación EQUIPO DE PERFORACION: Schramm PERFORACION TOTAL: 70 m																					
VARIACION DEL NIVEL DE AGUA (m)		DESCRIPCION LITOLOGICA																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROF.</th> <th>NIVEL</th> <th>TRAMO (m)</th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,0</td> <td>-</td> <td>12,0 m</td> <td>Suelo arcilloso color naranja con algunos bloques de lutitas color gris, meteorizados</td> </tr> <tr> <td>12,0</td> <td>-</td> <td>18,0 m</td> <td>Limos arcillosos con bloques de lutitas y areniscas color grises</td> </tr> <tr> <td>18,0</td> <td>-</td> <td>52,0 m</td> <td>Lutitas y areniscas consolidadas color gris oscuro con algunas fracturas</td> </tr> <tr> <td>52,0</td> <td>-</td> <td>70,0 m</td> <td>Aluviones subredondeados</td> </tr> </tbody> </table>	PROF.	NIVEL	TRAMO (m)	DESCRIPCION	0,0	-	12,0 m	Suelo arcilloso color naranja con algunos bloques de lutitas color gris, meteorizados	12,0	-	18,0 m	Limos arcillosos con bloques de lutitas y areniscas color grises	18,0	-	52,0 m	Lutitas y areniscas consolidadas color gris oscuro con algunas fracturas	52,0	-	70,0 m	Aluviones subredondeados			
PROF.	NIVEL	TRAMO (m)	DESCRIPCION																				
0,0	-	12,0 m	Suelo arcilloso color naranja con algunos bloques de lutitas color gris, meteorizados																				
12,0	-	18,0 m	Limos arcillosos con bloques de lutitas y areniscas color grises																				
18,0	-	52,0 m	Lutitas y areniscas consolidadas color gris oscuro con algunas fracturas																				
52,0	-	70,0 m	Aluviones subredondeados																				
CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS El fracturamiento secundario y la meteorización aportan agua al pozo.																							
OBSERVACIONES																							

Pura Vida Drillings, S.A.
Perforación & Servicios de Pozos

INVERSIONES NUEVE MIL TREINTA F.E.B., S.A.
Pozo No. COR-23

Reporte prueba de bombeo

Hidrogeólogo Guillermo Guzmán A.
CGCR - 277

Noviembre 2008

PURA VIDA DRILLINGS, S.A.
Prueba de bombeo Pozo COR-23

El día 06 de abril del 2008 fue realizada la prueba de bombeo en el pozo COR-23, ubicado en Bahía Ballena, Osa, Puntarenas.

El pozo tiene una profundidad de 51m y fue perforado de 0-51m en 10'. Se instaló un sello sanitario en concreto de 0,0-34m con tubería ciega de PVC (SRD - 26) en su interior. Se colocó rejilla SLOTT 40 en PVC con diámetro de 6" de diámetro.

DATOS GENERALES

LOCALIDAD	:	Bahía Ballena, Osa, Puntarenas
POZO	:	COR-23
FECHA DE PRUEBA	:	06/04/2008
REALIZADA POR	:	Sergio Solera H.
FECHA DE ANALISIS	:	04/11/2008
ANALIZADO POR	:	Hidrogeólogo Guillermo Guzmán A.

ARMADO GENERAL DE POZO

DIAMETRO DE PERFORACION (m)	=	0.25
DIAMETRO DE ADEME (m)	=	0.15
MATERIAL DE ADEME	=	PVC
PROFUNDIDAD INICIO REJILLAS (m)	=	N.D.
PROFUNDIDAD FINAL REJILLAS (m)	=	N.D.
PROFUNDIDAD DE POZO (m)	=	51.00

Prueba escalonada

Se realizó una prueba escalonada con dos etapas cada una de una hora de duración. En la primer etapa se bombeó un caudal de 1.9 l/s del pozo obteniéndose un abatimiento de 0.41m. En la segunda etapa se bombeó un caudal de 2.5 l/s y el pozo se abatió 0.56m.

PRUEBA POR ETAPAS

NUMERO DE ETAPAS	=	2.00
CAUDAL ETAPA 1 [lps]	=	1.90
CAUDAL ETAPA 2 [lps]	=	2.50
COEFICIENTE DE TURBULENCIA "C" [m/ps ²]	=	0.07
COEFICIENTE DE ACUMERO "B" [m/ps-dia]	=	0.02
EFICIENCIA DEL POZO (%)	=	53.80

REPORTE DE PERFORACION

Página 1

EMPRESA PERFORACION DE RECURSOS
Para Vida Drilling, S.A.
Cód. 3-101-34776 HIDRÓLOGOS - MINES

Pozo número: COR-24 Balcón N°

Localidad: Uvita, Bahía Ballena, Csa, Puntarenas
Carpas del pozo con relación al terreno

Propietario: JUMPING FOREST DEVELOPMENTS UVITA, S.A.

Usos que se le dará al agua: Doméstico Método de perforación: Rotación Equipo de perforación: Schramm

Inicio de la perforación: 26/ Abril/2009 Final de la perforación: 27/ Abril/2009 Profundidad total del pozo: 133 m.b.a.s.

VARIACION DEL NIVEL DEL AGUA AVANCE DE LA PERFORACION		DESCRIPCION DE LA PERFORACION	
Prof. (m)	Nivel (m)	Tramo (m)	Descripción
0	Nivel piezométrico	0 m-12 m	Suelos arcillosos color rojo, con presencia de bloques de lutitas cementadas.
50		12m-48 m	Lutitas y areniscas intercaladas, color gris claro, las intercalaciones son metálicas y con pocas fracturas. No se dio aporte de agua en ninguna de estas secciones.
		48 m-130 m	Areniscas medias a finas con alto grado de fracturación. Posible acuífero.
		130 m-133 m	Lutitas color gris claro poco fracturadas y con poca dureza (se rompe con la uña).

CONDICIONES HIDROLOGICAS

El pozo fue perforado en la secuencia sedimentaria de la Fm. Témala. Presenta intercalaciones metálicas de areniscas y lutitas. Se ha captado al menos un nivel de agua largo de los 50m de profundidad, el cual fluye por las fracturas y planos de estratificación de las rocas. Este nivel de agua se considera libre de confinamiento ya que no se dan variaciones durante la perforación. Según observación de campo el pozo puede producir caudales aproximados a 1 l/s.

SENA
RECEPCION
27 ENO 2010
RECIBIDO POR

REPORTE FINAL DE PERFORACION

Página 2

POZO No. COR-24

DESCRIPCION LITOLOGICA NE-52m

INFANTES CONSTRUCTIVOS

CITROS DE VALLES

SELLO SANITARIO
Tipo: Cevonite
Prof: Hasta 16 metros.

FILTRO DE GRAVA
Tipo: Cuesta Seleccionada
Tramo: 16-133m

DESARBOLLO
Tipo: Aire

DESINFECTACION

CALEIDAD DEL AGUA

LOCOS/ADITIVOS USADOS
Jaco Industrial

PRELUB DE BOMBEO

Equipos:

Profundidad (m):

Fecha:

Horas de bombeo:

Caudal (l/s):

Nivel Inicial:

Nivel Final:

(Estabilizado?)

Tiempo recuperación:

% Recuperación:

Transm. (m²/día):

Coefficiente almacén:

RECOMENDACIONES

EQUIPO A INSTALAR

Bomba: Semergible Capacidad: 1.0-3.0 Profundidad m Motor: Eléctrico

Electrodos encendidos: m Electrodos apagados: m

Caudal en litros por segundo: aprox. 1.0 Horas diarias: Nivel de bombeo máximo: m

De conformidad con la ley de Aguas # 276, deberá el propietario del pozo solicitar la respectiva concesión de aprovechamiento de aguas ante el Departamento de Aguas del MINAE.

Supervisión Geol. Guillermo Guzmán Alpízar Representante Para Vida Drilling, S.A. Ana L. Rojas
Firma: Fecha: 27 julio 2009 Cédula: 2641854
Carné: CGCR-277

UNIVERSAL ENVIRONMENTAL SERVICES, S.A.

Perforación & Servicios de Pozos

REPORTE DE PRUEBA DE BOMBEO

JUMPING FOREST DEVELOPMENTS UVITA, S.A.
Pozo No. COR-24

820M*11 1/2
SECCION DE RECURSOS
HIDRÓLOGOS - MINES

Guillermo Guzmán Alpízar
Hidrogeólogo - CGCR-277

SENA
RECEPCION
12 ENO 2010
RECIBIDO POR

UNIVERSAL ENVIRONMENTAL SERVICES S.A.
COR-24

Prueba de bombeo continuo

Dados los anteriores resultados se determinó realizar la prueba de bombeo de 8 horas restantes con un caudal 1.0 l/s y se mantiene así hasta el final. Los datos de esta prueba se incluyen en el informe.

PRUEBA DE BOMBEO

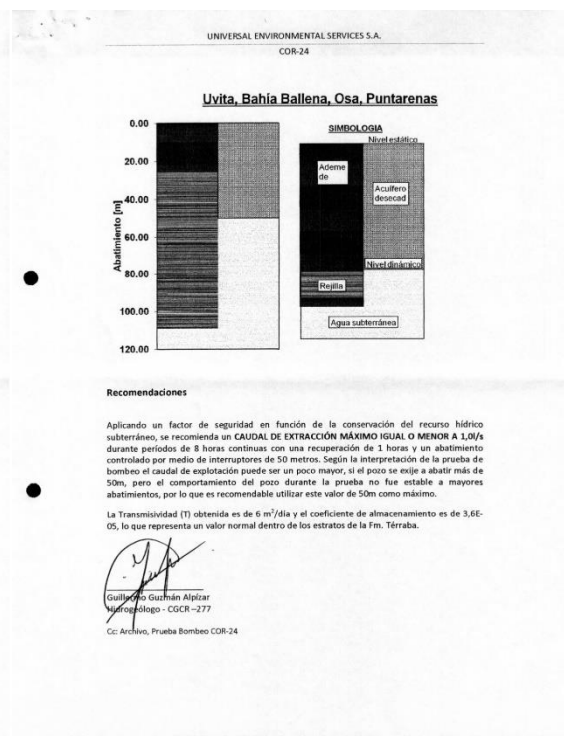
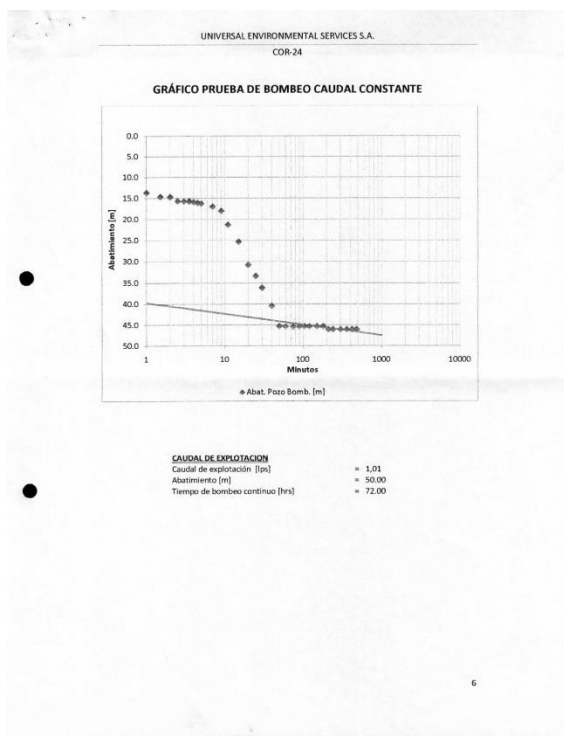
Nivel estático-poza bombeo (m) = 23.91
Caudal de bombeo (l/s) = 1.0
Duración de bombeo continuo (min) = 480
Nivel dinámico pozo bombeo (m) = 70.0
Transmisividad (m²/día) = 6
Coeficiente almacenamiento = 3,6E-05


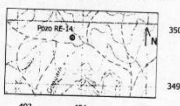

DATOS DE LA PRUEBA DE BOMBEO

N.	Tiempo (min)	Dinámico (m)	Q (l/s)	Nivel Estático (m)	Nivel Dinámico (m)	Abatimiento (m)	Tubería Descarga
20.00	54.66	1.00	25.00	57.22	1.00		
30.00	60.05	1.00	30.00	60.05	1.00		
40.00	64.34	1.00	40.00	64.34	1.00		
50.00	69.2	1.00	50.00	69.2	1.00		
60.00	69.32	1.00	60.00	69.32	1.00		
75.00	69.3	1.00	75.00	69.3	1.00		
90.00	69.29	1.00	90.00	69.29	1.00		
105.00	69.28	1.00	105.00	69.28	1.00		
120.00	69.27	1.00	120.00	69.27	1.00		
150.00	69.27	1.00	150.00	69.27	1.00		
180.00	69.27	1.00	180.00	69.27	1.00		
210.00	70	1.00	210.00	70	1.00		
240.00	70	1.00	240.00	70	1.00		
300.00	70	1.00	300.00	70	1.00		
360.00	70	1.00	360.00	70	1.00		
420.00	70	1.00	420.00	70	1.00		
480.00	70	1.00	480.00	70	1.00		

Cuadro resumen de resultados

Caudal [l/s]	Tiempo total [horas]	Nivel Estático [m]	Nivel Dinámico [m]	Abatimiento [m]	Tubería Descarga
1.0	8	23.91	70.0	46.09	1 1/2" diámetro



REPORTE DE PERFORACION - Bitácora No. PERFORADORA PURA VIDA DRILLING S.A. Fax: 268-2363 Céd. 3-101-347766		POZO : RE-14 Teléfono: 268-2363 Apdo.Postal: 35-2120	
PROPIETARIO: Picmar Investments, Ltda. Dirección: 3,5 km al NE de plaza de Uvita, Dominical		Teléfono: --	
CROQUIS DEL SITIO 		UBICACION GEOGRAFICA 	
LATITUD: 349,807 LONGITUD: 493,949 HDA: Repunta No. 3443 I			
USO DEL AGUA: Doméstico		METODO DE PERFORACION: Rotación	
FECHA DE INICIO: 12 abril 2007		EQUIPO DE PERFORACION: Schramm	
FECHA DE CONCLUSION: 15 abril 2007		PERFORACION TOTAL: 150 m	
VARIACION DEL NIVEL DE AGUA (m)			
PROF. (m)	NIVEL	TRAMO (m)	DESCRIPCION
0,0	-	35,0 m	Suelo arcilloso color naranja, plasticidad alta
35,0	-	50,0 m	Bloques centimétricos redondeados, matriz arcillosa
50,0	-	150,0 m	Lavas andesíticas, grises, sanas
			
CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS El fracturamiento secundario y la meteorización aportan agua al pozo. OBSERVACIONES Dadas las condiciones del tiempo, la prueba de bombeo no fue realizada.			

REPORTE DE PERFORACION - Bitácora No. PERFORADORA PURA VIDA DRILLING S.A. Fax: 268-2363 Céd. 3-101-347766		POZO : RE-14 Teléfono: 268-2363 Apdo.Postal: 35-2120	
PROPIETARIO: Picmar Investments, Ltda. Dirección: 3,5 km al NE de plaza de Uvita, Dominical		Teléfono: --	
Prof. (m)	LITOLOGIA	ARMADO POZO	DESCRIPCION
0	Suelo arcilloso naranja bloques redondeados en matriz arcillosa andesíticas grises	Díametro de perforación: 8 3/4" hasta 65 m profundidad	PROFUNDIDAD POZO: 150 m
20	N.E.: 55 m	Sello sanitario en concreto 0-65 m	NIVEL ESTÁTICO: 55 m
40		Tubo ciego 0-65 m PVC, diámetro 6,0" SR-26	SELLO SANITARIO: 65 m concreto
60		Cemento: 0 a 65 m	EMPAQUE DE GRAVA: --
80		Perforado 5 1/2" de 65 m a 150 m Sin ademe de 65 m hasta 150 m	DESARROLLO: Aire y espumante
100			DESINFECCION: Cloro
120			CALIDAD DEL AGUA: Clara, incolora
140			ADITIVOS: Jabón industrial
160			PRUEBA BOMBEO
180			EQUIPO Bomba: --
200			PROFUNDIDAD BOMBA: --
220			FECHA: --
			TIEMPO BOMBEO: --
			CAUDAL (l/s): 3 l/s
			NIVEL INICIAL (m): --
			NIVEL DINAMICO (m): --
			TIEMPO RECUPERACION: --
			TRANSMISIVIDAD (m²/d): --
			CAPACIDAD ESPECIFICA: --
RECOMENDACIONES DEL EQUIPO A INSTALAR			
Tipo bomba: -- Motor: -- Profundidad bomba: 130 m		Caudal: -- Electrodo arranque: 60 m Electrodo de paro: 125 m	
RECOMENDACIONES EXPLOTACION			
Caudal: n.d.		Tiempo bombeo: n.d.	
Nivel máximo bombeo: 125 m			
GEOLOGA María Gómez Tristán Carné No. 286 Fecha: 23-04-2007		PERFORADORA PURA VIDA DRILLING S.A. Ana L. Alonzo Cédula No. 0-78641854 Fecha: 23-04-2007	

Pura Vida

Perforación & Servicios de Pozos

"Pura Vida comienza con Agua Pura"

Reporte prueba de bombeo
 Picmar Investments, Ltda.
 Pozo No. RE-14

María Gómez Tristán
 Geól. María Gómez Tristán

Mayo 2007

Reporte prueba de bombeo
 Picmar Investments, Ltda.
 Uvita, Dominical, Puntarenas

El día 21 de abril del 2007 se realizó una prueba de bombeo a caudal constante, en el pozo RE-14, propiedad de Picmar Investments, Ltda., ubicado en Uvita, Dominical, en la provincia de Puntarenas. El objetivo de la prueba es determinar el comportamiento del pozo, el cual fue perforado a inicios del mes de abril. El pozo tiene una profundidad de 150 m, está perforado en 0,22 m, el sello sanitario en concreto está de 0 m a 65 m con tubería ciega de 0,15 m de diámetro, tubo ciego de 0 m hasta 65 m. El resto del pozo está a un diámetro de 0,15 m, sin ademe.
 Dicho pozo está ubicado entre las coordenadas 349,807 latitud y 493,949 longitud, de la hoja cartográfica Repunta, No. 3443 I.

Prueba escalonada
 No se realizó prueba escalonada.

Prueba de bombeo
 Se realizó una sola prueba con una duración de 360 minutos.
 Caudal extraído: 2,5 l/s
 Duración prueba: 6 horas continuas (360 minutos)
 Nivel estático: 55,00 m
 Nivel Dinámico: 81,69 m
 Abatimiento: 26,69 m
 Colocación bomba: 140 m
 Fuente energía: Electricidad
 Tubería descarga: Hierro, 2 pulgadas diámetro

Recomendaciones

- Se recomienda abatir el pozo un máximo de 60 m, con una extracción diaria de 12 horas. El caudal máximo recomendado con una extracción de 12 horas diarias es de 4,50 l/s. Sin embargo, se recomienda un caudal diario de 3,5 l/s con una extracción diaria de 10 horas durante todo el año.
- La transmisividad obtenida del pozo es de 10 m²/día, el acuífero se comporta de tipo semi confinado y la eficiencia del pozo es de un 61%.

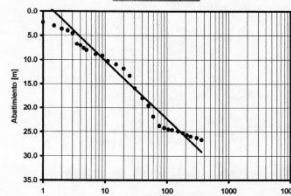
INTRODUCCION DE DATOS - PRUEBA DE BOMBEO

NE Inicial [m] = 65

Tiempo [min]	N. Dinámico [m]	Q [lps]
0.00	55.16	2.5
0.50	56.18	2.5
1.00	57.29	2.5
1.50	57.99	2.5
2.00	58.65	2.5
2.50	58.97	2.5
3.00	59.53	2.5
3.50	61.09	2.5
4.00	61.88	2.5
4.50	62.56	2.5
5.00	62.98	2.5
7.00	63.83	2.5
9.00	64.12	2.5
11.00	65.2	2.5
15.00	65.89	2.5
20.00	66.76	2.5
25.00	68.25	2.5
30.00	70.88	2.5
40.00	72.97	2.5
50.00	74.55	2.5
60.00	76.89	2.5
75.00	78.78	2.5
90.00	79.2	2.50
105.00	79.49	2.50
120.00	79.62	2.50
150.00	79.89	2.50
180.00	80.25	2.50
210.00	80.69	2.50
240.00	80.97	2.50
300.00	81.25	2.50
360.00	81.69	2.50

PRUEBA DE BOMBEO
ABATIMIENTO-POZO DE BOMBEO

Uvita, Dominical, Osa



Santa Elena, San Isidro, Heredia
Apartado 35-2120 Calle Blancos, San José Costa Rica
268-2363 /841-7612
www.puravidadrilling.com

REPORTE DE PERFORACION - Bitácora No.		POZO : RE-20	
PERFORADORA PURA VIDA DRILLING S.A. Fax: 268-2363 Céd. 3-101-347766		Teléfono: 268-2363 Apdo.Postal: 35-2120	
PROPIETARIO: Aurora Sur Inversiones, Ltda. Dirección: 2,4 km de Uvita hacia montaña, lote mano izquierda		Teléfono: 867-6464	
CROQUIS DEL SITIO	UBICACION GEOGRAFICA		
USO DEL AGUA: Doméstico	MétODO DE PERFORACION: Rotación		
FECHA DE INICIO: 30 enero 2008	EQUIPO DE PERFORACION: Schwann		
FECHA DE CONCLUSION: 1 febrero 2008	PERFORACION TOTAL: 150 m		
VARIACION DEL NIVEL DE AGUA (m)	DESCRIPCION LITOLOGICA		
PROF. NIVEL	TRAMO (m)	DESCRIPCION	
	0,0 - 18,0 m	Suelo arcilloso color naranja	
	18,0 - 150,0 m	Paquetes de areniscas y lutitas sanas, color gris, consolidadas, con fracturas secundarias	
CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS: El fracturamiento secundario y la meteorización aportan agua al pozo.			
OBSERVACIONES			

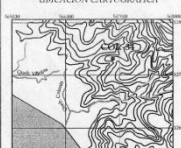

REPORTE DE PERFORACION - Bitácora No.		POZO : RE-20	
PERFORADORA PURA VIDA DRILLING S.A. Fax: 268-2363 Céd. 3-101-347766		Teléfono: 268-2363 Apdo.Postal: 35-2120	
PROPIETARIO: Aurora Sur Inversiones, Ltda. Dirección: 2,4 km de Uvita hacia montaña lote mano izquierda		Teléfono: 867-6464	
Prof. (m)	LITOLOGIA	ARMADO POZO	DESCRIPCION
0	Suelo arcilloso color naranja, areniscas y lutitas consolidadas, color gris.	Dímetro de perforación: 6 1/2" de 0 m a 44 m	PROFUNDIDAD POZO: 150 m
20		Sello sanitario en concreto 0-44 m	NIVEL ESTÁTICO: 70 m
40	N.E.: 208 m	Tubo ciego 0-44 m PVC, diámetro 6", SP-36	SELLO SANITARIO: 44 m concreto
60		Dímetro de perforación: 6 1/2" de 44 m a 150 m	EMPAQUE DE GRAVA: --
80		Sin adorno de 44 m hasta 150 m	DESARROLLO: Aire y espumante
100			DESINFECTACION: Cloro
120			CALIDAD DEL AGUA: Clara, incolora
140			ADITIVOS: Jabón industrial
160			PRUEBA BOMBEO
180			EQUIPO --
200			PROFUNDIDAD BOMBA: n.d.
220			FECHA: n.d.
240			TIEMPO BOMBEO --
			CAUDAL (l/s) +/- 3 l/s
			NIVEL INICIAL (m) --
			NIVEL DINAMICO (m) --
			TIEMPO RECUPERACION --
			TRANSMISIVIDAD (m ² /d)
			CAPACIDAD ESPECIFICA
RECOMENDACIONES DEL EQUIPO A INSTALAR			
Tipo bomba: --		Caudal: --	
Motor: --		Electrodo arranque: --	
Profundidad bomba: --		Electrodo de parte: --	
RECOMENDACIONES EXPLOTACION			
Caudal: --		Tiempo bombeo: --	
		Nivel máximo bombeo: --	
GEOLOGA María Gómez Tristán Carné No. 208 Fecha: 27-02-2008		PERFORADORA PURA VIDA DRILLINGS S.A. Ana L. Alonzo Cédula No. 0-76641854 Fecha: 27-02-2008	

14062-P

DEPARTAMENTO DE AGUAS
MINAE

20 SEP 2010

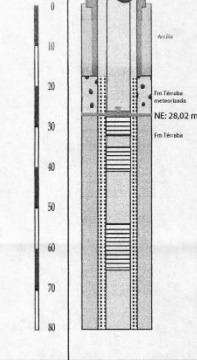
RECIBIDO

REPORTE DE PERFORACIÓN Página 1		EMPRESA PERFORADORA PURA VIDA DRILLINGS S.A. Ced. 3-108-94736	
Pozo número: COR-34	Hoja número: 5354-09	UBICACIÓN CARTOGRÁFICA	
Localidad: Bahía Ballena, Osa, Puntarenas.			
Croquis del pozo con ubicación en terreno.			
		Hoja Coronado No. 3443 II Escala: 1:50000 Elevación: 110 mms. Latitud: 12°31'6" Longitud: 86°08'9"	
Propietario: GRUPO INMOBILIARIO AROMÁTICA S.A.			
Uso que se le dará al agua: Doméstico-Piscina	Método de perforación: Rotación	Equipo de perforación: Schramm	
Inicio de la perforación: 21 de agosto, 2010	Final de la perforación: 23 de agosto, 2010.	Profundidad total del pozo: 80 metros	
VARIACIÓN DEL NIVEL DEL AGUA		DESCRIPCIÓN DE LA PERFORACIÓN	
Prof. (m)	Nivel (m)	Tramo (m)	Descripción
28,62	Nivel piezométrico	0-18 metros	Arcilla plástica, permeabilidad aparente baja.
36	Aporte de agua	18-27 metros	Rocas sedimentarias del tipo areniscas y lutitas metarizadas, inmersas en una matriz arcillosa correspondiente a la Fm. Terreta alterada.
54	Aporte de agua	27-80 metros	Intercalaciones de areniscas y lutitas con fracturamientos parciales. Fm Terreta
CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS			
El pozo perforado se encuentra en la Formación Terreta. El acuífero presenta confinamiento parcial, los principales aportes de agua se dan a los 36 y 54 metros de profundidad y el nivel piezométrico se mantiene en 28 metros hasta el final de la perforación.			

