



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO ALUVIAL DE BAHÍA BALLENA:

Comprendido en la cuenca del río Uvita y río
Higuerón hasta la quebrada Tibia, en Osa,
Puntarenas.

Investigador Responsable:

Mario Enrique Arias Salguero

Mayo, 2016



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	13
1.1	Aspectos generales de la zona.....	13
1.2	Justificación y objetivo.....	15
1.3	Actividades realizadas en esta investigación.....	15
1.4	Investigadores.....	17
2.	REGIMEN HIDROLÓGICO.....	18
2	Régimen hidrológico.....	18
2.1	Meteorología.....	18
2.1.1	Precipitación.....	20
2.1.2	Temperatura.....	20
2.2	Hidrografía.....	21
2.2.1	Subcuenca Río Uvita.....	24
2.2.2	Subcuenca Río Ballena.....	24
2.2.3	Subcuenca Río Higuierón.....	24
2.2.4	Microcuencas de las Quebradas Villegas y Saringo.....	24
2.2.5	Microcuenca de la Quebrada Sargento.....	25
3	GEOMORFOLOGÍA.....	26
3.1	Formas de Origen Denudacional.....	26
3.1.1	Laderas de pendiente moderada.....	26
3.1.2	Laderas y montañas de fuerte pendiente.....	27
3.1.3	Laderas y montañas de muy fuerte pendiente.....	28
3.2	Formas de Origen Fluvial.....	28
3.2.1	Abanico aluvial Uvita.....	28
3.3	Formas de Origen Litoral.....	29
3.3.1	Plataformas de abrasión.....	29

3.3.2	Tómbolo.....	29
3.4	Formas de Origen Estructural.....	29
3.4.1	Fallas y alineamientos.....	29
4	CONTEXTO GEOLÓGICO.....	32
4.1	Formación Térraba.....	32
4.1.1	Unidad Zapote.....	32
4.1.2	Unidad Lagarto.....	32
4.1.3	Depósitos Cuaternarios.....	33
4.1.4	Aspectos Estructurales Regionales.....	33
4.1.5	Estructuras Tectónicas.....	34
4.1.6	Falla Longitudinal de Costa Rica.....	34
4.2	Geología Local.....	35
4.2.1	Aspectos Litológicos analizados.....	35
4.2.2	Intercalaciones de Areniscas y Lutitas (Fm. Térraba).....	37
4.2.2.1.1	Areniscas de coloración verde.....	43
4.2.2.1.2	Intercalaciones de lutitas y areniscas afectadas por alteración Hidrotermal.....	45
4.2.2.2	Depósitos Coluviales de alta Dureza (formación Puerto Nuevo).....	47
4.2.2.3	Depósitos Aluviales del Río Uvita (Neógeno).....	49
4.3	Geología Estructural.....	51
4.3.1	Dirección de Buzamiento.....	51
4.3.1.1	Pliegue Antiforma Fila Ballena.....	52
4.3.2	Planos de Fracturas y Fallamiento.....	52
4.3.2.1	Fallamiento Inverso relacionado a la Falla Longitudinal.....	53
4.3.2.2	Fallamiento Normal.....	54
4.3.3	Modelo Estructural para la zona de estudio	57
5	PROSPECCIÓN GEOFÍSICA.....	61
5.1	Metodología y Equipo Utilizado.....	61
5.1.2	Dispositivo electródico Schlumberger.....	63

5.1.3	Realización de los Sondeos Eléctricos Verticales.....	64
5.2	Resultados Sondeos Eléctricos Verticales.....	67
5.2.1	Descripción Perfil Geoeléctrico A-B.....	73
5.2.3	Descripción Perfil Geoeléctrico C-D.....	75
5.2.4	CORRELACIÓN GEOLÓGICA.....	77
6	MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO.....	82
6.1	Introducción.....	82
6.2	Inventario Pozos Perforados.....	83
6.2.3	Niveles de agua relacionados a Turbiditas.....	85
6.2.4	Niveles de agua relacionado al sector aluvial.....	91
6.2.5	Manantiales inventariados.....	98
6.2.6	Concesiones Ubicadas dentro del área de estudio.....	103
6.3	Unidades Hidrogeológicas Locales.....	107
6.3.3.1	Unidad Hidrogeológica Ballena.....	110
6.3.3.1.1	Nivel superior.....	110
6.3.3.1.2	Nivel Medio.....	111
6.3.3.1.3	Nivel Inferior.....	112
6.3.3.2	Unidad Hidrogeológica Uvita.....	113
6.3.4	Descripción del perfil A –B.....	114
6.3.5	Descripción del perfil C –D.....	116
6.3.6	Campaña de Aforos	118
6.3.6.1	Zona 1.....	120
6.3.6.2	Zona 2.....	122
6.3.6.3	Zona 3.....	124
7	DETERMINACIÓN DE LA RECARGA POTENCIAL.....	127
7.1	Introducción.....	127
7.2	Precipitación zonal.....	127
7.3	Pendiente en Porcentaje.....	130

7.4	Uso del suelo.....	132
7.4.3	Capacidad de Infiltración del suelo.....	136
7.5	Parámetros de suelo.....	141
7.6	Evapotranspiración.....	151
7.7	Zonas de balance hídrico de la cuenca.....	152
7.8	Resultados.....	155
7.9	Caudal de extracción y oferta-demanda para el área de estudio.....	158
8	PROTECCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO.....	161
8.1	Concepto de vulnerabilidad hidrogeológica.....	161
8.2	La metodología GOD.....	162
8.3	Determinación de la vulnerabilidad hidrogeológica.....	163
8.3.1	Unidad Hidrogeológica Ballena.....	163
8.3.2	Unidad Hidrogeológica Uvita.....	168
8.4	Riesgo hidrogeológico.....	170
8.5	Red de Monitoreo de calidad de agua subterránea.....	177
8.5.3	Unidad Hidrogeológica Uvita.....	179
8.5.4	Unidad Hidrogeológica Ballena.....	181
8.5.5	Medición de niveles de agua.....	182
8.5.6	Parámetros que se pueden medir.....	182
8.5.7	Frecuencia de Medición.....	183
9	CONCLUSIONES.....	184
10	RECOMENDACIONES.....	189
11	REFERENCIAS.....	193

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	14
Figura 2: Ubicación de la estación meteorológica Tinamaste.....	19
Figura 3: Gráfico donde se muestra la distribución de la precipitación promedio mensual cerca de la zona de estudio.....	20
Figura 4: Gráfico donde se muestra la distribución de la temperatura promedio mensual cerca de la zona de estudio.....	21
Figura 5: Modelo de elevación digital del terreno con los ríos principales y la delimitación de las sub-cuencas y microcuencas.....	23
Figura 6: Mapa Geomorfológico de la zona de estudio.....	31
Figura 7: Mapa de ubicación de afloramientos.....	36
Figura 8: Rocas aflorantes en el sector de Punta Uvita, (coordenadas Lambert Norte 526575 E/ 126051 N), se observa un ángulo de buzamiento de alrededor de 45° hacia el NE.....	38
Figura 9: Paquetes métricos de Lutita negra-gris de dureza alta, ubicados en el margen del río Uvita, coordenadas Lambert Norte 568448 E/ 130031 N.....	39
Figura 10: Rocas aflorantes en un afluente del Río Ballena (coordenadas Lambert Norte 568281 E/ 128710 N), se observa un ángulo de buzamiento de 10° con rumbo N75W.....	40
Figura 11: Pliegues a lo largo del camino en la parte alta de Fila Ballena.....	41
Figura 12: Secuencia de lutitas y areniscas muy alteradas con al menos 20 m de espesor aflorante, en la base del afloramiento se observa una mayor presencia de capas de arenisca (capas blancas) (565517 N /127927 E).....	41
Figura 13: En la zona central de la fotografía se aprecia un dique de coloración blanco y muy arcillitizado el cual corta la secuencia de lutitas alteradas de coloraciones moradas y rojizas.....	42
Figura 14: Afloramiento donde se muestra una arenisca muy meteorizada y fracturada.....	43
Figura 15: Catarata Cascada Verde.....	44

Figura 16: Se muestra la roca aflorante en el Río Cortezal.....	44
Figura 17: Arcillas y rocas alteradas hidrotermalmente.....	45
Figura 18: Estructura de forma tabular, aparentemente sería una lutita alterada con erosión diferencial, pero no se descarta que sea algún tipo de dique.....	46
Figura 19: Lutita alterada con aparente presencia de minerales asociados a efectos de oxidación.....	46
Figura 20: Bloques rodados de roca de dureza muy alta.....	48
Figura 21: Aparente presencia de cristales de coloración blanca, se observa la roca tanto es su estado meteorizado como en su estado sano.....	48
Figura 22: Aluviones de diversos tamaños depositados a los márgenes del río Uvita.....	49
Figura 23: Relieve escalonado en donde se observan superficies de aplanamiento seguidas de escarpes pronunciados, por lo menos cuatro secuencias de levantamiento.....	54
Figura 24: Se observa una falla de tipo dextral (capa de rocas café oscuro desplazada), en un afloramiento de roca en el sector de Punta Uvita. El desplazamiento es de 58 cm y corta verticalmente la estratigrafía de la zona.....	55
Figura 25: Fallas normales asociadas a un rumbo NE/SW, el cual es paralelo al rumbo del río Uvita, se observa una relación directa con un flanco que delimita el río Uvita con la Fila Tigre.....	56
Figura 26: Serie de cascadas ubicadas en el sector montañoso sobre el río Uvita.....	56
Figura 27: Agua aflorando entre las fracturas que cortan de forma casi vertical las secuencias sedimentarias, el rumbo de la fractura es S35W, el agua descarga en un afluente del río Ballena.....	57
Figura 28: Modelo estructural desarrollado por Rossello (2009).....	58
Figura 29: Mapa Geológico Local. FUENTE: Elaboración propia. Algunas Fallas Tomadas de Mora (1991).....	60
Figura 30: Equipo utilizado para realizar los sondeos eléctricos verticales (SEV).....	61
Figura 31: Sondeo Eléctrico Vertical realizado en las cercanías del Parque Nacional Marino Ballena.....	62

Figura 32: Esquema simplificado del flujo de corriente en un Sondeo Eléctrico Vertical: A medida que se abre la distancia AB, aumenta la profundidad de investigación. Tomado de Sánchez (2014).....	63
Figura 33: Esquema de una serie de SEV a lo largo de un área dada, esto permite la interpretación del contexto geológico. Tomado de Sánchez (2014).....	63
Figura 34: Sondeo Eléctrico Vertical SEVB-12 en playa Hermosa de Uvita....	64
Figura 35: Sondeo realizado en la costa cercana a la Cola de la Ballena.....	65
Figura 36: Mapa de ubicación de los sondeos eléctricos verticales realizados sobre el sector aluvial de Uvita.....	66
Figura 37: Se muestra la inversión de datos planteada para los SEV del 1-7.....	70
Figura 38: Se muestra la inversión de datos planteada para los SEV del 8-15.....	71
Figura 39: Localización de los perfiles geoelectrónicos realizados.....	72
Figura 40: Perfil geoelectrónico A-B.....	74
Figura 41: Perfil geoelectrónico C-D.....	76
Figura 42: Perfil geoelectrónico A-B realizado por medio de la interpretación se sondeos eléctricos verticales.....	79
Figura 43: Perfil geoelectrónico C-D realizado por medio de la interpretación se sondeos eléctricos verticales.....	80
Figura 44: Mapa de espesores estimados de acuerdo a la interpretación SEV.....	81
Figura 45: Mapa de elementos hidrogeológicos: pozos.....	84
Figura 46: Mapa de equipotenciales, en donde se muestra la tendencia de un flujo de agua superior, basándose en la información previa obtenida de los pozos registrados obtenidos de la base de datos del SENARA.....	88
Figura 47: Mapa de equipotenciales, en donde se muestra la tendencia de un flujo de agua medio, basándose en la información previa obtenida de los pozos registrados obtenidos de la base de datos del SENARA.....	89
Figura 48: Mapa de equipotenciales, en donde se muestra la tendencia de un flujo de agua inferior o profundo, basándose en la información previa obtenida de los pozos registrados obtenidos de la base de datos del SENARA.....	90

Figura 49: Distribución de los pozos mapeados en el sector aluvial, la mayoría de ellos son artesanales.....	95
Figura 50: Afloramiento de agua en la costa, muy cerca de un estero, ubicado en Playa Hermosa, la separación del estero a la costa es de unos 30 metros.....	96
Figura 51: Mapa donde se muestra la dirección de flujo y altura del agua subterránea contenida en los depósitos aluviales, las equipotenciales se encuentran dispuestas cada 5 metros.....	97
Figura 52: Tanque de almacenamiento de agua de la asada Uvita-Bahía.....	98
Figura 53: Ubicación de las nacientes captadas por la asada Uvita-Bahía.....	99
Figura 54: Manantial N1.....	100
Figura 55: Manantial N3.....	101
Figura 56: Manantial N4, presenta el mayor aporte de caudal.....	101
Figura 57: Se muestra la litología aflorante y el uso de suelo presente, en los alrededores de los manantiales de la asada Uvita-Ballena.....	102
Figura 58: Mapa de ubicación de las concesiones de agua, presentes en la base de datos de la dirección de aguas.....	106
Figura 59: Mapa Hidrogeológico del área de estudio.....	109
Figura 60: Perfil hidrogeológico A-B, inicia en los sectores montañosos y culmina en la costa.....	115
Figura 61: Perfil hidrogeológico C-D, en los sectores costeros del área de estudio....	117
Figura 62: Mapa de ubicación de los aforos realizados en el cauce del río Uvita.....	119
Figura 63: Sección del río Uvita	120
Figura 64: Perfil del cauce río Uvita, aforo 1.....	121
Figura 65: Perfil del cauce río Uvita, aforo 2.....	121
Figura 66: Sección del río Uvita	122
Figura 67: Perfil del cauce río Uvita, aforo 3.....	123
Figura 68: Perfil del cauce río Uvita, aforo 4.....	123
Figura 69: Sección del río Uvita aforo 5.....	124

Figura 70: Perfil del cauce río Uvita, aforo 5.....	125
Figura 71: Sección del río Uvita aforo 6.....	125
Figura 72: Sección del río Uvita aforo 6.....	126
Figura 73: Mapa de la distribución de precipitación anual en mm, utilizado para el balance hídrico.....	129
Figura 74: Mapa de pendientes de la zona de estudio, en los rangos requeridos por la metodología.....	131
Figura 75: Mapa de distribución del uso de suelo para el área de estudio.....	134
Figura 76: Mapa Kv para el área de estudio.....	135
Figura 77: Prueba de infiltración IB-4, realizada en la divisoria de aguas de Fila Tigre.....	136
Figura 78: Mapa de ubicación de pruebas de infiltración.....	137
Figura 79: Mapa de la velocidad de infiltración, obtenido a partir de ensayos de campo con el método de doble anillo.....	139
Figura 80: Muestra de suelo SB-5, realizado en el parque de Uvita.....	141
Figura 81: Mapa de ubicación de las pruebas de suelo.....	142
Figura 82: Mapa de distribución espacial de tipos de textura del suelo.....	144
Figura 83: Mapa de distribución espacial de porosidad del suelo.....	146
Figura 84: Mapa de distribución espacial capacidad de campo.....	148
Figura 85: Mapa de distribución espacial de la densidad aparente.....	149
Figura 86: Mapa de distribución espacial del punto de marchitez.....	150
Figura 87: Mapa de distribución de las zonas definidas para el balance hídrico.....	153
Figura 88: Mapa de recarga potencial anual en cada zona utilizada en el balance.....	153
Figura 89: Mapa de porcentaje de recarga potencial anual en cada zona utilizada en el balance.....	157
Figura 90: Diagrama para determinar la vulnerabilidad con la metodología GOD, Fuente: Foster (2002).....	163

Figura 91: Mapa de Vulnerabilidad Hidrogeológica para la Unidad Hidrogeológica Ballena.....	167
Figura 92: Mapa de Vulnerabilidad Hidrogeológica para la Unidad Hidrogeológica Uvita.....	169
Figura 93: Esquema conceptual para la evaluación del riesgo de los recursos hídricos subterráneos.(Tomado de Foster <i>et al.</i> , 2002).....	170
Figura 94: Mapa de riesgo hidrogeológico unidad Ballena.....	173
Figura 95: Mapa de riesgo hidrogeológico unidad Uvita.....	174
Figura 96: Pozos expuestos y abandonados son el principal riesgo a la contaminación que presenta la unidad Hidrogeológica Uvita.....	176
Figura 97: Pozo abandonado con infraestructura colapsada.....	176

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Resumen de planos de buzamiento medidos en el campo.....	51
Cuadro 2: Resumen de los principales planos de fracturas medidos en el campo.....	52
Cuadro 3: Sondeos eléctricos verticales realizados en el área de Bahía Ballena.....	65
Cuadro 4: Resumen del modelado planteado para cada uno de los SEV, realizado en el área de estudio.....	68
Cuadro 5: Pozos perforados.	83
Cuadro 6: Pozos que indican la presencia de un nivel de agua somero.....	86
Cuadro 7: Pozos que indican la presencia de un nivel de agua medio.....	86
Cuadro 8: Pozos que indican la presencia de un nivel de agua profundo.....	87
Cuadro 9: Pozos mapeados en la zona aluvial.....	92
Cuadro 10: Ubicación de los manantiales captados por la asada de Uvita-Bahía.....	100
Cuadro 11: Listado de las concesiones de agua presentes dentro del área de estudio. Fuente: Dirección de Aguas.....	103
Cuadro 12: Modelo conceptual hidrogeológico.....	108
Cuadro 13: Resumen de los pozos que describen el nivel superior.....	110
Cuadro 14: Resumen de los pozos que describen el nivel medio.....	111
Cuadro 15: Resumen de los pozos que describen el nivel Inferior.....	112
Cuadro 16: Valores promedio mensual en mm, de las estaciones meteorológicas pertenecientes, ubicadas en las cercanías del área de estudio.....	128
Cuadro 17: Resultados de pruebas de infiltración, método doble anillo.....	138
Cuadro 18: Ubicación de la Pruebas de suelo realizadas.....	141
Cuadro 19: Resultados de las pruebas de suelos.....	143
Cuadro 20: Resultados Balance hídrico.....	154

Cuadro 21: Cálculo de caudal extraído y oferta-demanda.....	159
Cuadro 22: Cálculo del índice de vulnerabilidad hidrogeológica para la Unidad Hidrogeológica Ballena Sector Montañoso.....	164
Cuadro 23: Cálculo del índice de vulnerabilidad hidrogeológica para la Unidad Hidrogeológica Ballena Sector Plano, Barra de la cola de la Ballena.....	164
Cuadro 24: Cálculo del índice de vulnerabilidad hidrogeológica para la Unidad Hidrogeológica Ballena Sector Plano, cubierto por aluviones y con profundidad agua entre 5m y 20m.....	165
Cuadro 25: Cálculo del índice de vulnerabilidad hidrogeológica para la Unidad Hidrogeológica Ballena Sector Plano, cubierto por aluviones y con profundidad agua entre 20m y 50m.....	165
Cuadro 26: Cálculo del índice de vulnerabilidad hidrogeológica para la Unidad Hidrogeológica Uvita.....	168
Cuadro 27: Contaminantes comunes del agua subterránea.....	171
Cuadro 28: Matriz para cuantificar el riesgo de contaminación.....	172
Cuadro 29: Pozos dentro de la red de monitoreo Unidad Hidrogeológica Uvita.....	179
Cuadro 30 Pozos dentro de la red de monitoreo Unidad Ballena.....	181
Cuadro 31: Naciente de la ASADA.....	182

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Aspectos generales de la zona

La zona de estudio comprende un área aproximada a los 78 km², abarca la cuenca de los ríos Uvita e Higuerón hasta la quebrada Tibia; dentro de los poblados que se encuentran en dicho sector, se pueden mencionar Uvita, San Josecito, playa Hermosa y sectores aledaños a los poblados de Quebrada Grande y Piedra Achioté. El sector pertenece al distrito de Bahía Ballena, cantón de Osa, Provincia de Puntarenas, además es importante mencionar que parte de la zona de estudio se ubica dentro del parque Nacional Bahía Ballena.

La figura 1, muestra el mapa de ubicación del área de estudio, su base topográfica comprende las hojas Dominical, Repunta y Coronado escala 1:50 000 pertenecientes al Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Bahía Ballena es una de las zonas del país que ha presentado en los últimos años una dinámica turística bastante interesante, producto de su gran belleza natural, diversidad biológica, complejos ecosistemas y grandes atractivos turísticos, por ejemplo: cabalgatas y caminatas, observación de aves, pesca deportiva, observación de delfines y ballenas, kayaks, aguas termales, canopy y gran variedad de climas.

En área de estudio se caracteriza por una alta diversidad biológica, la cual abonada a factores como: condiciones litorales y a la apertura en los últimos años de la carretera costanera sur, la cual ha disminuido las distancias con el Gran Área Metropolitana; han provocado un auge en la dinámica turística de Bahía Ballena.