REPORTE FINAL DE PERFORACIÓN
Página 2

POZO No: **COR-34**

PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN LOCAL/SECTORA	DETALLES CONSTRUCTIVOS	OTROS DETALLES
0		Perforado en 9 1/2"	SELLO SANITARIO Tipo: Concreto Prof: Hasta 18 metros
10		Sello sanitario en concreto hasta los 18 metros con tubería ciega de 6"	FILTRO DE GRAVA Tipo: Grava Tramo: 18-80 m
20		Rejilla ranurada de NE: 28,62 m	DESARROLLO Tipo: Horas
30		Rejilla ranurada de PVC SRD 26 de 27-33m; 36-40m y 54-60m.	TRINQUECIÓN CALIDAD DEL AGUA
40			LOGOS/ADITIVOS USADOS Jabón industrial
50			PRUEBA DE BOMBEO Equipo: Sumergible
60			Profundidad: 60 m
70			Fecha: 2/09/2010
80			Horas de bombeo: 32
			Caudal (l/s): 2,04
			Nivel inicial: 28,02 m
			Nivel Final: 30,61 m
			¿Estabilizado? No
			Tiempo recuperación: 1 h
			Recuperación: 85%
			Transmisividad: 25 m ² /día
			Coefficiente de alm



RECOMENDACIONES

EQUIPO A INSTALAR

Bomba: Sumergible Capacidad: 10 HP Profundidad: 60 m Motor: Eléctrico

Electrodos encendidos: 28,5 m Electrodos apagados: 43,5 m

EXPLICACION

Caudal en litros por segundo: 8,31 Horas diarias: 9 horas continuas y 3 de recuperación Abatimiento máximo de bombeo: 15 metros

De conformidad con la ley de Aguas # 276, deberá el propietario del pozo solicitar la respectiva concesión de aprovechamiento de aguas ante el Departamento de Aguas del MINAE.

Supervisó Geólogo Christian Delgado Segura	Representante de la empresa: <i>[Firma]</i>
Firma: <i>[Firma]</i>	Firma: <i>[Firma]</i>
Fecha: 07/sep/2010	Fecha: 07/sep/2010
Carné: CGCR-336	Cédula: 019841854

PURA VIDA DRILLINGS S.A.

REPORTE DE PRUEBA DE BOMBEO

BAHÍA BALLENA, OSA, PUNTARENAS
GRUPO INMOBILIARIO AROMÁTICA, S.A.
COR-34

Christian Delgado Segura
Geólogo - CGCR-336

7 de setiembre, 2010.

3

INTRODUCCIÓN

El día 2 de setiembre de 2010 se realizó la prueba de bombeo en el pozo COR-34, ubicada en Bahía Ballena, Osa, Puntarenas. El análisis de dicha prueba se realizó el día 7 de setiembre de 2010.

El pozo tiene una profundidad de 80 metros y fue perforado en su totalidad en 9 1/2". Se le colocó un sello sanitario en concreto de 18 m con tubería ciega de 6" PVC, un empaque de grava de 18 a 80 metros. Las rejillas van de 27-33 m, 36-42 m y 54-60 metros.

DATOS GENERALES

Localidad: Bahía Ballena, Osa, Puntarenas.
 Pozo: COR-34
 Fecha de prueba: 2 de setiembre, 2010.
 Realizada por: Sergio Sillera.
 Fecha de análisis: 7 de setiembre, 2010
 Analizado por: Geólogo Christian Delgado Segura

ARMADO GENERAL DE POZO

Diámetro de perforación (m) = 0,25
 Diámetro de ademe (m) = 0,15
 Material de ademe = PVC SRD 26
 Profundidad inicial de rejillas (m) = 24,00
 Profundidad final de rejillas (m) = 80,00
 Profundidad de pozo (m) = 80,00
 Material de rejilla = PVC SRD 26, ranurada

PRUEBA DE BOMBEO ESCALONADA

Se realizó una prueba escalonada con dos etapas cada una de una hora de duración. En la primer etapa se bombeó un caudal constante de 1,43 l/s del pozo obteniéndose un abatimiento total de 0,73 m y en la segunda etapa se bombeó a un caudal constante de 2,2 l/s, el pozo se abatía 1,24 m.

PRUEBA POR ETAPAS

Numero de etapas = 2,00
 Caudal etapa 1 [l/s] = 1,43
 Caudal etapa 2 [l/s] = 2,2
 Coeficiente de turbulencia "C" [m²/lps²] = 0,06
 Coeficiente de acuífero "B" [m/lps-día] = 1,14
 Eficiencia de pozo [%] = 90,22

PRUEBA DE BOMBEO CONTINUO

Dados los anteriores resultados se realizó una prueba de bombeo de 22 horas con un caudal constante de 2,04 l/s, el abatimiento total fue de 2,59 metros. Los datos de esta prueba se incluyen en el informe.

PRUEBA DE BOMBEO	
Nivel estático-pozo bombeo (m)	= 28,02
Caudal de bombeo [l/s]	= 2,04
Duración de bombeo continuo [min]	= 1320
Nivel dinámico-pozo bombeo (m)	= 30,61
Transmisividad [m ² /día]	= 25

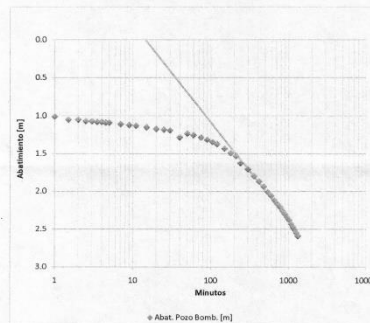
DATOS DE PRUEBA DE BOMBEO

N			N		
Tiempo [min]	Dinámico [m]	Q [l/s]	Tiempo [min]	Dinámico [m]	Q [l/s]
0.00	28.02	2.04	180.00	29.51	2.04
0.50	29.01	2.04	210.00	29.55	2.04
1.00	29.03	2.04	240.00	29.65	2.04
1.50	29.07	2.04	300.00	29.73	2.04
2.00	29.07	2.04	360.00	29.82	2.04
2.50	29.09	2.04	420.00	29.89	2.04
3.00	29.09	2.04	480.00	29.96	2.04
3.50	29.1	2.04	540.00	30.03	2.04
4.00	29.1	2.04	600.00	30.08	2.04
4.50	29.11	2.04	660.00	30.14	2.04
5.00	29.11	2.04	720.00	30.19	2.04
7.00	29.13	2.04	780.00	30.23	2.04
9.00	29.14	2.04	840.00	30.28	2.04
11.00	29.15	2.04	900.00	30.32	2.04
15.00	29.17	2.04	960.00	30.36	2.04
20.00	29.19	2.04	1020.00	30.4	2.04
25.00	29.2	2.04	1080.00	30.45	2.04
30.00	29.21	2.04	1140.00	30.49	2.04
40.00	29.3	2.04	1200.00	30.53	2.04
50.00	29.25	2.04	1260.00	30.57	2.04
60.00	29.27	2.04	1320.00	30.61	2.04
75.00	29.3	2.04			
90.00	29.33	2.04			
105.00	29.36	2.04			
120.00	29.39	2.04			
150.00	29.45	2.04			

CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS

Caudal [l/s]	Tiempo total [horas]	Nivel Estático [m]	Nivel Dinámico [m]	Abatimiento [m]	Tubería Descarga
2,04	22	28,02	30,61	2,59	2" diámetro

GRÁFICO PRUEBA DE BOMBEO CAUDAL CONSTANTE



CAUDAL DE EXPLOTACION
 Caudal de explotación [l/s] = 8,31
 Abatimiento [m] = 15
 Tiempo de bombeo continuo [hrs] = 72.00

RECOMENDACIONES

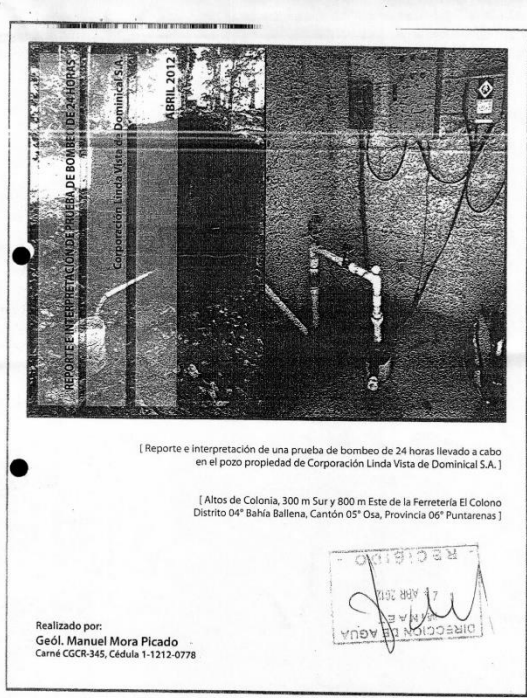
El pozo es capaz de ceder un caudal de 8,31 l/s considerando un abatimiento de 15 metros (nivel dinámico en 43 metros), se recomienda una bomba de 10 HP. Como el pozo tiene una profundidad de 80 metros, es probable que tenga la capacidad de ceder un caudal mayor, no obstante, la prueba de bombeo se realizó con un caudal de extracción de 2 l/s, por tanto, en caso de que sea necesario explotar un caudal mayor al recomendado, se debe realizar una prueba de bombeo con el caudal que se desea explotar, de esta manera se analizará la respuesta del acuífero.

Entonces, aplicando un factor de seguridad en función de la conservación del recurso hídrico subterráneo, se recomienda un CAUDAL DE EXTRACCIÓN MÁXIMO IGUAL O MENOR A 8,31 l/s durante periodos de 9 horas continuas con una recuperación de 3 hora y un abatimiento controlado por medio de interruptores de 15 metros (encendido a 28,5 metros y apagado a 43,5 metros), se recomienda colocar la bomba a 60 metros de profundidad, para aprovechar los aportes de aguas inferiores.

La Transmisividad (T) obtenida es de 25 m²/día.

Christian Delgado Segura
 Geólogo - CGCR-336

Cc: Archivo, Prueba Bombeo COR-34



1. Introducción

El día 03 de Abril del 2012 fue realizada una prueba de bombas en el pozo sin número propiedad de Linda Vista de Domicinal S.A., el cual está ubicado en Altos de Colonia 300 m sur y 800 m este de la Ferretería El Colono, en el distrito 04° Bahía Ballena, cantón 05° Osa, provincia 06° Puntarenas.

Específicamente en las coordenadas 494511 E y 344509 N de la proyección Lambert Costa Rica Sur, y en las coordenadas 531359 E y 1011534 N de la proyección Costa Rica Transversal Mercator 05.

El análisis e interpretación de dicha prueba de bombeo fue llevada a cabo el día 10 de Abril del 2012.

El pozo corresponde con un pozo sin número, el cual es de interés del propietario para análisis de admisión e inscripción en la Dirección de Aguas del MINAET, a razón del cual se lleva a cabo la presente análisis e interpretación de una prueba de bombeo de 24 horas.

El pozo se localiza a una elevación de 167 m.s.n.m, cuenta con una profundidad medida de 51,15 m y tiene un diámetro de 6 pulgadas.

Cuenta con un sello sanitario de concreto desde los 0 hasta 16,2 m de profundidad con tubería ciega de PVC de 6 pulgadas en su interior.

El encausado del mismo fue realizado con tubería de PVC de 6 pulgadas, ranurada desde los 2 m hasta los 49,6 m. El ramurado es de 1/4 de pulgada y espaciado cada 3 pulgadas.

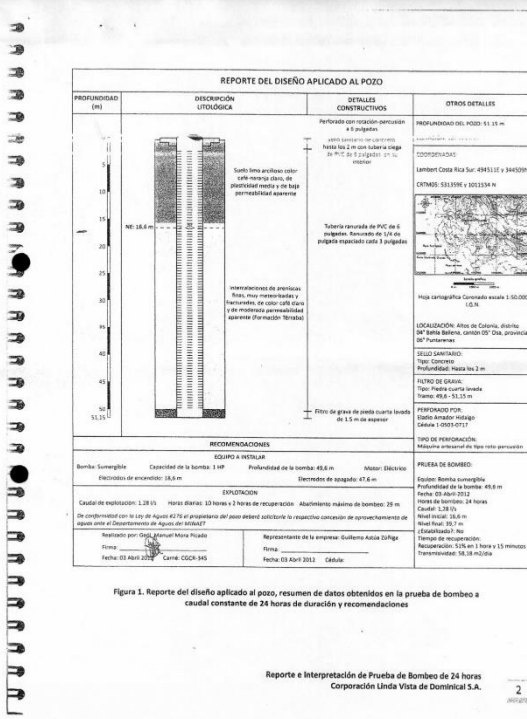
El mismo cuenta con un filtro de grava, de piedra cuarta lavada de 1,5 m de espesor, colocado desde los 49,6 m hasta los 51,15 m.

La bomba implementada en esta pozo es de tipo sumergible, de 1 HP de capacidad y la misma fue colocada a una profundidad de 46,6 m.

Este pozo fue perforado en Setiembre del 2007 por el señor Eladio Amador Hidalgo haciendo uso de una máquina artesanal de rotación-percusión.

En la Figura 1 se presentan el reporte del diseño que fue aplicado al pozo desde el momento de su perforación, así también muestra un resumen de los datos obtenidos mediante el análisis de la prueba de bombeo realizada a caudal constante de 24 horas de duración y las recomendaciones derivada del mismo.

En el Cuadro 1 se resumen los datos generales de la prueba de bombeo y del armado general del pozo.



Cuadro 1. Datos generales de la prueba de bombeo y del armado general del pozo

DATOS GENERALES	
Ubicación	Altos de Colonia, distrito 04° Bahía Ballena, cantón 05° Osa, provincia 06° Puntarenas
Pozo sin número	
Realizado por	Ricardo Acuña Hernández
Analizado por	Geól. Manuel Mora Picado
Armadura	ARMADO GENERAL DEL POZO
Diámetro de perforación (m)	0,16
Diámetro de tubería	PVC
Material de ademe	PVC
Profundidad de instalación de rejilla (m)	46,6
Profundidad de final de rejillas (m)	50,15
Profundidad del filtro (m)	1,5
Material de la rejilla	PVC

2. Determinación del caudal de bombeo del pozo

Este caudal fue determinado mediante la metodología tradicional del llenado de un recipiente de volumen conocido, en este caso un recipiente de 19 litros, midiendo con cronómetro el tiempo de llenado en segundos. En el Cuadro 2 se resumen las mediciones realizadas del caudal de bombeo del pozo.

Cuadro 2. Determinación del caudal de bombeo del pozo

Tiempo (segundos)	Volumen de agua medido (litros)	Caudal (l/s)
15,0	19	1,27
14,6	19	1,30
Caudal Promedio (l/s)		1,28

El caudal de bombeo determinado para el pozo es de 1,28 l/s.

3. Prueba de bombeo de 24 horas de duración a caudal constante

En el Cuadro 3 se presentan los datos de las mediciones obtenidas de una prueba de bombeo realizada a un caudal constante de 1,28 l/s con una duración de 24 horas. El abatimiento total fue de 35 m.

Con las mediciones obtenidas durante la prueba de bombeo de 24 horas de duración a caudal constante (Cuadro 3) fue elaborada la curva de abatimiento de dicha prueba (Gráfico 1).

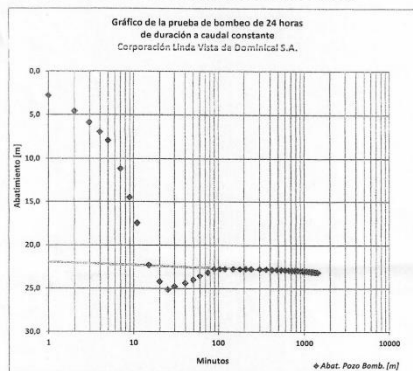


Gráfico 1. Gráfico de la prueba de bombeo de 24 horas de duración a un caudal constante de 1,28 l/s.

En el Cuadro 4 se presenta un resumen de los datos principales con los cuales fue llevada a cabo la prueba de bombeo del Gráfico 1 y con que fue realizada su respectiva interpretación.

Cuadro 4. Datos principales con los cuales fue llevada a cabo la prueba de bombeo y su respectiva interpretación

Nivel Estático - Pozo Bombeo (m)	15.62
Caudal de Bombeo Constante (l/s)	1.28
Duración de Bombeo Continuo (min)	1440
Nivel Dinámico del Pozo Bombeado (m)	18.6
Transmisividad (m ² /día)	58.18
Recuperación del Pozo de Bombeo (100%)	52

En el Cuadro 5 se presentan datos obtenidos mediante las mediciones de la recuperación obtenidas en el pozo en un lapso de 75 minutos.

Cuadro 5. Mediciones de la recuperación del pozo en un lapso de 75 minutos.

Tiempo (minutos)	Nivel Dinámico (metros)
0,50	37,28
1,00	36,57
1,50	36,12
2,00	35,86
2,50	37,42
3,00	36,09
3,50	36,10
4,00	35,91
4,50	36,26
5,00	34,11
5,50	35,77
6,00	31,69
6,50	32,86
7,00	34,11
7,50	35,77
8,00	31,69
8,50	32,86
9,00	34,11
9,50	35,77
10,00	31,69
10,50	32,86
11,00	34,11
11,50	35,77
12,00	31,69
12,50	32,86
13,00	34,11
13,50	35,77
14,00	31,69
14,50	32,86
15,00	34,11
15,50	35,77
16,00	31,69
16,50	32,86
17,00	34,11
17,50	35,77
18,00	31,69
18,50	32,86
19,00	34,11
19,50	35,77
20,00	31,69
20,50	32,86
21,00	34,11
21,50	35,77
22,00	31,69
22,50	32,86
23,00	34,11
23,50	35,77
24,00	31,69
24,50	32,86
25,00	34,11
25,50	35,77
26,00	31,69
26,50	32,86
27,00	34,11
27,50	35,77
28,00	31,69
28,50	32,86
29,00	34,11
29,50	35,77
30,00	31,69
30,50	32,86
31,00	34,11
31,50	35,77
32,00	31,69
32,50	32,86
33,00	34,11
33,50	35,77
34,00	31,69
34,50	32,86
35,00	34,11
35,50	35,77
36,00	31,69
36,50	32,86
37,00	34,11
37,50	35,77
38,00	31,69
38,50	32,86
39,00	34,11
39,50	35,77
40,00	31,69
40,50	32,86
41,00	34,11
41,50	35,77
42,00	31,69
42,50	32,86
43,00	34,11
43,50	35,77
44,00	31,69
44,50	32,86
45,00	34,11
45,50	35,77
46,00	31,69
46,50	32,86
47,00	34,11
47,50	35,77
48,00	31,69
48,50	32,86
49,00	34,11
49,50	35,77
50,00	31,69
50,50	32,86
51,00	34,11
51,50	35,77
52,00	31,69
52,50	32,86
53,00	34,11
53,50	35,77
54,00	31,69
54,50	32,86
55,00	34,11
55,50	35,77
56,00	31,69
56,50	32,86
57,00	34,11
57,50	35,77
58,00	31,69
58,50	32,86
59,00	34,11
59,50	35,77
60,00	31,69
60,50	32,86
61,00	34,11
61,50	35,77
62,00	31,69
62,50	32,86
63,00	34,11
63,50	35,77
64,00	31,69
64,50	32,86
65,00	34,11
65,50	35,77
66,00	31,69
66,50	32,86
67,00	34,11
67,50	35,77
68,00	31,69
68,50	32,86
69,00	34,11
69,50	35,77
70,00	31,69
70,50	32,86
71,00	34,11
71,50	35,77
72,00	31,69
72,50	32,86
73,00	34,11
73,50	35,77
74,00	31,69
74,50	32,86
75,00	34,11

De acuerdo a los datos obtenidos de los Cuadros 4 y 5, se estima una recuperación del 51% del pozo en un lapso de 1 hora.

En el Cuadro 6 se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos mediante el análisis de la prueba de bombeo a caudal constante de 24 horas de duración.

Cuadro 6. Resumen de resultados

Caudal (l/s)	Tiempo total de Bombeo (horas)	Nivel Estático (m)	Nivel Dinámico (m)	Abatimiento (m)	Transmisividad (m ² /d)
1,28	1440	15,62	18,6	3,0	58,18

4. Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con la prueba de bombeo realizada a caudal constante de 24 horas de duración y su respectivo análisis, el pozo es capaz de generar un caudal de 1,28 l/s considerando un abatimiento máximo recomendado de 29 m.

Es importante tomar en cuenta que la relación diámetro del pozo-potencia-tamaño de la bomba no permite extracciones muy altas (mayores a 10 lps aproximadamente), por tanto la capacidad de extracción estará en función del tamaño y capacidad de la bomba.

En caso de explotaciones mayores a la recomendada, se recomienda realizar una prueba de bombeo, de al menos 24 horas con el caudal que se desea explotar, con ello se evaluará el comportamiento y reacción del acuífero ante regímenes de explotación mayores.

Se recomienda realizar en el pozo un abatimiento a un caudal constante de 1,28 l/s de 10 horas de duración, con 2 horas de recuperación.

Se recomienda que el abatimiento del pozo sea controlado por medio de un interruptor de encendido colocado a 18,6 m de profundidad y por medio de un interruptor de apagado colocado a 47,6 m de profundidad.

La Transmisividad (T) obtenida es de 58,18 m²/día.

Se recomienda mantener instalada en el pozo una bomba de motor eléctrico de 1 HP de capacidad y mantenerla a una profundidad de 49,6 m.

Manuel Mora Picado
Geólogo - CGCR - 345
Cédula 1-1212-0778

30/09/14
 Exp 15966 P
 Srs. Dirección de Aguas, HILA.E.
 La susrita Kathia Sánchez Conejo, por medio de la presente adjunto al expediente 15966 P a nombre de Noctis Umbra S.A, el reporte final de perforación del pozo COR-42. Agradeciendo la atención a la presente se despide atentamente.
 Kathia Sánchez Conejo
 ced. 2542121

REPORTE DE PERFORACIÓN		EMPRESA PERFORADORA	
Página 1	EXPEDIENTE 15966 P	UNIVERSAL ENVIRONMENTAL SERVICES S.A.	
Pozo N° COR-42	Bitácora N° 6112-12	Ced. 3-101-457778	
Localidad Bahía Ballena, Osa, Puntarenas	Croquis del pozo en relación con el terreno		
Plano N° P-1458472-2010.	Noja: Coronado	N° 3443 II	Elevación: 354,2 m s.n.m.
Escala 1:50 000		Latitud: 126631	
Longitud: 568935		Propietario NOCTIS UMBRA S.A.	
Uso que se le dará al agua Doméstico y turístico	Método de perforación Rotación	Equipo de perforación Schramm	
Inicio de la perforación 22 de julio de 2014.	Final de la perforación 23 de julio de 2014.	Profundidad total del pozo 140 m	
VARIACIÓN DEL NIVEL DE AGUA		DESCRIPCIÓN DE LA PERFORACIÓN	
AVANCE DE LA PERFORACIÓN		DESCRIPCIÓN	
Prof. (m)	Nivel (m)	Tramo (m)	Descripción
65 m	Nivel piezométrico	0-32 m	Suelo arcilloso color café rojizo con permeabilidad aparente alta, hacia la base de la capa presenta fragmentos angulosos de rocas sedimentarias de tamaños centimétricos.
90 m	Variación	32-40 m	Areniscas y lutitas altamente fracturadas, zona de transición hacia la roca sana.
120 m	Variación	40-140 m	Intercalaciones de areniscas y lutitas color café claro, muy sanas y algo fracturadas permeabilidad aparente moderada a alta. estas rocas se asocian con la Formación Térraba.

REPORTE FINAL DE PERFORACIÓN		Pozo N° COR-42		
PROFUNDIDAD (m)	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	DETALLES CONSTRUCTIVOS		
0	<p>Tubería ciega PVC SDR 26 de 5" desde 0 m hasta los 182,0 m</p> <p>PVC ramada SDR-26 desde 88,5 m hasta 94,6 m</p> <p>Tubería ciega PVC SDR 26 de 5" desde 94,6 hasta los 112,1 m</p> <p>PVC ramada SDR-26 desde 112,1 m hasta 118 m</p> <p>Tubería ciega PVC SDR 26 de 5" desde 118 hasta los 129,8 m</p> <p>PVC ramada SDR-26 desde 129,8 hasta 135,7 m</p> <p>Tubería ciega PVC SDR 26 de 5" desde 135,7 hasta los 140 m</p>	<p>Sello sanitario</p> <p>Material: Concreto</p> <p>Profundidad: 0-20 m</p> <p>TIPO DE GRASA: Tipo piedra quemada</p> <p>Tramo: 20-140 m.</p> <p>Longitud: 2,5 cm</p> <p>DEBANTILLO: Aire</p> <p>DESINFECCIÓN: No</p> <p>CAUDAL DEL AGUA: Limpia</p> <p>USOS/USUARIOS OPERACION: Usos Industrial</p> <p>Transmisibilidad: 30,5 m 3/día</p> <p>Perforado en 3 1/2" de los 9 a los 140 m. El sello sanitario es de concreto, posee un diámetro exterior de 8 1/2" y diámetro interior 5", por lo que su espesor es de 2,5 cm.</p> <p>Empaque de grava de piedra cuarcita con un espesor de 2" colocado entre 20 y 140m.</p> <p>El sello sanitario se instaló desde los 2 m hasta los 20 m de profundidad.</p> <p>Empaque de grava desde 20 hasta 140 m</p> <p>Material de la tubería: PVC</p> <p>Se utilizó acople con roscas herméticas en las tuberías.</p> <p>Además, el diámetro exterior de esta tubería es 13,9 cm y el diámetro interior es 12,7 cm (1").</p> <p>Las tuberías no presentan ningún tipo de revesamiento y su espesor mínimo es 0,48</p>		
20		RECOMENDACIONES		
40		EQUIPO A INSTALAR		
60		Bomba sumergible Capacidad: 15 gal/león	Profundidad: 130 m	Motor: 5 hp
80		Electrodos ascendidos: 71 m	Electrodos opacados: 71,5 m	
100		EXPLOTACIÓN		
120		Caudal en L/s	Horas diarias	Abastecimiento máximo de bombeo
140		3,06	12	3,91
EXPLOTACIÓN				
De conformidad con la ley de aguas N° 276 deberá el propietario del pozo solicitar la respectiva concesión de aprovechamiento de aguas ante el Dpto. de Aguas del 1999				
Supervisor Hidrogeol. Carlos Alonso Vargas Conejo		Representante de la empresa Noctis Umbra S.A. Kathia Sánchez Conejo		
Firma:		Firma:		
Fecha 9 de septiembre, 2014 / Canal: CSCR 271		Fecha 9 de septiembre, 2014 / Código: 2 0342 0121		

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Ingeniería de Suelos
Ingeniería de Suelos

INF. #15-0712 Pág. 14 de 47

San José, 16 de Noviembre del 2015.