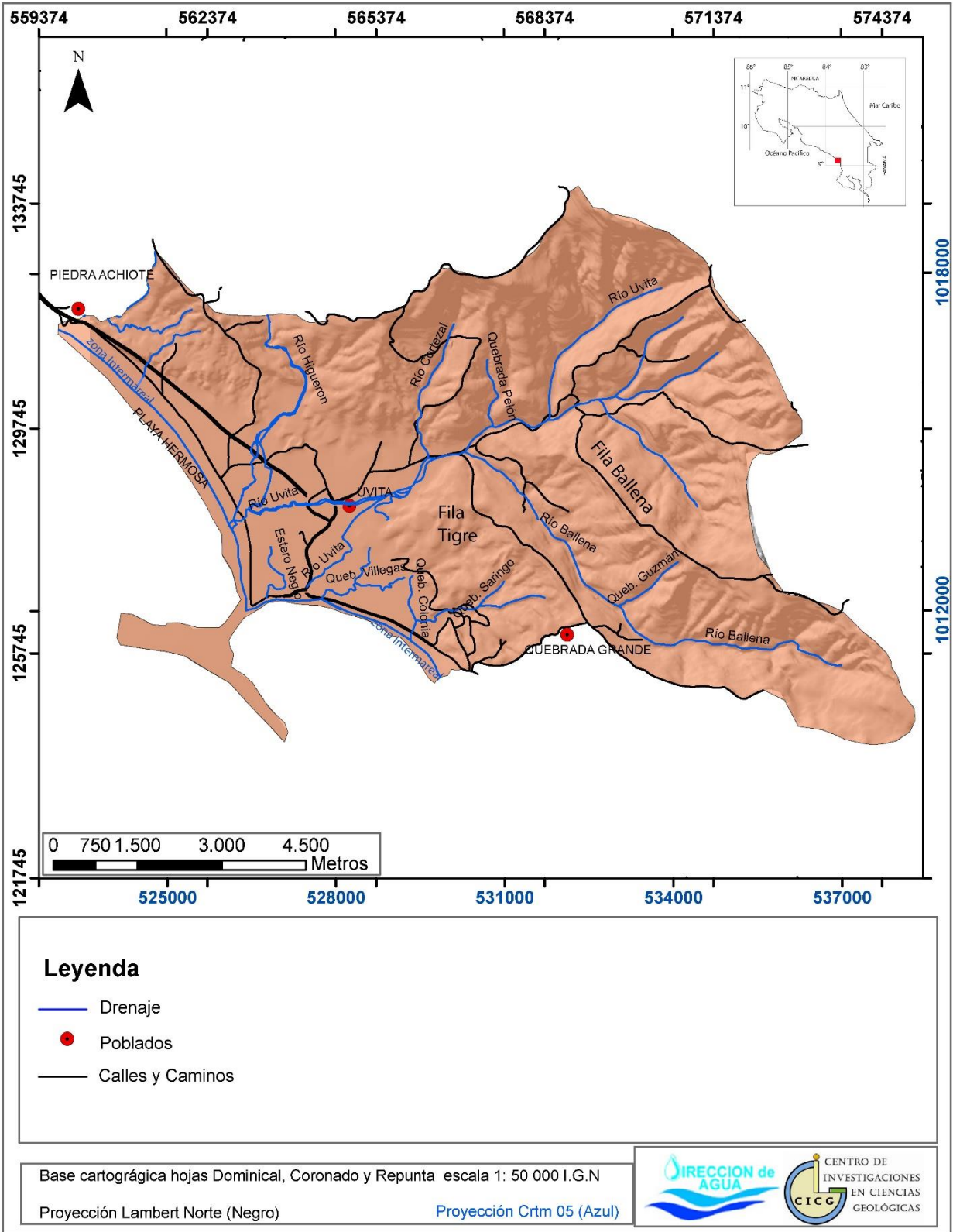


Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

1.2 Justificación y objetivo

La Dirección de Agua del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), escogió la zona de Bahía Ballena como lugar de análisis por ser una de las regiones de la zona sur que ha presentado un mayor auge del turismo en los últimos años, y por lo tanto; requiere desarrollar una adecuada gestión de protección y aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo en el acuífero aluvial de Bahía Ballena.

Esta gestión se puede dar a partir de varias herramientas técnicas como la aplicación y determinación del balance hídrico, establecimiento de la disponibilidad hídrica, determinación del grado de la vulnerabilidad hidrogeológica del acuífero, y comprensión del modelo hidrogeológico conceptual. Para tal efecto, se firmó un contrato con la Universidad de Costa Rica, para que el Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas realizará este proyecto.

El objetivo del Estudio Hidrogeológico del acuífero aluvial de Bahía Ballena comprendido ente la cuenca del río Uvita y río Higuierón hasta la quebrada Tibia, en Osa, Puntarenas, es establecer su potencial hídrico y vulnerabilidad a la contaminación.

1.3 Actividades realizadas en esta investigación

- Evaluar todos los estudios realizados hasta el momento en la zona de interés.
- Mapa de ubicación.
- Geología regional: Generar una caracterización geológica del área de interés. Realizar un mapa geológico y estructural construido con el mayor detalle de escala disponible.
- Geomorfología: Se debe generar una caracterización geomorfológica del área de interés. realizar un mapa geomorfológico construido con el mayor detalle de escala disponible.
- Uso de suelo: revisar el uso actual de la tierra con base en las fotografías aéreas más actualizadas disponibles, con comprobación de campo. Identificar las fuentes potenciales de contaminación. Elaborar un mapa de uso de suelo.
- Muestreo y análisis de suelos: se debe determinar los datos de capacidad de campo, textura, porosidad, densidad del suelo, porcentaje de humedad, y punto de marchitez para cada una de las unidades hidrogeológicas identificadas. Presentar la ubicación de las pruebas geo-referenciadas con GPS y en un mapa.

- Realizar pruebas de infiltración en la zona aluvial y en las formaciones adyacentes. La cantidad de pruebas, dependerá de la distribución por área de las formaciones adyacentes. Presentar la ubicación de las pruebas geo-referenciadas con GPS y en un mapa.
- Datos climatológicos: Utilizar los datos de las estaciones meteorológicas cercanas o existentes en la zona para caracterizar la zona (precipitación, temperatura, evaporación, evapotranspiración y brillo solar).
- Realizar una campaña de aforos durante la época seca en los cauces de agua ubicados dentro del área de influencia del estudio para determinar los sectores influentes y efluentes.
- Realizar una campaña geofísica en los sectores de interés, con el fin de verificar el espesor disponible de aluvión y determinar las profundidades donde se ubica el basamento local.
- Inventario de pozos y manantiales: Recopilar la información existente de pozos, y manantiales en los registros de SENARA y la Dirección de Agua del MINAE y los posibles pozos ilegales identificados en comprobación de campo.
- Aportar ficha técnica para cada uno de los pozos registrados en la Dirección de Agua y los posibles pozos ilegales identificados, donde se debe incluir la siguiente información como mínimo: número de pozo o código de identificación, ubicación en coordenadas, elevación topográfica, profundidad del pozo, nivel de agua, caudal, uso (doméstico, industrial, turístico, comercial, agroindustrial y agropecuario), tipo (perforado, excavado), prueba de bombeo, perfil del armado, fotografía, litología y otros datos existentes.
- Aportar ficha técnica para cada uno de las nacientes identificadas, donde se debe aportar la siguiente información como mínimo: coordenadas, fotografía, código de identificación, referencia del nivel brote de agua, detalle descriptivo de la captación, uso. Con el fin de determinar un caudal medio de extracción.
- Presentar un resumen del inventario a manera de tabla.
- Aportar mapa de ubicación de pozos, manantiales y captaciones superficiales.
- En función de la información disponible en la Dirección de Agua y lo recolectado en campo, determinar el caudal de extracción. Se debe diferenciar el consumo de agua por uso (doméstico, industrial, turístico, comercial, agroindustrial y agropecuario) y por jornadas de bombeo para cada una de las fuentes en el acuífero. Diferenciar las que han sido concesionadas.

- Determinar la recarga potencial de la zona de estudio.
- Modelo hidrogeológico conceptual. Describir las propiedades básicas del acuífero: Profundidad del nivel freático. Propiedades hidráulicas básicas obtenidas de datos, incluyendo dirección de flujo y gradiente hidráulico del agua subterránea. Revisar las pruebas de bombeo existentes para la zona de estudio y obtener los parámetros hidráulicos.
- Realizar perfiles hidrogeológicos, en donde se involucre la zona montañosa con la aluvial, en función de la información disponible.
- Elaborar el respectivo mapa de curvas equipotenciales, con su debida georreferenciación.
- Realizar el mapa de vulnerabilidad del área de influencia y el análisis del riesgo de contaminación de aguas subterráneas.
- Proponer una red de monitoreo de calidad de agua subterránea que incluya, sitios de monitoreo, frecuencia de monitoreo y de una recomendación de los parámetros que se deben medir. El monitoreo debe diseñarse también para poder identificar contaminación por intrusión salina.
- Indicar recomendaciones sobre la gestión de la oferta y la demanda en el acuífero.

1.4 Investigadores

En la ejecución del presente proyecto, han participado en diferentes etapas los siguientes profesionales:

Lic. José Daniel López, en la recolección de información bibliográfica, coordinación en la realización de trabajo de campo, supervisión en el levantamiento e interpretación de muestras de suelos, pruebas de infiltración y aforos, procesamiento de datos de laboratorio, elaboración de figuras y redacción general.

Geól: Hazel Barrantes Sandoval, Arístides Alfaro y David Araya Quirós como asistentes en la recolección y análisis de datos de campo.

M. Sc. Mario Arias Salguero, quien funge como responsable e investigador principal del proyecto, trabajando en la coordinación entre la Dirección de Aguas, Universidad de Costa Rica y FUNDEVI, responsable de la ejecución presupuestaria en FUNDEVI, supervisor de los avances de investigación, así mismo; en la edición de los informes de avance y final y proponente de varios apartados de este informe.

A nivel técnico participaron los señores Juan Vargas Zúñiga y Ricardo Pastrana Chacón.

2. REGIMEN HIDROLÓGICO

2 Régimen hidrológico

El régimen hidrológico regional del área de estudio se describe con base en dos componentes: meteorología e hidrografía, que se detallan a continuación.

2.1 Meteorología

La topografía de Costa Rica es muy variada, montañas y valles cubren la pequeña extensión del país. Existen dos sistemas montañosos principales que corren longitudinalmente sobre la parte central del país: la Cordillera Volcánica del Norte y la Cordillera de Talamanca que se localiza al sur. La existencia de estas dos cordilleras determina a grandes rasgos, la división del país en tres regiones fisiográficas, norte, central y sur. Esta misma disposición montañosa, junto con los vientos predominantes del noreste (alisios), han enmarcado también tres regiones climáticas diferentes: la Región Tropical Húmeda del Atlántico, a la cual pertenece la Región Norte y Atlántica, la Región Central Intermontana a la cual pertenece la Región Valle Intermontano Central y Montañosa Sur, y la Región Tropical del Pacífico, a la cual pertenecen la regiones Pacífico Norte, Sur y Central, con dos estaciones bien definidas, la húmeda y seca.

La zona de estudio se ubica en la llamada región Pacífico Sur. Esta región se ubica en la parte más sureste del Pacífico de Costa Rica, los contraste geográficos, entre ellos, los extensos valles, la barrera montañosa de la Cordillera de Talamanca al norte, como su influencia oceánica, generan en esta región un régimen de lluvias sumamente contrastado con relación al resto de las regiones de la vertiente, esta heterogeneidad se percibe en un clima en donde el período seco es muy favorable y corto y el lluvioso intenso, además, aparecen áreas pequeñas con clima tropical húmedo y lluvias todo el año (MEH, 1953 en Solano & Villalobos, 2012).

Para la cuenca de estudio, se utilizaron datos provenientes de la estación Tinamaste durante los periodos de 1982 a 2006, dicha estación perteneciente al Instituto Meteorológico Nacional (IMN), y se encuentra a una distancia de alrededor de 17 km fuera del área de interés (figura 2); se utilizaron los datos de dicha estación debido a que dentro de la zona de estudio no se encuentra ninguna estación accesible por el momento.

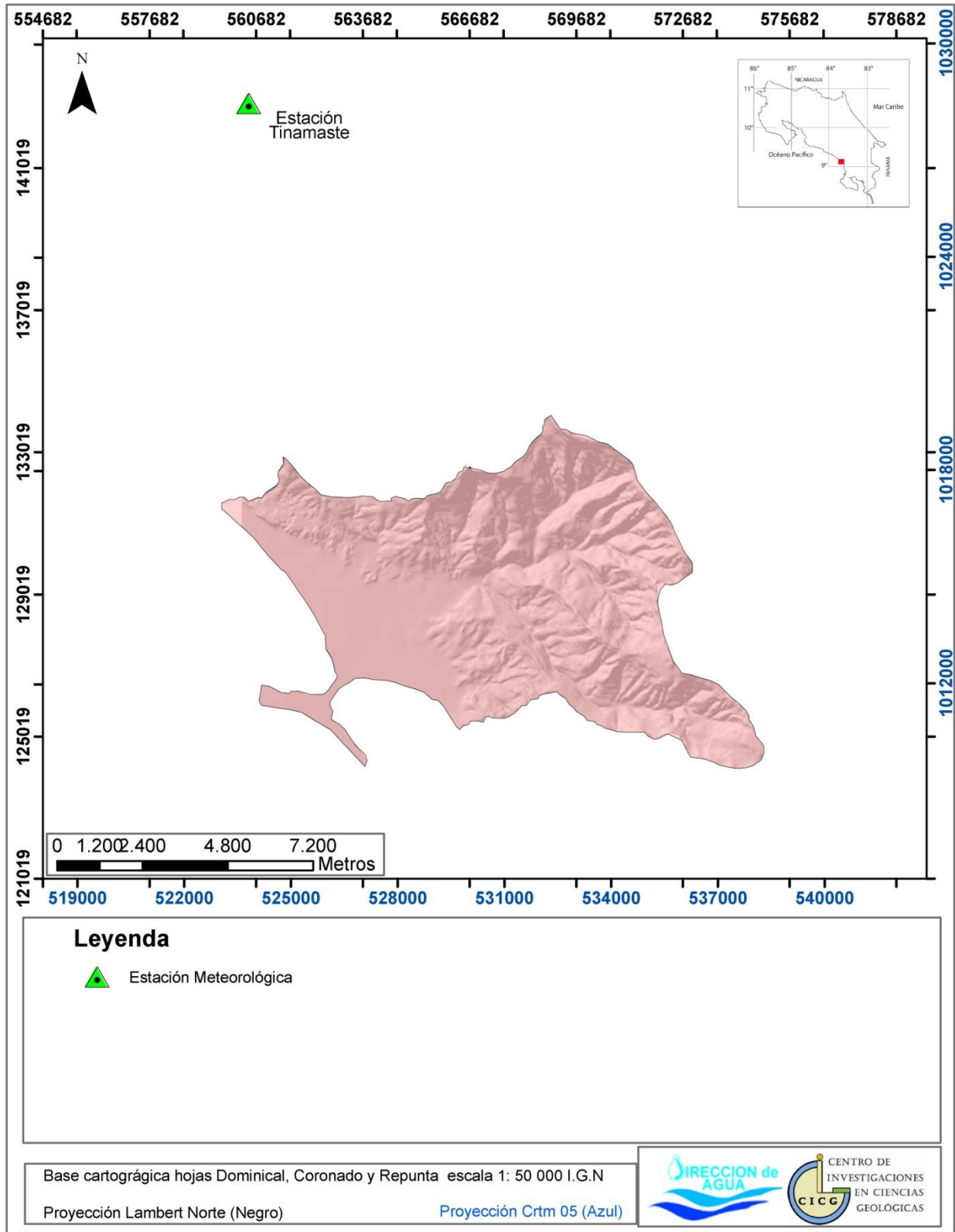


Figura 2: Ubicación de la estación meteorológica Tinamaste. Fuente Elaboración Propia.

2.1.1 Precipitación

La precipitación promedio anual para los sectores cercanos al área de estudio es de aproximadamente 3796,4 mm la cual si se compara con otras regiones del país, en especial con el resto del sector pacífico, es muy alta.

En la figura 3, se aprecia que las precipitaciones máximas en la zona se dan en los meses de setiembre y octubre llegando a valores entre los 600 mm a 700 mm promedio, además se presenta un pico o aumento en la precipitación durante el mes de mayo, en donde la precipitación llega a hasta los 500 mm. Los meses de Junio a finales de Setiembre presentan una constante en la precipitación, con valores promedio entre los 300 mm a 400 mm. La estación seca inicia a finales de Noviembre en donde se muestra una disminución considerable en la precipitación llegando a 25 mm mensuales en los meses de Enero y Febrero, comenzando a aumentar levemente en los meses de Marzo y Abril.

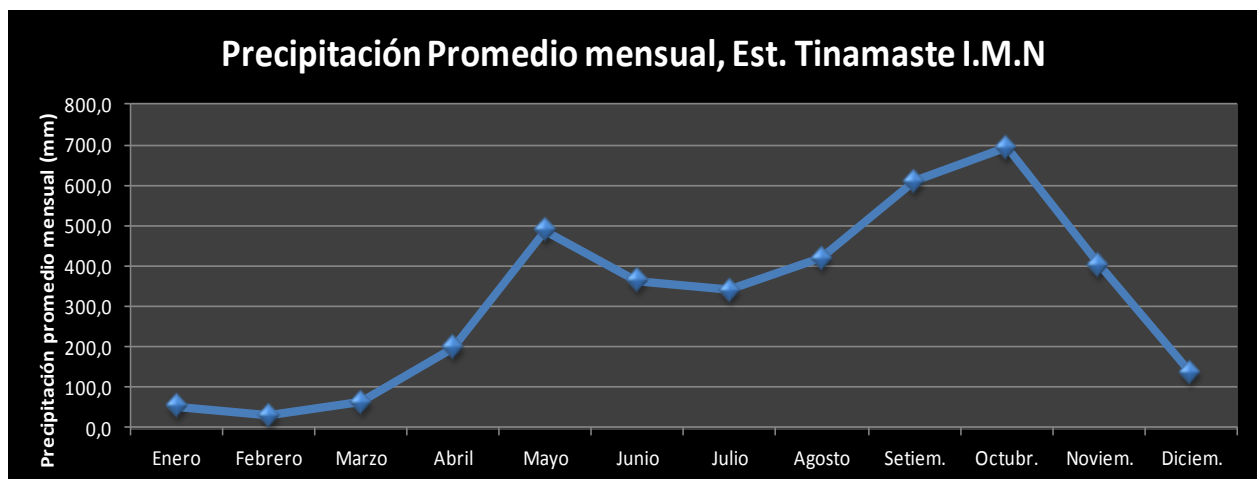


Figura 3: Gráfico donde se muestra la distribución de la precipitación promedio mensual cerca de la zona de estudio. Fuente Elaboración Propia con datos del IMN

2.1.2 Temperatura

La temperatura según la estación Tinamaste, muestra que las temperaturas máximas promedio se alcanzan en los meses de marzo y abril, llegando a un promedio de 23°C, mientras que las menores temperaturas promedio se presentan en el mes de Octubre en un valor aproximado a los 21,7°C.

De acuerdo con la figura 4, se puede observar como los datos de temperatura promedio, se muestran constantes entre los meses de Julio a Diciembre, con un rango de entre los 22°C a los 21,5°C, Iniciando el periodo de mayor temperatura desde Enero hasta finales de Junio.

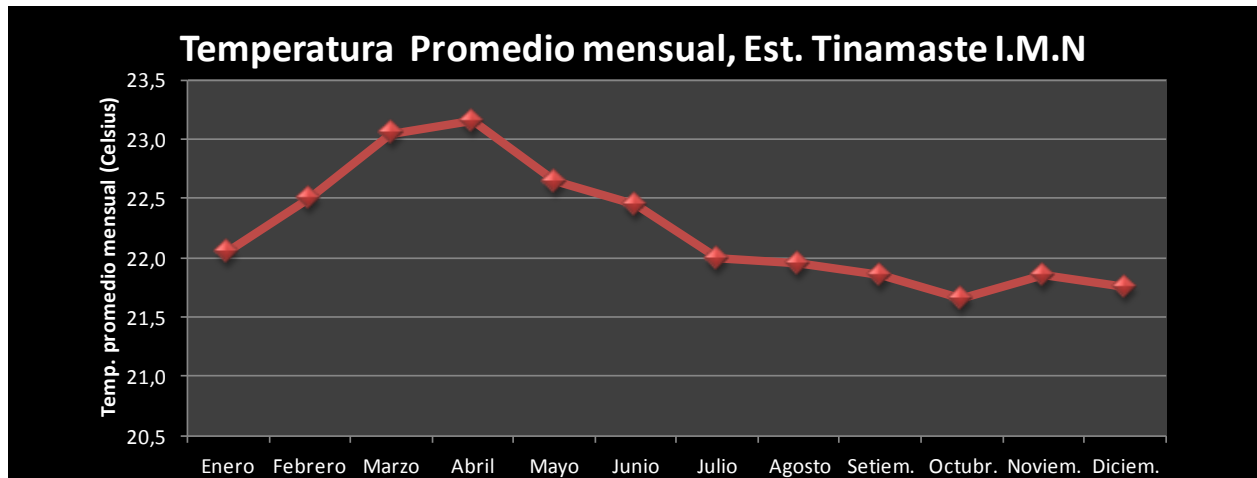


Figura 4: Gráfico donde se muestra la distribución de la temperatura promedio mensual cerca de la zona de estudio. Fuente Elaboración Propia con datos del IMN

2.2 Hidrografía

El área de estudio se ubica dentro de la cuenca del Río Uvita, el cual posee una longitud de unos 9 km y desemboca directamente en la costa del Océano Pacífico con una dirección preferencial Suroeste, esto hace que la cuenca en sí sea pequeña y no forme parte de las grandes cuencas del país, como la del río Térraba o Tárcoles.

Mora (1991), indica que la cuenca del Río Uvita se encuentra limitada por escarpes subverticales (Filas Guágara, Uvita, Platanares, Carmen, Cantarrana, Pelón y el Flanco noreste de la Fila Ballena).

Hasta antes de llegar a la llanura, el cauce tiene un gradiente promedio de 20%. Algunos sectores de la cuenca poseen valores de relieve de hasta 750 m/Km², de los más elevados del país, además de densidades de drenaje de hasta 4 km/ Km² (Mora, 1991).

Su cauce principal es casi lineal y los afluentes desembocan perpendicularmente en él, controlados por la estratigrafía y las estructuras tectónicas locales (Mora, 1991).

En los sectores montañosos los drenajes tienden a ser paralelos y dendríticos, con cauces profundos en forma de "V".