Licenciado
Alonso Alfaro Martínez
Dirección de Investigación y Gestión Hídrica
SENARA-Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento

PROYECTO: "PERFORACIÓN EXPLORATORIA DEL SUBSUELO Y ARMADO DE PIEZÓMETROS PARA INVESTIGACIÓN DE LOS ACUIFEROS DEL PACÍFICO CENTRAL, PUNTARENAS- SAN JOSÉ" LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL CONTRATACIÓN N° 2013-LN-000069-OC

PIEZÓMETRO P-18 (COR-47)

Estimado licenciado:

Se presenta el informe denominado: "INFORME DE PERFORACIÓN DE PIEZÓMETRO P-18, UBICADO EN LITTA, BAHIA BALLENA, PUNTARENAS", de acuerdo con los términos de referencia del cartel en referencia y la oferta de servicios de nuestra empresa, el cual incluyen las descripciones litológicas, pruebas de conductividad hidráulica tipo Luqueon, análisis petrográficos macro y microscópicos, geofisica mediante resistividad eléctrica, gráfico de verticalidad de la perforación, control de niveles de agua, armado de piezómetro y pruebas de flujo en la rejilla.

El trabajo incluye la realización de una perforación a rotación con extracción de núcleo a 50 m de profundidad para ser constituida como piezómetro instalando rejillas en los estratos hidrogeológicamente productores, de acuerdo con el criterio del hidrogeólogo encargado (geólogo residente) y el hidrogeólogo supervisor de perforación.

Quedamos a su disposición para cualquier ampliación, aclaración o reunión que estimen conveniente.

Muy atentamente,

CARLOS ALONSO VARGAS CAMPOS
HIDROGEOLOGO RESIDENTE - RESPONSABLE TECNICO

ING. EUGENIO ARAYA MORA
GERENTE TECNICO DE LABORATORIO

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Ingeniería de Suelos
Ingeniería de Suelos

INF. #15-0712 Pág. 14 de 47

DESCRIPCIÓN	REG (%)	RQD (%)	OBSERVACIONES
Suelo limo arenoso.	76	0	Raíces.
Grava arenosa café, líteos variados de baja esfericidad, subangulares, mm-cm flotando en matriz.	23-48	0	Baja recuperación.
Arcilla café muy plástica.	34-70	0	
Arenas finas a limosas gris verdoso oscuro ligeramente plástica.	68-83	0	Presencia de materia vegetal.
Grava arenosa café. líteos variados de baja esfericidad, subangulares, mm-cm flotando en matriz.	15-48	0	Lente de arcilla a los 21,65 m-30,00 m
Arcia limosa gris ligeramente plástica.	16-21	0	Baja recuperación.
Arcilla café muy plástica.	20-60	0	Líteos máximos de 6 cm, promedio mm.
Arcilla roja muy plástica.	54-89	0	
Lutita gris meteorizada sin presencia de estructuras o fisiles y con vetillas de calcita.	77-94	8-26	Poco fracturada.
Lutita gris sin presencia de estructuras o fisiles y con vetillas de calcita	94-98	89-91	Modestamente fracturada.

Figura N°5. Resumen de la columna estratigráfica con los valores de RQD y recuperación.

La correlación realizada de la columna estratigráfica junto al contexto geológico regional concuerda, el techo de la secuencia son distintos tipos de material aluvial reciente poco consolidados de tamaño de grano desde arcillas a gravas donde los horizontes de arcillas pueden incluso coincidir con paleosuelos, estos depósitos sobreyacen unas lutitas grises de la Fm. Terraba (Fig. N°8) que presentan distintos grados de fracturación.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Ingeniería de Suelos
Ingeniería de Suelos

INF. #15-0712 Pág. 15 de 47

Figura N°6. Columna estratigráfica de la perforación correlacionada con las formaciones geológicas.

3.4.-Petrografía:

Se ha tomado una muestra petrográfica en un sector de la perforación donde aparecen las lutitas con código 18-A, a una profundidad de 49,1 m. Este ensayo tiene el fin de confirmar la clasificación de esta roca como lutita.

Las secciones delgadas fueron realizadas y analizadas por la geóloga Yemerith Alpizar Segura.

Código de muestra: 18-A
Profundidad: 49,1 m
Petrografía por: Geól. Yemerith Alpizar Segura.

Descripción macroscópica
Lutita calcárea café. Presenta un cemento calcáreo que se evidencia en una fuerte reacción al ácido. No se observan estructuras sedimentarias. La roca presenta poca meteorización pero se fractura con facilidad.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Ingeniería de Suelos
Ingeniería de Suelos

INF. #15-0712 Pág. 24 de 47

Figura N°9. Armado final de la perforación

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17020
Instituto de Metrología y Control de Calidad

INF. #15-0709. Pág. 1 de 57

San José, 18 de noviembre del 2015.

Licenciado
Alonso Alfaro Martínez
Dirección de Investigación y Gestión Hídrica
SENARA-Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento

PROYECTO: "PERFORACIÓN EXPLORATORIA DEL SUBSUELO Y ARMADO DE PIEZÓMETROS PARA INVESTIGACIÓN DE LOS ACUIFEROS DEL PACÍFICO CENTRAL, PUNTARENAS- SAN JOSÉ" LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL CONTRATACIÓN N° 2013-LN-000069-OC PIEZÓMETRO P-21 (COR-50).

Estimado licenciado:

Se presenta el informe denominado "INFORME DE PERFORACIÓN DE PIEZÓMETRO P-21, UBICADO EN BALLENA, BAHIA BALLENA, PUNTARENAS"; de acuerdo con los términos de referencia del cartel de la contratación en referencia y la oferta de servicios de nuestra empresa, el cual incluyen las descripciones litológicas, pruebas de conductividad hidráulica tipo Lugeon, análisis petrográficos macro y microscópicos, geofísica mediante resistividad eléctrica, gráfico de verticalidad de la perforación, control de niveles de agua, armado de piezómetro y pruebas de flujo en la rejilla.

El trabajo incluye la realización de una perforación a rotación con extracción de núcleo a 50 m de profundidad para ser constituida como piezómetro instalando rejillas en los estratos hidrogeológicamente productores, de acuerdo con el criterio del hidrogeólogo encargado (geólogo residente) y el hidrogeólogo supervisor de perforación.


Quedamos a su disposición para cualquier ampliación, aclaración o reunión que estimen conveniente.

Muy atentamente,

CARLOS ALONSO VARGAS CAMPOS
HIDROGEOLOGO RESIDENTE - RESPONSABLE TECNICO

ING. C. EUGENIO ARAYA M.
GERENTE TECNICO DE LABORATORIO

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr



Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17020
Instituto de Metrología y Control de Calidad


INF. #15-0709. Pág. 14 de 57

DESCRIPCIÓN	REG (%)	RQD (%)	OBSERVACIONES
Suelo limo arenoso con fragmentos centimétricos de arenisca grs.	29-83	0	Fragmentos litos máximo de 9 cm.
Limo arcilloso café rojizo con fragmentos litos o roca muy alterada de composición gábrico.	23-100	0	Muy alterada, arcillas y óxidos.
Gabro gris fracturado con textura fanerítica con cristales de plagioclasa y de menor tamaño, anfíboles y piroxenos.	54-100	6-48	Roca muy fracturada.
Calcedita gris con intercalaciones de arenisca centimétrica, presenta una reacción fuerte al ácido.	79-100	16-100	Presenta estructuras sedimentarias de carga y veillas de calceda.

Figura N°5. Resumen de la columna estratigráfica con los valores de RQD y recuperación.

La correlación realizada de la columna estratigráfica demuestra que la Formación Puerto Nuevo intruye a la Formación Térraba en la apariencia como un sill para este sitio en específico, con un espesor sano de intrusivo de casi 6 m, el espesor inicial de 12,6 m corresponde con la meteorización aparte de ambas formaciones a limos y arcillas con algunos fragmentos relicto de la Fm. Puerto Nuevo (P-19), y solo 32 m observables de la Fm. Térraba.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr



Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17020
Instituto de Metrología y Control de Calidad

INF. #15-0709. Pág. 15 de 57

Profundidad (m)	Descripción	Formaciones
0 - 10	Suelo limo arenoso con fragmentos de arenisca.	Formación Puerto Nuevo
10 - 15	Limo arcilloso con fragmentos de gábrico.	Formación Térraba
15 - 20	Gábrico.	Formación Puerto Nuevo.
20 - 50	Calcedita con intercalaciones de arenisca.	Formación Térraba.

Figura N°6. Columna estratigráfica de la perforación correlacionada con las formaciones geológicas.

3.4.-Petrografía:

Se tomaron 2 muestras petrográficas en dos sectores diferentes de la perforación a profundidades distintas: 21-A a 16,25 m y 21-B a 32,40 m; con el fin de confirmar la clasificación en composición mineralógica del intrusivo y del material sedimentario como areniscas y lutitas con tal de definir su ambiente de formación.


Las secciones delgadas fueron realizadas y analizadas por la geóloga Yemerith Alpizar Segura.

Código de muestra: 21-A
Profundidad: 16.25 m
Petrografía por: Geól. Yemerith Alpizar Segura.

Descripción macroscópica

Roca intrusiva de color negro, muy sana. Se distinguen algunos fenocristales de minerales ferromagnesianos y opacos en el corte pulido. La roca no presenta poros ni fracturas, sin embargo se observan veillas blancas que no reaccionan al HCl. No presenta oxidación, pero sí algunos minerales con brillo perlado. A simple vista la roca puede clasificarse como un gabro.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr



Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección


Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17020
Instituto de Metrología y Control de Calidad

INF. #15-0709. Pág. 26 de 57

DISEÑO PROPUESTO DE PIEZÓMETRO		PIEZÓMETRO P-21 (COR-50)
Profundidad (m)	Descripción litológica	Detalle constructivo
0	Suelo limo arenoso con fragmentos de arenisca.	Sello sanitario Perforación en 60mm de diámetro
10	Limo arcilloso con fragmentos de gábrico.	Filtro de grava Tubería de PVC ranurada de 51mm de diámetro
15	Gabro.	Tubería de PVC, de 51mm de diámetro
35	Calcedita con intercalaciones de arenisca.	Prueba Lugeon
40		Prueba Geofísica
45		Prueba Lugeon
50		Prueba Lugeon

Figura N°7. Diseño de piezómetro propuesto.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr



Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Evaluación de riesgos
de acuerdo a normas ISO 31000

INF. #16-0304. Pág. 1 de 41

San José, 30 de mayo 2016.

Licenciado
Alonso Alfaro Martínez
Dirección de Investigación y Gestión Hídrica
SENARA-Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento

PROYECTO: "PERFORACIÓN EXPLORATORIA DEL SUBSUELO Y ARMADO DE PIEZÓMETROS PARA INVESTIGACIÓN DE LOS ACUIFEROS DEL PACÍFICO CENTRAL, PUNTARENAS- SAN JOSÉ". LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL CONTRATACIÓN N° 2015-LA-00000-02

POZO COR-051

Estimado licenciado:

Se presenta el informe denominado "INFORME DE PERFORACIÓN DE POZO COR-051, UBICADO EN UVITA, BAHIA BALLENA, OSA, PUNTARENAS", de acuerdo con los términos de referencia del cartel en referencia y la oferta de servicios de nuestra empresa, el cual incluye las descripciones litológicas, pruebas de conductividad hidráulica, análisis petrográficos, geofísica mediante resistividad eléctrica, gráfico de verticalidad de la perforación, control de niveles de agua, armado de piezómetro y pruebas de flujo en la rejilla.

El trabajo incluye la realización de una perforación a rotación con extracción de núcleo a 50 m de profundidad para ser constituida como piezómetro instalando rejillas en los estratos hidrogeológicamente productores, de acuerdo con el criterio del hidrogeólogo encargado (geólogo residente) y el hidrogeólogo supervisor de perforación.

Quedamos a su disposición para cualquier ampliación, aclaración o reunión que estimen conveniente.

Muy atentamente,

CARLOS ALONSO VARGAS CAMPOS
HIDROGEOLOGO RESIDENTE - RESPONSABLE TECNICO

ING. EUGENIO ARAYA MORA
GERENTE TECNICO DE LABORATORIO

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Castro & DeLaTorre
Ingeniería & Construcción

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Evaluación de riesgos
de acuerdo a normas ISO 31000

INF. #16-0304. Pág. 12 de 41

La columna está constituida tanto por materiales inconsolidados, poco consolidados y consolidados tales como un suelo limo-arenoso, aluvión, arenas finas, un intrusivo gabroico y lutitas (Fig. N°4). Dado a la naturaleza de los mismos y las condiciones de meteorización que afectaron la solidez de las arenas, los datos de RQD se obtuvieron sólo para el último estrato conformado por lutitas cálcareas muy fracturadas en el tramo de 42,76 m – 50,00 m, teniendo un valor de 4% (ANEXO A).

DESCRIPCIÓN	LIT	REC. (N)	RQD (%)	OBSERVACIONES
Suelo limo-arenoso		65	0	Suelo limo-arenoso café rojizo con raíces y fragmentos líticos.
Aluvión		43	0	Bloques redondeados polimíticos en una matriz arenosa.
Arena fina gris		20	0	Cristales de cuarzo. Gradación normal.
Arena fina gris		20	0	Clastos polimíticos redondeados.
Gabro		28	0	Textura afanítica porfírica. Cristales de plagioclasa, olivino y piroxenos. Presenta contacto quemado.
Lutita café grisácea		54	0	Muy meteorizada. Sin reacción al HCL. Delineable. Se presenta como arcillas compactadas.
Lutita cálcarea		59	4	Bloques centimétricos en una matriz arcillosa. Lentes de arenisca fina. Evidencia de fallamiento.

Figura N°4. Resumen de la columna estratigráfica con los valores de RQD y recuperación.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Castro & DeLaTorre
Ingeniería & Construcción

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Evaluación de riesgos
de acuerdo a normas ISO 31000

INF. #16-0304. Pág. 13 de 41

La correlación realizada de la columna estratigráfica junto al contexto geológico regional concuerda, el techo de la secuencia son suelos limo-arenosos, distintos tipos de material aluvial reciente poco consolidados de tamaño de grano desde arcillas a gravas donde los horizontes de arcillas pueden incluso corresponder con paleosuelos, estos depósitos sobreyacen unas lutitas grises de la Fm. Terraba (Fig. N°5) que presentan distintos grados de fracturación.

Profundidad (m)	Descripción	Formación
0 - 5	Suelo limo-arenoso.	Depósitos cuaternarios
5 - 10	Aluvión	
10 - 20	Arena fina gris	
20 - 30	Arena fina gris	
30 - 40	Gabro	Fm. Terraba
40 - 45	Lutita café grisácea	
45 - 50	Lutita cálcarea	

Figura N°5. Columna estratigráfica de la perforación correlacionada con las formaciones geológicas.

3.4.-Petrografía

Debido a la naturaleza de los materiales de la columna no es posible tomar una muestra que sea apta para elaborar una sección delgada para el análisis petrográfico con microscopio de luz polarizada.

3.5.- Geofísica

Debido a las condiciones de estabilidad de las paredes de la perforación dada la naturaleza de los materiales poco consolidados o altamente fracturados se decidió no realizar esta prueba, previniendo el colapso del pozo y la pérdida del equipo.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Castro & DeLaTorre
Ingeniería & Construcción

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Evaluación de riesgos
de acuerdo a normas ISO 31000

INF. #16-0304. Pág. 21 de 41

CONSTRUCCIÓN FINAL DE PIEZÓMETRO

Profundidad perforación: Nivel final: 50,16 m

Detalle del armado del piezómetro:
Puntera PVC de 51 mm de diámetro (Ø)
Tipo: etapa (m) Tipo: resaca (m)

0,00 - 7,53	7,53 - 10,57
10,57 - 16,465	16,465 - 28,845
28,845 - 34,925	34,925 - 37,98
37,98 - 44,07	44,07 - 47,115
47,115 - 50,16	

PIEZÓMETRO C336.453

Sello Sanitario
Tipo Concreto
Prof: 3 m
Filtro de grava gruesa (1mm a 3mm)
Historial de niveles de agua
Profundidad de perforación (m): Nivel de agua (m)

9,60	1,63
9,60	1,33
36,00	4,88
45,76	1,41
48,76	0,00
50,00	0,00

Armado
Profundidad (m) Tipo y cantidad

0,00 - 7,53	3 tubos ciegos
7,53 - 10,57	1 rejilla
10,57 - 16,465	2 tubos ciegos
16,465 - 28,845	4 rejillas
28,845 - 34,925	2 tubos ciegos
34,925 - 37,98	1 rejilla
37,98 - 44,07	2 tubos ciegos
44,07 - 47,115	1 rejilla
47,115 - 50,16	1 tubo ciego

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Castro & DeLaTorre
Ingeniería & Construcción

Figura N°7. Construcción final de piezómetro.

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Evaluación de riesgos
de laboratorio de suelos

INF. #16-0305 Pág. 1 de 51

San José, 31 de mayo 2016.

Licenciado
Alonso Alfaro Martínez
Dirección de Investigación y Gestión Hídrica
SENARA-Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento

PROYECTO: "PERFORACIÓN EXPLORATORIA DEL SUBSUELO Y ARMADO DE PIEZÓMETROS PARA INVESTIGACIÓN DE LOS ACUIFEROS DEL PACÍFICO CENTRAL, PUNTARENAS- SAN JOSÉ- LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL CONTRATACIÓN N° 2013-LN-000000-02
PIEZÓMETRO P-27 (COR-52)

Estimado licenciado:

Se presenta el informe denominado "INFORME DE PERFORACIÓN DE PIEZÓMETRO P-27, UBICADO EN UVITA, BAHIA BALLENA, OSA, PUNTARENAS", de acuerdo con los términos de referencia del cartel en referencia y la oferta de servicios de nuestra empresa, el cual incluye las descripciones litológicas, pruebas de conductividad hidráulica tipo Lugeon y Hvorslev, análisis petrográficos macro y microscópicos, geofísica mediante resistividad eléctrica, gráfico de verticalidad de la perforación, control de niveles de agua, armado de piezómetro y pruebas de flujo en la rejilla.

El trabajo incluye la realización de una perforación a rotación con extracción de núcleo a 50 m de profundidad para ser constituida como piezómetro instalando rejillas en los estratos hidrogeológicamente productores, de acuerdo con el criterio del hidrogeólogo encargado (geólogo residente) y el hidrogeólogo supervisor de perforación.


Quedamos a su disposición para cualquier ampliación, aclaración o reunión que estimen conveniente.

Muy atentamente,

CARLOS ALONSO VARGAS CAMPOS
HIDROGEOLOGO RESIDENTE - RESPONSABLE TECNICO

ING. EUGENIO ARAYA MORA
GERENTE TECNICO DE LABORATORIO

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr



Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección


Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Evaluación de riesgos
de laboratorio de suelos

INF. #16-0305 Pág. 14 de 51

DESCRIPCIÓN	LIT	REC (%)	BOD (%)	OBSERVACIONES
Suelo arenoso		100	0	Fragmentos líticos, ramas y raíces.
Limos arenoso-arcillosos		32	0	Clastos líticos grises centimétricos.
Depósitos de arenas sueltas grises		0*	0	Clastos líticos de tamaño centimétrico. *En las cajas se muestran sedimentos lavados.
Lutitas grises calcáreas		83	41	Vetas de calca. Tramos alternados a arcillas.

Figura N°5. Resumen de la columna estratigráfica con los valores de ROD y recuperación.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr



Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Evaluación de riesgos
de laboratorio de suelos

INF. #16-0305 Pág. 15 de 51

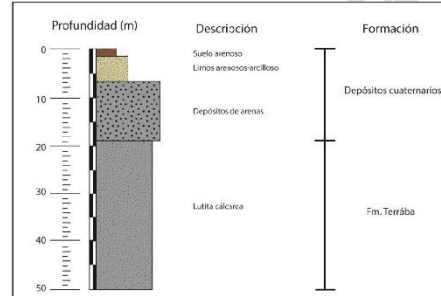


Figura N°6. Columna estratigráfica de la perforación correlacionada con las formaciones geológicas.


Código de muestra: P27A

Petrografía por: Geól. Yemerith Alpizar Segura.

Descripción macroscópica

Lutita calcárea de color café claro. Presenta muy poco cemento calcáreo que se evidencia en una leve reacción al ácido. No se observan estructuras sedimentarias, fragmentos de roca, ni vetillas. La roca presenta poca meteorización pero se fractura con facilidad (es muy frías).

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr



Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Evaluación de riesgos
de laboratorio de suelos

INF. #16-0305 Pág. 26 de 51

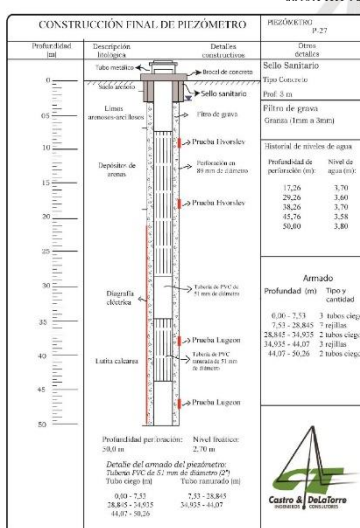



Figura N°9. Armado final de la perforación.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr



Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Resolución MTC 001-2010
del 16 de febrero del 2010

INF. #16-0306. Pág. 1 de 47

San José, 31 de mayo 2016.

Licenciado
Alonso Alfaro Martínez
Dirección de Investigación y Gestión Hídrica
SENARA-Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento

PROYECTO: "PERFORACIÓN EXPLORATORIA DEL SUBSUELO Y ARMADO DE PIEZÓMETROS PARA INVESTIGACIÓN DE LOS ACUIFEROS DEL PACÍFICO CENTRAL, PUNTAARENAS- SAN JOSÉ" LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL CONTRATACIÓN N° 2013-LN-000069-OC
PIEZÓMETRO P-29 (COR-53)

Estimado licenciado:

Se presenta el informe denominado "INFORME DE PERFORACIÓN DE PIEZÓMETRO P-29, UBICADO EN UJTA, BAHÍA BALLENA, OSA, PUNTAARENAS", de acuerdo con los términos de referencia del cartel en referencia y la oferta de servicios de nuestra empresa, el cual incluyen las descripciones litológicas, pruebas de conductividad hidráulica tipo Hvorslev, análisis petrográficos macro y microscópicos, geofísica mediante resistividad eléctrica, gráfico de verticalidad de la perforación, control de niveles de agua, armado de piezómetro y pruebas de flujo en la rejilla.

El trabajo incluye la realización de una perforación a rotación con extracción de núcleo a 50 m de profundidad para ser constituida como piezómetro instalando rejillas en los estratos hidrogeológicamente productores, de acuerdo con el criterio del hidrogeólogo encargado (geólogo residente) y el hidrogeólogo supervisor de perforación.

Quedamos a su disposición para cualquier ampliación, aclaración o reunión que estimen conveniente.

Muy atentamente,

CARLOS ALONSO VARGAS CAMPOS
HIDROGEOLOGO RESIDENTE - RESPONSABLE TECNICO

ING. EUGENIO ARAYA MORA
GERENTE TECNICO DE LABORATORIO

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Resolución MTC 001-2010
del 16 de febrero del 2010

INF. #16-0306. Pág. 13 de 47

DESCRIPCIÓN	LIT	REC (%)	RQD (%)	OBSERVACIONES
Aluvión		50	0	Bloques decimétricos y liticos en un matriz arenosa
Depósitos de arenas café		62	0	Fragmentos liticos ocasionales
Depósitos de arenas gris		59	0	Líticos centimétricos subredondeados, ocasionales
Arcillas plásticas		79	0	Muy meteorizado. Gran cantidad de liticos desde cañes hasat gris
Lutita calcárea		85	7	Vetas ocasionales. Intensa fracturación.

Figura N°4. Resumen de la columna estratigráfica con los valores de RQD y recuperación.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Resolución MTC 001-2010
del 16 de febrero del 2010

INF. #16-0306. Pág. 14 de 47

Figura N°5. Columna estratigráfica de la perforación correlacionada con las formaciones geológicas.

3.4.-Petrografía

Se ha tomado una muestra petrográfica en un sector de la perforación donde aparecen las lutitas con código P29A, a una profundidad de 37.25 m. Este ensayo tiene el fin de confirmar la clasificación de esta roca como lutita.

La sección delgada fue realizada y analizada por la geóloga Yemeriht Alpizar Segura.

Código de muestra: P29A

Petrografía por: Geól. Yemeriht Alpizar Segura.

Descripción macroscópica

Lutita calcárea café. Presenta un cemento calcáreo que se evidencia en una fuerte reacción al ácido. No se observan estructuras sedimentarias. La roca presenta poca meteorización pero su fractura con facilidad (es muy friable).

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Resolución MTC 001-2010
del 16 de febrero del 2010

INF. #16-0306. Pág. 25 de 47

Figura N°7. Armado final de la perforación.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Su proyecto en suelo firme
Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17020
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17025

INF. #15-0738 Pág. 1 de 09

San José, 27 de noviembre del 2015.

Licenciado
Alonso Alfaro Martínez
Dirección de Investigación y Gestión Hídrica
SENARA-Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento

PROYECTO: "PERFORACIÓN EXPLORATORIA DEL SUBSUELO Y ARMADO DE PIEZÓMETROS PARA INVESTIGACIÓN DE LOS ACUIFEROS DEL PACÍFICO CENTRAL, PUNTARENAS - SAN JOSÉ. LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL CONTRATACIÓN N° 2013-LA-000000-DC
PIEZÓMETRO P-17 (RE-31)

Estimado licenciado:

Se presenta el informe denominado "INFORME DE PERFORACIÓN DE PIEZÓMETRO P-17, UBICADO EN UVITA, BAHÍA BALLENA, PUNTARENAS", de acuerdo con los términos de referencia del cartel en referencia y la oferta de servicios de nuestra empresa, el cual incluyen las descripciones litológicas, pruebas de conductividad hidráulica tipo Luqon, análisis petrográficos macro y microscópicos, geofísica mediante resistividad eléctrica, gráfico de verticalidad de la perforación, control de niveles de agua, armado de piezómetro y pruebas de flujo en la rejilla.

El trabajo incluye la realización de una perforación a rotación con extracción de núcleo a 100 m de profundidad para ser consultada como piezómetro instalando rejillas en los estratos hidrogeológicamente productores, de acuerdo con el criterio del hidrogeólogo encargado (geólogo residente) y el hidrogeólogo supervisor de perforación.

Quedamos a su disposición para cualquier ampliación, aclaración o reunión que estimen conveniente.

Muy atentamente,

CARLOS ALONSO VARGAS CAMPOS
HIDROGEOLOGO RESIDENTE - RESPONSABLE TECNICO

ING. EUCENIO ARAYA MORA
GERENTE TECNICO DE LABORATORIO

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Castro & DeLaTorre
INGENIEROS & CONSULTORES

Su proyecto en suelo firme
Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17020
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17025

INF. #15-0738 Pág. 14 de 09

DESCRIPCIÓN	REC (%)	RQD (%)	OBSERVACIONES
Arenas finas color café con clastos milimétricos a centimétricos, meteorizados e indistinguibles en contacto fósate.	41-100	0	Deposito aluvial inconsolidado.
Fragmentos de roca de tamaños centimétricos de hasta 25 cm, de composición variada (granitos, lavas, etc) en una matriz arenosa color gris a café claro.	38-80	0	Coluvia.
Lutita de color negro, dolzable, carbonatada, con vetillas de calcita y fricciones.	46-100	0-100	Vetillas y fricciones con una orientación preferencial de 30°-45° respecto a la vertical (dirección de perforación).
Arenisca brechosa con clastos angulares a subangulares, mm, de composición lítica y en contacto puntual y lateral.	100	32-50	Se observan estrías, cañas, superficies pulidas y otras evidencias de deformación frágil.
Lutita negra a gris oscuro carbonatada, con vetillas calcitas sin un arreglo preferencial.	74-100	0-99	Se observan estrías, cañas, superficies pulidas y otras evidencias de deformación frágil.

Figura N°5. Resumen de la columna estratigráfica con los valores de RQD y recuperación.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Castro & DeLaTorre
INGENIEROS & CONSULTORES

Su proyecto en suelo firme
Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17020
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17025

INF. #15-0738 Pág. 15 de 09

Profundidad (m)	Descripción	Formaciones
0 - 10	Arenas finas color café.	Depósitos recientes.
10 - 20	Coluvia, de matriz arenosa y bloques variados cm-dm.	
20 - 60	Lutita negra dolzable y con vetas de calcita.	Fm. Terrabá.
60 - 70	Arenisca brechosa.	
70 - 100	Lutita gris con vetas de calcita afectada por fallas.	

Figura N°6. Columna estratigráfica de la perforación correlacionada con las formaciones geológicas.

3.4.-Petrografía:

Se tomaron tres muestras petrográficas en tres sectores diferentes de la perforación a profundidades distintas: 17-A a 17.70 m; 17-B a 64.50 m y 17-C a 92.40 m de profundidad, con el fin de determinar mejor la clasificación de rocas sedimentarias y conocer mejor su ambiente de formación.

Las secciones delgadas fueron realizadas y analizadas por la geóloga Yemethi Alpizar Segura.

Código de muestra: 17-A

Descripción macroscópica

Arenisca brechosa, de color gris claro, la roca se encuentra mal sortada, con tamaño de grano que van entre tamaño grava y arena con contactos flotantes, no presenta estructuras sedimentarias. La roca posee cemento silíceo y no reacciona con el HCl, además se encuentra muy sana.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Castro & DeLaTorre
INGENIEROS & CONSULTORES

Su proyecto en suelo firme
Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17020
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17025

INF. #15-0738 Pág. 33 de 09

Profundidad (m)	Descripción	Detalles constructivos	Piezómetro P-17 (RE-31) Otros detalles
0	Arenas finas color café.	Tubo metálico	Sello Sanitario Tipo Concreto
10	Coluvia, de matriz arenosa y bloques variados cm-dm.	Perforación en 89mm de diámetro	Filtro de grava Gravas (1mm a 3mm)
20	Lutita negra dolzable y con vetas de calcita.	Tubería de PVC, ramales de 51mm de diámetro	Alfileros de niveles de agua
30	Arenisca brechosa.	Tubería de PVC, de 81mm de diámetro	Profundidad Nivel de agua (m)
40	Lutita gris con vetas de calcita afectada por fallas.	Perforación en 89mm de diámetro	Profundidad Nivel de agua (m)
50		Perforación en 89mm de diámetro	Profundidad Nivel de agua (m)
60		Perforación en 89mm de diámetro	Profundidad Nivel de agua (m)
70		Perforación en 89mm de diámetro	Profundidad Nivel de agua (m)
80		Perforación en 89mm de diámetro	Profundidad Nivel de agua (m)
90		Perforación en 89mm de diámetro	Profundidad Nivel de agua (m)
100		Perforación en 89mm de diámetro	Profundidad Nivel de agua (m)

Figura N°9. Armado final de la perforación.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Castro & DeLaTorre
INGENIEROS & CONSULTORES

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Instituto de Metrología
del Ecuador (INTEMET)

INF. #16-0307. Pág. 1 de 53

San José, 31 de mayo 2016.

Licenciado
Alonso Alfaro Martínez
Dirección de Investigación y Gestión Hídrica
SENARA-Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento

PROYECTO: "PERFORACIÓN EXPLORATORIA DEL SUBSUELO Y ARMADO DE PIEZÓMETROS PARA INVESTIGACIÓN DE LOS ACUIFEROS DEL PACIFICO CENTRAL, PUNTARENAS- SAN JOSE" LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL CONTRATACIÓN N° 2013-LN-000069-OC
PIEZÓMETRO P-28 (RE-032)

Estimado licenciado:

Se presenta el informe denominado "INFORME DE PERFORACIÓN DE PIEZÓMETRO P-28, UBICADO EN UJTA, BAHIA BALLENA, OSA, PUNTARENAS", de acuerdo con los términos de referencia del cartel en referencia y la oferta de servicios de nuestra empresa, el cual incluyen las descripciones litológicas, pruebas de conductividad hidráulica tipo Lugeon y Hvorslev, análisis petrográficos macro y microscópicos, geofísica mediante resistividad eléctrica, gráfico de verticalidad de la perforación, control de niveles de agua, armado de piezómetro y pruebas de flujo en la rejilla.

El trabajo incluye la realización de una perforación a rotación con extracción de núcleo a 50 m de profundidad para ser constituida como piezómetro instalando rejillas en los estratos hidrogeológicamente productores, de acuerdo con el criterio del hidrogeólogo encargado (geólogo residente) y el hidrogeólogo supervisor de perforación.

Quedamos a su disposición para cualquier ampliación, aclaración o reunión que estimen conveniente.

Muy atentamente,

CARLOS ALONSO VARGAS CAMPOS
HIDROGEOLOGO RESIDENTE - RESPONSABLE TECNICO

ING. EUGENIO ARAYA MORA
GERENTE TECNICO DE LABORATORIO

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Instituto de Metrología
del Ecuador (INTEMET)

INF. #16-0307. Pág. 14 de 53

DESCRIPCIÓN	LIT	REC (%)	RQD (%)	OBSERVACIONES
Suelo limo arcilloso-arenoso		31	0	Clastos centimétricos de lutita
Aluvión		33	0	Clastos redondeados polimicticos, tanto sedimentarios como algunos volcanicos de tamaño centimétrico.
Lutita calcárea con intercalaciones		86	72	Intercalaciones métricas de arenas medias a finas griseáceas con lentes ocasionales de lutitas, dentro. Vetas de calcita.
Arenisca media-fina		95	95	Calcareas, intercalaciones con arenas finas
Lutita		94	90	Intercalaciones ocasionales de arenas finas a medias. Esporádicas vetas de calcita.

Figura N°5. Resumen de la columna estratigráfica con los valores de RQD y recuperación.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Castro & DeLaTorre
Ingeniería & Construcción

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Castro & DeLaTorre
Ingeniería & Construcción

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Instituto de Metrología
del Ecuador (INTEMET)

INF. #16-0307. Pág. 15 de 53

Figura N°6. Columna estratigráfica de la perforación correlacionada con las formaciones geológicas.

Código de muestra: P28A

Petrografía por: Geól. Ymerith Alpizar Segura.

Descripción macroscópica

Arenisca media, color gris claro, se observan pocos fragmentos angulares de roca. La roca presenta una selección buena y se encuentra meteorizada. Algunos de sus componentes presentan una ligera reacción al HCl.

Descripción microscópica

La roca está compuesta en su totalidad por fragmentos líticos angulares y minerales meteorizados como plagioclasa y pirita, los tamaños máximos de los granos son de 1.1 mm y estos son angulares, con bordes de punto, suturados y flotantes (Foto N°5). Se observa gran cantidad y variedad de fragmentos microfósiles. Según Pettjohn et al. (1987), composicionalmente se trata de una arenisca lítica.

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Instituto de Metrología
del Ecuador (INTEMET)

INF. #16-0307. Pág. 28 de 53

Figura N°9. Armado final de la perforación.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Castro & DeLaTorre
Ingeniería & Construcción

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr

Castro & DeLaTorre
Ingeniería & Construcción

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Ingeniería de Suelos
Ingeniería de Suelos

INF. #16-0308. Pág. 1 de 52

San José, 31 de mayo 2016.

Licenciado
Alonso Alfaro Martínez
Dirección de Investigación y Gestión Hídrica
SENARA-Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento

PROYECTO: "PERFORACIÓN EXPLORATORIA DEL SUBSUELO Y ARMADO DE PIEZÓMETROS PARA INVESTIGACIÓN DE LOS ACUIFEROS DEL PACÍFICO CENTRAL, PUNTARENAS- SAN JOSÉ". LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL CONTRATACIÓN N° 2013-LN-000009-OC
PIEZÓMETRO P-33 (RE-33)

Estimado licenciado:

Se presenta el informe denominado **"INFORME DE PERFORACIÓN DE PIEZÓMETRO P-33, UBICADO EN UJITA, BAHÍA GALLENA, OSA, PUNTARENAS"**, de acuerdo con los términos de referencia del cartel en referencia y la oferta de servicios de nuestra empresa, el cual incluyen las descripciones litológicas, pruebas de conductividad hidráulica tipo Lugeon y Hvorslev, análisis petrográficos macro y microscópicos, geofísica mediante resistividad eléctrica, gráfico de verticalidad de la perforación, control de niveles de agua, armado de piezómetro y pruebas de flujo en la rejilla.

El trabajo incluye la realización de una perforación a rotación con extracción de núcleo a 50 m de profundidad para ser constituida como piezómetro instalando rejillas en los estratos hidrogeológicamente productores, de acuerdo con el criterio del hidrogeólogo encargado (geólogo residente) y el hidrogeólogo supervisor de perforación.


Quedamos a su disposición para cualquier ampliación, aclaración o reunión que estimen conveniente.

Muy atentamente,

CARLOS ALONSO VARGAS CAMPOS
HIDROGEOLOGO RESIDENTE - RESPONSABLE TECNICO

ING. EUGENIO ARAYA MORA
GERENTE TECNICO DE LABORATORIO

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr



Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Ingeniería de Suelos
Ingeniería de Suelos


INF. #16-0308. Pág. 14 de 52

La correlación realizada de la columna estratigráfica junto al contexto geológico regional concuerda, el techo de la secuencia son suelos limo arcillosos arenosos, distintos tipos de material aluvial reciente poco consolidados de tamaño de grano desde arcillas a gravas donde los horizontes de arcillas pueden incluso corresponder con paleosuelos, estos depósitos sobreyacen unas lutitas grises de la Fm. Terraba (Fig. N°5) que presentan distintos grados de fracturación.

DESCRIPCIÓN	LIT	REC. (%)	RQD (%)	OBSERVACIONES
Suelo limo arcilloso		73	0	Clastos lixos centimétricos café
Aluvión		75	0	Bloques decimétricos polimórficos, limonosos, arena, sedimentarios en una matriz arenosa café
Lutita calcárea con vetas de calcita		79	30	Vetas de calcita. Troncos con muchas fracturas y arbolizados.
Arenisca muy fina		100	0	Interacciones con lutita. Intensa fracturación. Vetas de calcita.
Lutita muy fracturada		87	0	Interacciones ocasionales de arenas finas. Intensa fracturación. Vetas de calcita.
Lutita		85	49	Vetas muy ocasionales de calcita.

Figura N°5. Resumen de la columna estratigráfica con los valores de RQD y recuperación.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr



Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Ingeniería de Suelos
Ingeniería de Suelos

INF. #16-0308. Pág. 15 de 52

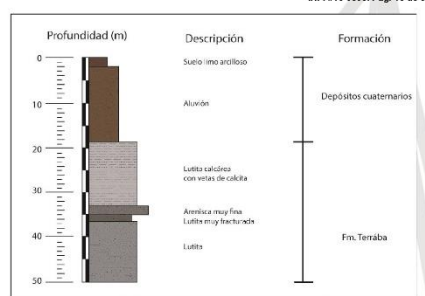


Figura N°6. Columna estratigráfica de la perforación correlacionada con las formaciones geológicas.

3.4.-Petrografía

Se ha tomado una muestra petrográfica en un sector de la perforación donde aparecen las lutitas con código P33A, a una profundidad de 35,34 m. Este ensayo tiene el fin de confirmar la clasificación de esta roca como lutita.

La sección delgada fue realizada y analizada por la geóloga Yemerith Alpizar Segura.


Código de muestra: P33A

Petrografía por: Geól. Yemerith Alpizar Segura.

Descripción macroscópica

Lutita calcárea gris-parde claro. Presenta un cemento calcáreo que se evidencia en una fuerte reacción al ácido. No se observan estructuras sedimentarias. La roca presenta poca meteorización y no se observa porosidad. A simple vista no se observan clastos.

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr



Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025
INTE ISO/IEC 17030
Ingeniería de Suelos
Ingeniería de Suelos

INF. #16-0308. Pág. 27 de 52

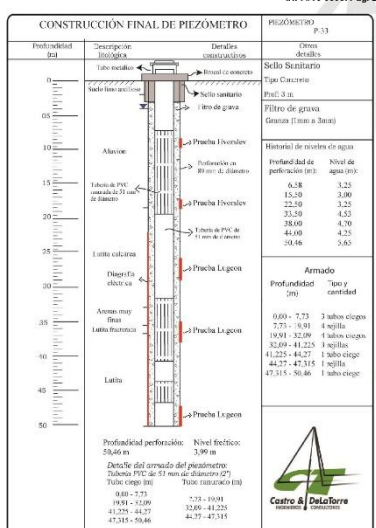



Figura N°9. Armado final de la perforación

FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
www.cyt.cr



NACIENTES BASDE DE DATOS DE SENARA 2020						
Naciente	Longitud LN	Latitud LN	Longitud CR	Latitud CR	Propietario	Distancia
NAC-119	579554	125945	543107	1011276	AyA	16508.87
NAC-122	579754	125995	543307	1011325	AyA	16676.49
NAC-123	579854	125845	543406	1011175	AyA	16824.58
NAC-124	580054	125245	543606	1010575	AyA	17239.13
NAC-182	561554	141145	525130	1026492	AyA	9460.3
NAC-7	561654	143745	525233	1029091	AyA	11955.28
NAC-84	572804	130595	536364	1015932	AyA	8706.68
NAC-85	572454	130395	536014	1015733	AyA	8399.5
NAC-86	573054	130295	536614	1015632	AyA	9007.42
NAC-2459	565985	131080	529548	1016425	Privada	2020.59
NAC-2460	565961	131100	529524	1016445	Privada	1989.88
NAC-2461	565949	131125	529512	1016470	Privada	1967.29
NAC-2462	565954	131121	529517	1016466	Seleccione	1973.59

CONCESIONES BASE DE DATOS SIN(OR)H - LVITA.																		
ID	CANON_ANU	CANON_TRIM	CAUDAL_ACI	CAUDAL_TUF	CAUDAL_RIE	CAUDAL_INE	CAUDAL_FUE	CAUDAL_CON	CAUDAL_CON	CAUDAL_AGI	CAUDAL_A_2	LATITUD_CR	LONGITUD_C	LATTIUD_LA	LONGITUD_L	NOMBRE_DE	NUMERO_DE	NUMERO_D
7736	1954	489	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1011963	532465	0	0	SIN NOMBRE	1	1
10783	4889	122	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1011394	530612	0	0	SIN NOMBRE	1	1
11264	1058	265	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1013274	529277	0	0	SIN NOMBRE	1	1
11833	34749	887	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1016268	531663	0	0	SIN NOMBRE 1	1	531668
12350	1943016	485754	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1015159	530231	0	0	FUENTE MICHAEL 1	5	6
12351	1943016	485754	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1016434	530603	0	0	FUENTE MICHAEL 2	6	5
12352	1943016	485754	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1013228	527848	0	0		P1	7
12360	1943016	485754	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1016462	529560	0	0	F4		4
11865	6370	1193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1011120	533515	0	0	SIN NOMBRE	COR-13	1
10882	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1015236	529786	0	0	CARMEN 2		1
12519	713886551	179271688	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1018205	535706	0	0	F3	COR-23	60
11207	4189	1050	0	0	0	0	0	0	0	0	1013996	530400	0	0			4	
11237	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1016355	529578	0	0	SIN NOMBRE	ARTESANAL	1	
8601	186541	27135	0	0	0	0	0	0	0	0	1011974	529347	0	0	F2		2	
8783	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1013824	529346	0	0		ARTESANAL	1	
10022	1943016	485754	0	0	0	0	0	0	0	0	1016453	529365	0	0		ARTESANAL	1	
10252	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1012103	529468	0	0		ARTESANAL	1	
10253	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1012405	529472	0	0		ARTESANAL	1	
15337	5998	1500	0	0	0	0	0	0	0	0	1011584	531158	0	0		ARTESANAL	1	
15347	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1011194	529518	0	0		ARTESANAL	1	
16431	5399	1350	0	0	0	0	0	0	0	0	1012157	529538	0	0		ARTESANAL	1	
16097	1075	269	0	0	0	0	0	0	0	0	1012609	530384	0	0		ARTESANAL	1	
13151	1037	259	0	0	0	0	0	0	0	0	1013821	530761	0	0		ARTESANAL	1	
13698	2075	519	0	0	0	0	0	0	0	0	1013786	530815	0	0		ARTESANAL	1	
13877	1037	259	0	0	0	0	0	0	0	0	1015161	530707	0	0		ARTESANAL	1	
13879	3175	794	0	0	0	0	0	0	0	0	1015019	529043	0	0		ARTESANAL	1	
13753	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1014955	529140	0	0		ARTESANAL	1	
14072	8247	2062	0	0	0	0	0	0	0	0	1013292	527879	0	0		P2	7	
12747	12616	3154	0	0	0	0	0	0	0	0	1015344	528787	0	0		RE-20	1	
19924	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1015248	529242	0	0			1	
20466	2075	519	0	0	0	0	0	0	0	0	1016327	529775	0	0		F1	2	
18993	34749	887	0	0	0	0	0	0	0	0	1015191	530717	0	0		SIN NOMBRE 2	2	
19225	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1015778	531522	0	0		SIN NOMBRE 2	2	
18650	1943016	485754	0	0	0	0	0	0	0	0	1016462	529560	0	0		F4	5	
20213	1943016	485754	0	0	0	0	0	0	0	0	1016353	529578	0	0		F3	3	
17768	26725	6681	0	0	0	0	0	0	0	0	1012676	530168	0	0		ARTESANAL	1	
23627	2249	562	0	0	0	0	0	0	0	0	1016327	529775	0	0		F1	1	
22959	1800	450	0	0	0	0	0	0	0	0	1015806	530937	0	0		SIN NOMBRE	1	
22492	1612	403	0	0	0	0	0	0	0	0	1012767	531584	0	0		SIN NOMBRE 2	2	
20865	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1011768	531780	0	0		SIN NOMBRE	1	
28070	1943016	485754	0	0	0	0	0	0	0	0	1013168	530480	0	0		COR-14	1	
27950	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1011524	531358	0	0		COR-40	1	
26509	5667	1417	0	0	0	0	0	0	0	0	1014283	530995	0	0		SIN NOMBRE	3	
27057	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1016453	529565	0	0		F2	3	
26709	3121	780	0	0	0	0	0	0	0	0	1013267	529780	0	0		P2	8	
26713	4256	1064	0	0	0	0	0	0	0	0	1016881	529209	0	0		SIN NOMBRE	1	
26433	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1013843	531381	0	0		SIN NOMBRE	1	
26442	1058	265	0	0	0	0	0	0	0	0	1015923	531542	0	0		SIN NOMBRE	1	
26482	3121	780	0	0	0	0	0	0	0	0	1015893	531092	0	0		SIN NOMBRE	1	
26620	17966	4491	0	0	0	0	0	0	0	0	1014688	529892	0	0		ARTESANAL	1	
26633	1058	265	0	0	0	0	0	0	0	0	1013175	530017	0	0		SIN NOMBRE	1	
24777	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1017019	530017	0	0		SIN NOMBRE	1	
24857	1058	265	0	0	0	0	0	0	0	0	1017688	529881	0	0		SIN NOMBRE	1	
			0	0	0	0	0	0	0	0	1017019	529881	0	0		ARTESANAL	1	
			0	0	0	0	0	0	0	0	1013626	529568	0	0		ARTESANAL	1	
			0	0	0	0	0	0	0	0	1015864	529568	0	0		ARTESANAL	1	
			0	0	0	0	0	0	0	0	1015864	529568	0	0		ARTESANAL	1	
			0	0	0	0	0	0	0	0	1012900	529581	0	0		RE-41	1	
			0	0	0	0	0	0	0	0	1012900	529581	0	0		SIN NOMBRE	1	
			0	0	0	0	0	0	0	0	1015680	530272	0	0		SIN NOMBRE	1	
			0	0	0	0	0	0	0	0	1015680	530272	0	0		RE-35	1	
			0	0	0	0	0	0	0	0	1015454	529785	0	0		SIN NOMBRE	2	
			0	0	0	0	0	0	0	0	1015454	529785	0	0		RE-36	1	
			0	0	0	0	0	0	0	0	529101	529101	0	0		SIN NOMBRE	1	