Los ríos y quebradas que conforman la cuenca del río Uvita disminuyen su velocidad, al disminuir la topografía de la zona, al bajar la pendiente la velocidad del agua tiende a disminuir provocando una pérdida en la capacidad de transporte de sedimentos, los cuales tienen a depositarse formando un abanico aluvial de importancia en la zona.

Sobre este abanico aluvial el río ha desarrollado un sistema complejo de terrazas, cauces trenzados, anastomosados y meándricos, que alternadamente lo hacen cambiar de curso hasta desembocar tanto al este como al oeste de la Punta Uvita (Mora, 1991).

La cuenca del Río Uvita no se encuentra muy desarrollada, debido a su escasa longitud, sin embargo es posible subdividirla en por los menos 3 subcuencas, la del Río Uvita, la del río Ballena y la del río Higuierón (figura 5). Además se pueden mencionar un par de microcuencas que no están relacionadas directamente a la cuenca del Río Uvita, debido a su escaso desarrollo y que desembocan directamente al océano; estas con La microcuenca de la Quebrada Villegas-Quebrada Saringo y la microcuenca de la Quebrada Sargento.

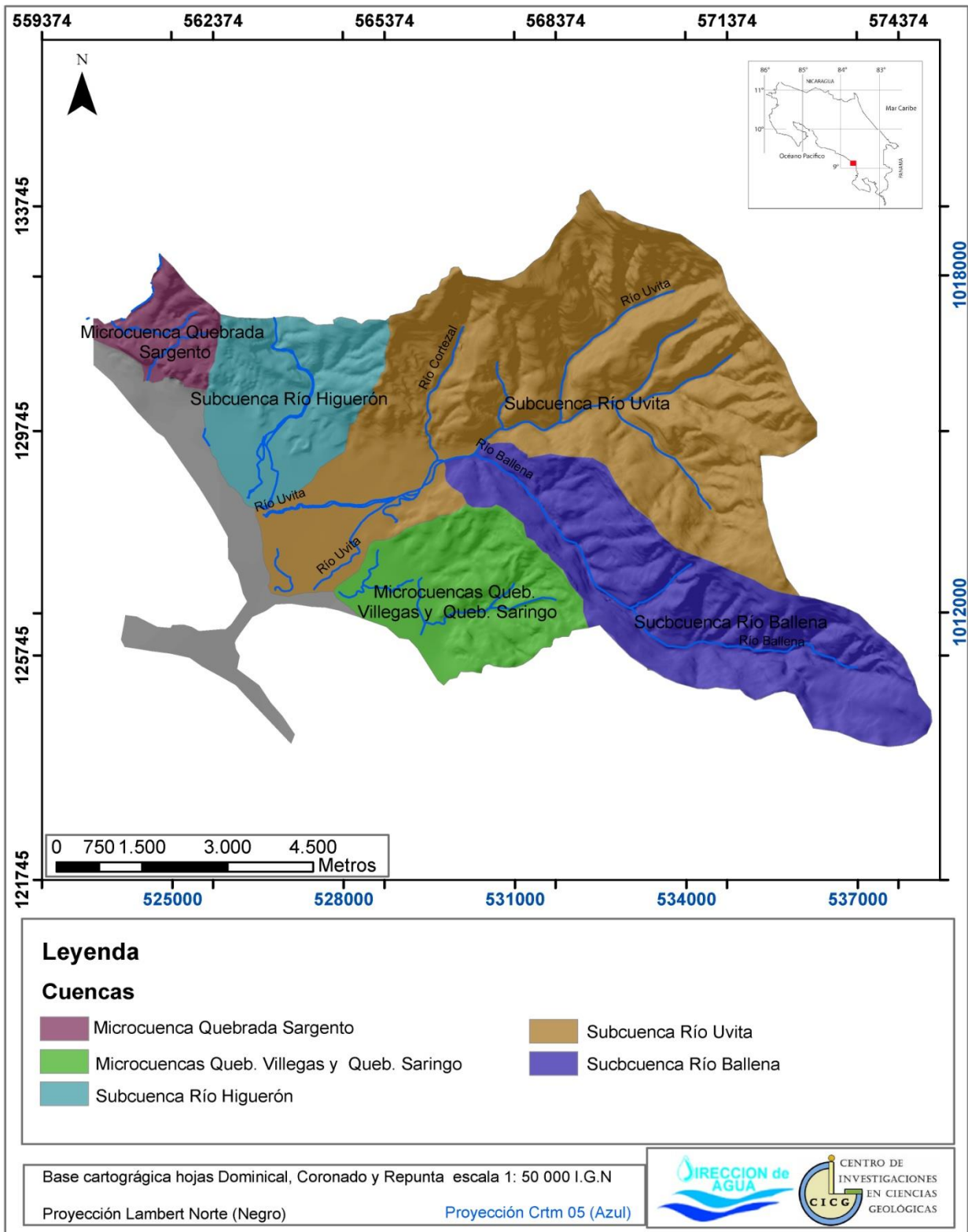


Figura 5: Modelo de elevación digital del terreno con los ríos principales y la delimitación de las sub-cuencas y microcuencas. Fuente: Elaboración Propia.

2.2.1 **Subcuenca Río Uvita**

Presenta una dirección de flujo suroeste, con una longitud de aproximadamente de 9 km, el río es alimentado por varias quebradas como la del río Pelón y la quebrada Cortezal y microcuencas de quebradas sin nombre. Se origina en el sector montañoso de la cuenca con drenajes tipo dendrítico y paralelo, pasando a ser de tipo meándrico y anastomosado en los sectores planos. Y generando muy cerca del litoral El Estero Negro.

2.2.2 **Subcuenca Río Ballena**

El río Ballena presenta una dirección de flujo hacia el noroeste, desarrolla un pequeño cañón hasta desembocar en el río Uvita, este cambio de dirección de debe al control estructural producido por la tectónica y la litología de la zona. Con una longitud de aproximadamente de 8,4 km, el río es alimentado por varias quebradas como la quebrada Guzmán, que se localizan en los márgenes de su cauce, principalmente del lado derecho en donde presentan en apariencia una mayor complejidad de drenajes. Se origina en el sector montañoso de la cuenca con drenajes tipo dendrítico y paralelo.

2.2.3 **Subcuenca Río Higuierón**

El río Higuierón nace en las afueras del área de estudio, es alimentado por ríos y quebradas ubicados hacia el noroeste del área de interés, sin embargo en el área de estudio presenta su mayor desarrollo, con una longitud de 4 km y una dirección de flujo rumbo sur, es sometido a un control tectónico-estructural que lo obliga a desplazarse en ciertos momentos. Presenta un drenaje tipo paralelo, el cual cambia a meándrico y anastomosado al bajar la pendiente topográfica. Aparentemente desemboca en el río Uvita, sin embargo es difícil de distinguir en qué momento debido a que por efectos del abanico aluvial su drenaje se subdivide, en pequeños ríos, de los cuales algunos forman parte del Estero Negro, mientras que otros desembocan de forma directa al océano.

2.2.4 **Microcuencas de las Quebradas Villegas y Saringo.**

Nacen a menos de 2,5 km de la costa; en el caso de la Quebrada Villegas esta nace a 1 km de la costa, se localizan en el sector montañoso sur del área de estudio, presentan patrones de drenaje de tipo paralelo en las partes altas, los cuales son poco desarrollados. Al llegar a los sectores planos presentan patrones de tipo meándrico muy limitados, su dirección de flujo es noroeste-oeste, y no logran desembocar en la cuenca del río Uvita debido a que se localizan muy cerca de la costa, desembocando en ella antes de poderse unir a los drenajes importantes de la zona.

2.2.5 **Microcuenca de la Quebrada Sargento**

Nace a menos de 1,5 km de la costa, se localizan en el sector noroeste del área de estudio, presenta un patrón de drenaje de tipo paralelo poco desarrollado. Al llegar a su desembocadura la dirección de flujo es noroeste, y no logra desembocar en la cuenca del río Uvita debido a que se localizan muy cerca de la costa, desembocando en ella.

3 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología de la zona de estudio, está dominada por la presencia de relieves de génesis sedimentaria, con la presencia de intrusiones de origen ígneo, lo que genera en ciertos puntos metamorfismo de contacto. Las rocas de la zona se encuentran afectadas por esfuerzos tectónicos, así como dominados por la estratigrafía local y la pendiente topográfica, esto ha moldeado la topografía actual.

El área de interés presenta una forma general cóncava, conformando así una pequeña cuenca delimitada por cerros y montañas, los cuales al erosionarse producto principalmente de los ríos y quebradas presentes tienden a transportar y depositar el material debido a la pérdida de energía producida por el fuerte cambio topográfico, generando en la zona central un abanico Aluvial de significativa importancia para la zona.

Para la caracterización geomorfológica, se elaboró un Modelo de Elevación Digital (DEM), con el fin de observar mejor su topografía; además se consultaron las descripciones realizadas por Mora (1991), por último se realizó una clasificación por pendientes basándose en la metodología propuesta por Van Zuidam (1986), en donde las pendientes se clasifican en: pendiente baja (menor a 8°), pendiente moderada (entre 8° y 16°), pendiente fuerte (entre 16° a 35°) y pendiente muy fuerte (mayor a 35°).

Con base en estas caracterizaciones las geoformas dominantes se han agrupado en cinco grandes grupos, de acuerdo a su origen; estas son: formas de origen denudacional, formas de origen fluvial, formas de origen litoral y formas de origen estructural, las cuales se han representado en el mapa geomorfológico (figura 6) y que se detallan a continuación.

3.1 Formas de Origen Denudacional

3.1.1 Laderas de pendiente moderada

Comprenden los sectores ubicados en la parte central del área de estudio, ocupando aproximadamente 0,5 km². Cerca de dicha unidad se localiza el poblado de Piedra Achioté.

Se caracteriza por pendientes entre los 8° y 16° con algunos pequeños sectores con acantilados con alturas de aproximadamente 30 metros al llegar al litoral, sobre estos acantilados es posible que se presente la caída de material, formando depósitos de tipo coluvial y deslizamientos de tipo caída de rocas. Los cauces de ríos son poco profundos (< 20 m). El patrón de drenaje es paralelo, localmente subdendrítico, los cauces presentan una dirección predominante de flujo hacia el suroeste.

Litológicamente esta unidad se encuentra constituida por alternancias de lutitas y areniscas, en muchos sectores la roca se encuentra muy meteorizada, generando espesores de suelo importantes. Además no se descarta el afloramiento muy puntual de rocas de origen metamórfico (de contacto de bajo grado) o ígneo (intrusivos).

El origen de esta unidad se encuentra relacionado con el levantamiento tectónico de la zona posiblemente relacionado con la Falla Longitudinal, lo cual genera superficies de aplanamiento separadas por zonas de fuertes escarpes, generando una topografía escalonada a esto la dirección se le abona la dirección estratigráfica de las rocas locales, la cual es similar al trazo de la falla Longitudinal.

3.1.2 Laderas y montañas de fuerte pendiente

Comprenden parte de los cerros y montañas ubicados en el área de estudio, abarca un área de alrededor de 32 km² cuya pendiente se encuentra entre los 16,01° y los 35, entre ellos se puede mencionar Fila Ballena, Parte de La Fila Capirola, el cerro Pelón entre otros. Además cerca de la costa litoral sur, se pueden presentar acantilados con alturas de 60 metros.

En general esta unidad presenta un patrón de drenaje dendrítico en sus partes más altas, pasando a ser paralelo en las partes medias y bajas, este tipo de patrón puede estar relacionado a la dirección estratigráfica de la zona, así como a la tectónica local.

Sobre esta unidad se depositan materiales coluviales, por lo que en ciertos sectores se pueden presentar deslizamientos producto de la combinación entre el agua y materiales poco estables y muy meteorizados.

Mora (1991), indica que la masa montañosa ha sido levantada y basculada hacia el noreste por medio de las fallas antes mencionadas a un ritmo relativamente muy rápido. Por ello, se pueden apreciar rasgos que demuestran en ella la persistencia de la etapa juvenil de erosión geomorfológica (relieves fuertes, laderas subverticales, valles fluviales en "V", perfiles longitudinales de los ríos de alto gradiente, grandes deslizamientos, erosión intensa).

Litológicamente esta unidad se encuentra constituida por alternancias de lutitas y areniscas, en muchos sectores la roca se encuentra muy meteorizada, generando espesores de suelo importantes. Además no se descarta el afloramiento muy puntual de rocas de origen metamórfico (de contacto de bajo grado) o ígneo (intrusivos).

3.1.3 Laderas y montañas de muy fuerte pendiente

Comprenden parte de los cerros y Montañas ubicados en el área de estudio, presenta una gran similitud con la Unidad de Laderas y Montañas de Fuerte Pendiente, pero se diferencian en el rango de pendiente, para esta unidad abarca inclinaciones mayores a los $36,01^\circ$, dentro de esta unidad se encuentran las partes más inclinadas de Fila Ballena, así como cerros como Corrales y el sector de Faralla al este de la cuenca de estudio. El área que abarca esta unidad es de alrededor de 25 km^2 .

En general esta unidad presenta un patrón de drenaje, dendrítico en sus partes más altas, pasando a ser paralelo en las partes medias y bajas, este tipo de patrón puede estar relacionado a la dirección estratigráfica de la zona, así como a la tectónica local. Sus cauces tienden a ser profundos con forma de "V".

Sobre esta unidad se depositan materiales coluviales, por lo que en ciertos sectores se pueden presentar deslizamientos producto de la combinación entre el agua y materiales poco estables y muy meteorizados.

El origen de esta unidad se encuentra relacionado con el levantamiento tectónico de la zona posiblemente relacionado con la Falla Longitudinal, lo cual genera superficies de aplanamiento separadas por zonas de fuertes escarpes, generando una topografía escalonada a esto la dirección se le abona la dirección estratigráfica de las rocas locales, la cual es similar al trazo de la falla Longitudinal.

Litológicamente esta unidad se encuentra constituida por alternancias de lutitas y areniscas, en muchos sectores la roca se encuentra muy meteorizada, generando espesores de suelo importantes. Además no se descarta el afloramiento muy puntual de rocas de origen metamórfico (de contacto de bajo grado) o ígneo (intrusivos).

3.2 Formas de Origen Fluvial

3.2.1 Abanico aluvial Uvita

Esta unidad abarca una extensión de aproximadamente 13 Km^2 , los poblados de Playa Hermosa y Uvita se asientan sobre él. Presenta una pendiente plana entre los 0° y 8° .

Sobre el abanico, los ríos Uvita e Higuierón han desarrollado un sistema complejo de terrazas, cauces trenzados, anastomosados y meándricos, que alternadamente lo hacen cambiar de curso hasta desembocar tanto al este como al oeste de la Punta Uvita (Mora, 1991).

Las inundaciones han afectado sectores importantes del abanico, como aquellas ocurridas durante los Huracanes Gilbert y Joan, en Setiembre y Octubre de 1988 (Mora, 1991).

El espesor del aluvión es considerable, además se presenta en una sucesión de materiales gruesos y finos. Esto parece indicar una variación periódica la energía, y podrían correlacionarse con la época de delta o con formación de lagunas, remansos o manglares temporales, mientras que las granulometrías gruesas con periodos de avalancha crecida. Es importante remarcar que las capas de materiales finos de más de 10 m de profundidad, han estado o casi están bajo el nivel actual del mar (Mora, 1991).

El abanico aluvial es extenso y pudo haber iniciado su formación como delta, posteriormente emergido por la acción conjunta de una tasa de sedimentación elevada y del levantamiento tectónico rápido que experimenta la región (Mora, 1991).

3.3 Formas de Origen Litoral

3.3.1 Plataformas de abrasión

Distribuidas a lo largo de la línea costera, presentan pendientes planas menores a 8° , la erosión continua ha formado como un cordón litoral, al aprovechar las corrientes marinas dominantes que derivan hacia el sureste y noroeste respectivamente. Su formación es producto de la erosión del mar sobre las rocas sedimentarias, localizadas frente un acantilado rocoso, que continuamente provoca la caída y acumulación de rocas.

3.3.2 Tómbolo

Es el sector denominado comúnmente como Punta Uvita, posee un área aproximado de $0,8 \text{ km}^2$; es, quizás el Tómbolo de mejor desarrollo del país. Las corrientes de deriva litoral convergen en este punto, provenientes del sureste y noreste, acarreando los sedimentos decantados por los ríos y quebradas Ballena, Curingo, Villegas y el Brazo antiguo del Uvita del brazo nuevo del Uvita, Higuerón y Playa Hermosa respectivamente (Mora, 1991).

El Tómbolo se encuentra constituido por arena y grava y ha comunicado el litoral con un islote, en donde los estratos de roca sedimentaria de la Formación Térraba poseen una dirección estratigráfica de N55W y un buzamiento de entre 60° y 35° (Mora, 1991).

3.4 Formas de Origen Estructural

3.4.1 Fallas y alineamientos

En la zona de estudio existen una serie de fallas y alineamientos los cuales presentan un rumbo noroeste. La influencia de estas fallas y alineamientos es dado por dos factores, el primero es el Sistema de Fallas Longitudinal el cual presenta fallas aparentemente de

tipo inverso con un rumbo noroeste/sureste. El otro factor es la litología local, ya que las rocas predominantes en el sector son de tipo sedimentario, con direcciones estratigráficas con rumbo noroeste y con buzamientos hacia el suroeste.

La compresión generada debido a la tectónica y la estratigrafía local, sumados a un acelerado levantamiento de la zona (entre 5mm a 15 mm por año), han generado un relieve de tipo escalonado con presencia de fallamiento y plegamiento, el cual incrementa un pendiente en proporción a la altura.

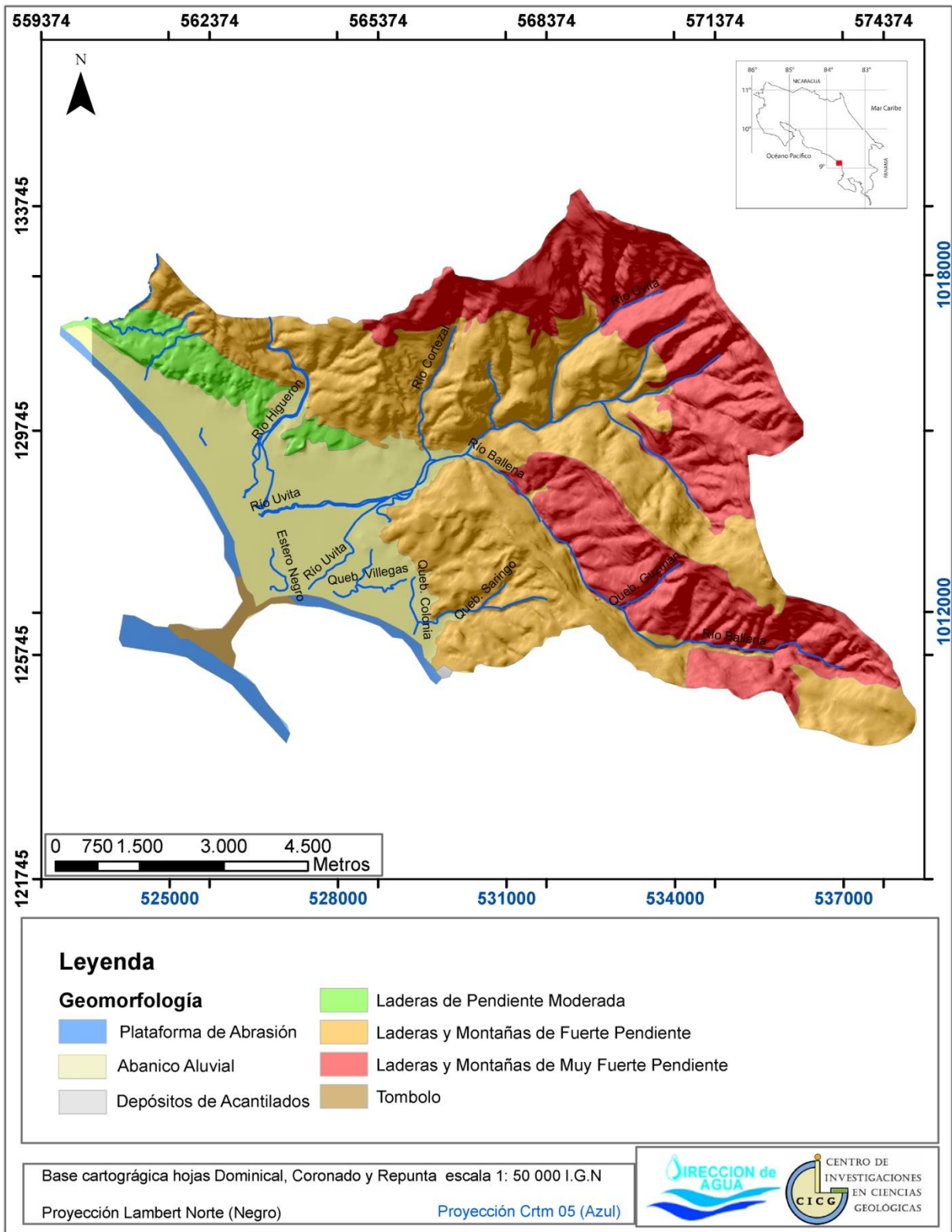


Figura 6: Mapa Geomorfológico de la zona de estudio. Fuente elaboración Propia.

4 CONTEXTO GEOLÓGICO

La zona de estudio ha sido poco estudiada, las únicas referencias directas al sector se encuentran en trabajos realizados por Mora (1979,1991).

Mora 1991, determina que en la zona de estudio afloran rocas pertenecientes a la Formación Térraba, Unidades Zapote y Lagarto indiferenciadas, las cuales describe como una sucesión de estratos centimétricos de areniscas y lutitas (Turbiditas) de edad oligoceno a Mioceno Inferior. Con un espesor total mayor a los 1000 m. Además indica que en ciertos lugares la Formación Térraba es intruída por rocas de la formación Puerto Nuevo de edad Mioceno Medio o más joven.