CONCESIONES BASE DE DATOS SINIGIRH - UVITA.													
ID	CANON ANUAL	CANON TRIN	NUMERO D	TIPO DE FU	FECHA DE *	FECHA DE *	FECHA DE *	TRAMITE AC	ESTADO DEL	TIPO DE EX	NUMERO D	RAZON SOCI	CEDUL
7716	1954	489	1	NACIMIENTO	018-08-08.0000.008-08-08.0000.00	0	0	0	NCELAO POR VENCIMEN	A (AGUAS SUPERFICIALES)	11853	ARCADIO LOBO CABEZAS	0
10783	4889	1222	1	NACIMIENTO	018-09-01.0000.008-09-01.0000.00	0	0	0	NCELAO POR VENCIMEN	A (AGUAS SUPERFICIALES)	11886	PASTOR DUARTE BARRANTES	0
11264	1058	265	1	NACIMIENTO	017-04-10.0000.009-11-04.0000.00	0	0	0	NCELAO POR VENCIMEN	A (AGUAS SUPERFICIALES)	13039	BOLEMR VERDE UNO S.A.	0
11833	34749	8687	1	NACIMIENTO	017-04-10.0000.009-11-04.0000.00	0	0	0	NCELAO POR VENCIMEN	A (AGUAS SUPERFICIALES)	12222	R.U.N.A.M.O.K.S.A.	0
12350	1943016	485754	5	NACIMIENTO	969-12-31.18.00.00.008-07-02.0000.00	0	0	0	CANCELADO	R (ACUEDUCTO RURAL)	586	UTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILL	0
12351	1943016	485754	6	NACIMIENTO	969-12-31.18.00.00.008-07-02.0000.00	0	0	0	CANCELADO	R (ACUEDUCTO RURAL)	586	UTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILL	0
12352	1943016	485754	7	ACUFIERO	969-12-31.18.00.00.008-07-02.0000.00	0	0	0	CANCELADO	R (ACUEDUCTO RURAL)	586	UTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILL	0
12360	1943016	485754	4	NACIMIENTO	969-12-31.18.00.00.008-07-02.0000.00	0	0	0	CANCELADO	R (ACUEDUCTO RURAL)	586	UTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILL	0
11865	6370	1593	1	ACUFIERO	023-09-23.0000.013-09-23.0000.00	0	0	0	MOROSO PAGO DE CANON	P (POZO)	13215	LA PRINCIPESSA DIL MARE S.A.	0
10882	0	0	1	NACIMIENTO	969-12-31.18.00.00.969-12-31.18.00.00	0	0	0	CANCELADO	A (AGUAS SUPERFICIALES)	13172	BOLEMR VERDE UNO S.A.	0
12519	712886551	178221688	60	NACIMIENTO	969-12-31.18.00.00.969-12-31.18.00.00	0	0	0	OTORGADO	R (ACUEDUCTO RURAL)	602	UTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILL	0
11207	4199	1050	1	ACUFIERO	021-11-22.0000.010-11-22.0000.00	0	0	0	OTORGADO	P (POZO)	13342	INVERSIONES NUEVE MIL TREINTA F.E.B. S.A.	0
12337	0	0	4	NACIMIENTO	969-12-31.18.00.00.969-12-31.18.00.00	0	0	0	OTORGADO	R (ACUEDUCTO RURAL)	130	ASADA BAHIA Y UVITA DE OSA	0
9801	108541	27135	1	ACUFIERO	019-01-09.0000.009-01-09.0000.00	0	0	0	NCELAO POR VENCIMEN	P (POZO)	11433	MANUEL GONZALEZ PICADO	0
8783	0	0	1	NACIMIENTO	969-12-31.18.00.00.969-12-31.18.00.00	0	0	0	RCHIVADO SIN MAS TRAMIT	R (ACUEDUCTO RURAL)	130	ASADA BAHIA Y UVITA DE OSA	0
10702	1943016	485754	2	NACIMIENTO	969-12-31.18.00.00.008-07-02.0000.00	0	0	0	CANCELADO	R (ACUEDUCTO RURAL)	586	UTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILL	0
16352	0	0	1	ACUFIERO	969-12-31.18.00.00.009-07-27.0000.00	0	0	0	INSCRITO	P (POZO)	14188	MANUEL ANTONIO VALVERDE ZUFIGA	0
15347	5998	1500	1	ACUFIERO	969-12-31.18.00.00.009-07-27.0000.00	0	0	0	INSCRITO	P (POZO)	14189	MANUEL ANTONIO VALVERDE ZUFIGA	0
15347	5998	1500	1	ACUFIERO	024-01-06.0000.014-01-06.0000.00	0	0	0	MOROSO PAGO DE CANON	P (POZO)	15165	CORPORACION LINDA VISTA DE DOMINICAL S.A.	0
14072	8247	2062	1	ACUFIERO	969-12-31.18.00.00.969-12-31.18.00.00	0	0	0	INSCRITO	P (POZO)	14187	MANUEL ANTONIO VALVERDE ZUFIGA	0
16431	5999	1350	1	ACUFIERO	023-07-08.0000.013-07-08.0000.00	0	0	0	OTORGADO	P (POZO)	14082	GRUPO INMOBILIARIO AROMA TICA S.A.	0
16697	1075	269	1	NACIMIENTO	024-07-03.0000.014-07-03.0000.00	0	0	0	OTORGADO	R (ACUEDUCTO RURAL)	15096	BRIAN CHARLES DAVIS	0
13151	1037	259	1	NACIMIENTO	019-03-02.0000.009-03-02.0000.00	0	0	0	NCELAO POR VENCIMEN	A (AGUAS SUPERFICIALES)	12973	MIGUEL ANTONIO ARROYO ROJAS	0
13688	2075	519	1	NACIMIENTO	019-07-27.0000.009-07-27.0000.00	0	0	0	NCELAO POR VENCIMEN	A (AGUAS SUPERFICIALES)	12833	OS INTERNAZIONALES PARA LA PROMOCION I LA INV	0
13977	1037	259	1	NACIMIENTO	019-04-02.0000.009-04-02.0000.00	0	0	0	NCELAO POR VENCIMEN	A (AGUAS SUPERFICIALES)	13060	DIVAS RIOS RAMIREZ	0
13979	3175	794	1	NACIMIENTO	019-05-02.0000.009-05-02.0000.00	0	0	0	NCELAO POR VENCIMEN	A (AGUAS SUPERFICIALES)	13062	VICTOR MANUEL PEREZ JIMENEZ	0
13753	13753	2062	7	ACUFIERO	969-12-31.18.00.00.969-12-31.18.00.00	0	0	0	RCHIVADO SIN MAS TRAMIT	R (ACUEDUCTO RURAL)	130	ASADA BAHIA Y UVITA DE OSA	0
14072	8247	2062	1	ACUFIERO	022-06-15.0000.012-06-15.0000.00	0	0	0	MOROSO PAGO DE CANON	P (POZO)	13309	AURORA SUR INVERSIONES LTDA	0
12747	12616	3154	1	NACIMIENTO	030-06-12.0000.020-06-12.0000.00	0	0	0	OTORGADO	A (AGUAS SUPERFICIALES)	13024	TIGRESA PRO SOCIEDAD ANONIMA	0
19924	2075	519	2	NACIMIENTO	969-12-31.18.00.00.969-12-31.18.00.00	0	0	0	RCHIVADO SIN MAS TRAMIT	R (ACUEDUCTO RURAL)	130	ASADA BAHIA Y UVITA DE OSA	0
20466	2075	519	2	NACIMIENTO	019-07-27.0000.009-07-27.0000.00	0	0	0	NCELAO POR VENCIMEN	A (AGUAS SUPERFICIALES)	12833	OS INTERNAZIONALES PARA LA PROMOCION I LA INV	0
18983	34749	8687	1	NACIMIENTO	017-04-10.0000.007-04-10.0000.00	0	0	0	NCELAO POR VENCIMEN	A (AGUAS SUPERFICIALES)	12222	R.U.N.A.M.O.K.S.A.	0
19255	0	0	5	NACIMIENTO	969-12-31.18.00.00.969-12-31.18.00.00	0	0	0	RCHIVADO SIN MAS TRAMIT	R (ACUEDUCTO RURAL)	130	ASADA BAHIA Y UVITA DE OSA	0
18660	1943016	485754	3	NACIMIENTO	969-12-31.18.00.00.008-07-02.0000.00	0	0	0	CANCELADO	R (ACUEDUCTO RURAL)	586	UTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILL	0
19199	0	0	1	ACUFIERO	969-12-31.18.00.00.019-11-14.0000.00	0	0	0	INSCRITO-ARTESANAL	P (POZO)	19071	RVA ENGINEERING AND CONSTRUCTION CR S.A.	0
20213	1943016	485754	1	NACIMIENTO	969-12-31.18.00.00.008-07-02.0000.00	0	0	0	CANCELADO	R (ACUEDUCTO RURAL)	586	UTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILL	0
18725	519	130	1	NACIMIENTO	018-09-01.0000.008-09-01.0000.00	0	0	0	NCELAO POR VENCIMEN	A (AGUAS SUPERFICIALES)	12270	KRAMER Y ZABEL S.A.	0
17768	26725	6681	2	NACIMIENTO	021-08-29.0000.011-08-29.0000.00	0	0	0	OTORGADO	A (AGUAS SUPERFICIALES)	14184	TRES HERMANAS DE BALLENA S.A.	0
23627	1075	269	1	NACIMIENTO	027-04-26.0000.017-04-26.0000.00	0	0	0	OTORGADO	A (AGUAS SUPERFICIALES)	16729	ASTRO TRANQUILLO S.A.	0
23763	2249	562	1	ACUFIERO	026-10-10.0000.016-10-10.0000.00	0	0	0	OTORGADO	P (POZO)	16894	VILLA DANA POINT HARBOR S.A.	0
22859	1800	460	1	ACUFIERO	027-03-08.0000.017-03-08.0000.00	0	0	0	MOROSO PAGO DE CANON	P (POZO)	1708	PARALEL NINE NOW SRL	0
22492	1612	403	1	NACIMIENTO	028-08-24.0000.018-08-24.0000.00	0	0	0	MOROSO PAGO DE CANON	A (AGUAS SUPERFICIALES)	16978	YOUNG PROPERTIES SRL	0
20970	1943016	485754	8	ACUFIERO	969-12-31.18.00.00.008-07-02.0000.00	0	0	0	MOROSO PAGO DE CANON	R (ACUEDUCTO RURAL)	130	ASADA BAHIA Y UVITA DE OSA	0
28420	0	0	1	ACUFIERO	030-06-05.0000.020-06-05.0000.00	0	0	0	OTORGADO	R (ACUEDUCTO RURAL)	586	UTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILL	0
27950	0	0	1	NACIMIENTO	030-07-01.0000.007-01.0000.00	0	0	0	OTORGADO	A (AGUAS SUPERFICIALES)	19410	INVERSIONES SHAMROCK DEL PACIFICO SUR S.A.	0
27964	0	0	1	NACIMIENTO	030-07-01.0000.007-01.0000.00	0	0	0	OTORGADO	A (AGUAS SUPERFICIALES)	19410	3-102-760761 SRL	0
28599	5667	1417	1	NACIMIENTO	030-04-16.0000.020-04-16.0000.00	0	0	0	OTORGADO	A (AGUAS SUPERFICIALES)	19433	SUETOS Y REALIDADES DEL SUR S.A.	0
27857	0	0	1	ACUFIERO	969-12-31.18.00.00.018-06-01.0000.00	0	0	0	INSCRITO-ARTESANAL	P (POZO)	19884	SETTABRC SRL	0
26709	3121	780	1	NACIMIENTO	029-12-31.18.00.00.019-12-04.0000.00	0	0	0	OTORGADO	A (AGUAS SUPERFICIALES)	17965	RICHARD ALEJANDRO GILBERT CALDERON	0
26713	4256	1064	1	NACIMIENTO	029-08-30.0000.019-08-30.0000.00	0	0	0	OTORGADO	A (AGUAS SUPERFICIALES)	18444	ARRIETA FLEUR DE LIS DEL SUR S.R.L	0
26236	0	0	1	ACUFIERO	969-12-31.18.00.00.019-12-09.0000.00	0	0	0	OTORGADO	P (POZO)	18448	BOSQUE BEJUCO S.A.	0
26433	1058	265	1	NACIMIENTO	030-06-12.0000.020-06-12.0000.00	0	0	0	OTORGADO	A (AGUAS SUPERFICIALES)	19113	GABRIELA MELENDEZ NARANJO	0
26482	3121	780	1	NACIMIENTO	019-11-02.0000.009-11-02.0000.00	0	0	0	NCELAO POR VENCIMEN	A (AGUAS SUPERFICIALES)	13041	EDUARDO ROMAN ACOSTA MARTINEZ	0
26620	17966	4491	1	NACIMIENTO	030-04-16.0000.020-04-16.0000.00	0	0	0	OTORGADO	A (AGUAS SUPERFICIALES)	18803	DIETMAR PETER ARLT	0
26633	1058	265	2	NACIMIENTO	029-07-23.0000.019-07-23.0000.00	0	0	0	OTORGADO	P (POZO)	17711	GENER GUADAMUZ FONSECA	0
24777	0	0	1	ACUFIERO	969-12-31.18.00.00.969-12-31.18.00.00	0	0	0	NCELAO POR VENCIMEN	A (AGUAS SUPERFICIALES)	13039	BOLEMR VERDE UNO S.A.	0
24857	1058	265	1	NACIMIENTO	030-07-03.0000.020-07-03.0000.00	0	0	0	RCHIVADO SIN MAS TRAMIT	P (POZO)	17883	D A LADY INVESTMENTS SOCIEDAD DE RESPONSABIL	0
									OTORGADO	A (AGUAS SUPERFICIALES)	13040	DIETMAR PETER ARLT	0



**INFORME FUENTES DE
ABASTECIMIENTO ASADA
UVITA Y BAHIA**

2021

INFORME FINAL DEL SELLO DE CALIDAD SANITARIA 2020-2021

ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO COMUNAL UVITA Y BAHIA
CEDULA JURIDICA 3-002-204544



1. Introducción:

El informe final del Sello de Calidad Sanitaria es parte del programa del Plan de Seguridad del Agua, el cual se desarrolla para ayudar a proteger la salud de los consumidores, y cumplir con el Reglamento de Calidad del Agua, en el cual se brindan los detalles de seguridad para evitar la contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua por medio de peligros químicos, físicos, microbianos y organolépticos, que pongan en riesgo la salud del consumidor o al rechazo del agua (Organización Mundial de la Salud, 2009). Puede definirse como una herramienta que permite identificar riesgos específicos y medidas para su control que se orientan hacia la prevención, en lugar de basarse únicamente en el análisis del producto final.

1.1. Reseña Histórica

A mediados de la década de los ochenta, la comunidad de Uvita se organiza e inicia la construcción de un acueducto, este nació con el nombre de Comité del Acueducto Rural (CAR), amparado por el AyA. Terminada su construcción fue necesario ampliarlo debido al amplio crecimiento de la zona, la ampliación se logró gracias al apoyo de la Dirección Nacional de Acueductos Rurales del AyA.

La ASADA fue constituida el día 02 de octubre de 1998, por medio de Asamblea General Ordinaria. A finales de la década de los noventa se finalizaron los estudios para la construcción de un nuevo acueducto, de mayores dimensiones, para poder cubrir las necesidades del creciente desarrollo de la población en Uvita y Bahía, el nuevo acueducto tuvo un costo de 400 millones de colones.

El 24 de febrero del año 2003 la ASADA es reconocida por el AyA como acueducto, y publicado el 18 de marzo del mismo año en la Gaceta No.72. En diciembre del año 2008 es inaugurado el nuevo acueducto. Con los nuevos proyectos desarrollados en el año 2009 se obtiene el galardón bandero azul de 1 estrella.

A partir del año 2015, la ASADA inicia un nuevo proceso de reestructuración en el cual se inician nuevos proyectos de expansión del acueducto, como por ejemplo la captación de 7 nacientes nuevas con las cuales se logra aumentar la captación en 20.83 L/s.

Debido al crecimiento en los años venideros fue necesario la construcción de un tanque en acero vitrificado con capacidad de 500 M³, y otro en Altos La Colonia con capacidad de 10 M³, los cuales se desarrollaron en el año 2018, terminando estos en 2019. En abril del año 2015 el acueducto contaba con 880 usuarios, pasando actualmente a tener 1655 usuarios a octubre del 2020, teniendo un crecimiento entre el año 2019 al 2020 del 8.15%.

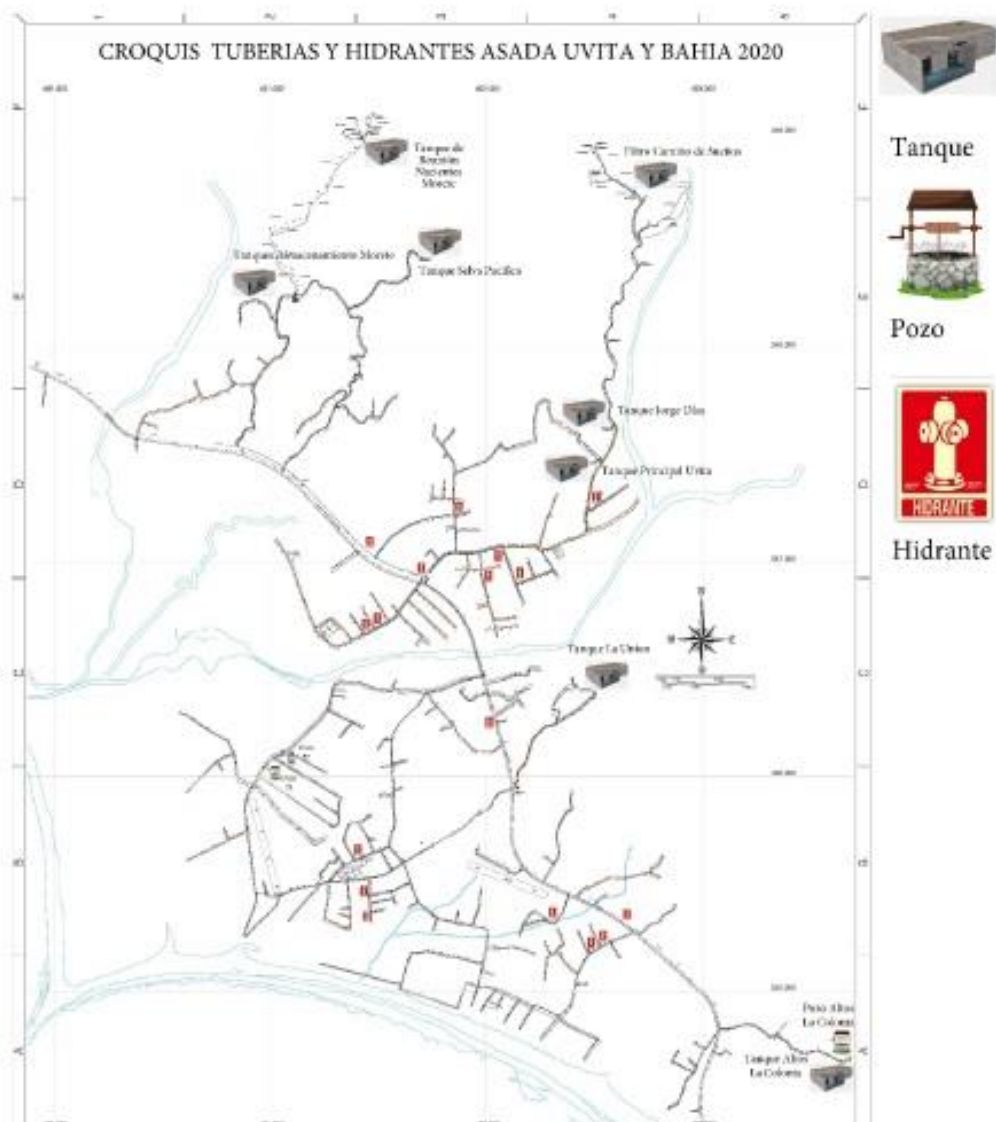
En el año 2019 se obtiene el galardón 4 estrellas Bandera Azul. Se inicia la remodelación de las instalaciones de la ASADA, actualizando la estructura de la oficina cumpliendo con la ley 7800 para personas con discapacidad, y se realiza también la actualización de la bodega. Se inician los procesos de digitalización de todos los documentos los cuales se archivan tanto en físico como en digital en un servidor al cual se conectan todos los equipos de la ASADA.

En el año 2020 se remodela la sala de sesiones de la ASADA, con lo cual se aumenta la capacidad de la misma, se realiza la construcción de un cuarto de archivo, en el cual se archiva toda la documentación física, y a su vez se ubica el servidor.

INFORME FINAL DEL SELLO DE CALIDAD SANITARIA 2020-2021
 ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO COMUNAL UVITA Y BAHIA
 CEDULA JURIDICA 3-002-204544



1.2. Croquis del Acueducto



INFORME FINAL DEL SELLO DE CALIDAD SANITARIA 2020-2021

ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO COMUNAL UVITA Y BAHIA
CEDULA JURIDICA 3-002-204544



1.3. Características y Descripción del Sistema de Suministro de Agua

Nacientes: Estas se ubican en dos sectores principalmente, en el sector de Camino de Sueños se ubican las primeras 4 nacientes que captó la ASADA, y en el sector de Altos el Morete se ubican 7 nacientes, a continuación, se detallan los nombres y características de las nacientes:

- **Naciente Cortezal:** Estas nacientes se encuentran en el sector de Cortezal, las mismas cuentan con una capacidad hídrica de 1 L/s, estas nacientes se encuentran en una zona de difícil acceso, esta fue donada a la ASADA, a estas se ingresa por medio de una servidumbre que se encuentra inscrita a nombre de la ASADA, la naciente se encuentra en caja de captación de concreto, con tapas metálicas y candados. Su ubicación GPS es 9.192778°N, y 83.724722°W.
- **La Calavera:** Se encuentra ubicada en la zona de Morete, esta tiene una capacidad hídrica de 0,55 L/s, esta se encuentra en una zona de difícil acceso, esta tiene un acceso por servidumbre inscrita a nombre de la ASADA, esta naciente se encuentra en proceso de concesión ya presentado en el AyA, esta cuenta con su captación en concreto, con tapa metálica y candado. La ubicación GPS es 9.192433°N, y 83.749298°W.
- **La Pava:** Se encuentra ubicada en la zona de Morete, esta tiene una capacidad hídrica de 8,1 L/s, esta se encuentra en una zona de difícil acceso, a esta se ingresa por una servidumbre inscrita a nombre de la ASADA, esta naciente se encuentra en proceso de concesión presentado ante el AyA, la misma se encuentra en caja de concreto, con tapa metálica y candado. La ubicación GPS es 9.192397°N, y 83.749283°W.
- **La Y:** Se encuentra en la zona de Morete, esta tiene una capacidad hídrica de 2,35 (L/s), esta se encuentra en una zona de difícil acceso, esta naciente se encuentra en proceso de concesión ya presentada ante el AyA, a esta naciente se ingresa por medio de una servidumbre que se encuentra inscrita a nombre de la ASADA, la naciente se encuentra sellada con caja de concreto, tapas metálicas y candado. Su ubicación GPS es 9.192645°W, y 83.749279°W.
- **La Papa:** Se encuentra en la zona de Morete, esta naciente tiene una capacidad hídrica de 3,83 L/s, la misma se encuentra en una zona de difícil acceso, esta naciente se encuentra en proceso de concesión ya presentado ante el AyA, a ella se ingresa por medio de una servidumbre que se encuentra inscrita a nombre de la ASADA, la naciente se encuentra cerrada en concreto, con tapa metálica y candado. Su ubicación GPS es 9.192451°N, y 83.749012°W.
- **La Mica:** Se encuentra en la zona de Morete, esta naciente tiene una capacidad hídrica de 2,35 L/s, esta se encuentra en una zona de difícil acceso, esta naciente se encuentra en proceso de concesión ya presentado ante el AyA, a ella se ingresa por medio de una servidumbre que se encuentra inscrita a nombre de la ASADA, la naciente se encuentra cerrada en concreto, con tapa metálica y candado. Su ubicación GPS es 9.192223°N, y 83.749121°W.
- **La Terciopelo:** Se encuentra en la zona de Morete, esta naciente tiene una capacidad hídrica de 3,85 L/s, esta se encuentra en una zona de difícil acceso, esta naciente se encuentra en proceso de concesión ya presentado ante el AyA, a ella se ingresa por medio de una servidumbre que se encuentra inscrita a nombre de la ASADA, la naciente se encuentra cerrada en concreto, con tapa metálica y candado. Su ubicación GPS es 9.192091°N, y 83.749419°W.

INFORME FINAL DEL SELLO DE CALIDAD SANITARIA 2020-2021

ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO COMUNAL UVITA Y BAHIA
CEDULA JURIDICA 3-002-204544





- **El Tajo:** Se encuentra en la zona de Morete, esta naciente tiene una capacidad hídrica de 1,52 Ls, esta se encuentra en una zona de difícil acceso, esta naciente se encuentra en proceso de concesión ya presentado ante el AyA, a ella se ingresa por medio de una servidumbre que se encuentra inscrita a nombre de la ASADA, la naciente se encuentra cerrada en concreto, con tapa metálica y candado. Su ubicación GPS es 9.192383°N, y 83.749648°W.

Toma Superficial Cortezal: La ASADA cuenta con 1 toma superficial ubicada en el Rio Cortezal, esta tiene una capacidad hídrica de 10 L/s, esta toma se encuentra en proceso de concesión, a esta se ingresa por medio de una servidumbre de paso inscrita a nombre de la ASADA, la toma cuenta con un desarenador en caja de concreto, el cual filtra el agua, y luego pasa a través de 800 metros de tubería hasta conectar con el filtro ubicado en el sector de Camino de Sueños (Filtro Lilliana). La ubicación GPS de esta toma es 9.192777°N, y 83.724723°W

Pozos: La ASADA cuenta con 3 pozos actualmente, los cuales se detallan a continuación:

- **Pozo #1:** tiene una capacidad hídrica de 11 L/s, se ubica en el sector de Calle del Comercio, su uso es principalmente en verano, también se le usa en caso de una emergencia, o falla en tubería madre o los tanques principales, su ubicación GPS es 9.162898°N, y 83.747023°W.
 - **Pozo #2:** tiene una capacidad de 11 L/s, se ubica en el sector de Calle del Comercio, su uso es principalmente en verano, también se le usa en caso de una emergencia, o falla en tubería madre o los tanques principales, su ubicación GPS es 9.163518°N, 83.746257°W.
-

ANEXO 2

 <p>Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria</p>	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS Laboratorio de Suelos, Plantas, Aguas y Abonos Orgánicos Tel-Fax: 2278-0514; e-mail: labsuelos@inta.go.cr	 <p>LDS F 17</p>
--	---	---

NOMBRE: VIVIAN HERRERA
OSA- PUNTARENAS

FECHA: 6/14/2016

UBICACIÓN:

FAX:

INFORME #:

IDENT.		Ret-Hum			D.a D.Real		DESCRIPCIÓN	
# LAB.	#CAMPO	0.33	15, 0	A.Util				
2291		41.6	21.90	19.70		0.79 1,8 1	S-1	
2292		38.9	21.64	17.66		0.81 1,9 2	S-2	
2293		38.6	20.79	17.8		0.92 1,7 3	S-3	
2294		39.7	20.57	19.13		1.19 1,8 4	S-4	
2295		21.4	16.12	5.3		1.23 1,6 6	S-5	
2296		37.5	21.43	16.1		0.97 1,7 6	S-6	
2297		38.6	20.87	17.9		0.93 1,8 1	S-7	
2298		42.5	22.01	20.5		1.18 1,7 9	S-8	
2299		41.9	22.18	19.7		1.16 1,7 5	S-9	
2300		42.3	22.5	19.8		1.03 1,8 2	S-10	
2301		42.8	22.9	19.9		1.15 2,0 6	S-11	
2302		22.4	15.95	6.5		1.08 1,9 2	S-12	
		Texturas						
		arena	Arcilla	Limo	Text			
		26.0	52.00	22.0	A			
		48.0	34.00	18.0	FA a			
		50.0	32.00	18.0	FA a			
		32.0	36.00	32.0	FA			
		62.0	18.00	20.0	F a			
		48.0	32.00	20.0	FA a			
		34.0	36.00	30.0	FA			
		30.0	48.00	22.0	A			
		28.0	50.00	22.0	A			
		30.0	46.00	22.0	A			
		32.0	48.00	20.0	A			
		64.0	16.00	20.0	F a			
								POROSI: (D.a/D.Real)-1/100

Ing. Alexis Vargas V

Sitio de Muestreo	Latitud CRTM05	Longitud CRTM05	K	CC	PM	DA	PR	N	SUCS	Fuente
12	1017780	530686	0.004	42	30	1.46	NPR	39.6	Grava limosa GM	2018LA-000002-OC (B)
27	1011780	529126	0.292	42	34	1.6	11	74.2	Arena limosa SM	2018LA-000002-OC (B)
28	1017100	533968	0.012	51	47	1.19	18	79.23	Limo de alta plasticidad MH	2018LA-000002-OC (B)
29	1010460	535422	0.012	51	47	1.2	NPR	83.98	Limo de alta plasticidad MH	2018LA-000002-OC (B)
36	1015370	529708	0.685	36	34	1.28	19	66.19	Limo de alta plasticidad MH	2018LA-000002-OC (B)
GT-PFC-38	1013403	528025	0.293	31.65	20.79	1.79	10	25.87	Arena arcillosa SC	2013-LN-000008-OC (A)
GT-PFC-39	1014425	529468	0.135	39.72	21.96	1.44	15	42.99	Limo elástico arenoso MH	2013-LN-000008-OC (A)
I-1	1016382	529173	0.33	41.6	21.9	0.79		42.6464088	A	SENARA (2016)
I-2	1016343	532797	1.11	38.91	21.64	0.81		41.1875	FA a	SENARA (2016)
I-3	1015417	532111	0.05	38.59	20.79	0.92		52.1791908	FA a	SENARA (2016)
I-4	1012150	529637	1.38	39.71	20.57	1.19		63.673913	FA	SENARA (2016)
I-5	1012843	527735	2.67	21.39	16.12	1.23		73.0963855	F a	SENARA (2016)
I-6	1015617	531472	0.52	37.52	21.43	0.97		54.1136364	FA a	SENARA (2016)
I-7	1013078	534047	0.27	38.6	20.87	0.93		50.3812155	FA	SENARA (2016)
I-8	1014199	527928	0.41	42.5	22.01	1.18		64.9217877	A	SENARA (2016)
I-9	1011121	530320	1.24	41.9	22.18	1.16		65.2857143	A	SENARA (2016)
I-10	1013342	531277	1.98	42.3	22.5	1.03		57.8571429	A	SENARA (2016)
I-11	1011539	532852	0.67	42.8	22.9	1.15		54.8252427	A	SENARA (2016)
I-12	1013303	526747	nd	22.4	15.95	1.08		55.25	F a	SENARA (2016)
IB-1	1015993	531731	0.96	40.32	22.59	1.12		47.91	Arcilloso	Arias (2016)
IB-2	1012958	534125	2.16	36.94	21.49	1.16		47.98	Franco Arcillo arenoso	Arias (2016)
IB-3	1016658	529047	0.432	23.55	15.72	1.21		47.62	Franco arenoso	Arias (2016)
IB-4	1012408	532204	1.152	29.62	19.66	1.09		47.34	Franco	Arias (2016)
IBB-5	1012670	528221	0.576	36.28	20.07	1.16		47.03	Franco Arcillo arenoso	Arias (2016)
IBB-6	1016545	524226	57.6	18.31	14.02	1.31		45.87	Arenoso	Arias (2016)
IBB-7	1016974	523639	123.8	19.47	13.61	1.33		45.49	Arenoso	Arias (2016)
IBB-8	1014371	527831	3.36	39.72	21.86	1.09		47.34	Arcilloso	Arias (2016)
IBB-9	1011743	529249	44.352	20.71	14.52	1.01		47.4	Arenoso	Arias (2016)
IBB-10	1014385	529384	0.672	22.15	16.94	1.21		48.07	Franco arenoso	Arias (2016)
IBB-11	1011898	530050	14.4	30.86	20.87	1.15		48.66	Franco Arcillo arenoso	Arias (2016)

Aforo Río Uvita
Resultados
1013773 N / 528439 E (CRTM05)
06/05/2020
Aprox. 400 metros aguas abajo de puente
Aforo con correntómetro o molinete

Valores iniciales:

Profundidad en el margen $h_0 = 0$ m

Velocidad en el margen $v_0 = 0$ m/s

Longitudes, profundidades y velocidades en los tramos:

Tramo	L (m)	h (m)	v (m/s)
1	0.5	0.25	0.0
2	0.5	0.26	0.0
3	0.5	0.4	0.053
4	0.5	0.45	0.966
5	0.5	0.33	0.5
6	0.5	0.28	0.39
7	0.5	0.4	0.63
8	0.5	0.37	0.64
9	1.0	0.4	0.71
10	1.0	0.34	0.41
11	1.0	0.33	0.43
12	1.0	0.25	0.26
13	1.0	0.22	0.24
14	1.0	0.2	0.34
15	1.0	0.07	0.246
16	1.0	0.05	0.113
17	1.0	0.0	0.0
18	1.0	0.095	0.13
19	1.0	0.0	0.0

Resultados para los tramos de la sección transversal:

Tramo	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	0.0625	0.0	0.0
2	0.1275	0.0	0.0
3	0.165	0.0265	0.0044
4	0.2125	0.5095	0.1083
5	0.195	0.733	0.1429
6	0.1525	0.445	0.0679
7	0.17	0.51	0.0867
8	0.1925	0.635	0.1222
9	0.385	0.675	0.2599
10	0.37	0.56	0.2072
11	0.335	0.42	0.1407
12	0.29	0.345	0.1001
13	0.235	0.25	0.0588
14	0.21	0.29	0.0609
15	0.135	0.293	0.0396
16	0.06	0.1795	0.0108
17	0.025	0.0565	0.0014
18	0.0475	0.065	0.0031
19	0.0475	0.065	0.0031

Caudal total de la sección: $Q = 1.4178$ m³/s

Aforo Río Uvita
Resultados
1013671 N / 528179 E (CRTM05)
06/05/2020
Sector del Vado (aforo 1)
Aforo con correntómetro o molinete

Valores iniciales:

Profundidad en el margen $h_0 = 0.09$ m

Velocidad en el margen $v_0 = 0.25$ m/s

Longitudes, profundidades y velocidades en los tramos:

Tramo	L (m)	h (m)	v (m/s)
1	0.3	0.14	0.24
2	0.3	0.13	0.11
3	0.3	0.19	0.23
4	0.3	0.15	0.43
5	0.3	0.17	0.29
6	0.3	0.11	0.23
7	0.3	0.07	0.22
8	0.1	0.06	0.05

Resultados para los tramos de la sección transversal:

Tramo	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	0.0345	0.245	0.0085
2	0.0405	0.175	0.0071
3	0.048	0.17	0.0082
4	0.051	0.33	0.0168
5	0.048	0.36	0.0173
6	0.042	0.26	0.0109
7	0.027	0.225	0.0061
8	0.0065	0.135	0.0009

Caudal total de la sección: $Q = 0.0757$ m³/s

Aforo Río Uvita
Resultados
1013689 N / 528164 E (CRTM05)
06/05/2020
Sector del vado (aforo 2)
Aforo con correntómetro o molinete

Valores iniciales:

Profundidad en el margen $h_0 = 0$ m

Velocidad en el margen $v_0 = 0$ m/s

Longitudes, profundidades y velocidades en los tramos:

Tramo	L (m)	h (m)	v (m/s)
1	1.0	0.11	0.25
2	1.0	0.15	0.48
3	1.0	0.11	0.65
4	1.0	0.24	0.69
5	1.0	0.26	0.78
6	1.0	0.26	0.65
7	1.0	0.23	0.67
8	1.0	0.24	0.27
9	1.0	0.18	0.48
10	1.0	0.08	0.17
11	0.9	0.03	0.22

Resultados para los tramos de la sección transversal:

Tramo	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	0.055	0.125	0.0069
2	0.13	0.365	0.0475
3	0.13	0.565	0.0735
4	0.175	0.67	0.1173
5	0.25	0.735	0.1838
6	0.26	0.715	0.1859
7	0.245	0.66	0.1617
8	0.235	0.47	0.1105
9	0.21	0.375	0.0788
10	0.13	0.325	0.0423
11	0.0495	0.195	0.0097

Caudal total de la sección: $Q = 1.0175$ m³/s

SUMATORIA DE CAUDALES EN ESTE SECTOR : 1.0932 m³/s

Aforo Río Uvita
Resultados
1013777 N / 527739 E (CRTM05)
06/05/2020
Antes de divisoria en playón - sector calmo
Aforo con correntómetro o molinete

Valores iniciales:

Profundidad en el margen $h_0 = 0$ m

Velocidad en el margen $v_0 = 0$ m/s

Longitudes, profundidades y velocidades en los tramos:

Tramo	L (m)	h (m)	v (m/s)	
1	1.0		0.13	0.04
2	1.0		0.25	0.34
3	1.0		0.23	0.36
4	1.0		0.3	0.23
5	1.0		0.25	0.08
6	1.0		0.29	0.29
7	1.0		0.2	0.38
8	1.0		0.17	0.04
9	1.0		0.16	0.22
10	1.0		0.2	0.18
11	1.0		0.22	0.25
12	1.0		0.13	0.26
13	1.0		0.21	0.23
14	1.0		0.13	0.22
15	1.0		0.25	0.096
16	1.0		0.26	0.276
17	1.0		0.16	0.22
18	1.0		0.2	0.21
19	1.0		0.22	0.21
20	1.0		0.16	0.14
21	1.0		0.01	0.0
22	1.0		0.19	0.21
23	0.9		0.0	0.0

Resultados para los tramos de la sección transversal:

Tramo	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	
1	0.065		0.02	0.0013
2	0.19		0.19	0.0361
3	0.24		0.35	0.084
4	0.265		0.295	0.0782
5	0.275		0.155	0.0426
6	0.27		0.185	0.05
7	0.245		0.335	0.0821
8	0.185		0.21	0.0389
9	0.165		0.13	0.0215
10	0.18		0.2	0.036
11	0.21		0.215	0.0452
12	0.175		0.255	0.0446
13	0.17		0.245	0.0417
14	0.17		0.225	0.0383
15	0.19		0.158	0.03
16	0.255		0.186	0.0474
17	0.21		0.248	0.0521
18	0.18		0.215	0.0387
19	0.21		0.21	0.0441
20	0.19		0.175	0.0333
21	0.085		0.07	0.006
22	0.1		0.105	0.0105
23	0.0855		0.105	0.009

Caudal total de la sección: $Q = 0.9112$ m³/s

Aforo Quebrada Sin Nombre (MD Río Uvita)
 Resultados
 1013997 N / 527363 E (CRTM05)
 07/05/2020
 Quebrada tributaria del río Uvita (Ganado)
 Aforo con correntómetro o molinete

Valores iniciales:

Profundidad en el margen $h_0 = 0$ m

Velocidad en el margen $v_0 = 0$ m/s

Longitudes, profundidades y velocidades en los tramos:

Tramo	L (m)	h (m)	v (m/s)
1	0.1	0.175	0.046
2	0.1	0.16	0.02
3	0.1	0.15	0.14
4	0.1	0.15	0.52
5	0.1	0.13	0.44
6	0.1	0.13	0.51
7	0.1	0.12	0.52
8	0.1	0.12	0.81
9	0.1	0.09	0.55
10	0.1	0.06	0.16
11	0.1	0.0	0.0

Resultados para los tramos de la sección transversal:

Tramo	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	0.0088	0.023	0.0002
2	0.0168	0.033	0.0006
3	0.0155	0.08	0.0012
4	0.015	0.33	0.005
5	0.014	0.48	0.0067
6	0.013	0.475	0.0062
7	0.0125	0.515	0.0064
8	0.012	0.665	0.008
9	0.0105	0.68	0.0071
10	0.0075	0.355	0.0027
11	0.003	0.08	0.0002

Caudal total de la sección: $Q = 0.0443$ m³/s

Aforo Río Uvita
Resultados
1014009 N / 531473 E (CRTM05)
07/05/2020
Después de confluencia con quebrada (Cuero Iguana)
Aforo con correntómetro o molinete

Valores iniciales:

Profundidad en el margen $h_0 = 0$ m

Velocidad en el margen $v_0 = 0$ m/s

Longitudes, profundidades y velocidades en los tramos:

Tramo	L (m)	h (m)	v (m/s)
1	1.0	0.025	0.0
2	1.0	0.045	0.096
3	1.0	0.075	0.136
4	1.0	0.14	0.26
5	1.0	0.15	0.29
6	1.0	0.21	0.346
7	1.0	0.21	0.41
8	1.0	0.24	0.45
9	1.0	0.26	0.49
10	1.0	0.26	0.45
11	1.0	0.16	0.22
12	1.0	0.11	0.27
13	1.0	0.09	0.17
14	1.0	0.0	0.0

Resultados para los tramos de la sección transversal:

Tramo	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	0.0125	0.0	0.0
2	0.035	0.048	0.0017
3	0.06	0.116	0.007
4	0.1075	0.198	0.0213
5	0.145	0.275	0.0399
6	0.18	0.318	0.0572
7	0.21	0.378	0.0794
8	0.225	0.43	0.0968
9	0.25	0.47	0.1175
10	0.26	0.47	0.1222
11	0.21	0.335	0.0704
12	0.135	0.245	0.0331
13	0.1	0.22	0.022
14	0.045	0.085	0.0038

Caudal total de la sección: $Q = 0.6721$ m³/s

Aforo Quebrada Sin Nombre
Resultados
1013719 N / 527258 E (CRTM05)
07/05/2020
Quebrada tributaria del río Uvita (Margen izquierda)
Aforo con correntómetro o molinete

Valores iniciales:

Profundidad en el margen $h_0 = 0$ m

Velocidad en el margen $v_0 = 0$ m/s

Longitudes, profundidades y velocidades en los tramos:

Tramo	L (m)	h (m)	v (m/s)
1	0.2	0.1	0.0
2	0.2	0.1	0.17
3	0.2	0.08	0.19
4	0.2	0.07	0.28
5	0.2	0.07	0.3
6	0.2	0.06	0.31
7	0.2	0.07	0.32
8	0.2	0.06	0.28
9	0.2	0.07	0.31
10	0.2	0.09	0.38
11	0.2	0.085	0.31
12	0.2	0.065	0.22
13	0.2	0.1	0.18
14	0.2	0.05	0.05
15	0.1	0.0	0.0

Resultados para los tramos de la sección transversal:

Tramo	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	0.01	0.0	0.0
2	0.02	0.085	0.0017
3	0.018	0.18	0.0032
4	0.015	0.235	0.0035
5	0.014	0.29	0.0041
6	0.013	0.305	0.004
7	0.013	0.315	0.0041
8	0.013	0.3	0.0039
9	0.013	0.295	0.0038
10	0.016	0.345	0.0055
11	0.0175	0.345	0.006
12	0.015	0.265	0.004
13	0.0165	0.2	0.0033
14	0.015	0.115	0.0017
15	0.0025	0.025	0.0001

Caudal total de la sección: $Q = 0.0489$ m³/s

Aforo Río Uvita
Resultados
1013802 N / 529102 E (CRTM05)
07/05/2020
Sector aguas arriba del puente costanera
Aforo con correntómetro o molinete

Valores iniciales:

Profundidad en el margen $h_0 = 0.25$ m

Velocidad en el margen $v_0 = 0.46$ m/s

Longitudes, profundidades y velocidades en los tramos:

Tramo	L (m)	h (m)	v (m/s)
1	1.0	0.38	0.18
2	1.0	0.73	0.185
3	1.0	0.69	0.413
4	1.0	0.71	0.1775
5	1.0	0.45	0.07
6	1.0	0.24	0.25
7	1.0	0.19	0.04
8	1.0	0.15	0.0
9	0.5	0.0	0.0

Resultados para los tramos de la sección transversal:

Tramo	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	0.315	0.32	0.1008
2	0.555	0.1825	0.1013
3	0.71	0.299	0.2123
4	0.7	0.2953	0.2067
5	0.58	0.1238	0.0718
6	0.345	0.16	0.0552
7	0.215	0.145	0.0312
8	0.17	0.02	0.0034
9	0.0375	0.0	0.0

Caudal total de la sección: $Q = 0.7826$ m³/s

Aforo Río Uvita
Resultados
1014721 N / 530633 E (CRTM05)
07/05/2020
Vado del camino
Aforo con correntómetro o molinete

Valores iniciales:

Profundidad en el margen $h_0 = 0$ m

Velocidad en el margen $v_0 = 0$ m/s

Longitudes, profundidades y velocidades en los tramos:

Tramo	L (m)	h (m)	v (m/s)
1	1.0	0.06	0.07
2	1.0	0.14	0.25
3	1.0	0.17	0.15
4	1.0	0.17	0.56
5	1.0	0.11	0.22
6	1.0	0.03	0.05
7	1.0	0.04	0.15
8	1.0	0.02	0.07
9	1.0	0.19	0.13
10	1.0	0.11	0.11
11	1.0	0.16	0.07
12	1.0	0.075	0.07
13	1.0	0.0	0.0

Resultados para los tramos de la sección transversal:

Tramo	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	0.03	0.035	0.0011
2	0.1	0.16	0.016
3	0.155	0.2	0.031
4	0.17	0.355	0.0604
5	0.14	0.39	0.0546
6	0.07	0.135	0.0095
7	0.035	0.1	0.0035
8	0.03	0.11	0.0033
9	0.105	0.1	0.0105
10	0.15	0.12	0.018
11	0.135	0.09	0.0122
12	0.1175	0.07	0.0082
13	0.0375	0.035	0.0013

Caudal total de la sección: $Q = 0.2294$ m³/s

Aforo Quebrada Sin Nombre
Resultados
1014386 N / 527844 E (CRTM05)
08/05/2020
Tributaria del Río Uvita – Margen derecha
Aforo con correntómetro o molinete

Sección 1

Valores iniciales:

Profundidad en el margen $h_0 = 0.04$ m

Velocidad en el margen $v_0 = 0$ m/s

Longitudes, profundidades y velocidades en los tramos:

Tramo	L (m)	h (m)	v (m/s)
1	0.1	0.06	0.02
2	0.1	0.05	0.07
3	0.1	0.03	0.16
4	0.1	0.035	0.13
5	0.1	0.065	0.25
6	0.1	0.09	0.07
7	0.1	0.1	0.18
8	0.1	0.1	0.22
9	0.1	0.09	0.22
10	0.1	0.09	0.07
11	0.1	0.05	0.0

Resultados para los tramos de la sección transversal:

Tramo	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	0.005	0.01	0.0001
2	0.0055	0.045	0.0002
3	0.004	0.115	0.0005
4	0.0033	0.145	0.0005
5	0.005	0.19	0.001
6	0.0078	0.16	0.0012
7	0.0095	0.125	0.0012
8	0.01	0.2	0.002
9	0.0095	0.22	0.0021
10	0.009	0.145	0.0013
11	0.007	0.035	0.0002

Caudal total de la sección: $Q = 0.0102$ m³/s

Aforo Quebrada Sin Nombre
Resultados
1014391 N / 527834 E (CRTM05)
08/05/2020
Tributaria del Río Uvita – Margen derecha
Aforo con correntómetro o molinete

Sección 2

Valores iniciales:

Profundidad en el margen $h_0 = 0$ m

Velocidad en el margen $v_0 = 0$ m/s

Longitudes, profundidades y velocidades en los tramos:

Tramo	L (m)	h (m)	v (m/s)
1	0.05	0.03	0.05
2	0.05	0.0	0.0
3	0.1	0.0	0.0
4	0.1	0.08	0.18
5	0.1	0.07	0.13
6	0.1	0.07	0.04
7	0.1	0.04	0.0
8	0.1	0.04	0.18
9	0.1	0.04	0.07
10	0.1	0.035	0.02
11	0.1	0.0	0.0

Resultados para los tramos de la sección transversal:

Tramo	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	0.0008	0.025	0.0
2	0.0008	0.025	0.0
3	0.0	0.0	0.0
4	0.004	0.09	0.0004
5	0.0075	0.155	0.0012
6	0.007	0.085	0.0006
7	0.0055	0.02	0.0001
8	0.004	0.09	0.0004
9	0.004	0.125	0.0005
10	0.0038	0.045	0.0002
11	0.0018	0.01	0.0

Caudal total de la sección: $Q = 0.0033$ m³/s

CAUDAL TOTAL EN ESTE SITIO: 0.0135 m³/s

Monitoreo de Conductividad Eléctrica / Red de monitoreo de pozos															
No.	Tipo	Propietario	Latitud CR	Longitud CR	Elevación	Mar-20		May-20		Jul-20		Set 20		Nov-20	
						Cond. Eléc. (μS/cm)	Temp (°C)	Cond. Eléc. (μS/cm)	Temp (°C)	Cond. Eléc. (μS/cm)	Temp (°C)	Cond. Eléc. (μS/cm)	Temp (°C)	Cond. Eléc. (μS/cm)	Temp (°C)
1	Excavado	Josef Feillet	1012796	527220	6	206	27.9	207	28.1	214	27.5	231	27.3	191	26.7
2	Excavado	Richard With	x	x	x										
3	Excavado	Dagoberto Morales	x	x	x										
4	Excavado	Katherine Cortés	x	x	x										
5	Excavado	Alan Badilla	1012795	528086	21	Seco	Seco	227	26.8	277	27	ND	ND	248	26.5
6	Excavado	Angelica Sánchez	x	x	x										
7	Excavado	Alex Naranjo	1013197	527626	10	176	27.4	188	27.4	148	27.3	151	26.7	107	25.6
8	Excavado	Hotel Canto Ballena	1013111	528052	4	190	27.1	205	24	271	26.8	250	27.2	228	26.7
9	Excavado	Lavacar Bejarano	x	x	x	Sellado	Sellado								
10	Perforado	ND	x	x	x										
11	Excavado	Cabinas Gato	x	x	x										
12	Perforado	ASADA				ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND
13	Perforado	ASADA				ND	ND	ND	ND	203	27.5	ND	ND	ND	ND
14	Excavado	Walter Zamora	1012866	528448	17	132	27.2	42	27.2	53	27.2	56	27.1	62	26.6
15	Excavado	Eliecer Castro	x	x	x										
16	Excavado	Casimiro Vásquez	x	x	x										
17	Excavado	Cabinas Arboura	x	x	x										
18	Excavado	Cabinas Bambu	1012065	529053		301	27.2	327	27.4	353	27.1	ND	ND	304	26.2
19	Excavado	Camping Mayela	1011833	529107	5	Seco	Seco (mareas baja)	760	27.7	477	27	374	26.5	301	25.6
20	Perforado	MINAE-Colonia	1011713	529271	2	188	27.4	166	28	212	27.8	178	27.1	163	26
21	Excavado	MINAE-Colonia	1011668	529433	3	262	27.1	235	27.3	202	27.1	160	27.2	130	26
22	Excavado	Camping Renan	1011700	529537	7	172	27.9	218	28.4	205	27.5	192	26.8	124	26.2
23	Excavado	Camping Chaman	1011793	529276	4	103	27.4	95	28.4	118	27.8	117	27.3	119	26.1
24	Excavado	Tobías Garbanzo	1011832	529318	4	360	27.9	46	27.7	56	27.5	60	27	54	25.8
25	Excavado	Cabinas Marialuisa #1	1011986	529325	3	275	27.3	279	27.5	325	27.1	319	27	294	26.1
26	Excavado	Cabinas Marialuisa #2	1011997	529373	3	130	26.7	97	26.8	154	25.8	111	25.7	116	25.2
27	Excavado	Cabinal El Tecal	1012207	529390	5	172	28.5	137	28.6	283	27.9	128	27.4	78	26
28	Excavado	ND	1012230	529658	7	141	28.4					ND	ND	ND	ND
29	Perforado	Hotel Playa Luna	1012150	529625	24	96	28.1	90	28.4	88	28.3	86	27.7	73	26.7
30	Excavado	Hotel Nido Halcón	1012135	529486	4	291	28.1	350	28.6	376	28.3	348	28.1	257	26.6
31	Excavado	Hotel Bahía Azul	1012630	528411	7	247	27.8	261	27.9	241	27.7	246	27.4	241	26.3
32	Excavado	MINAE-Uvita	1012275	527684	6	578	28.5	150	28.1	691	27.9	584	27.8	372	25.5
33	Excavado	Ganadería 36	1014095	529271	40	341	26.1	206	26.6	213	27	198	26.6	ND	ND
34	Perforado	SENARA	1014801	530191	47	254	26.1	148	26.6	162	26.5	163	26.3	135	25.5
35	Excavado	Cabinas DVAL	x	x	x										
36	Excavado	Frente DVAL	1012364	528790	2	Seco	Seco	38	27.3	24	25.9	22	25.4	16	24.4
37	Excavado	Dennis Bourdon	1012110	528890	10	128	27.3	152	27.7	163	27.4	104	27	102	26.1
38	Perforado	SENARA	1013160	527781	50	ND	ND	183	27.8	Secuestr		Secuestr		Secuestr	
39	Excavado	Cabinas Esmo	1011930	529155	3	457	26.6	382	27	503	26.5	472	26.4	393	25.9
40	Excavado	ND	1011959	528734	5	276	27	124	27.1	159	26	127	25.7	90	24.1
41	Excavado	Mario Muñoz	x	x	x										
42	Excavado	Cabinas Felix	x	x	x										
43	Excavado	Yeudi Murillo	1012757	528435	13	198	27.8			192	27.8	199	27.7	172	26.8
44	Perforado	ND	x	x	x										
45	Perforado	ND	x	x	x										
46	Perforado	SENARA	1012144	529648	23	102	28.3	104	29.1	120	28.3	115	28	104	26.8
47	Perforado	SENARA	1012630	528181	11	277	27.4	265	28.7	Secuestr		Secuestr		Secuestr	
48	Perforado	SENARA	x	x	x										
49	Perforado	SENARA	1013904	528252	18	206	27.4	196	27.7	Secuestr		Secuestr		Secuestr	
50	Perforado	SENARA	1014094	529275	40	178	26.1	164	26.5	189	27	193	26.6	ND	ND
51	Excavado	Henry Arias	1013965	528204	16	197	27.5					209	27.7	182	27.2
52	Excavado	Phillip Kislak	x	x	x	ND	ND								
53	Perforado	ND	x	x	x										
54	Perforado	ND	x	x	x										
55	Excavado	Ademar varela	1012748	528965		ND	ND					ND	ND	ND	
56	Excavado	COOPEAGRI	1011889	530142	19	247	28.6	201	27.5	236	26.8	205	26.7	173	25.8
57	Excavado	Camping Casalta	1012613	527981	8	194	27.3	211	27.5	206	27.1	230	27.3	202	26.2
58	Perforado	ASADA Uvita				ND	ND					ND	ND	ND	
59	Excavado	Joaquin Sibaja G.	1014523	527900						83	27	36	26.5	70	24.8
60	Excavado	Leda Segura	1012551	528940				120	27.1	158	27.2	132	27.1	115	25.9