4.1 Formación Térraba

La Formación Térraba, es una sucesión de estratos centimétricos de areniscas y lutitas (Turbiditas), a menudo se encuentra alterada por meteorización generando suelos residuales de tipo laterítico, depósitos coluviales y aluviones en conoides y abanicos de piedemonte (Mora,1991). En el islote ubicado entre el Tómbolo y Punta Uvita se dio una dirección estratigráfica de N55W y un buzamiento de entre 60° y 35° (Mora, 1991).

Mora (1979), subdividió a la formación Térraba en dos Unidades: Zapote y Lagarto.

4.1.1 Unidad Zapote

Consiste en una alternancia de areniscas, limonitas y arcillositas con intercalaciones de productos de vulcanismo submarino (aglomerados, brechas, vulcarenitas y conglomerados volcánicos). Presenta estructuras sedimentarias como ondulitas, estructuras de carga y marcas de corrientes, también hay estratos de arena con gradación positiva, ya que esta unidad corresponde con las facies intermedia de una turbidita, que fue depositada en un ambiente de profundidad intermedia (nerítica, menor a 200m de profundidad). Su espesor es de 1200 m (Mora, 1991).

4.1.2 Unidad Lagarto

Su espesor varía entre los 1200 y 1500 m. Las rocas predominantes son conglomerados y areniscas, además de depósitos de canales turbidíticos. Son comunes estructuras sedimentarias tales como laminaciones cruzadas, condalitas, carga, bolsas de arcilla, pliegues de convolución y estratos con gradación positiva, carbón y otros restos de fósiles e icnofósiles (Mora, 1991).

Formación Puerto Nuevo

Intrusiones de gabro, diorita y diabasas en forma de diques y sills, de edad Mioceno Medio o más joven. En ocasiones se aprecian efectos de metamorfismo térmico de contacto, con la formación de rocas tipo corneanas y skarn, y alteración hidrotermal (Mora, 1991).

4.1.3 Depósitos Cuaternarios

De acuerdo con lo descrito por Mora (1991), en la zona de estudio se presenta un abanico aluvial conformado por alternancias de arenas y limos, el abanico pudo haber iniciado su formación como delta, posteriormente emergido por la acción conjunta de una tasa de sedimentación elevada y del levantamiento tectónico rápido que experimenta la región. Sobre el abanico, el río ha desarrollado un sistema complejo de terrazas, cauces trenzados, anastomosados y meándricos, que alternadamente lo hacen cambiar de curso hasta desembocar tanto al este como al oeste de la Punta Uvita.

Al respecto de Punta Uvita; ha sido formada como un Tómbolo, este se encuentra constituido por arena y grava y ha comunicado el litoral con un islote.

4.1.4 Aspectos Estructurales Regionales

Se destacan varios elementos típicos del sistema arco-fosa que caracterizan el litoral pacífico de Costa Rica (Mora, 1983):

1. La fosa mesoamericana, que marca el inicio de la subducción de la Placa del Coco Bajo la Placa del Caribe. No muestra en este sector una expresión batimétrica clara a causa de encontrarse rellena de sedimentos.
2. El escarpe desarrollado por el frente montañoso de la fila Costeña, a través del Sistema Longitudinal de Fallas, constituye la transición hacia el arco Interno, del cual se presenta aquí su componente de la Fila Costeña, como cordillera solevantada.

Mora (1991), detalla que la masa montañosa ha sido levantada y basculada hacia el noreste por medio de las fallas antes mencionadas a un ritmo relativamente muy rápido. Por ello, se pueden apreciar rasgos que demuestran en ella la persistencia de la etapa juvenil de erosión geomorfológica (relieves fuertes, laderas subverticales, valles fluviales en "V", perfiles longitudinales de los ríos de alto gradiente, grandes deslizamientos, erosión intensa).

4.1.5 Estructuras Tectónicas

Mora (1991), interpreta que la fila costeña ha sido levantada, plegada y fracturada primariamente por un sistema de fallas inversas denominado Sistema Longitudinal de Fallas de Costa Rica. La mayoría de las trazas superficiales de este sistema se alinea paralelamente con el frente montañoso de la cordillera, aproximadamente igual al trazo de la carretera costanera Sur; más recientemente a lo largo de este sistema o formando alguno otro, aún no bien discernido, se ha presentado un ciclo de actividad de fallamiento normal (gravitatorio) con un leve componente transcurrente.

En términos generales, la Fila Costeña, se presenta como un homoclinal interrumpido por pliegues y fallas locales, con una dirección de buzamiento hacia el noreste. Además; el sistema se ha ramificado en varios segmentos de fallas secundarias a lo largo de las cuales podría desarrollarse algún tipo de actividad sísmica (Mora, 1991).

La zona de estudio se encuentra dentro de una de las regiones sísmicas más activas, se presentan varias fuentes sismogénicas identificadas y que se encuentran asociadas a cuatro fenómenos tectónicos específicos (Mora, 1991):

1. La zona de subducción (Wadatti-Benioff): A todo lo largo del litoral y de la costa del pacífico Central.
2. Fractura de Panamá: En los alrededores de Punta Burica, Golfito y Golfo de Osa. Se trata de una de las fuentes que ha generado las mayores magnitudes sísmicas de las que se poseen registros en Costa Rica.
3. Fractura del Golfo de Nicoya: Entre el sector de Cabo Blanco y Herradura.
4. Fracturas y fallas intraplaca: Como por ejemplo las de Pérez Zeledón, Orotina, Fila Costeña, Valle del Río Pirris-Los Santos, entre otros.

Los sismos de estas fuentes han afectado y generado daños muy importantes, además son la prueba de la actividad neotectónica actual, desplegada por la interacción de las placas del Coco, Caribe y Nazca (Mora, 1991).

4.1.6 Falla Longitudinal de Costa Rica

La siguiente descripción fue tomada de la página de la Red Sismológica Nacional, la cual elaboró una recopilación bibliográfica de las principales características de la Falla Longitudinal.

En Costa Rica se extiende desde el norte de Parrita hasta el noroeste de Paso Canoas, pero su traza continúa por varios kilómetros en la región panameña en donde según Alvarado (2005), es denominada como falla Regional Chiriquí, falla Longitudinal-Celmira o Ballena-Celmira. En el sector comprendido entre Dominical y Embarcadero del Térraba, la traza de la falla puede variar. Según Denyer et al. (2003), la traza se ubica a lo largo

de la costa, mientras que Alvarado (2005), basado en la observación de un grupo de islas, islotes y salientes rocosos, sitúa la traza mar adentro.

Es la falla más larga de Costa Rica. Según Montero et al., (1998) y Arroyo (2001), presenta una extensión de 184 km. Sin embargo; Alvarado (2005), estima una longitud mayor de 300 km, extendiéndola hacia Panamá.

Corresponde con una falla 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). Alvarado (2005), especifica que la falla presenta diversos tipos de movimiento a lo largo de su traza. Sin embargo, la mayoría concuerda con un fallamiento inverso con una componente menor de desplazamiento dextral.

Su expresión geomórfica es prominente, demarcando el límite sur-occidental de la Fila Costeña. Hay evidencias morfo-neotectónicas entre Villa Briceño y Paso Canoas en donde aparecen otras morfologías, tales como: escarpes de falla en sedimentos aluviales del Pleistoceno Inferior al Reciente, sillas de falla en rocas suaves, ciénagas de falla (Alvarado, 2005) y movimiento Holoceno comprobado en trincheras de investigación (Rojas et al., 2011).

Alvarado (2005), estima que la falla puede generar sismos de magnitudes entre 7,0 hasta 7,5 en alguno de sus segmentos en Costa Rica. Además aclara que, si se toma en cuenta la ruptura de un tramo hipotético de 100 km, podrían alcanzar magnitudes de hasta 8,1 y estima una tasa de movimiento de 15 mm/año, mientras que Montero et al., (1998) sugieren una tasa mayor a los 5 mm/año. Arroyo (2001), le asigna una tasa de movimiento de 15 mm/año, basado en Cowan et al. (1997).

4.2 Geología Local

Este apartado es un aporte del Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas al proyecto, pues no estaba contemplado dentro de los términos de referencia planteados.

4.2.1 Aspectos Litológicos analizados

Se describieron más de 31 afloramientos de roca, los cuales se distribuyen desde la línea de costa hasta las partes montañosas (figura 7).

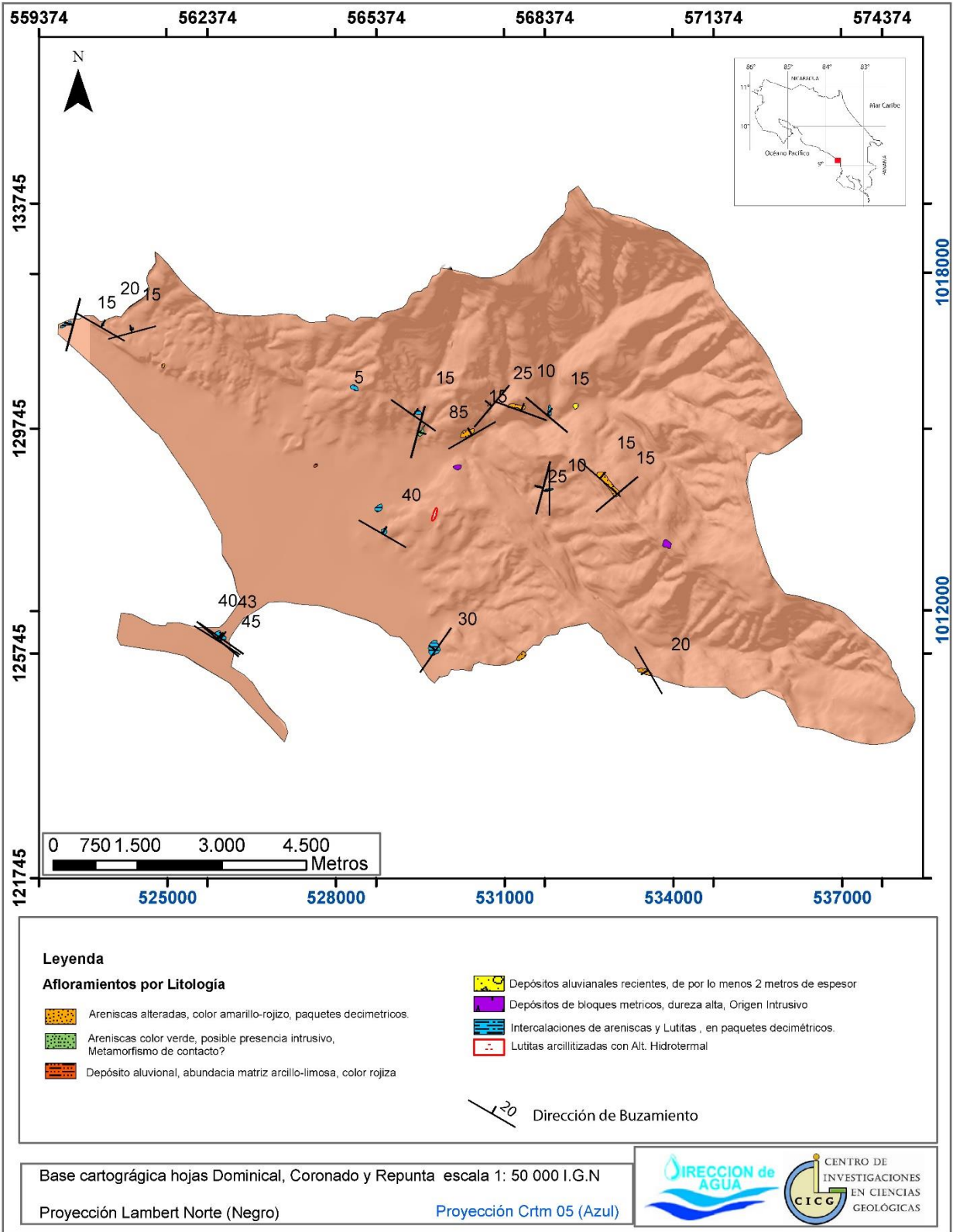


Figura 7: Mapa de ubicación de afloramientos. Fuente: Elaboración propia.

Los afloramientos se clasificaron dentro de 5 tipos de litologías las cuales se han correlacionado con lo descrito por Mora (1991), asociándose a depósitos Turbidíticos de la formación Térraba de edad Oligoceno a Mioceno Inferior, a intrusivos de edad Mioceno Medio de la Formación Puerto Nuevo y depósitos Neógenos de edad muy reciente.

4.2.2 Intercalaciones de Areniscas y Lutitas (Fm. Térraba)

Afloran desde la zona intermareal hasta en los sectores montañosos, los principales afloramientos se ubican en las rocas que conforman parte del Tómbolo de Punta Uvita (coordenadas Lambert Norte 526575 E/ 126051 N), en el sector más al noroeste de Playa Hermosa (coordenadas Lambert Norte 559902 E / 131615 N), en el sector más al sureste de Playa Colonia (coordenadas Lambert Norte 564433 E/ 125935 N), en el cauce del río Uvita en el sector montañoso (coordenadas Lambert Norte 568448 E/ 130031 N), en los afluentes del río Ballena (coordenadas Lambert norte 568 386 / 128642), en la parte alta del cerro del mismo nombre (569396 N / 198901E), además en cortes de talud cercanos al centro del poblado de Uvita, es posible apreciar la misma se cuenca de rocas en un estado de alteración más avanzado (565517 N /127927 E).

Las rocas se caracterizan por ser constituidas por paquetes sedimentarios bien definidos de espesores decimétricos a métricos (figura 7), las cuales tienen ángulos de buzamiento que varían desde los 40° en las zonas cercanas al centro de Uvita hasta los 10° en las zonas montañosas.

Las direcciones de buzamiento de las rocas que conforman la zona montañosas, en especial la Fila Ballena y Fila Tigre ubicadas en el sector Sureste del área de estudio, se caracterizan por a variar drásticamente presentándose tendencias hacia el NE, NW y SW, lo que podría indicar la presencia de un pliegue de importancia, de tipo antiforma el cual tendría un rumbo aparente NW/SE y comprendería las Filas montañosas anteriormente mencionadas.

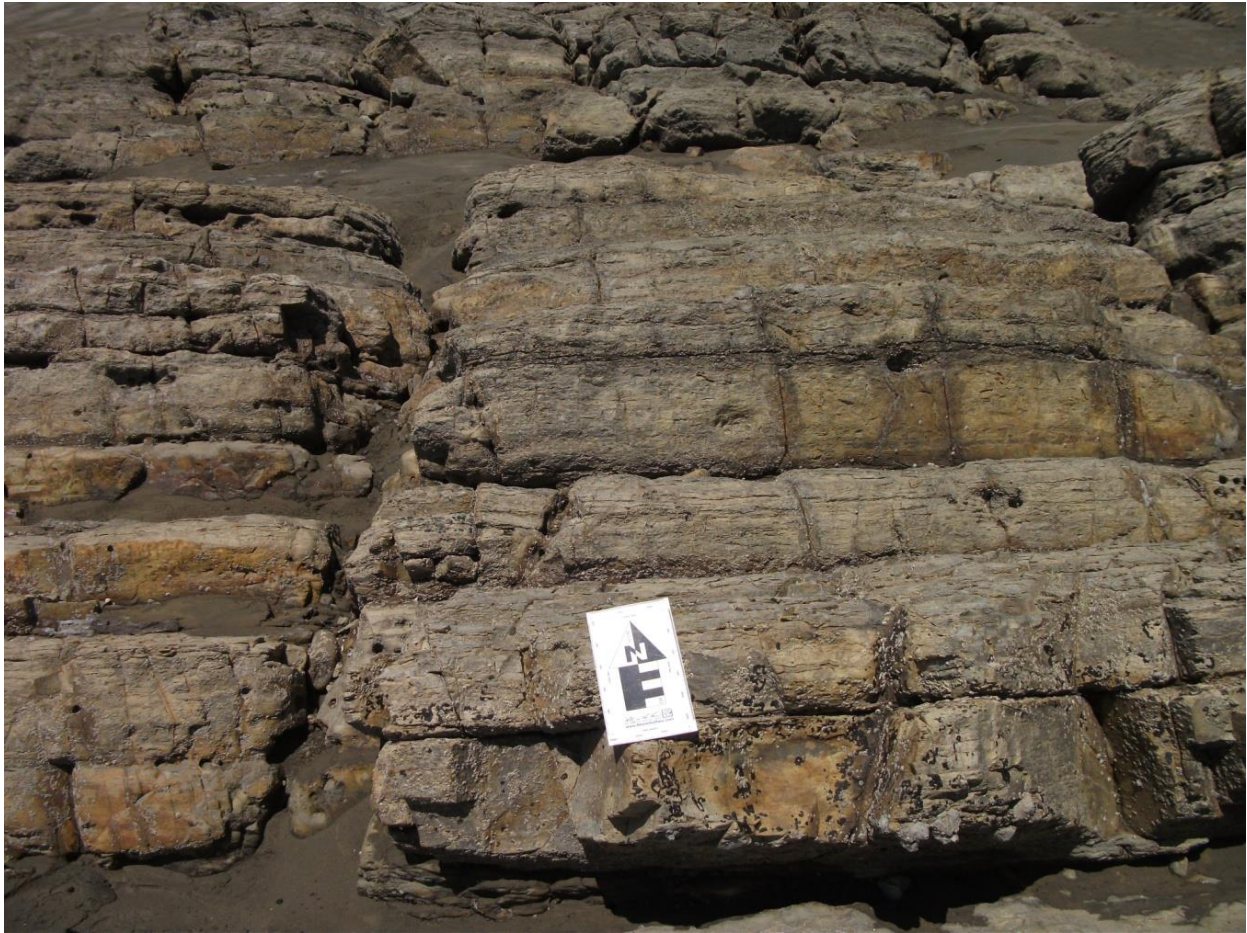


Figura 8: Rocas aflorantes en el sector de Punta Uvita, (coordenadas Lambert Norte 526575 E/ 126051 N), se observa un ángulo de buzamiento de alrededor de 45° hacia el NE.

Las direcciones de buzamiento de las rocas que conforman la zona montañosa, en especial la Fila Ballena y Fila Tigre ubicadas en el sector Sureste del área de estudio, se caracterizan por a variar drásticamente presentándose tendencias hacia el NE, NW y SW, lo que podría indicar la presencia de un pliegue de importancia, de tipo antiforma el cual tendría un rumbo aparente NW/SE y comprendería las Filas montañosas anteriormente mencionadas.

Las direcciones de buzamiento ubicadas a lo largo de la costa tienden a variar presentándose dos tendencias principales, una hacia el NE, la cual agrupa a las rocas encontradas en Punta Uvita (sector del Tómbolo) y en el río Uvita (coordenadas Lambert Norte 568448 E/ 130031 N), la otra tendencia indica una dirección de buzamiento hacia el NW, la cual agrupa a las rocas encontradas tanto en Playa Hermosa, como en Playa Colonia. Estos cambios en las direcciones de buzamientos sugieren la presencia de estructuras tectónicas que han ido deformando y levantando las rocas de la zona.

La textura de las rocas varía en su tamaño de grano, generalmente se presentan areniscas de grano fino a medio de coloración café claro a negro, las cuales se intercalan con paquetes de lutitas de la misma coloración. Ambos tipos de rocas pueden presentar laminación paralela así como cruzada y otras estructuras sedimentarias tales como concreciones de tamaños decimétricos, muy apreciables en las coordenadas Lambert Norte 566381 E/ 126185 N. Es posible observar afloramientos con mayor tendencia de areniscas que lutitas o viceversa. En sectores donde la roca se encuentra sana, ésta presenta una dureza muy alta, siendo difícil de partir con piqueta debido a su grado de compactación (figura 9 y figura 10).



Figura 9: Paquetes métricos de Lutita negra-gris de dureza alta, ubicados en el margen del río Uvita, coordenadas Lambert Norte 568448 E/ 130031 N



Figura 10: Rocas aflorantes en un afluente del Río Ballena (coordenadas Lambert Norte 568281 E/ 128710 N), se observa un ángulo de buzamiento de 10° con rumbo N75W.

En lo que respecta al grado de fracturamiento, varía desde muy fuerte a bajo dependiendo del afloramiento, pero se observa dos tendencias principales que conforman un par conjugado con rumbos N20E/N60E que se aprecia en varios afloramientos y que corta la estratigrafía local de una forma casi vertical. Esto se discutirá con mayor detalle en el apartado de estructural.

En los sectores costeros es posible observar la presencia de pliegues de diversos tamaños los cuales estarían asociados a slumps (figura 11). Además se observa que algunos planos de estratificación y fracturas se encuentran rellenos de lutita fina lo cual genera una especie de pequeños diques y sills, ocasionados por los procesos de compactación y diagénesis. Además en la zona montañosa propiamente en Fila Ballena, coordenadas Lambert Norte 569 538 E 128 797N es posible observar la presencia de una secuencia de pliegues tanto antiformal como sinformales de tamaños métricos.



Figura 11: Pliegues encontrados a lo largo del camino en la parte alta de Fila Ballena.

En su estado alterado las lutitas presentan una coloración café claro, las cuales se intercalan con paquetes de areniscas alteradas de coloraciones café-claro a blancuzco, además el grado de fracturamiento presente varía de bajo a medio (figuras 12 y 13). Ambos tipos de roca al estar expuestas a agentes erosivos, se meteorizan en capas de cebolla.



Figura 12: Secuencia de lutitas y areniscas muy alteradas con al menos 20 m de espesor aflorante, en la base del afloramiento se observa una mayor presencia de capas de arenisca (capas blancas) (565517 N /127927 E)



Figura 13: En la zona central de la fotografía se aprecia un dique de coloración blanco y muy arcillitizado el cual corta la secuencia de lutitas alteradas de coloraciones moradas y rojizas.