TABLA PARA CALCULO M N MS CUADRADOS PARA PRUEBAS DE INFILTRACION

N	X(t)	Y	F	G	H	J	K	L	R	M	B	t	V
0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00	0.0165
1	1.00	0.02	0.0000	-1.6990	0.0000	0.0000	2.8865	-1.6990	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	1.00	0.0165
2	2.00	0.03	0.3010	-3.2218	-0.4584	0.0906	5.2057	-4.7447	1.0000	0.5850	0.0200	2.00	0.0173
3	3.00	0.04	0.7782	-4.6198	-1.1254	0.3183	7.1599	-8.9385	0.9986	0.6260	0.0198	3.00	0.0178
4	4.00	0.05	1.3802	-5.9208	-1.9087	0.6807	8.8526	-14.1427	0.9979	0.6566	0.0196	4.00	0.0182
5	5.00	0.08	2.0792	-7.0458	-2.6950	1.1693	10.1181	-19.7674	0.9774	0.7708	0.0186	5.00	0.0185
6	6.00	0.10	2.8573	-8.0458	-3.4732	1.7748	11.1181	-25.7674	0.9710	0.8655	0.0177	6.00	0.0187
7	8.00	0.15	3.7604	-8.8697	-4.2172	2.5904	11.7969	-32.3586	0.9706	0.9602	0.0165	8.00	0.0191
8	10.00	0.20	4.7604	-9.5686	-4.9162	3.5904	12.2854	-39.3483	0.9744	1.0263	0.0156	10.00	0.0194
9	12.00	0.25	5.8396	-10.1707	-5.5659	4.7550	12.6479	-46.5731	0.9785	1.0696	0.0150	12.00	0.0197
10	15.00	0.35	7.0157	-10.6266	-6.1022	6.1382	12.8558	-53.4120	0.9814	1.1126	0.0143	15.00	0.0200
11	20.00	0.40	8.3167	-11.0246	-6.6199	7.8309	13.0142	-61.3708	0.9852	1.1118	0.0144	20.00	0.0204
12	25.00	0.50	9.7147	-11.3256	-7.0407	9.7851	13.1048	-68.8966	0.9880	1.1080	0.0144	25.00	0.0208
13	30.00	0.65	11.1918	-11.5127	-7.3171	11.9670	13.1398	-74.5092	0.9901	1.1125	0.0143	30.00	0.0210
14	35.00	0.75	12.7359	-11.6376	-7.5100	14.3512	13.1554	-78.8820	0.9916	1.1127	0.0143	35.00	0.0213
15	40.00	0.85	14.3379	-11.7082	-7.6230	16.9178	13.1604	-81.7053	0.9927	1.1107	0.0144	40.00	0.0215
16	50.00	1.00	16.0369	-11.7082	-7.6230	19.8043	13.1604	-81.7053	0.9935	1.1023	0.0146	50.00	0.0218
17	60.00	1.20	17.8150	-11.6290	-7.4822	22.9661	13.1666	-76.9544	0.9941	1.0948	0.0147	60.00	0.0221
18	75.00	1.50	19.6901	-11.4529	-7.1521	26.4819	13.1976	-63.7476	0.9947	1.0876	0.0149	75.00	0.0225
19	90.00	1.80	21.6443	-11.1977	-6.6532	30.3010	13.2628	-40.7730	0.9951	1.0813	0.0151	90.00	0.0228
20	105.00	2.15	23.6655	-10.8652	-5.9813	34.3862	13.3733	-5.8670	0.9956	1.0771	0.0152	105.00	0.0230
21	120.00	2.40	25.7447	-10.4850	-5.1908	38.7092	13.5179	39.7584	0.9959	1.0721	0.0154	120.00	0.0233

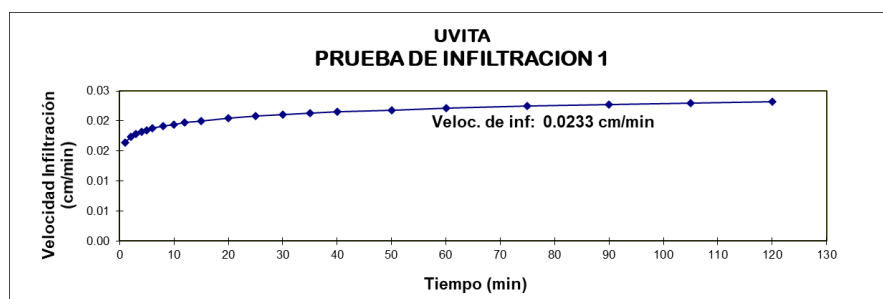


TABLA PARA CALCULO M N MS CUADRADOS PARA PRUEBAS DE INFILTRACION

N	X(t)	Y	F	G	H	J	K	L	R	M	B	t	V
0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00	0.0960
1	1.00	0.10	0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	-1.0000	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	1.00	0.0960
2	2.00	0.20	0.3010	-1.6990	-0.2104	0.0906	1.4886	-2.3979	1.0000	1.0000	0.1000	2.00	0.0930
3	3.00	0.25	0.7782	-2.3010	-0.4977	0.3183	1.8510	-4.2041	0.9905	0.8519	0.1028	3.00	0.0913
4	4.00	0.30	1.3802	-2.8239	-0.8125	0.6807	2.1244	-6.2956	0.9900	0.7918	0.1049	4.00	0.0901
5	5.00	0.45	2.0792	-3.1707	-1.0549	1.1693	2.2447	-8.0296	0.9872	0.8652	0.1014	5.00	0.0892
6	6.00	0.55	2.8573	-3.4303	-1.2569	1.7748	2.3121	-9.5874	0.9882	0.9097	0.0989	6.00	0.0885
7	8.00	0.80	3.7604	-3.5272	-1.3444	2.5904	2.3215	-10.3627	0.9881	0.9652	0.0950	8.00	0.0873
8	10.00	1.05	4.7604	-3.5061	-1.3232	3.5904	2.3220	-10.1508	0.9892	1.0071	0.0917	10.00	0.0864
9	12.00	1.20	5.8396	-3.4269	-1.2378	4.7550	2.3282	-9.2006	0.9914	1.0204	0.0906	12.00	0.0857
10	15.00	1.50	7.0157	-3.2508	-1.0307	6.1382	2.3592	-6.5592	0.9931	1.0278	0.0899	15.00	0.0849
11	20.00	1.85	8.3167	-2.9836	-0.6831	7.8309	2.4306	-1.2158	0.9944	1.0193	0.0908	20.00	0.0838
12	25.00	2.30	9.7147	-2.6219	-0.1774	9.7851	2.5615	7.8274	0.9953	1.0128	0.0915	25.00	0.0829
13	30.00	2.70	11.1918	-2.1905	0.4598	11.9670	2.7475	20.7683	0.9960	1.0059	0.0924	30.00	0.0822
14	35.00	3.05	12.7359	-1.7062	1.2076	14.3512	2.9821	37.7188	0.9964	0.9980	0.0934	35.00	0.0816
15	40.00	3.45	14.3379	-1.1684	2.0692	16.9178	3.2713	59.2316	0.9967	0.9917	0.0942	40.00	0.0811
16	50.00	4.35	16.0369	-0.5299	3.1540	19.8043	3.6790	91.1560	0.9971	0.9879	0.0948	50.00	0.0803
17	60.00	5.00	17.8150	0.1691	4.3968	22.9661	4.1676	133.0942	0.9973	0.9820	0.0957	60.00	0.0797
18	75.00	6.05	19.6901	0.9508	5.8627	26.4819	4.7787	191.7259	0.9975	0.9756	0.0967	75.00	0.0788
19	90.00	7.25	21.6443	1.8112	7.5440	30.3010	5.5189	269.1563	0.9977	0.9710	0.0975	90.00	0.0782
20	105.00	7.55	23.6655	2.6891	9.3185	34.3862	6.2897	361.3407	0.9976	0.9613	0.0993	105.00	0.0776
21	120.00	8.65	25.7447	3.6261	11.2667	38.7092	7.1677	473.7827	0.9976	0.9543	0.1006	120.00	0.0772

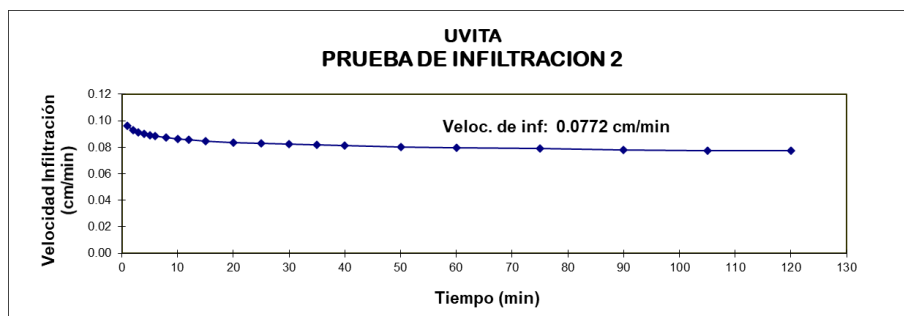


TABLA PARA CALCULO DE LOS CUADRADOS PARA PRUEBAS DE INFILTRACION

N	X(t)	Y	F	G	H	J	K	L	R	M	B	t	V
0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00	0.0619
1	1.00	0.10	0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	-1.0000	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	2.00	0.0412
2	2.00	0.20	0.3010	-1.6990	-0.2104	0.0906	1.4886	-2.3979	1.0000	1.0000	0.1000	3.00	0.0324
3	3.00	0.25	0.7782	-2.3010	-0.4977	0.3183	1.8510	-4.2041	0.9905	0.8519	0.1028	4.00	0.0274
4	4.00	0.30	1.3802	-2.8239	-0.8125	0.6807	2.1244	-6.2956	0.9900	0.7918	0.1049	5.00	0.0240
5	5.00	0.35	2.0792	-3.2798	-1.1312	1.1693	2.3323	-8.5753	0.9914	0.7638	0.1063	6.00	0.0216
6	6.00	0.38	2.8573	-3.7058	-1.4626	1.7748	2.5138	-11.1311	0.9901	0.7297	0.1084	7.00	0.0182
7	8.00	0.40	3.7604	-4.1037	-1.8220	2.5904	2.6721	-14.3146	0.9817	0.6708	0.1131	8.00	0.0160
8	10.00	0.42	4.7604	-4.4805	-2.1987	3.5904	2.8141	-18.0821	0.9727	0.6169	0.1183	9.00	0.0144
9	12.00	0.44	5.8396	-4.8370	-2.5835	4.7550	2.9412	-22.3607	0.9662	0.5745	0.1230	10.00	0.0126
10	15.00	0.45	7.0157	-5.1838	-2.9914	6.1382	3.0614	-27.5625	0.9567	0.5307	0.1286	11.00	0.0106
11	20.00	0.50	8.3167	-5.4849	-3.3830	7.8309	3.1521	-33.5831	0.9521	0.4951	0.1340	12.00	0.0093
12	25.00	0.57	9.7147	-5.7290	-3.7243	9.7851	3.2117	-39.6862	0.9550	0.4757	0.1372	13.00	0.0084
13	30.00	0.59	11.1918	-5.9581	-4.0628	11.9670	3.2642	-46.5607	0.9563	0.4574	0.1406	14.00	0.0077
14	35.00	0.60	12.7359	-6.1800	-4.4053	14.3512	3.3134	-54.3254	0.9562	0.4400	0.1440	15.00	0.0071
15	40.00	0.65	14.3379	-6.3671	-4.7051	16.9178	3.3484	-61.8089	0.9588	0.4299	0.1461	16.00	0.0062
16	50.00	0.70	16.0369	-6.5220	-4.9682	19.8043	3.3724	-69.5540	0.9613	0.4205	0.1482	17.00	0.0056
17	60.00	0.75	17.8150	-6.6469	-5.1904	22.9661	3.3880	-77.0503	0.9641	0.4131	0.1500	18.00	0.0049
18	75.00	0.80	19.6901	-6.7438	-5.3721	26.4819	3.3974	-84.3185	0.9664	0.4056	0.1519	19.00	0.0044
19	90.00	0.95	21.6443	-6.7661	-5.4156	30.3010	3.3979	-86.3234	0.9704	0.4061	0.1518	105.00	0.0040
20	105.00	1.05	23.6655	-6.7449	-5.3728	34.3862	3.3983	-84.0985	0.9739	0.4086	0.1511	120.00	0.0037
21	120.00	1.15	25.7447	-6.6842	-5.2466	38.7092	3.4020	-76.8148	0.9767	0.4124	0.1500		

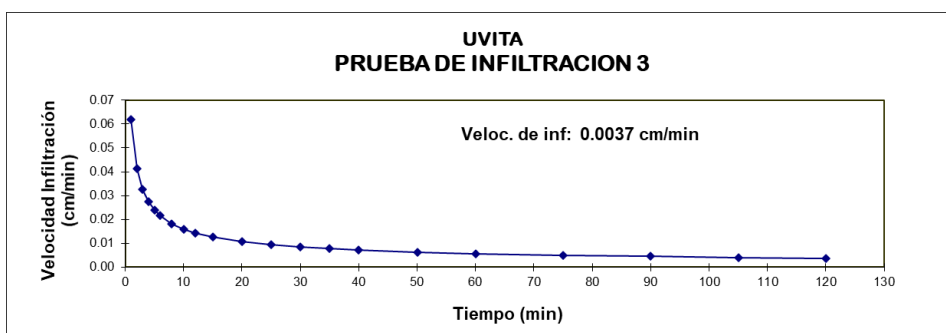


TABLA PARA CALCULO DE LOS CUADRADOS PARA PRUEBAS DE INFILTRACION

N	X(t)	Y	F	G	H	J	K	L	R	M	B	t	V
0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00	0.1234
1	1.00	0.10	0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	-1.0000	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	2.00	0.1191
2	2.00	0.20	0.3010	-1.6990	-0.2104	0.0906	1.4886	-2.3979	1.0000	1.0000	0.1000	3.00	0.1166
3	3.00	0.40	0.7782	-2.0969	-0.4003	0.3183	1.6469	-3.5918	0.9888	1.2337	0.0957	4.00	0.1149
4	4.00	0.50	1.3802	-2.3979	-0.5815	0.6807	1.7375	-4.7959	0.9928	1.2025	0.0967	5.00	0.1136
5	5.00	0.60	2.0792	-2.6198	-0.7366	1.1693	1.7868	-5.9051	0.9933	1.1579	0.0987	6.00	0.1126
6	6.00	0.80	2.8573	-2.7167	-0.8120	1.7748	1.7961	-6.4866	0.9951	1.1634	0.0984	7.00	0.1126
7	8.00	1.10	3.7604	-2.6753	-0.7746	2.5904	1.7979	-6.1554	0.9964	1.1618	0.0986	8.00	0.1109
8	10.00	1.30	4.7604	-2.5614	-0.6607	3.5904	1.8108	-5.0160	0.9966	1.1396	0.1004	10.00	0.1096
9	12.00	1.50	5.8396	-2.3853	-0.4706	4.7550	1.8418	-2.9029	0.9963	1.1149	0.1027	12.00	0.1086
10	15.00	1.90	7.0157	-2.1065	-0.1428	6.1382	1.9196	1.2784	0.9965	1.0977	0.1045	15.00	0.1074
11	20.00	2.50	8.3167	-1.7086	0.3749	7.8309	2.0779	9.2372	0.9967	1.0803	0.1066	20.00	0.1058
12	25.00	2.90	9.7147	-1.2462	1.0213	9.7851	2.2917	20.7971	0.9962	1.0571	0.1097	25.00	0.1046
13	30.00	3.40	11.1918	-0.7147	1.8064	11.9670	2.5742	36.7415	0.9961	1.0385	0.1125	30.00	0.1036
14	35.00	3.90	12.7359	-0.1236	2.7190	14.3512	2.9235	57.4288	0.9960	1.0239	0.1147	35.00	0.1028
15	40.00	4.40	14.3379	0.5198	3.7499	16.9178	3.3376	83.1669	0.9961	1.0126	0.1166	40.00	0.1021
16	50.00	5.10	16.0369	1.2274	4.9520	19.8043	3.8382	118.5454	0.9959	0.9977	0.1193	50.00	0.1010
17	60.00	6.10	17.8150	2.0127	6.3485	22.9661	4.4550	165.6652	0.9959	0.9866	0.1215	60.00	0.1000
18	75.00	7.30	19.6901	2.8760	7.9673	26.4819	5.2003	230.4144	0.9959	0.9753	0.1238	75.00	0.0989
19	90.00	8.50	21.6443	3.8055	9.7836	30.3010	6.0641	314.0621	0.9960	0.9653	0.1261	90.00	0.0980
20	105.00	9.60	23.6655	4.7877	11.7689	34.3862	7.0290	417.2006	0.9960	0.9562	0.1282	105.00	0.0972
21	120.00	10.80	25.7447	5.8212	13.9176	38.7092	8.0969	541.2114	0.9961	0.9487	0.1301	120.00	0.0965

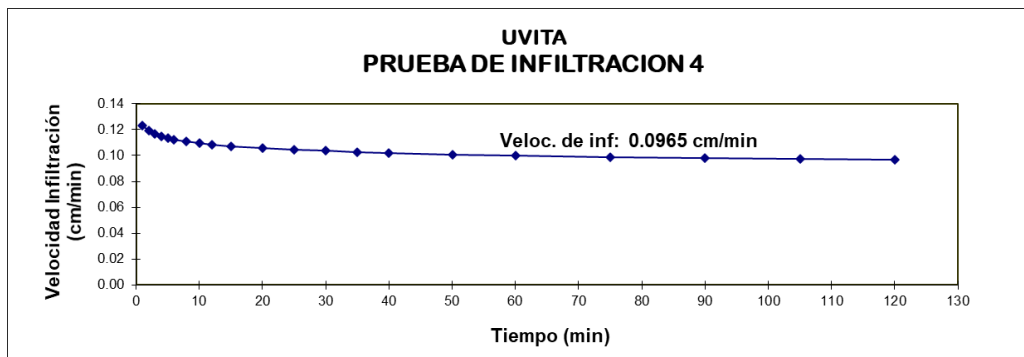


TABLA PARA CALCULO DE LOS CUADRADOS PARA PRUEBAS DE INFILTRACION

N	X(t)	Y	F	G	H	J	K	L	R	M	B	t	V
0	-	-	-	0	0	0	0	0					
1	1.00	0.30	0.0000	-0.5229	0.0000	0.0000	0.2734	-0.5229	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	1.00	0.3099
2	2.00	0.50	0.3010	-0.8239	-0.0906	0.0906	0.3640	-1.1249	1.0000	0.7370	0.3000	2.00	0.2878
3	3.00	0.90	0.7782	-0.8697	-0.1125	0.3183	0.3661	-1.2622	0.9819	0.9717	0.2871	3.00	0.2755
4	4.00	1.20	1.3802	-0.7905	-0.0648	0.6807	0.3724	-0.9455	0.9892	1.0170	0.2828	4.00	0.2672
5	5.00	1.60	2.0792	-0.5864	0.0779	1.1693	0.4140	0.0751	0.9919	1.0559	0.2778	5.00	0.2609
6	6.00	2.00	2.8573	-0.2853	0.3121	1.7748	0.5047	1.8813	0.9935	1.0819	0.2737	6.00	0.2558
7	8.00	2.60	3.7604	0.1296	0.6869	2.5904	0.6769	5.2011	0.9953	1.0824	0.2736	8.00	0.2480
8	10.00	3.00	4.7604	0.6068	1.1640	3.5904	0.9045	9.9723	0.9956	1.0598	0.2788	10.00	0.2422
9	12.00	3.50	5.8396	1.1508	1.7512	4.7550	1.2005	16.5011	0.9957	1.0398	0.2839	12.00	0.2375
10	15.00	4.10	7.0157	1.7636	2.4719	6.1382	1.5760	25.6929	0.9953	1.0151	0.2912	15.00	0.2319
11	20.00	5.10	8.3167	2.4712	3.3924	7.8309	2.0767	39.8443	0.9947	0.9878	0.3005	20.00	0.2249
12	25.00	6.40	9.7147	3.1574	4.5194	9.7851	2.7266	59.9988	0.9950	0.9717	0.3065	25.00	0.2199
13	30.00	7.50	11.1918	4.1524	5.8120	11.9670	3.4923	86.2506	0.9954	0.9594	0.3115	30.00	0.2153
14	35.00	8.50	12.7359	5.0818	7.2471	14.3512	4.3562	118.7803	0.9957	0.9489	0.3160	35.00	0.2118
15	40.00	9.40	14.3379	6.0550	8.8061	16.9178	5.3031	157.7054	0.9959	0.9395	0.3203	40.00	0.2088
16	50.00	11.40	16.0369	7.1119	10.6017	19.8043	6.4202	210.5506	0.9962	0.9311	0.3245	50.00	0.2038
17	60.00	13.10	17.8150	8.2291	12.5884	22.9661	7.6885	277.5869	0.9964	0.9227	0.3290	60.00	0.1999
18	75.00	15.60	19.6901	9.4223	14.8256	26.4819	9.0920	367.0712	0.9965	0.9141	0.3338	75.00	0.1952
19	90.00	17.90	21.6443	10.6751	17.2740	30.3010	10.6617	479.8280	0.9966	0.9059	0.3387	90.00	0.1914
20	105.00	20.40	23.6655	11.9848	19.9210	34.3862	12.3768	617.3392	0.9967	0.8992	0.3430	105.00	0.1883
21	120.00	22.50	25.7447	13.3369	22.7324	38.7092	14.2052	779.6011	0.9968	0.8929	0.3471	120.00	0.1856

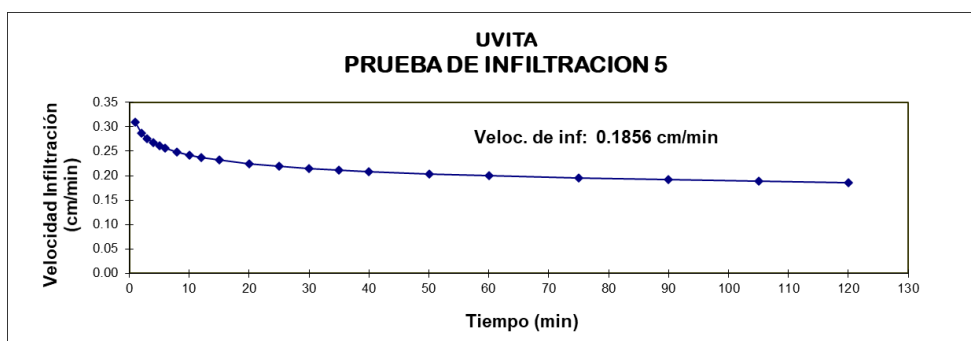


TABLA PARA CALCULO DE LOS CUADRADOS PARA PRUEBAS DE INFILTRACION

N	X(t)	Y	F	G	H	J	K	L	R	M	B	t	V
0	-	-	-	0	0	0	0	0					
1	1.00	0.05	0.0000	-1.3010	0.0000	0.0000	1.6927	-1.3010	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	1.00	0.0524
2	2.00	0.10	0.3010	-2.3010	-0.3010	0.0906	2.6927	-3.3010	1.0000	0.0500	0.0500	2.00	0.0496
3	3.00	0.15	0.7782	-3.1249	-0.6941	0.3183	3.3715	-5.7728	1.0000	1.0000	0.0500	3.00	0.0481
4	4.00	0.20	1.3802	-3.8239	-1.1150	0.6807	3.8601	-8.5686	1.0000	1.0000	0.0500	4.00	0.0470
5	5.00	0.25	2.0792	-4.4260	-1.5358	1.1693	4.2225	-11.5789	1.0000	1.0000	0.0500	5.00	0.0462
6	6.00	0.30	2.8573	-4.9488	-1.9427	1.7748	4.4959	-14.7162	1.0000	1.0000	0.0500	6.00	0.0455
7	8.00	0.40	3.7604	-5.3468	-2.3020	2.5904	4.6543	-17.8997	1.0000	1.0000	0.0500	8.00	0.0445
8	10.00	0.50	4.7604	-5.6478	-2.6031	3.5904	4.7449	-20.9100	1.0000	1.0000	0.0500	10.00	0.0438
9	12.00	0.60	5.8396	-5.8697	-2.8425	4.7550	4.7941	-23.5722	1.0000	1.0000	0.0500	12.00	0.0431
10	15.00	0.80	7.0157	-5.9666	-2.9565	6.1382	4.8035	-25.0259	0.9998	1.0109	0.0494	15.00	0.0424
11	20.00	1.00	8.3167	-5.9666	-2.9565	7.8309	4.8035	-25.0259	0.9998	1.0076	0.0496	20.00	0.0415
12	25.00	1.20	9.7147	-5.8874	-2.8458	9.7851	4.8098	-23.0463	0.9997	0.9999	0.0501	25.00	0.0407
13	30.00	1.35	11.1918	-5.7571	-2.6532	11.9670	4.8268	-19.1363	0.9994	0.9876	0.0509	30.00	0.0402
14	35.00	1.60	12.7359	-5.5529	-2.3381	14.3512	4.8684	-11.9921	0.9994	0.9813	0.0514	35.00	0.0397
15	40.00	1.80	14.3379	-5.2977	-1.9291	16.9178	4.9336	-1.7812	0.9994	0.9757	0.0518	40.00	0.0393
16	50.00	2.10	16.0369	-4.9754	-1.3817	19.8043	5.0374	14.3297	0.9991	0.9665	0.0525	50.00	0.0386
17	60.00	2.40	17.8150	-4.5952	-0.7056	22.9661	5.1820	37.1424	0.9989	0.9565	0.0534	60.00	0.0381
18	75.00	2.90	19.6901	-4.1328	0.1614	26.4819	5.3958	71.8223	0.9987	0.9473	0.0542	75.00	0.0374
19	90.00	3.40	21.6443	-3.6014	1.2001	30.3010	5.6783	119.6554	0.9986	0.9395	0.0550	90.00	0.0369
20	105.00	3.70	23.6655	-3.0332	2.3485	34.3862	6.0011	179.3166	0.9984	0.9302	0.0559	105.00	0.0364
21	120.00	4.10	25.7447	-2.4204	3.6226	38.7092	6.3766	252.8506	0.9982	0.9219	0.0568	120.00	0.0361

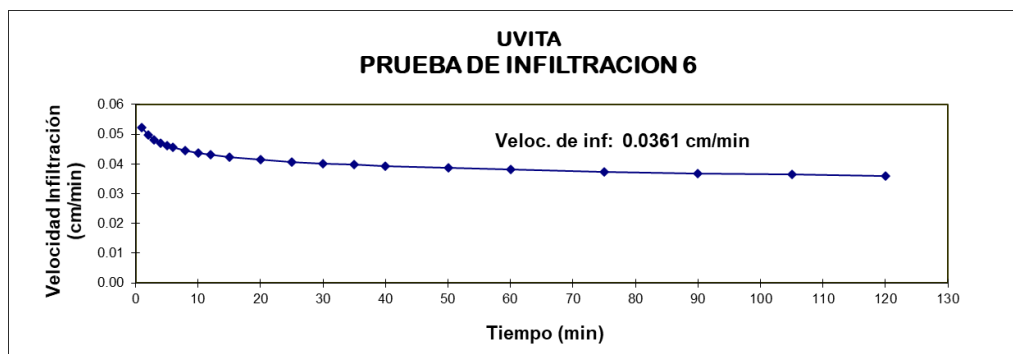


TABLA PARA CALCULO M N N MOS CUADRADOS PARA PRUEBAS DE INFILTRACION

N	X(t)	Y	F	G	H	J	K	L	R	M	B	t	V
0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00	0.0817
1	1.00	0.10	0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	-1.0000	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	1.00	0.0817
2	2.00	0.20	0.3010	-1.6990	-0.2104	0.0906	1.4886	-2.3979	1.0000	1.0000	0.1000	2.00	0.0661
3	3.00	0.25	0.7782	-2.3010	-0.4977	0.3183	1.8510	-4.2041	0.9905	0.8519	0.1028	3.00	0.0585
4	4.00	0.30	1.3802	-2.8239	-0.8125	0.6807	2.1244	-6.2956	0.9900	0.7918	0.1049	4.00	0.0536
5	5.00	0.35	2.0792	-3.2798	-1.1312	1.1693	2.3323	-8.5753	0.9914	0.7638	0.1063	5.00	0.0500
6	6.00	0.45	2.8573	-3.6266	-1.4010	1.7748	2.4526	-10.6560	0.9928	0.7874	0.1048	6.00	0.0473
7	8.00	0.50	3.7604	-3.9277	-1.6729	2.5904	2.5432	-13.0643	0.9935	0.7664	0.1065	8.00	0.0434
8	10.00	0.60	4.7604	-4.1495	-1.8947	3.5904	2.5924	-15.2827	0.9948	0.7582	0.1072	10.00	0.0405
9	12.00	0.70	5.8396	-4.3044	-2.0619	4.7550	2.6164	-17.1416	0.9959	0.7567	0.1073	12.00	0.0383
10	15.00	0.85	7.0157	-4.3750	-2.1449	6.1382	2.6214	-18.2003	0.9967	0.7601	0.1070	15.00	0.0358
11	20.00	1.00	8.3167	-4.3750	-2.1449	7.8309	2.6214	-18.2003	0.9972	0.7537	0.1078	20.00	0.0328
12	25.00	1.15	9.7147	-4.3143	-2.0600	9.7851	2.6251	-16.6828	0.9975	0.7459	0.1088	25.00	0.0307
13	30.00	1.25	11.1918	-4.2174	-1.9169	11.9670	2.6345	-13.7755	0.9974	0.7350	0.1104	30.00	0.0290
14	35.00	1.35	12.7359	-4.0870	-1.7156	14.3512	2.6514	-9.2139	0.9971	0.7241	0.1120	35.00	0.0277
15	40.00	1.55	14.3379	-3.8967	-1.4107	16.9178	2.6877	-1.6006	0.9974	0.7203	0.1127	40.00	0.0266
16	50.00	1.70	16.0369	-3.6663	-1.0192	19.8043	2.7408	9.9219	0.9973	0.7119	0.1141	50.00	0.0248
17	60.00	2.00	17.8150	-3.3652	-0.4839	22.9661	2.8314	27.9837	0.9975	0.7081	0.1148	60.00	0.0235
18	75.00	2.35	19.6901	-2.9942	0.2119	26.4819	2.9691	55.8137	0.9978	0.7055	0.1153	75.00	0.0219
19	90.00	2.55	21.6443	-2.5876	1.0063	30.3010	3.1344	92.4024	0.9979	0.7005	0.1163	90.00	0.0208
20	105.00	2.90	23.6655	-2.1252	1.9409	34.3862	3.3482	140.9542	0.9980	0.6980	0.1169	105.00	0.0198
21	120.00	3.15	25.7447	-1.6269	2.9770	38.7092	3.5965	200.7514	0.9982	0.6955	0.1174	120.00	0.0190

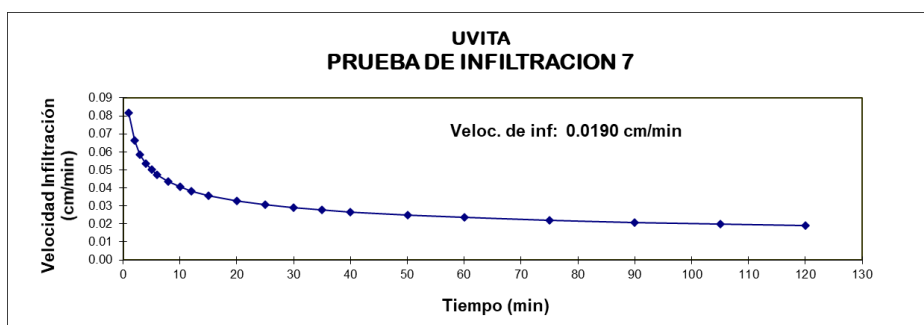


TABLA PARA CALCULO M N N MOS CUADRADOS PARA PRUEBAS DE INFILTRACION

N	X(t)	Y	F	G	H	J	K	L	R	M	B	t	V
0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00	0.1588
1	1.00	0.10	0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	-1.0000	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	#1 Δ V / 0!	1.00	0.1588
2	2.00	0.45	0.3010	-1.3468	-0.1044	0.0906	1.1203	-1.6936	1.0000	2.1699	0.1000	2.00	0.1237
3	3.00	0.55	0.7782	-1.6064	-0.2283	0.3183	1.1877	-2.4725	0.9649	1.6183	0.1109	3.00	0.1069
4	4.00	0.70	1.3802	-1.7613	-0.3215	0.6807	1.2117	-3.0921	0.9584	1.3996	0.1193	4.00	0.0963
5	5.00	0.90	2.0792	-1.8071	-0.3535	1.1693	1.2138	-3.3209	0.9628	1.3060	0.1246	5.00	0.0889
6	6.00	1.00	2.8573	-1.8071	-0.3535	1.7748	1.2138	-3.3209	0.9630	1.2245	0.1305	6.00	0.0832
7	8.00	1.10	3.7604	-1.7657	-0.3161	2.5904	1.2155	-2.9897	0.9543	1.1089	0.1419	8.00	0.0750
8	10.00	1.25	4.7604	-1.6688	-0.2192	3.5904	1.2249	-2.0206	0.9494	1.0213	0.1527	10.00	0.0692
9	12.00	1.45	5.8396	-1.5074	-0.0451	4.7550	1.2509	-0.0842	0.9500	0.9658	0.1606	12.00	0.0648
10	15.00	1.55	7.0157	-1.3171	0.1788	6.1382	1.2871	2.7708	0.9476	0.9067	0.1707	15.00	0.0598
11	20.00	1.80	8.3167	-1.0618	0.5109	7.8309	1.3523	7.8762	0.9460	0.8514	0.1819	20.00	0.0539
12	25.00	2.05	9.7147	-0.7501	0.9467	9.7851	1.4495	15.6700	0.9468	0.8091	0.1916	25.00	0.0497
13	30.00	2.10	11.1918	-0.4278	1.4227	11.9670	1.5533	25.3366	0.9453	0.7680	0.2023	30.00	0.0466
14	35.00	2.45	12.7359	-0.0387	2.0236	14.3512	1.7048	38.9574	0.9482	0.7445	0.2089	35.00	0.0440
15	40.00	2.60	14.3379	0.3763	2.8884	16.9178	1.8770	55.5564	0.9507	0.7248	0.2149	40.00	0.0420
16	50.00	2.90	16.0369	0.8387	3.4740	19.8043	2.0908	78.6763	0.9530	0.7059	0.2212	50.00	0.0387
17	60.00	3.15	17.8150	1.3370	4.3600	22.9661	2.3391	108.5749	0.9550	0.6886	0.2275	60.00	0.0363
18	75.00	3.35	19.6901	1.8621	5.3445	26.4819	2.6148	147.9533	0.9559	0.6691	0.2352	75.00	0.0335
19	90.00	3.85	21.6443	2.4475	6.4887	30.3010	2.9575	200.6447	0.9582	0.6556	0.2410	90.00	0.0313
20	105.00	4.30	23.6655	3.0810	7.7690	34.3862	3.3588	267.1589	0.9610	0.6460	0.2453	105.00	0.0296
21	120.00	4.75	25.7447	3.7577	9.1760	38.7092	3.8167	348.3622	0.9638	0.6393	0.2485	120.00	0.0282

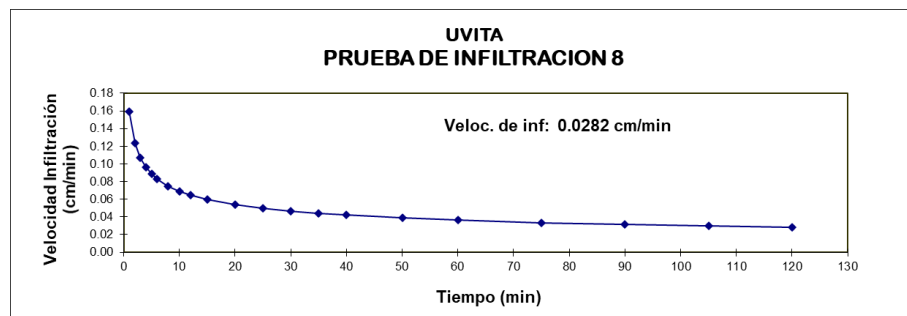


TABLA PARA CALCULO M N N MOS CUADRADOS PARA PRUEBAS DE INFILTRACION

N	X(t)	Y	F	G	H	J	K	L	R	M	B	t	V
0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00	0.9674
1	1.00	1.70	0.0000	0.2304	0.0000	0.0000	0.0531	0.2304	# _i Δ V / O!	# _i Δ V / O!	# _i Δ V / O!	1.00	0.9674
2	2.00	2.60	0.3010	0.6454	0.1249	0.0906	0.2253	1.0604	1.0000	0.6130	1.7000	2.00	0.6820
3	3.00	3.40	0.7782	1.1769	0.3785	0.3183	0.5078	2.6548	0.9998	0.6290	1.6949	3.00	0.5558
4	4.00	4.10	1.3802	1.7897	0.7474	0.6807	0.8833	5.1060	0.9998	0.6352	1.6914	4.00	0.4808
5	5.00	4.30	2.0792	2.4232	1.1902	1.1693	1.2846	8.2733	0.9962	0.5992	1.7198	5.00	0.4296
6	6.00	4.65	2.8573	3.0906	1.7096	1.7748	1.7301	12.2780	0.9943	0.5742	1.7444	6.00	0.3919
7	8.00	5.70	3.7604	3.8465	2.3922	2.5904	2.3014	18.3250	0.9958	0.5714	1.7480	8.00	0.3389
8	10.00	6.45	4.7604	4.6560	3.2018	3.5904	2.9568	26.4206	0.9968	0.5691	1.7514	10.00	0.3029
9	12.00	7.10	5.8396	5.5073	4.1204	4.7550	3.6814	36.6357	0.9974	0.5663	1.7559	12.00	0.2762
10	15.00	8.10	7.0157	6.4158	5.1889	6.1382	4.5068	50.2630	0.9979	0.5655	1.7573	15.00	0.2468
11	20.00	8.95	8.3167	7.3676	6.4272	7.8309	5.4127	69.2995	0.9977	0.5553	1.7779	20.00	0.2135
12	25.00	10.10	9.7147	8.3719	7.8312	9.7851	6.4214	94.4075	0.9978	0.5486	1.7927	25.00	0.1908
13	30.00	10.90	11.1918	9.4094	9.3636	11.9670	7.4977	125.5303	0.9977	0.5416	1.8093	30.00	0.1740
14	35.00	11.80	12.7359	10.4812	11.0187	14.3512	8.6466	163.0462	0.9978	0.5366	1.8218	35.00	0.1610
15	40.00	12.30	14.3379	11.5711	12.7648	16.9178	9.8345	206.6424	0.9977	0.5305	1.8379	40.00	0.1505
16	50.00	13.80	16.0369	12.7110	14.7014	19.8043	11.1338	263.6363	0.9977	0.5257	1.8515	50.00	0.1345
17	60.00	14.95	17.8150	13.8857	16.7901	22.9661	12.5136	334.1148	0.9977	0.5210	1.8656	60.00	0.1227
18	75.00	15.20	19.6901	15.0675	19.0061	26.4819	13.9103	422.7531	0.9966	0.5106	1.8991	75.00	0.1096
19	90.00	16.90	21.6443	16.2954	21.4057	30.3010	15.4181	533.2629	0.9962	0.5036	1.9230	90.00	0.1000
20	105.00	18.45	23.6655	17.5614	23.9645	34.3862	17.0208	666.1925	0.9963	0.4989	1.9398	105.00	0.0925
21	120.00	19.85	25.7447	18.8591	26.6628	38.7092	18.7050	821.9237	0.9964	0.4956	1.9518	120.00	0.0865

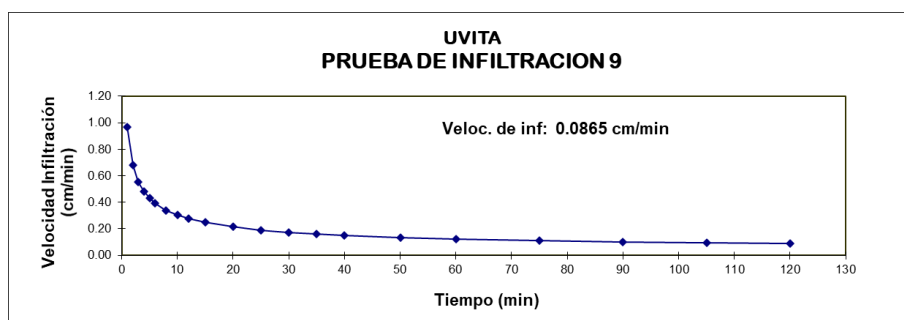


TABLA PARA CALCULO M N N MOS CUADRADOS PARA PRUEBAS DE INFILTRACION

N	X(t)	Y	F	G	H	J	K	L	R	M	B	t	V
0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00	0.3442
1	1.00	0.50	0.0000	-0.3010	0.0000	0.0000	0.0906	-0.3010	# _i Δ V / O!	# _i Δ V / O!	# _i Δ V / O!	1.00	0.3442
2	2.00	0.70	0.3010	-0.4559	-0.0466	0.0906	0.1146	-0.6108	1.0000	0.4854	0.5000	2.00	0.3015
3	3.00	1.00	0.7782	-0.4559	-0.0466	0.3183	0.1146	-0.6108	0.9861	0.6153	0.4890	3.00	0.2790
4	4.00	1.30	1.3802	-0.3420	0.0220	0.6807	0.1276	-0.1551	0.9870	0.6845	0.4768	4.00	0.2641
5	5.00	1.55	2.0792	-0.1517	0.1550	1.1693	0.1638	0.7966	0.9901	0.7157	0.4700	5.00	0.2531
6	6.00	1.70	2.8573	0.0788	0.3343	1.7748	0.2169	2.1793	0.9927	0.7168	0.4697	6.00	0.2444
7	8.00	2.20	3.7604	0.4212	0.6436	2.5904	0.3342	4.9187	0.9943	0.7317	0.4646	8.00	0.2313
8	10.00	2.70	4.7604	0.8526	1.0749	3.5904	0.5203	9.2323	0.9951	0.7491	0.4579	10.00	0.2217
9	12.00	3.20	5.8396	1.3577	1.6201	4.7550	0.7754	15.2941	0.9955	0.7651	0.4512	12.00	0.2141
10	15.00	3.80	7.0157	1.9375	2.3020	6.1382	1.1116	23.9909	0.9962	0.7751	0.4467	15.00	0.2051
11	20.00	4.70	8.3167	2.6096	3.1764	7.8309	1.5633	37.4328	0.9970	0.7799	0.4442	20.00	0.1942
12	25.00	5.70	9.7147	3.3655	4.2330	9.7851	2.1346	56.3297	0.9975	0.7854	0.4412	25.00	0.1860
13	30.00	6.75	11.1918	4.1948	5.4580	11.9670	2.8224	81.2088	0.9978	0.7919	0.4374	30.00	0.1797
14	35.00	7.55	12.7359	5.0727	6.8136	14.3512	3.5932	111.9369	0.9981	0.7952	0.4355	35.00	0.1745
15	40.00	8.20	14.3379	5.9865	8.2776	16.9178	4.4282	148.4895	0.9984	0.7954	0.4353	40.00	0.1701
16	50.00	10.30	16.0369	6.9994	9.9984	19.8043	5.4541	199.1314	0.9985	0.7996	0.4325	50.00	0.1630
17	60.00	11.95	17.8150	8.0768	11.9141	22.9661	6.6148	263.7734	0.9987	0.8029	0.4302	60.00	0.1574
18	75.00	13.90	19.6901	9.2198	14.0573	26.4819	7.9213	349.4995	0.9989	0.8035	0.4298	75.00	0.1508
19	90.00	16.35	21.6443	10.4333	16.4289	30.3010	9.3939	458.7161	0.9990	0.8050	0.4287	90.00	0.1456
20	105.00	18.85	23.6655	11.7086	19.0065	34.3862	11.0203	592.6238	0.9991	0.8071	0.4270	105.00	0.1414
21	120.00	21.05	25.7447	13.0319	21.7578	38.7092	12.7713	751.4141	0.9992	0.8089	0.4256	120.00	0.1379

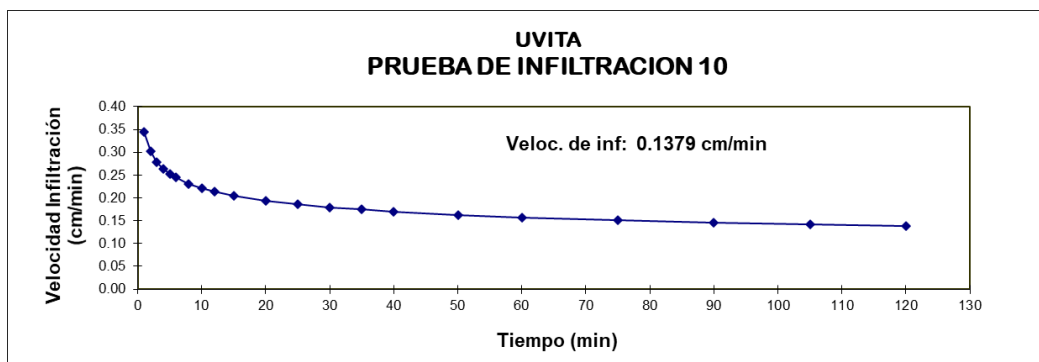
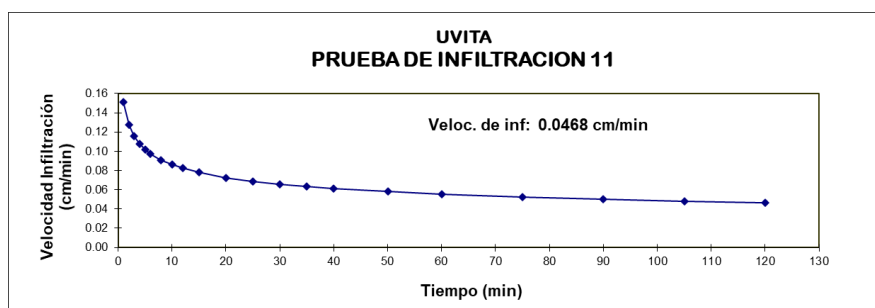


TABLA PARA CALCULO M N MDS CUADRADOS PARA PRUEBAS DE INFILTRACION

N	X(t)	Y	F	G	H	J	K	L	R	M	B	t	V
0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	1.00	0.20	0.0000	-0.6990	0.0000	0.0000	0.4886	-0.6990	#i Δ V / O!	#i Δ V / O!	#i Δ V / O!	1.00	0.1515
2	2.00	0.35	0.3010	-1.1549	-0.1372	0.0906	0.6964	-1.6108	1.0000	0.8074	0.2000	2.00	0.1278
3	3.00	0.45	0.7782	-1.5017	-0.3027	0.3183	0.8167	-2.6512	0.9978	0.7456	0.2023	3.00	0.1156
4	4.00	0.60	1.3802	-1.7235	-0.4363	0.6807	0.8659	-3.5386	0.9979	0.7748	0.2003	4.00	0.1078
5	5.00	0.65	2.0792	-1.9106	-0.5670	1.1693	0.9009	-4.4740	0.9970	0.7465	0.2030	5.00	0.1020
6	6.00	0.70	2.8573	-2.0655	-0.6876	1.7748	0.9249	-5.4034	0.9949	0.7150	0.2067	6.00	0.0975
7	8.00	1.00	3.7604	-2.0655	-0.6876	2.5904	0.9249	-5.4034	0.9951	0.7400	0.2029	8.00	0.0909
8	10.00	1.15	4.7604	-2.0048	-0.6269	3.5904	0.9286	-4.7965	0.9962	0.7471	0.2017	10.00	0.0861
9	12.00	1.40	5.8396	-1.8587	-0.4692	4.7550	0.9499	-3.0429	0.9964	0.7627	0.1989	12.00	0.0823
10	15.00	1.55	7.0157	-1.6684	-0.2453	6.1382	0.9862	-0.1879	0.9971	0.7607	0.1993	15.00	0.0779
11	20.00	2.00	8.3167	-1.3673	0.1463	7.8309	1.0768	5.8327	0.9977	0.7649	0.1983	20.00	0.0726
12	25.00	2.25	9.7147	-1.0152	0.6386	9.7851	1.2008	14.6372	0.9980	0.7604	0.1994	25.00	0.0687
13	30.00	2.55	11.1918	-0.6086	1.2392	11.9670	1.3661	26.8334	0.9983	0.7561	0.2006	30.00	0.0657
14	35.00	3.00	12.7359	-0.1315	1.9759	14.3512	1.5937	43.5327	0.9986	0.7578	0.2001	35.00	0.0633
15	40.00	3.10	14.3379	0.3599	2.7631	16.9178	1.8352	63.1871	0.9986	0.7530	0.2015	40.00	0.0612
16	50.00	3.75	16.0369	0.9339	3.7383	19.8043	2.1647	91.8887	0.9988	0.7512	0.2020	50.00	0.0580
17	60.00	4.30	17.8150	1.5674	4.8647	22.9661	2.5660	129.8968	0.9989	0.7499	0.2025	60.00	0.0554
18	75.00	5.15	19.6901	2.2792	6.1994	26.4819	3.0726	183.2823	0.9991	0.7498	0.2025	75.00	0.0525
19	90.00	5.95	21.6443	3.0537	7.7130	30.3010	3.6725	252.9889	0.9992	0.7502	0.2024	90.00	0.0502
20	105.00	6.90	23.6655	3.8925	9.4085	34.3862	4.3762	341.0680	0.9993	0.7524	0.2016	105.00	0.0483
21	120.00	7.70	25.7447	4.7790	11.2516	38.7092	5.1621	447.4469	0.9993	0.7545	0.2007	120.00	0.0468



ANEXO 3

(Corresponde con archivos digitales raster, .mpk, .grd., xls, asociados con el álgebra de mapas necesaria para la determinación de la recarga potencial y la modelación numérica matemática del flujo de agua subterránea en los escenarios actual, 2030 y 2050)