En los afloramientos localizados en el sector montañoso noreste del área de estudio en las coordenadas Lambert Norte 567048 E/ 1296801 N, 567387 N /130184 E, 567775 N /130149 E y 569396 N / 198901E, se presentan areniscas meteorizadas constituidas por paquetes decimétricos de areniscas de grano medio bien estratificadas, las cuales se presentan en un estado de alteración de grado medio a alto, presentando poca dureza y coloraciones de roca amarillentas-blancuzcas y hasta rojizas (figura 14), las cuales generan suelos arcillo-limosos de coloración rojiza de por lo menos 1 metro de espesor.

En las rocas alteradas se presentan fracturas de mediana a alta intensidad con rumbos NE y NW, y dirección de buzamientos con tendencias principales N30W/15° y N40E/15, lo que indica cambios abruptos en la inclinación de las rocas, posiblemente provocados por plegamientos y fallamiento que afecta a la zona.



Figura 14: Afloramiento donde se muestra una arenisca muy meteorizada y fracturada.

4.2.2.1.1 Areniscas de coloración verde

Localizadas en los márgenes del Río Cortezal, y conformando una catarata llamada Cascada Verde, este afloramiento se encuentra en las coordenadas Lambert Norte 566169 E /129626 N. Está conformado por una roca coloración verdosa a gris en su estado sano, mientras que en su estado meteorizado, se presenta como una arcilla de coloración verde oscura. El espesor del afloramiento es de al menos 10 m (figuras 15 y 16).

La roca se encuentra muy fracturada pero presenta una dureza muy alta. El grado de fracturamiento es tal alto que no se ha podido definir si la roca se encuentra estratificada o es del tipo masivo, ya que se encuentran planos cuyos rumbos viajan en múltiples direcciones. Este fracturamiento llega a explicar el origen de la catarata, la cual pudo haberse producido por un fallamiento de tipo normal sobre planos de debilidad como lo pueden ser las direcciones estratigráficas.

La roca presenta una fuerte reacción al HCl al 10 %, lo que indica la presencia de CaCO_3 dentro de su composición, litológicamente este afloramiento se ha asociado a la Unidad intercalación de areniscas y lutitas debido a su textura arenosa, pero no se puede

descartar algún otro tipo de asociación genética ya sea de origen intrusivo ya alterada, ó una roca producto del metamorfismo de contacto producida por las intrusiones de la Formación Puerto Nuevo descritas por Mora (1991).



Figura 15: Catarata Cascada Verde



Figura 16: Se muestra la roca aflorante en el Río Cortezal.

4.2.2.1.2 Intercalaciones de lutitas y areniscas afectadas por alteración Hidrotermal

Esta litología se aprecia en los afloramientos localizados en el sector montañoso central cercano al poblado de Uvita y en el centro de Uvita, en las coordenadas 565517 N /127927 E y 566415 N / 128216 E.

Se aprecian suelos sumamente arcillitizados de coloraciones blancas, moradas, rojizas y naranjas; las arcillas presentan un alto grado de plasticidad, dentro de las arcillas es posible encontrar fragmentos centimétricos de lutitas de coloraciones rojizas y anaranjadas.

Se observan fracturas rellenas de un tipo de arcilla que presenta erosión diferencial con respecto a sus alrededores, dejando una especie de micro diques entre fracturas (figuras 17,18 y 19).

En el afloramiento ubicado en las coordenadas 565517 N /127927 E se observó una fractura principal con un rumbo S20W, el cual concuerda con el rumbo del río Uvita y parte del frente de las filas Tigre y Ballena, lo que podría indicar la presencia de un fallamiento a nivel regional.



Figura 17: Arcillas y rocas alteradas hidrotermalmente



Figura 18: Estructura de forma tabular, aparentemente sería una lutita alterada con erosión diferencial, pero no se descarta que sea algún tipo de dique.



Figura 19: Lutita alterada con aparente presencia de minerales asociados a efectos de oxidación.

La génesis de esta litología se ha asociado a un proceso de alteración hidrotermal producto de los intrusivos de la Formación Puerto Nuevo, en la que fluidos hidrotermalizados fluyeron por medio de las zonas de fractura alterando a la secuencia de areniscas y lutitas de la Formación Térraba.

4.2.2.2 Depósitos Coluviales de alta Dureza (formación Puerto Nuevo)

Localizado en la divisoria de aguas de Fila Ballena, se presenta un afloramiento en las coordenadas Lambert Norte 570550 N/ 127631 E. Se presentan bloques redondeados de coloración negra y de alta dureza de un tamaño máximo de 1,5 m, estos se encuentran envueltos en una matriz de suelo areno-limoso de coloración, amarillo-rojiza.

Además, localizados en Fila Tigre, se presenta un afloramiento en las coordenadas Lambert Norte 566823 N/ 128216 E. en donde se presentan bloques subredondeados de un tamaño máximo de 2,5 m, estos se encuentran esparcidos por la zona dando la impresión de ser bloques rodados (figura 20).

En ambos casos los bloques presentan meteorización de tipo capas de cebolla y textura arenosa. En su estado sano presentan una coloración gris-negra con lo que parecen cristales de coloración blanca asociados con cuarzo (figura 21), y una dureza sumamente alta, siendo imposible partir la roca con mazo, piqueta o cincel, no presentan reacción al HCl al 10 %.

Ya que en ambos casos los bloques se presentan transportados, no ha sido posible ubicar su fuente, su génesis se ha correlacionado como producto de la actividad de los intrusivos de la formación Puerto Nuevo, descrita por Mora (1991).

Es importante mencionar que a pesar de no encontrar afloramientos, los pozos de la base de datos del SENARA 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.

La presencia de cornubianitas producto del metamorfismo de contacto entre las lutitas y los intrusivos, explicarían zonas de afloramientos de turbiditas con un alto grado de dureza, mientras que el clasto negro encontrado en fila Ballena, podría asociarse a estos gabroides.



Figura 20: Bloques rodados de roca de dureza muy alta.



Figura 21: Presencia de cristales de cuarzo, se observa la roca tanto en su estado meteorizado como en su estado sano.

4.2.2.3 Depósitos Aluviales del Río Uvita (Neógeno)

Se ubican principalmente en los márgenes del Río Uvita, el cual es el responsable del mayor aporte de material para ésta unidad en sectores de cambio de pendiente. En las coordenadas Lambert Norte 567056 N/ 129386 E, se presenta una terraza de bloques de roca de tamaños decimétricos a métricos de alrededor de 2,5 metros de espesor. Los bloques poseen formas de redondeados a subredondeados los cuales se encuentran en contacto cóncavo-convexo y están envueltos una matriz arenosa-gravosa (figura 22). La relación matriz-bloques es 30%/70% aproximadamente. El origen de los clastos es diverso ya que se encuentran tanto rocas de origen sedimentario, como de origen ígneo, que fueron transportadas y depositadas por el río Uvita, debido a la pérdida de fuerza de este último al cambiar rápidamente la pendiente.



Figura 22: Aluviones de diversos tamaños depositados a los márgenes del río Uvita.

Los depósitos aluviales se localizan a lo largo de la zona plana, principalmente observables en los márgenes de ríos y quebradas de poco caudal, en donde estos, son incapaces de acarrear bloques de roca de gran tamaño, por lo que únicamente se depositan capas de suelo rojizo de textura limo-arcillosa que conforman una matriz de alta plasticidad con muy pocos bloques de tamaños centimétricos que se encuentran en contacto flotante. Este tipo de suelo probablemente se ha generado a partir de la meteorización y erosión de las capas de areniscas y lutitas ubicadas en los sectores montañosos del área de estudio. Ejemplos de estos depósitos de suelo los podemos observar en las coordenadas Lambert norte 564272 E/129044 N, en los márgenes de una quebrada cercana al Colegio de Uvita.

Con base en la información litológica proveniente de los únicos dos pozos perforados ubicados dentro del aluvión, pertenecientes a la Asada de Uvita-Bahía, y que para el presente estudio se han llamado BB-P1 y BB-P2 (ver catálogo de Pozos) ubicados respectivamente en las coordenadas Lambert Norte 564 245 E/127 851 N y 564 323 129 904 N, se indica que por lo menos en dicho sector el aluvión se encuentra compuesto por intercalaciones de aluvión grueso, aluvión de menor grosor, capas de gravas (en donde se presenta una concentración importante de agua, entre 5 y 7 m) y arcillas impermeables de coloración grisácea.

De acuerdo con la interpretación geofísica realizada en el presente estudio, se ha determinado que el espesor de esta unidad presenta una forma de cuenca ovalada en sentido NE-SW, presentándose los mayores espesores de entre 30 m y 40 m siendo el promedio alrededor de los 25 m, conforme se desplaza hacia la zona montañosa o la zona costera, siempre en dirección NE-SW los espesores disminuyen hasta aproximadamente 3 m.

En sentido NW-SE, el espesor tiende a ser de menor envergadura siendo menor a los 8 m en los sectores de playa Hermosa (ubicada en el NW del área de estudio) y hasta el río Higuerón, mientras que el sector de Playa Colonia (en el sector SE del área de estudio), se presentan espesores estimados menores a los 5 m.

La forma de la cuenca que contiene a la unidad de depósitos aluviales, se ha relacionado a un efecto producido por esfuerzos tectónicos extensivos los cuales generan fallamiento de tipo normal a lo largo del río Uvita con sentido NW-SE.

4.3 Geología Estructural

4.3.1 Dirección de Buzamiento

El cuadro 1, reporta el valor y distribución de los buzamientos de las capas de roca medidos en el campo a lo largo de gran parte del área de estudio. A nivel general se muestra que las litologías conformadas por paquetes de areniscas, lutitas ó la intercalación de las mismas, muestran dos tendencias de buzamiento importantes.

La primera tendencia indica un buzamiento hacia el Noreste, con ángulos de buzamiento altos en las rocas ubicadas en la zona intermareal de Punta Uvita. Mientras que los ángulos de las rocas ubicadas en los sectores montañosos disminuyen su inclinación hasta los 10° aproximadamente.

La segunda tendencia presenta direcciones de Buzamiento hacia Noroeste y abarca a las rocas aflorantes en los sectores noroeste de Playa Hermosa y Sureste de Playa Colonia, así como rocas de los sectores montañosos ubicadas hacia el noroeste del área de estudio.

Los cambios en las direcciones de buzamiento, tienden a ser repentinos, variando la disposición de las capas casi en 90° lo que sugiere la presencia de grandes plegamientos y fallamiento regional que esté afectando a todas las capas de roca aflorantes.

Cuadro 1: Resumen de los principales planos de buzamiento medidos en el campo

Dirección de Buzamiento	Lambert Norte X	Lambert Norte Y	Ángulo de Buz. Promedio(°)
N35E/40	562657	126063	40
N35E/45	562598	126044	45
N32E/43	562581	126033	43
N75E/85	566181	129659	85
N30W/15	567048	129680	15
N50W/25	567387	130184	25
N30E/10	567775	130149	10
N20E/10	567974	130112	10
N40E/15	568448	130031	15
<i>N41E/15</i>	<i>569396</i>	<i>128901</i>	<i>15</i>
N40W/15	569685	128561	15
N85W/15	559916	131610	15
N15W/15	561017	131513	15
N55W/30	566381	125839	30
<i>W/25</i>	<i>568386</i>	<i>128642</i>	<i>25</i>
<i>N75W/10</i>	<i>568281</i>	<i>128710</i>	<i>10</i>
N35E/15	566076	130029	15
S30W/20	570161	125858	20

N20E/5	564984	130482	5
N45E/20	560508	131600	20
N30E/40 Dique	565517	131600	40

** En cursiva: Buzamientos que definen el antifirma Fila Ballena.*

4.3.1.1 *Pliegue Antiforma Fila Ballena*

Con base en la medición de Buzamientos (Cuadro 1, en color rojo ubicados en el sector montañoso conocido como Fila Ballena), y en los márgenes de los afluentes del río del mismo nombre se observa un cambio de buzamiento conforme se rodea a la fila montañosa pasando de una orientación Noreste con 15° de buzamiento a una orientación Noroeste con ángulos de inclinación entre 10° y 25°, finalizando con una orientación Suroeste con un buzamiento de 20°.

En el área de estudio el antiforma aparente posee una forma de “U” invertida con una longitud de su charnela de 4 km con dirección NW/SE, siguiendo la tendencia y la dirección de la Falla Longitudinal, la anchura estimada entre sus flancos es de aproximadamente 3 km. Se estima que su nariz concluiría en los márgenes del río Uvita con una faseta de tipo triangular, sin embargo cabe la posibilidad de que se extienda más hacia el NW. No se han podido definir más de sus características debido al difícil acceso en que se presenta en el sector.

4.3.2 **Planos de Fracturas y Fallamiento**

El cuadro 2 muestra la distribución y orientación de los principales planos de fracturas medidos en el campo.

Cuadro 2: Resumen de los principales planos de fracturas medidos en el campo.

Rumbo	Inclinación	Lambert Norte X	Lambert Norte Y	Observaciones
N20E	Sin determinar	562657	126063	
N60E	Sin determinar	562657	126063	
N10E	Sin determinar	562652	126065	
N10E	Sin determinar	562623	126061	
N85E	Sin determinar	562623	126061	
N35E	Sin determinar	562598	126044	
N20E	Vertical	562574	126574	Falla 58 cm desp. Tipo Destral
N35E	70W	566169	129626	
N15W	85E	566181	129659	
N10E	Vertical	566200	129671	
E-W	Sin determinar	566200	129671	
N60E	Sin determinar	566972	129611	Desp. Tipo Sinestral

N60E	Plano vertical	566961	129694	
S60E	Plano Horiz.	566961	129694	
N20W	Sin determinar	567387	130184	
N75E	Sin determinar	567387	130184	
N10E	Vertical	567775	130149	
N10E	Vertical	567974	1301112	
N60E	Vertical	567974	130112	
N10E	Vertical	568448	130031	
N60E	Vertical	568448	130031	
E-W	Sin determinar	559916	131610	
N30E	Sin determinar	559916	131610	
N45W	Sin determinar	559916	131610	
N35W	Sin determinar	561569	130888	
N10W	Sin determinar	561569	130888	
N85W	Sin determinar	561017	131513	
N30E	Sin determinar	566381	125839	
N65W	Sin determinar	566381	125839	
S35W	80	568386	128642	Aflora agua por la fractura aporte a la quebrada
N40W	70	568386	128642	
S30W Dire.Estr	80	568281	128710	
N35W	80	568281	128710	
S20W /EF	80	566415	128216	

De acuerdo a los planos medidos y a la ubicación de los mismos se ha dividido el fallamiento local en dos.

4.3.2.1 Fallamiento Inverso relacionado a la Falla Longitudinal

La presencia de planos de fracturamiento con rumbo Noroeste-Sureste, a lo largo del margen de la costa y que separan los sectores montañosos de los sectores planos, además de la presencia de un relieve de forma escalonada hacia el continente (figura 23), junto con la presencia del antiforma Fila Ballena, revelan un esfuerzo tectónico de compresión con dirección NE/SW, dicho esfuerzo genera la presencia de fallamiento inverso en una dirección Noroeste-Sureste, dicho fallamiento se ha correlacionado por el generado por la Falla Longitudinal de Costa Rica y coincidiría con lo interpretado por Mora (1991) en donde indica que la fila costeña ha sido levantada, plegada y fracturada primariamente por un sistema de fallas inversas denominado Sistema Longitudinal de

Fallas de Costa Rica. La mayoría de las trazas superficiales de este sistema se alinea paralelamente con el frente montañoso de la cordillera, aproximadamente igual al trazo de la carretera costanera Sur (Mora, 1991).

Este sistema de fallamiento inverso se localizaría por toda el área de estudio, localizándose con mayor facilidad a lo largo de la carretera Costanera Sur, con una longitud de al menos 9,5 km.



Figura 23: Relieve escalonado en donde se observan superficies de aplanamiento seguidas de escarpes pronunciados, por lo menos cuatro secuencias de levantamiento.

4.3.2.2 *Fallamiento Normal*

Se destaca un par conjugado presente prácticamente en todos los afloramientos de areniscas/lutitas encontrados, este plano se encuentra conformado por fracturas que cortan las secuencias estratigráficas de forma prácticamente vertical, teniendo un rumbo general N10E /N60E. Cabe destacar que en las coordenadas Lambert norte 562574 E /126574 N, se presenta una falla de tipo dextral la cual presenta un desplazamiento medido de 58 cm (figura 24), esta falla presenta el mismo rumbo (N10E) que uno de los pares conjugados; mientras que en un corte sobre la carretera en la zona montañosa coordenadas Lambert Norte 566169 E /129626 N se encontró un plano estriado que indica una tendencia Sinistral con un rumbo (N60E) lo que implicaría la presencia de una falla en el par conjugado opuesto.



Figura 24: Se observa una falla de tipo dextral (capa de rocas café oscuro desplazada), en un afloramiento de roca en el sector de Punta Uvita. El desplazamiento es de 58 cm y corta verticalmente la estratigrafía de la zona

El rumbo NE/SW de este sistema coincide con la dirección preferencial de los ríos principales de la zona. Se estima que el sistema de fallamiento es de tipo normal debido a que se ha visto la presencia de fallas normales a lo largo de los márgenes del río Uvita, éstas fallas se observan tanto en los depósitos alterados de lutita y arenisca (figura 25) como en la roca sana de los afluentes de del río en donde se presentan una serie de cascadas y cataratas que se estiman de origen tectónico, todas ellas con rumbo NE/SW, (figuras 26 y 27) lo que implicaría la presencia de una estructura tipo graben a lo largo del río Uvita.



Figura 25: Fallas normales asociadas a un rumbo NE/SW, el cual es paralelo al rumbo del río Uvita, se observa una relación directa con un flanco que delimita el río Uvita con la Fila Tigre.

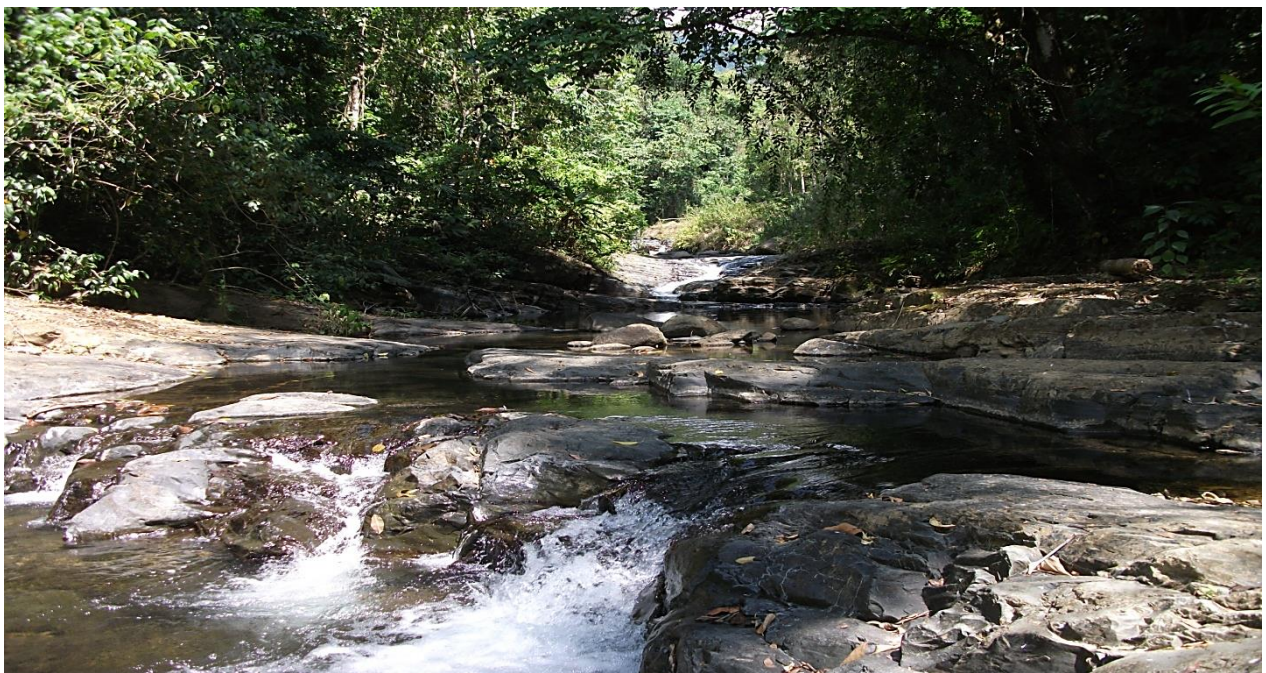


Figura 26: Serie de cascadas ubicadas en el sector montañoso sobre el río Uvita.



Figura 27: Agua aflorando entre las fracturas que cortan de forma casi vertical las secuencias sedimentarias, el rumbo de la fractura es S35W, el agua descarga en un afluente del río Ballena.

Además de la presencia del fracturamiento anteriormente mencionado, es importante destacar que se ha observado en diferentes afloramientos que existe un aporte importante de agua por parte de las fracturas hacia el río Uvita en donde se observa el agua viajando entre los planos de fracturamiento verticales con dirección SW, contrario a la dirección de buzamiento regional de las rocas, esto implicaría que este sistema de Fallas Normales influenciaría el trayecto del agua subterránea proveniente de la Formación Térraba.

4.3.3 **Modelo Estructural para la zona de estudio**

Tomando en consideración los siguientes elementos:

- Características del fallamiento tanto de tipo inverso como normal
- Ubicación y parámetros de la estructura antiformal descrita para el área de estudio.
- Cambio en el espesor de los Depósitos Aluviales del Río Uvita en donde estos profundizan en el sector de Uvita a lo largo del río del mismo nombre.

Se ha determinado que la geología estructural de la zona se produce por esfuerzos compresivos con rumbo NE/SW, este modelo coincide con el modelo teórico planteado por Rossello (2009) y con lo descrito por Mora (1991) sobre la tectónica de la región del pacífico sur de Costa Rica (figura 28).

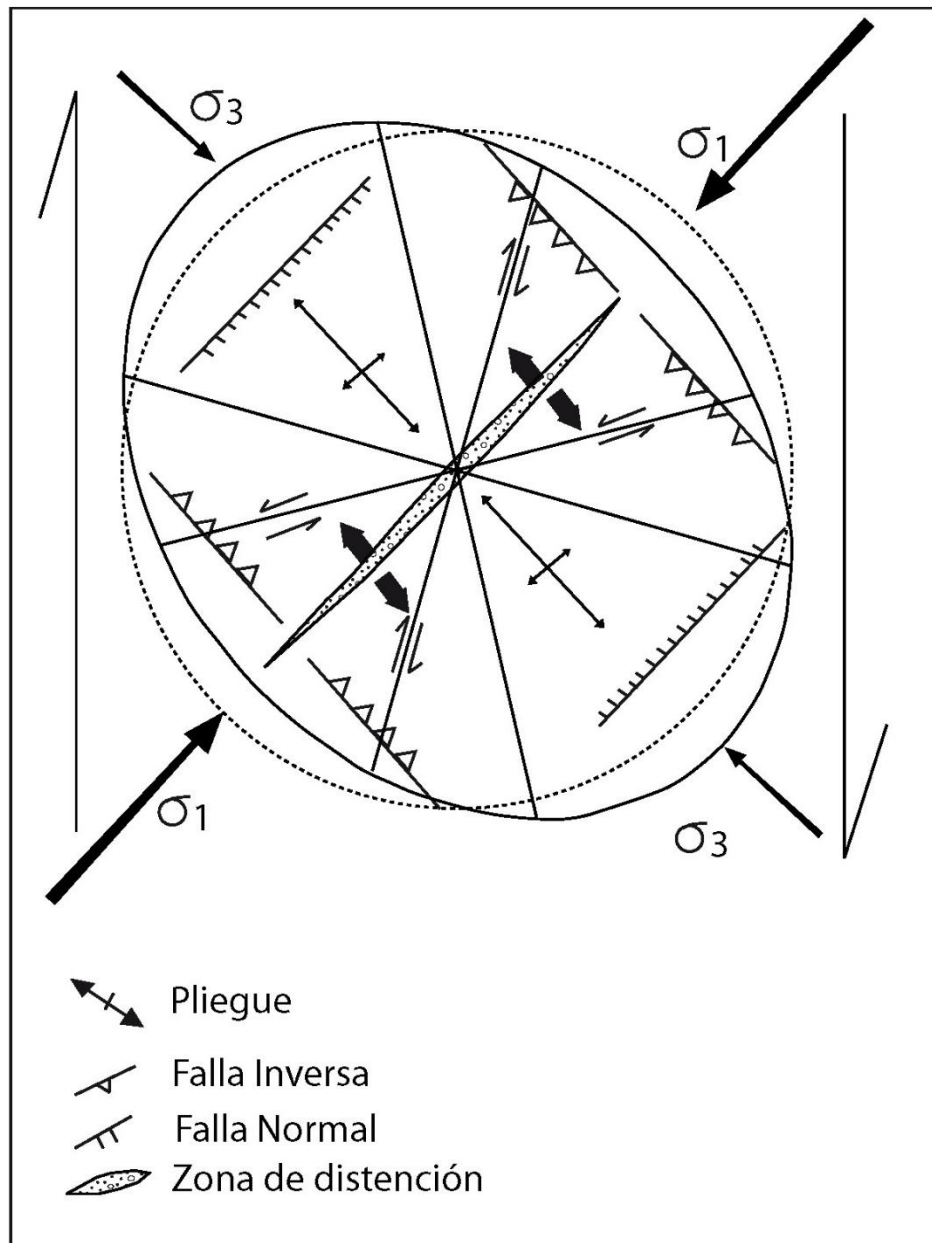


Figura 28: Modelo estructural desarrollado por Rossello (2009).

Como se puede apreciar en el modelo teórico, esfuerzos principales con rumbo NE/SW, generarán en primera instancia fallamiento inverso con rumbo NW/SE, este fallamiento correspondería con el sistema de fallas inversas correlacionado con la Falla Longitudinal. Además de esto como resultado de los esfuerzos de compresión se generarán plegamientos de tipo anticlinal en el centro del esfuerzo lo que se ha correlacionado con el antifforma Fila Ballena.

Posteriormente debido a los esfuerzos de compresión rumbo NE/SW, se generarán una serie de esfuerzos de tipo distensivos los que generarán fallamiento de tipo normal con rumbo NE/SW, siendo concordante con el fallamiento normal observado a ambos márgenes del río Uvita a lo largo de su cauce. Finalmente los esfuerzos de distensión generan una zona con un rumbo NE/SW y que se ha correlacionado con la cuenca sobre la cual se ha depositado la Unidad de Depósitos aluviales del Río Uvita y que a partir de la interpretación geofísica se determina que los sectores de mayor profundidad se ubican en el centro del Poblado de Uvita, disminuyendo considerablemente su espesor tanto en las cercanías de la zona montañosa como en la costa.

Así las cosas, la figura 29 resumen las características geológicas y estructurales de la zona de estudio.

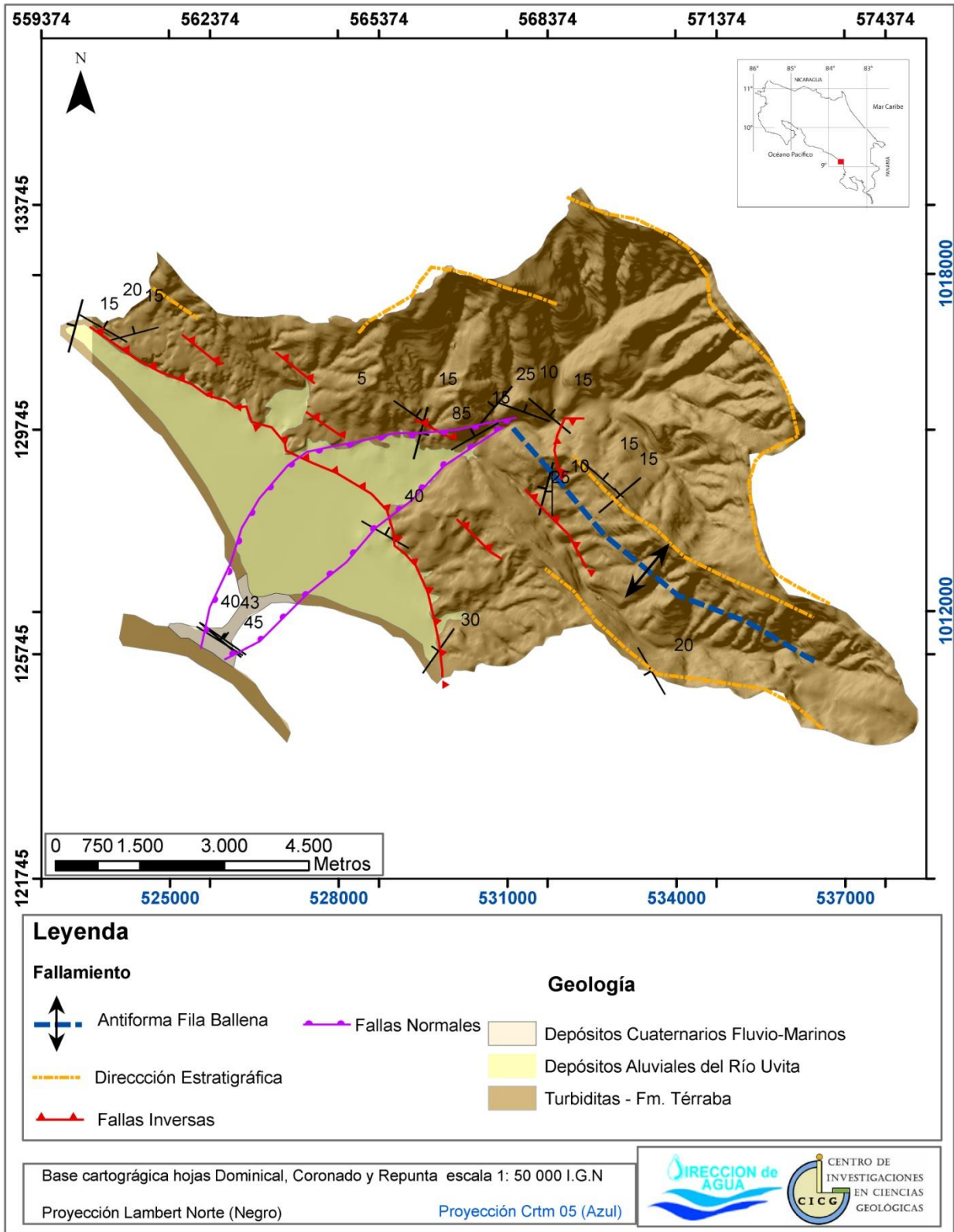


Figura 29: Mapa Geológico Local. FUENTE: Elaboración propia. Algunas Fallas Tomadas de Mora (1991).

5. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Con el fin de verificar el espesor disponible de aluvi3n y determinar las profundidades donde se ubica el basamento local se realiz3 una campaa geof3sica, realizando sondeos el3ctricos verticales (SEV), en diferentes sectores de la unidad de Dep3sitos Aluviales.

5.1 Metodolog3a y Equipo Utilizado

En la realizaci3n de los SEV fue aplicado el arreglo electr3dico tipo Schlumberger, empleando diferentes aperturas, adaptadas a las condiciones encontradas en la zona de estudio, la abertura m3xima de $AB/2$ fue de 200 m. El equipo usado fue el modelo SYSCAL_R1/PLUS de la IRIS Instruments® con cuatro electrodos (figuras 30 y 31), propiedad del Centro de Investigaciones en Ciencias Geol3gicas.

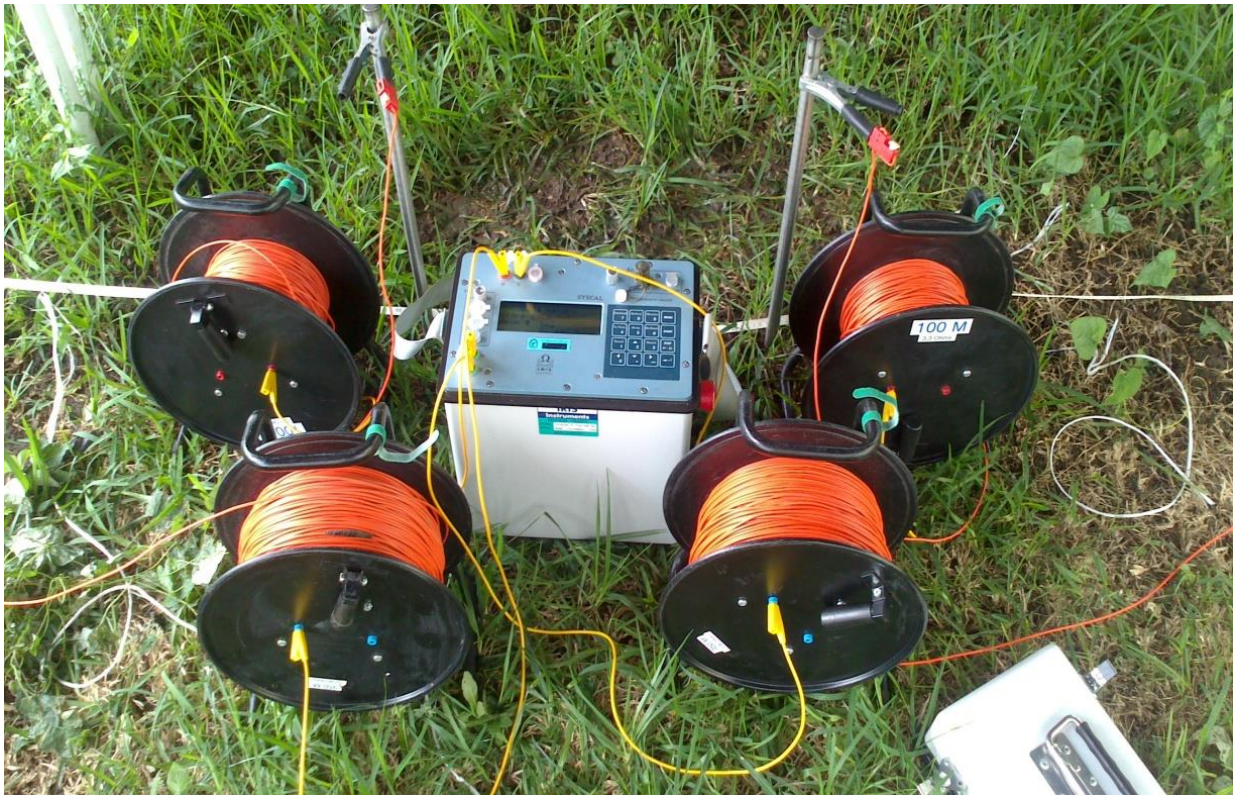


Figura 30: Equipo utilizado para realizar los sondeos el3ctricos verticales (SEV).



Figura 31: Disposición del equipo geoelectrico para la realización de un SEV en las cercanías del Parque Nacional Marino Ballena.

Los resultados obtenidos fueron procesados mediante la utilización de los software libres IPI2WIN® y QWSELN® y correlacionados mediante la observación y descripción de geología de campo cercana al sitio de interés.

El equipo utilizado realiza una estimación de la resistividad del subsuelo a partir de su resistividad aparente, la cual se utiliza como un instrumento para evaluar los espesores de capas geológicas, las profundidades de niveles freáticos, zonas de dispersión salina, entre otros (Murillo, 2008).

Arias (2002 a,b,c, 2007), indica que la geoelectrica es uno de los métodos geofísicos de prospección con mayor difusión y aplicación en las ciencias de la Tierra. Consiste en la inyección de corriente eléctrica (I) al subsuelo y a partir del potencial (ΔV) generado en el mismo se determina la resistencia del suelo (R).

Este valor de resistencia es transformado a un valor de resistividad aparente (ρ_a), a partir de una constante geométrica (K) cuya expresión se da en la siguiente ecuación.

$$K=2\pi\left(\frac{1}{AM}-\frac{1}{BM}-\frac{1}{AN}+\frac{1}{BN}\right)^{-1}$$

El valor final de K para cada medición, dependerá del dispositivo empleado y de la separación de los electrodos, tanto de inyección de corriente (A, B) como de medición del potencial (M, N).

La disposición relativa de los electrodos es conocida también como arreglo geoeléctrico y su escogencia depende de las características del objeto de estudio.

5.1.2 Dispositivo electródico Schlumberger

Es el arreglo electródico utilizado en este estudio, se define en primer instancia el punto central (O) y los electrodos de corriente se van desplazando simétricamente correspondiendo a la distancia $AB/2$ (figura 32), así la corriente eléctrica atravesará cada vez a mayor profundidad (Sánchez, 2014).

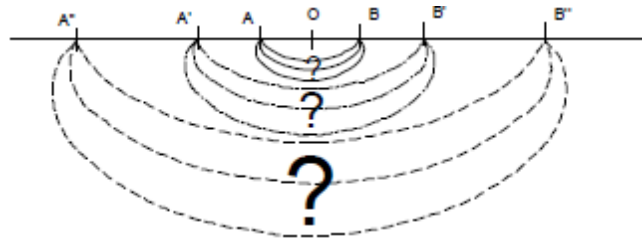


Figura 32: Esquema simplificado del flujo de corriente en un Sondeo Eléctrico Vertical: A medida que se abre la distancia AB, aumenta la profundidad de investigación. Tomado de Sánchez (2014)

Los sucesivos valores de resistividad aparente que vamos obteniendo corresponden a profundidades cada vez mayores.

La profundidad de investigación teórica máxima alcanzada en este estudio mediante la utilización del método fue de 67 m, la cual es la tercera parte de la abertura máxima de los electrodos A y B.

Con la realización de una serie de SEV a lo largo de una determinada área se logra la interpretación del contexto geológico del subsuelo (figura 33).

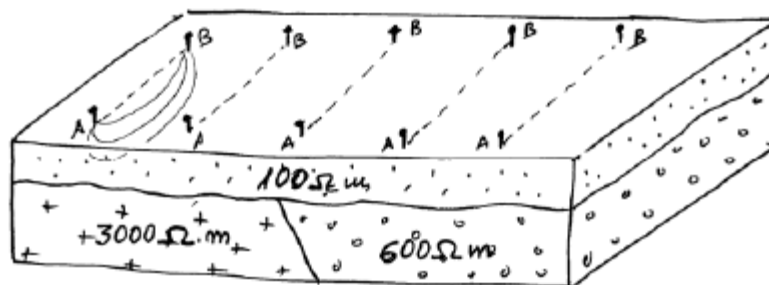


Figura 33: Esquema de una serie de SEV a lo largo de un área dada, esto permite la interpretación del contexto geológico. Tomado de Sánchez (2014)

5.1.3 Realización de los Sondeos Eléctricos Verticales

Se realizaron un total de 15 SEV, la mayoría distribuidos en el sector central del área de estudio siguiendo de forma paralela el cauce del río Uvita, esto con el objetivo de realizar un perfil geoelectrico que corte y determine el espesor de la zona aluvial. Además se realizaron otros sondeos en los extremos del área de estudio con el fin de determinar variaciones en los espesores de la capa aluvial (figuras 34 y 35).

Para la realización de la campaña geofísica, se seleccionaron sectores en donde se reunieran tanto las condiciones de accesibilidad como se seguridad para operar el equipo. En el caso del sector de Playa Hermosa, solamente se tuvo acceso en la parte norte de la playa ya que el resto del sector se encuentra cubierto por alta vegetación, sectores pantañosos, fincas privadas y áreas protegidas pertenecientes al parque Nacional Marino Ballena (en donde no se permitió el acceso del equipo al considerarse un método que puede afectar de alguna forma la fauna del lugar).



Figura 34: Sondeo Eléctrico Vertical SEVB-12 realizado en playa Hermosa de Uvita.



Figura 35: Sondeo realizado en la costa cercana a la Cola de la Ballena.

El cuadro 3 muestra el código y las coordenadas de ubicación de los sondeos realizados y la figura 36 su ubicación espacial.

Cuadro 3: Sondeos eléctricos verticales realizados en el área de Bahía Ballena.

Código	Coordenadas Lambert Norte X	Coordenadas Lambert Norte Y
SEVB-1	565988,00	129108,00
SEVB-2	565541,00	128854,00
SEVB-3	564998,00	128581,00
SEVB-4	564741,00	128541,00
SEVB-5	564427,00	128701,00
SEVB-6	564481,00	128564,00
SEVB-7	564561,00	128165,00
SEVB-8	564224,00	127873,00
SEVB-9	564130,00	127503,00
SEVB-10	564149,00	127332,00
SEVB-11	563940,00	126056,00
SEVB-12	560068,00	131619,00
SEVB-13	560731,00	131125,00
SEVB-14	565765,00	126498,00
SEVB-15	566038,00	126911,00

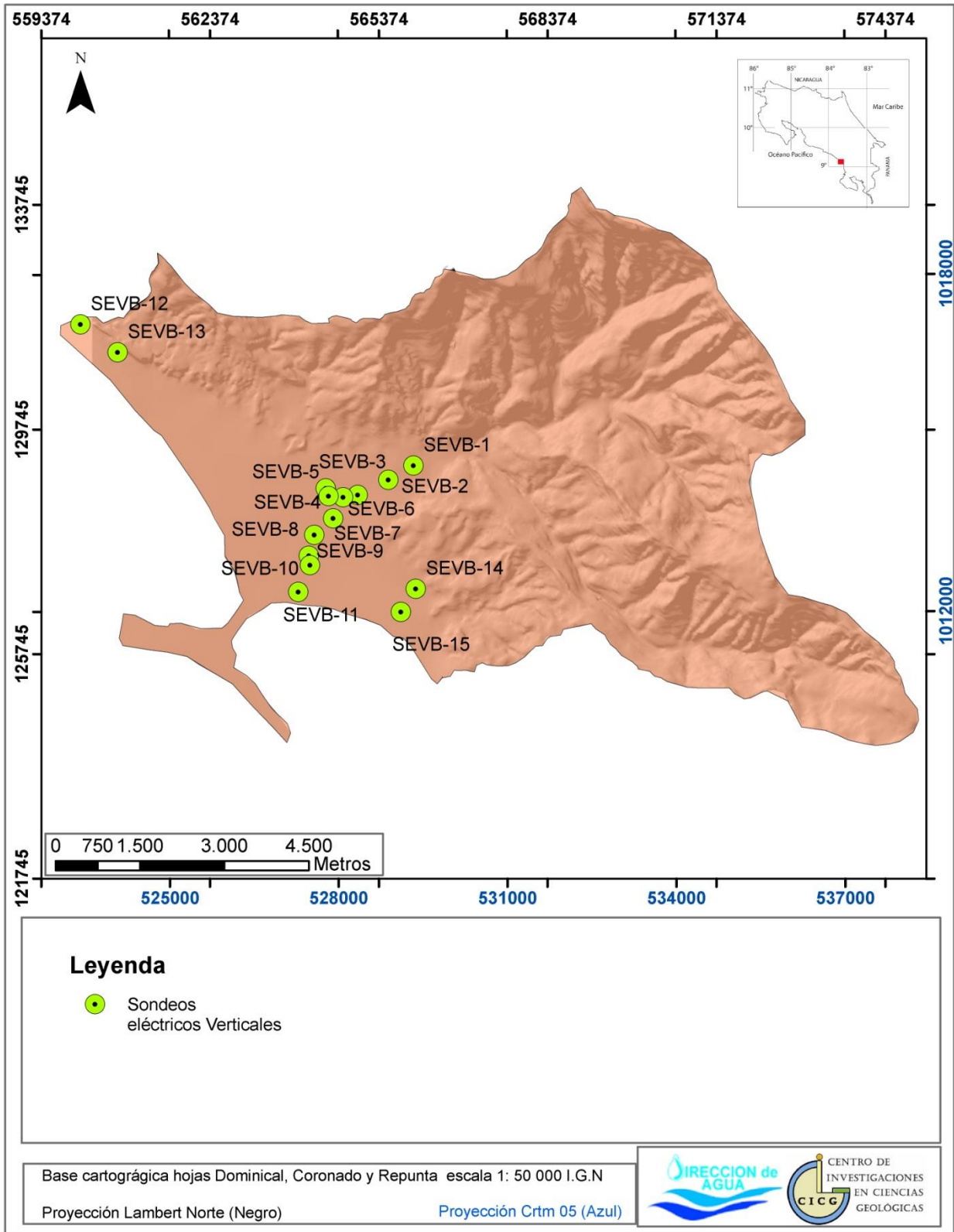


Figura 36: Mapa de ubicación de los sondeos eléctricos verticales realizados sobre el sector aluvial de Uvita. FUENTE: Elaboración propia.

5.2 Resultados Sondeos Eléctricos Verticales

Con base en los valores de campo obtenidos de cada SEV se graficaron los datos, posteriormente se procedió a realizar la inversión de los mismos tratando de ajustar los valores al modelo numérico y geológico más aceptable.

El cuadro 4, muestra los datos obtenidos, una vez realizada la inversión de datos, se muestran las capas de resistividad encontradas (Ωm *léase Ohmm*), su espesor (m) y su profundidad (m).

Además se muestran los gráficos realizados y los modelos de mejor ajuste para cada SEV (figuras 37 y 38). Con base en los resultados obtenidos luego de las inversiones de datos realizadas, se procedió a realizar una correlación de capas de acuerdo con su resistividad, para ello se realizaron 2 perfiles geoelectricos, cuya distribución y descripción se muestran en la figura 39.

Cuadro 4: Resumen del modelado planteado para cada uno de los SEV, realizado en el área de estudio.

SEVB-1 ERROR 8,72				SEVB-2 ERROR 8,49			
<i>Capas</i>	<i>resistividad</i>	<i>espesor</i>	<i>profundidad</i>	<i>Capas</i>	<i>resistividad</i>	<i>espesor</i>	<i>profundidad</i>
1	34	0,695	0,695	1	241	0,775	0,775
2	70	8	8,64	2	116	6,44	7,22
3	9,43	11	14,5	3	27,9	16,8	24
4	21			4	3,9	2,99	27
				5	19,4		
SEVB-3 ERROR 2,83				SEVB- 4 ERROR 29,7			
<i>Capas</i>	<i>resistividad</i>	<i>espesor</i>	<i>profundidad</i>	<i>Capas</i>	<i>resistividad</i>	<i>espesor</i>	<i>profundidad</i>
1	18,4	1,2	1,2	1	12,4	0,5	0,5
2	103	3,92	3,92	2	43	23,2	23,7
3	13	24	29,2	3	22,9		
4	36,2						
SEVB-5 ERROR 1,79				SEVB- 6 ERROR 4,19			
<i>Capas</i>	<i>resistividad</i>	<i>espesor</i>	<i>profundidad</i>	<i>Capas</i>	<i>resistividad</i>	<i>espesor</i>	<i>profundidad</i>
1	31,94	2,07	2,07	1	28,6	1,49	1,49
2	56	10	12,1	2	53,3	15,6	17,1
3	13,6	19	31,1	3	16,3	8,15	25,3
4	25,1			4	23,1		
SEVB- 7 ERROR 14,9				SEVB- 8 ERROR 1,09			
<i>Capas</i>	<i>resistividad</i>	<i>espesor</i>	<i>profundidad</i>	<i>Capas</i>	<i>resistividad</i>	<i>espesor</i>	<i>profundidad</i>
1	7,13	1	1	1	33,22	0,9	0,65
2	86	1,05	2,05	2	103,7	5,89	6,5
3	5,09	1,61	3,66	3	15,2	10,69	17,23
4	58,7	8,61	12,3	4	57,11	17,55	34,78
5	10,5	31,9	44,1	5	2,557	28,15	62,94
6	30,4			6	231,1		
SEVB- 9 ERROR 33,5				SEVB- 10 ERROR 1,55			
<i>Capas</i>	<i>resistividad</i>	<i>espesor</i>	<i>profundidad</i>	<i>Capas</i>	<i>resistividad</i>	<i>espesor</i>	<i>profundidad</i>
1	82,7	0,5	0,5	1	24,87	0,53	0,53
2	1,71	0,177	0,677	2	6,869	0,57	1,11
3	20,3	6,65	7,32	3	67,63	6,394	7,5
4	240	1,77	9,09	4	35,35	19,69	27,19
5	62,1	2,17	11,3	5	17,85		
6	24,8	11,7	23				
7	11,4						

SEVB- 11 ERROR 17,4				SEVB- 12 ERROR 3,21			
<i>Capas</i>	<i>resistividad</i>	<i>espesor</i>	<i>profundidad</i>	<i>Capas</i>	<i>resistividad</i>	<i>espesor</i>	<i>profundidad</i>
1	21,4	2,9	2,9	1	27,7	0,647	0,6
2	1,19	2,07	4,98	2	12,5	1,27	1,91
3	9,1			3	30,7	7,01	8,92
				4	15,2		
SEVB- 13 ERROR 2,4				SEVB- 14 ERROR 1,93			
<i>Capas</i>	<i>resistividad</i>	<i>espesor</i>	<i>profundidad</i>	<i>Capas</i>	<i>resistividad</i>	<i>espesor</i>	<i>profundidad</i>
1	229	0,5	0,5	1	89,53	0,5	0,5
2	40,2	0,86	1,36	2	60,7	9,824	10,38
3	7,28	1,36	2,72	3	82,87	2,596	12,98
4	70,6	1,41	4,13	4	22,05		
5	10						
SEVB- 15 ERROR 5,43							
<i>Capas</i>	<i>resistividad</i>	<i>espesor</i>	<i>profundidad</i>				
1	12,6	8,02	8,02				
2	51,9	3,9	11,9				
3	14						

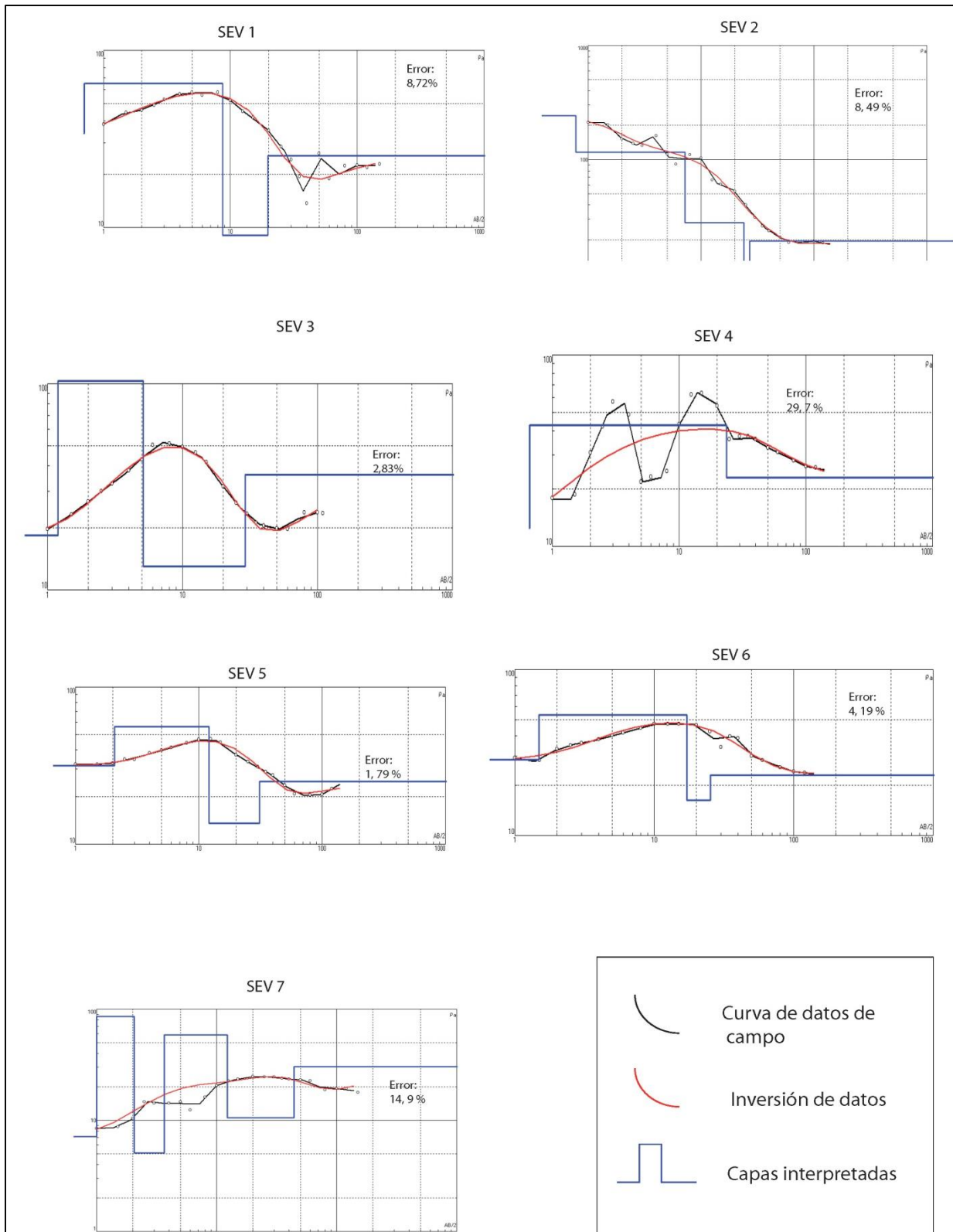


Figura 37: Se muestra la inversión de datos planteada para los SEV del 1-7.

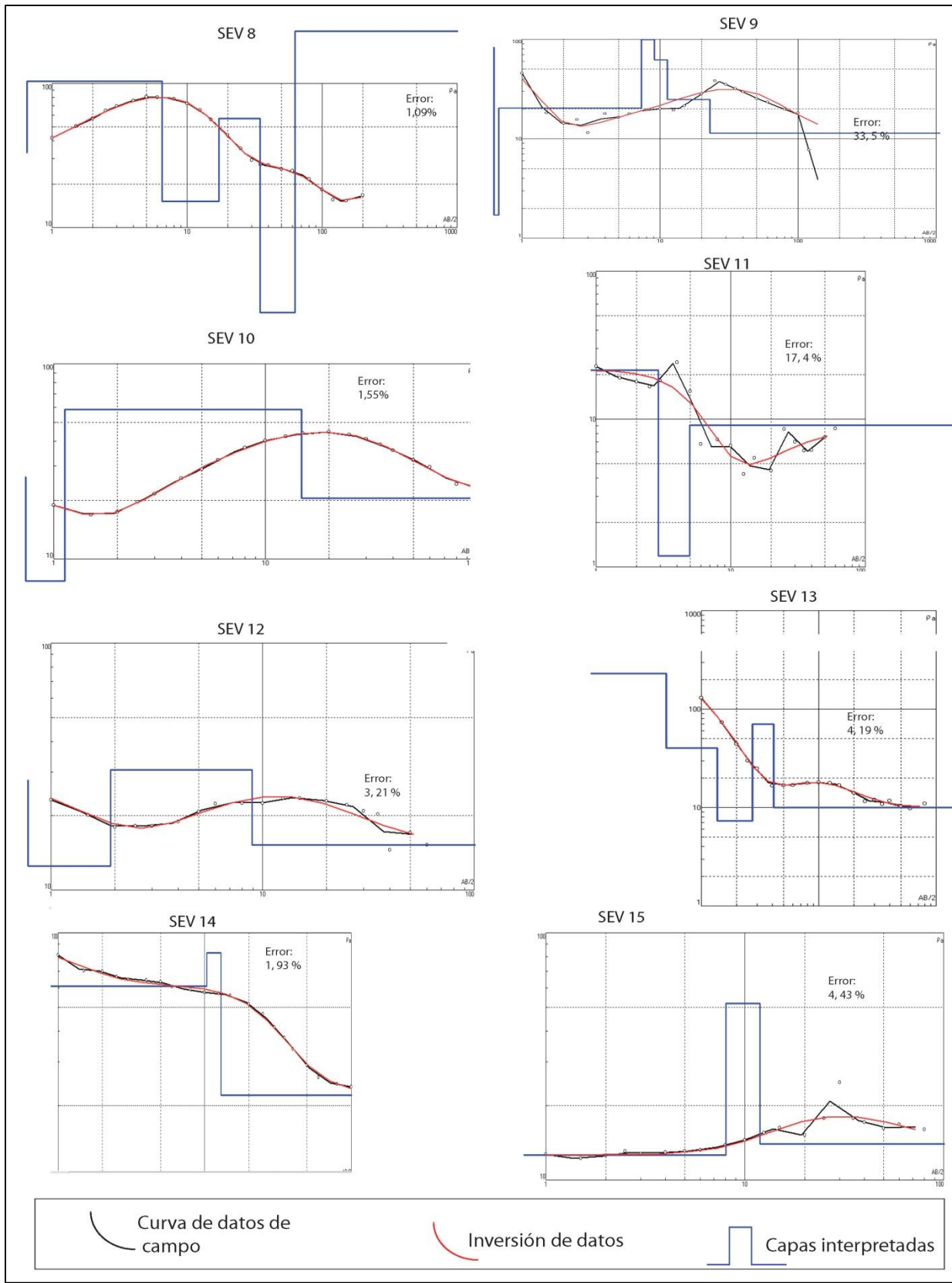


Figura 38: Se muestra la inversión de datos planteada para los SEV del 8-15.

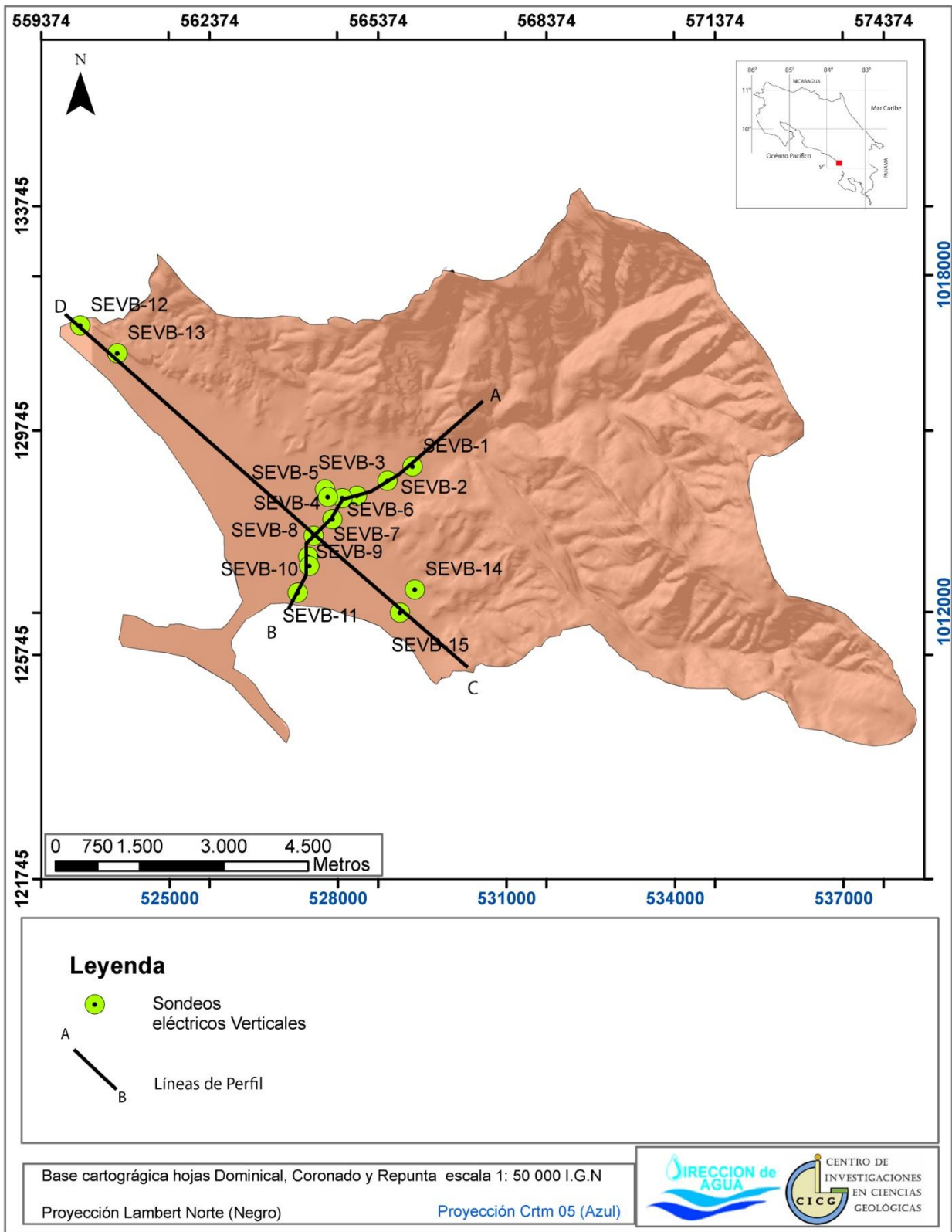


Figura 39: Localización de los perfiles geoelectricos realizados. Fuente: Elaboración propia.

5.2.1 Descripción Perfil Geoeléctrico A-B

El perfil A-B se realizó en una dirección NE/SW, tratando de seguir una tendencia paralela al cauce del Río Uvita, el perfil inicia en el sector montañoso y culmina en el sector costero.

El perfil correlaciona la interpretación de 9 SEV (figura 40). Debido a la heterogeneidad de los materiales aluvionales no fue posible realizar una correlación de capas geológicas, más bien; los valores de resistividad encontrados se dividieron en 3 rangos de acuerdo al comportamiento resistivo observado.

El primer patrón o capa geoeléctrica lo conforman sectores con tendencias de resistividad bajos, generalmente menores a los 15 Ωm , estas capas se pueden localizar entre los 5m y 25 m.

El segundo patrón o capa geoeléctrica lo conforman sectores con tendencias de resistividad media, generalmente valores entre los 35 Ωm y los 15 Ωm , estas capas se pueden localizar en diferentes profundidades teniendo una leve tendencia a encontrarse en las últimas capas detectables en los SEV, entre los 20m y 35 m aproximadamente.

El tercer patrón o capa geoeléctrica lo conforman sectores con tendencias de resistividad alta generalmente valores mayores 35 Ωm y hasta los 230 Ωm , estas capas se pueden localizar en diferentes profundidades teniendo una leve tendencia a encontrarse en las capas superficiales menores a los 10 m.

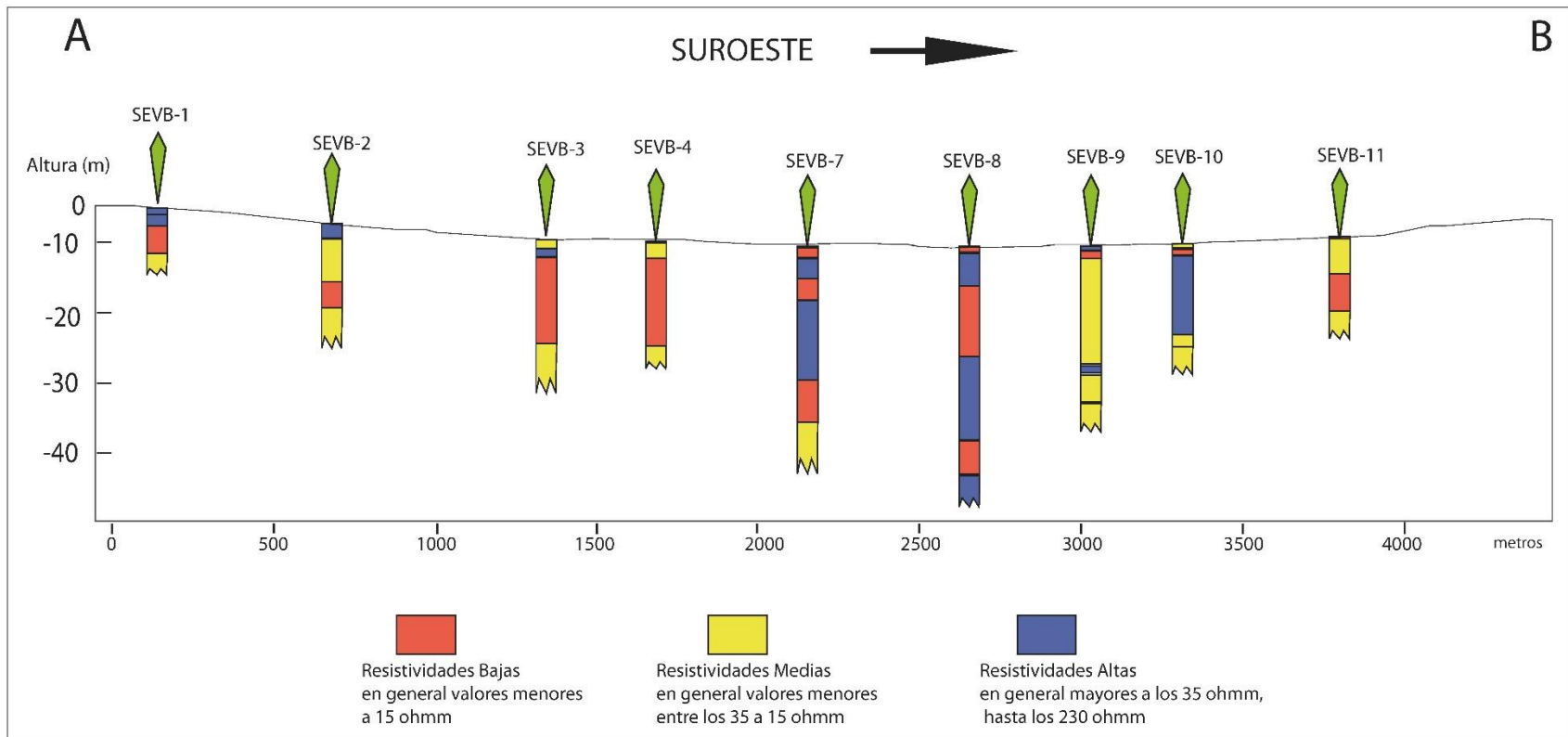


Figura 40: Perfil geoelectrico A-B

5.2.3 Descripción Perfil Geoeléctrico C-D

El perfil C-D se realizó en una dirección SE/NW, siguiendo la línea de costa. Se basa en la interpretación de 4 SEV (figura 41). Por la misma razón de la presencia de material heterogéneo de los depósitos aluviales no fue posible realizar una correlación de capas geológicas propiamente dichas. Por lo que se dividieron los valores de resistividad en 3 rangos de acuerdo al comportamiento resistivo observado.

La primera capa geoeléctrica la conforman sectores con tendencias de resistividad bajas, generalmente menores a los 15 Ωm , los sondeos 12,13 y15, muestran una tendencia a localizar estos tipos de patrones muy cerca de la superficie a profundidades menores de 5 m. Esto a excepción del sondeo 8 que muestra este patrón hasta los 35 m de profundidad.

La segunda capa geoeléctrica está conformada por resistividades medias, generalmente valores entre los 35 Ωm y los 15 Ωm , se localiza, entre 1m y 12 m de profundidad aproximadamente.

La tercer capa geoeléctrica la conforman sectores con tendencias de resistividad alta generalmente valores mayores 35 Ωm y hasta los 230 Ωm , estas capas se pueden localizar en diferentes profundidades desde los 0 m hasta los 37 m aproximadamente.

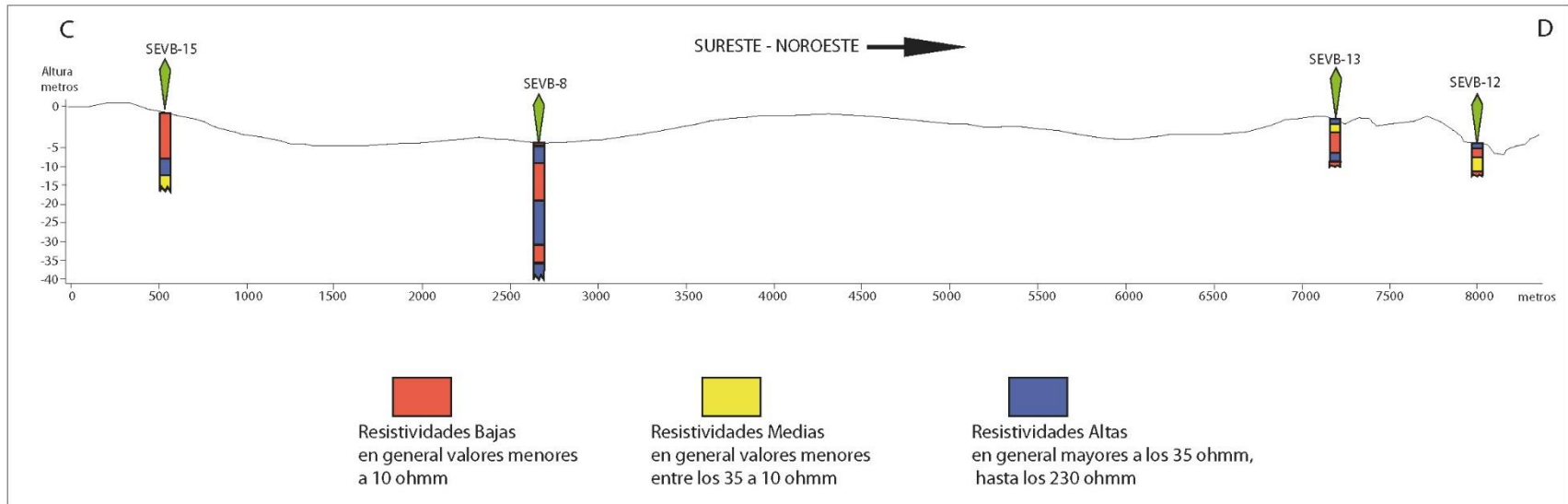


Figura 41: Perfil geoelectrico C-D.

5.2.4 CORRELACIÓN GEOLÓGICA

Una vez obtenido el modelo geoelectrico, este se ha correlacionado con la geología local observada en el sitio, con base en la información obtenida, los perfiles geoelectricos pasan a ser perfiles de correlación geológicos donde se muestran las diferentes capas de rocas encontradas.

A continuación se describe el modelo geológico obtenido a partir de las capas geoelectricas.

Las dos primeras capas geoelectricas definidas en los perfiles geofísicos, las cuales se caracterizan por aumentos y disminuciones de la resistividad y espesores que van desde los 0,5 a 19 metros, se han agrupado sin diferenciar dentro de la Unidad Depósitos Aluviales, por lo que estarían conformadas por aluviones envueltos en una matriz de suelo arcilloso ó arcillo-limoso.

Las capas con resistividades bajas (menores a los 15 Ωm) corresponderían con la presencia de capas ó lentes de textura arcillosa con un alto contenido de agua (arcillas plásticas).

Los sectores donde se presentan resistividades altas (con valores entre mayores a los 35 Ωm y hasta 230 Ωm) corresponderían con sectores con un alto grado de presencia de bloques y clastos de diversos tamaños, posiblemente de origen ígneo.

Las capas con resistividades medias (entre los 15 Ωm y 35 Ωm) se han correlacionado ya sea con capas de arenas y gravas con un contenido medio de arcilla ó con zonas de transición entre lo que sería el aluvión y el basamento de la zona.

La tercer capa geoelectrica descrita anteriormente, y caracterizadas por resistividades con valores medios y altos se han correlacionado con rocas de la Unidad Intercalación de Areniscas y Lutitas asociada con la formación Térraba, la cual ha sido definida en el presente estudio como el basamento de la zona de estudio.

Cabe mencionar que se ha interpretado por medio del sondeo 8 la presencia de una capa de muy baja resistividad (2 Ωm) a los 66 m de profundidad la cual ha sido interpretada como un posible nivel de agua subterránea ubicada dentro de esta formación.

Con base en los resultados en las curvas de inversión de datos, se determinó una tendencia de la resistividad a disminuir en cierto momento con la profundidad, lo que se ha interpretado como el contacto entre el aluvión y el basamento, en donde podría existir un sector de acumulación de agua proveniente de la parte superior del aluvión en donde por medio de la información de pozos, se sabe de la existencia de un nivel entre 1 a 8 m de profundidad en dependencia de la zona.

El agua al llegar niveles más profundos no ha podido pasar debido a la alta dureza e impermeabilidad que muestran las rocas sanas de la formación Térraba, a excepción de zonas muy fracturadas, o en proceso de meteorización.

De acuerdo a esta interpretación se ha definido que en el perfil A-B el espesor de aluvión varía desde los 10m en los sectores cercanos a la zona montañosa aumentando su profundidad con forma se acerca a la costa, llegando a tener un espesor entre los 20 a 30 m en la zona central del aluvión muy cerca de la zona más urbanizada de Uvita, teniendo un valor máximo de 34 m (figura 42).

Mientras más se acerca a la costa los espesores disminuyen entre los 20 m y 10 m finalizando cerca de la costa con alrededor de 5 m.

Con respecto al perfil C-D, se muestran espesores bajos entre los 5 m y 12 m en los sectores alejados al cauce del río Uvita, como lo son Playa Hermosa y Playa Colonia, los espesores permanecerían bajos hasta llegar a la zona central de Uvita en donde aumentaría el espesor hasta los 34m (figura 43).

Con base en dicha interpretación, se ha determinado que los depósitos aluviales del río Uvita, presentan una importante acumulación de material en los alrededores del cauce del río, esto abonado a una alta tasa de crecimiento topográfico debido a efectos tectónicos y a la presencia de una zona de distensión tectónica a lo largo del cauce del río Uvita, han generado una cuenca de forma ovoide de dirección NE/SW (figura 44).

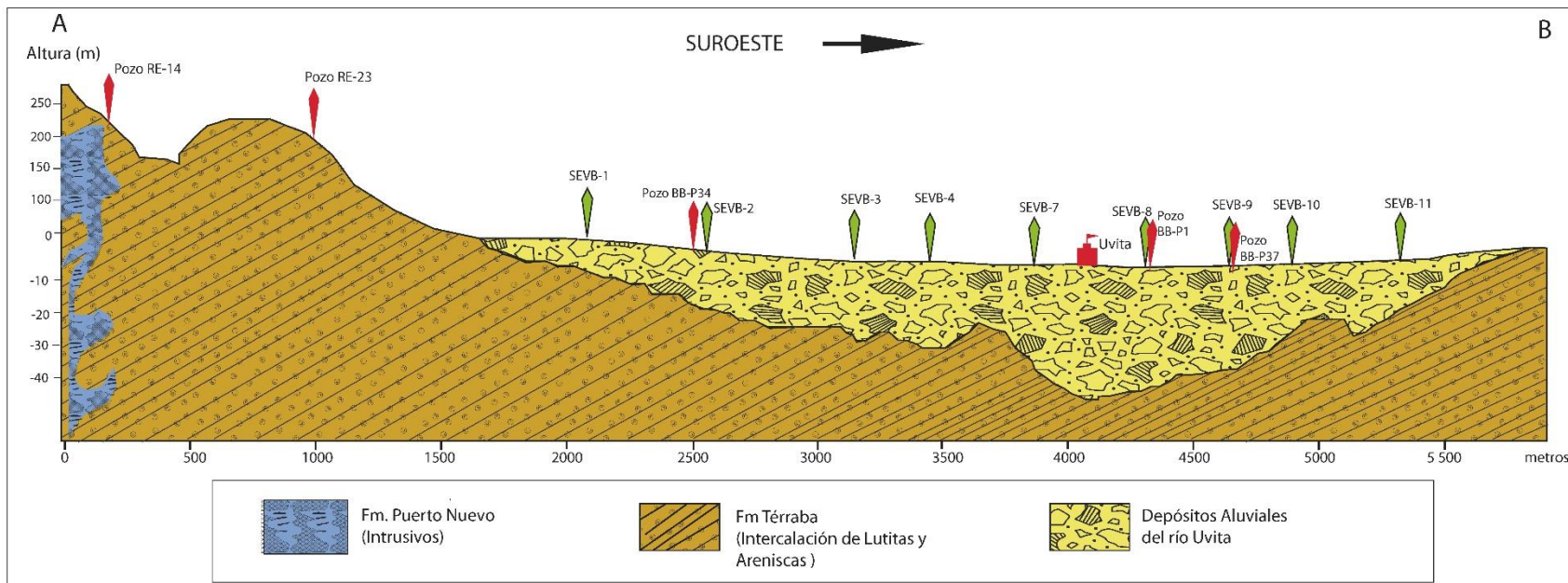


Figura 42: Perfil geoelectrico A-B realizado por medio de la interpretación se sondeos eléctricos verticales.

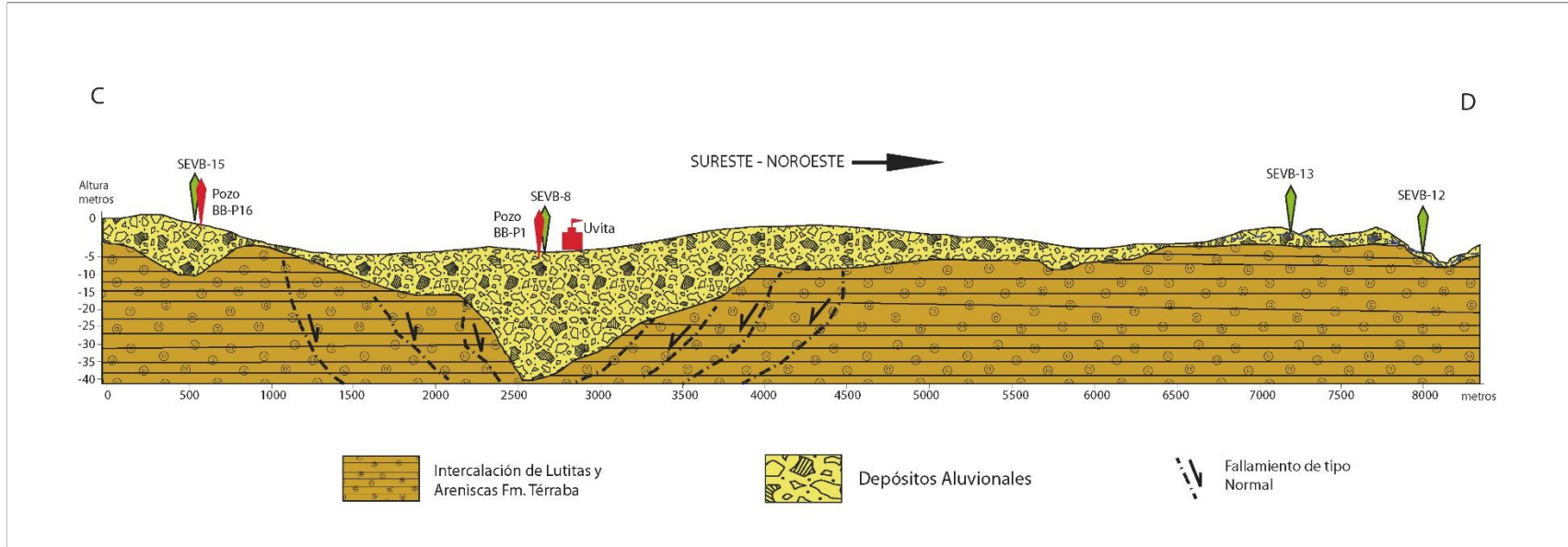


Figura 43: Perfil geoelectrico C-D realizado por medio de la interpretacion se sondeos electricos verticales.

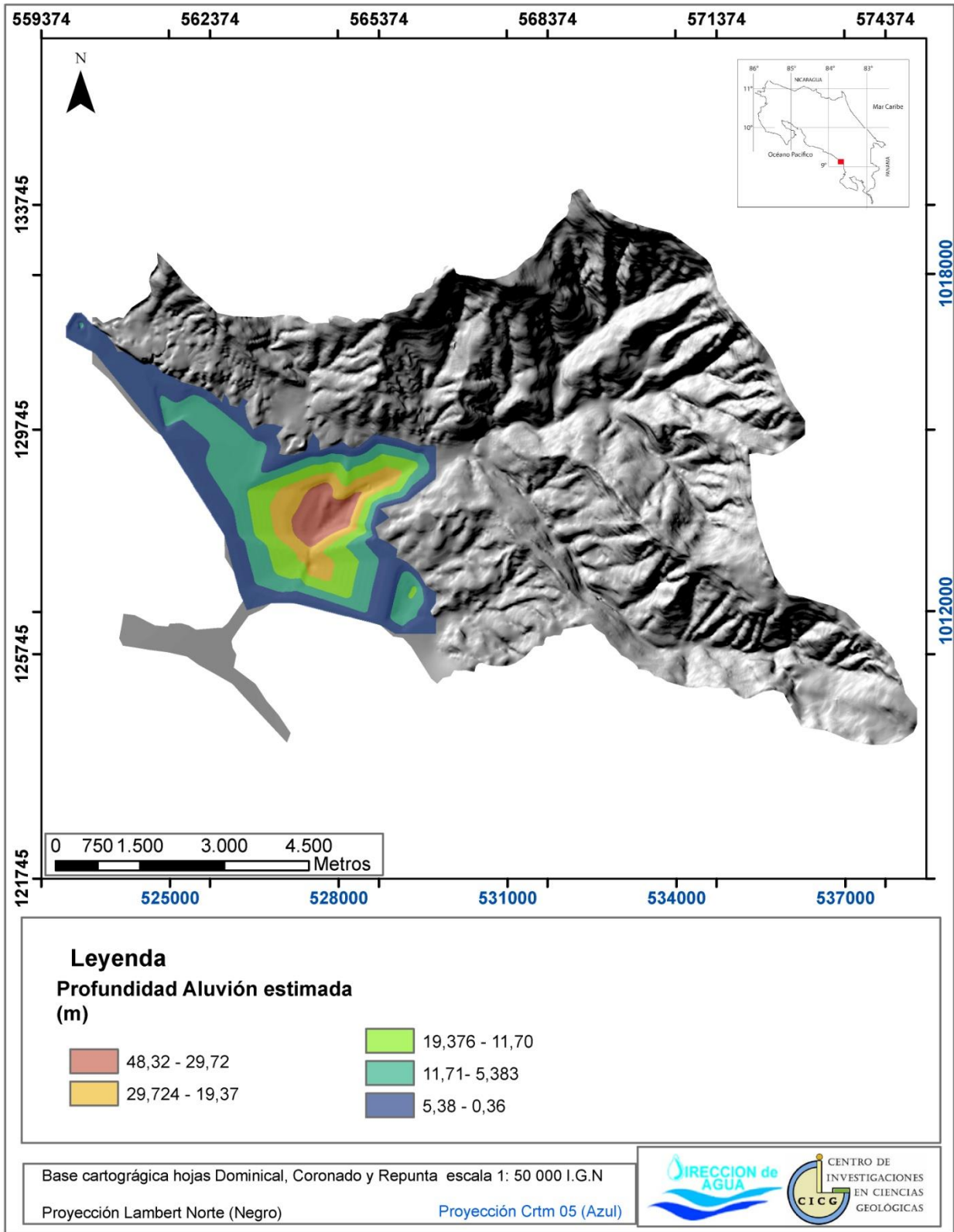


Figura 44: Mapa de espesores estimados de acuerdo a la interpretación SEV. FUENTE: Elaboración propia.

6 MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO

6.1 Introducción

En la zona no existen mapas hidrogeológicos o publicaciones que detallen la hidrogeología del área de estudio. La única información asociada consiste en los registros de pozos y nacientes del SENARA y de la Dirección de Aguas del MINAE.

A partir de la construcción de la carretera Costanera Sur, en el año de 1971, se realizaron 3 perforaciones en la zona del abanico aluvial, estas perforaciones carecen de ubicación exacta de localización en coordenadas, sin embargo Mora (1991), indica que se realizó una en la margen derecha de la quebrada playa hermosa (ubicada en Playa Hermosa) y las otras dos perforaciones se realizaron a ambos márgenes del río Uvita.

La perforación en Playa Hermosa es descrita por Mora (1991) de la siguiente manera: “se realizó una perforación en la que aparecieron de 0m a 1 m limos areno-gravosos. De 1m a 6 metros grava areno-limosa y de 6m a 10 m areniscas (roca), en donde el nivel freático se encontró a los 2 m de profundidad”.

Para las perforaciones ubicadas en los márgenes del río Uvita Mora (1991) indica: “a la margen izquierda, de 0m a 0,5 m, se presentan limos arenosos, de 0,5m a 2m grava limosa suelta, de 2m a 3,5 m arcillas arenosas de alta plasticidad, de 3,5 m a 14 m arena y grava”.

Al margen derecho, de 0 a 1,5 m, se presentan limos arcillosos, de 1,5 m a 4m arenas limosas, de 4 m a 12 m, arena limosa y de 12 m a 14 m limos areno-arcillosos compactos (Mora, 1991).

“El nivel freático apareció a 2,20 m en función de la posición del nivel del río”. Con base en esta información se puede deducir inicialmente que la Unidad Hidrogeológica de Bahía Ballena presenta un nivel freático de 2 metros de profundidad, presentando como litologías predominantes depósitos de origen cuaternario, los cuales consisten en capas alternadas de limos, arcillas y arenas.

6.2 Inventario Pozos Perforados

Se realizó un inventario de los pozos que están dentro o en las cercanías del área de estudio. La información con la ubicación de los pozos se tomó de la Base de datos del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) y del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (cuadro 5)

Cuadro 5: Pozos perforados.

Pozos dentro del Área	Pozos Alrededores del Área
DM-31	RE-13
RE-28	DM-141
RE-23	DM-63
RE-30	DM-89
RE-20	DM-100
RE-16	DM-101
RE-20	DM-77
RE-14	DM-76
COR-24	COR-3
COR-23	COR-4
COR-14	DM-136
COR-34	DM-133
COR-42	DM-120
COR-13	DM-89
BB-P1*	
BB-P2*	

**Pozos del AyA pertenecientes a la ASADA Uvita-Bahía (ver catálogo de pozos en forma digital en la contraportada de este informe)*

Es importante mencionar que todos los pozos presentes en la base de datos de SENARA se presentan fuera del sector aluvial y en propiedad privada e incluso en áreas de muy difícil acceso, lo cual imposibilitó la visita de cada uno de ellos. El detalle de la información de pozos como: caudal recomendado, caudal concesionado, caudal de prueba de bombeo, horas recomendadas, nivel de bombeo, profundidad y niveles estáticos y dinámicos se encuentran detallados (cuando existen) en el anexo de pozos, así mismo el expediente de la base de datos del SENARA se ha adjuntado en dicho anexo. Es imperativo aclarar a pesar de los intentos realizados no fue posible acceder a estos pozos en el campo, tanto por falta de permisos como por limitaciones de ubicación en coordenadas. Con la información se confeccionó el siguiente mapa con la ubicación de los pozos. Se proyectaron 30 pozos. De los cuales 16 se encuentran dentro del área de estudio, los restantes 14 se localizan en los alrededores del área, y ayudarán a tener un mejor entendimiento del flujo de agua subterránea (figura 45).

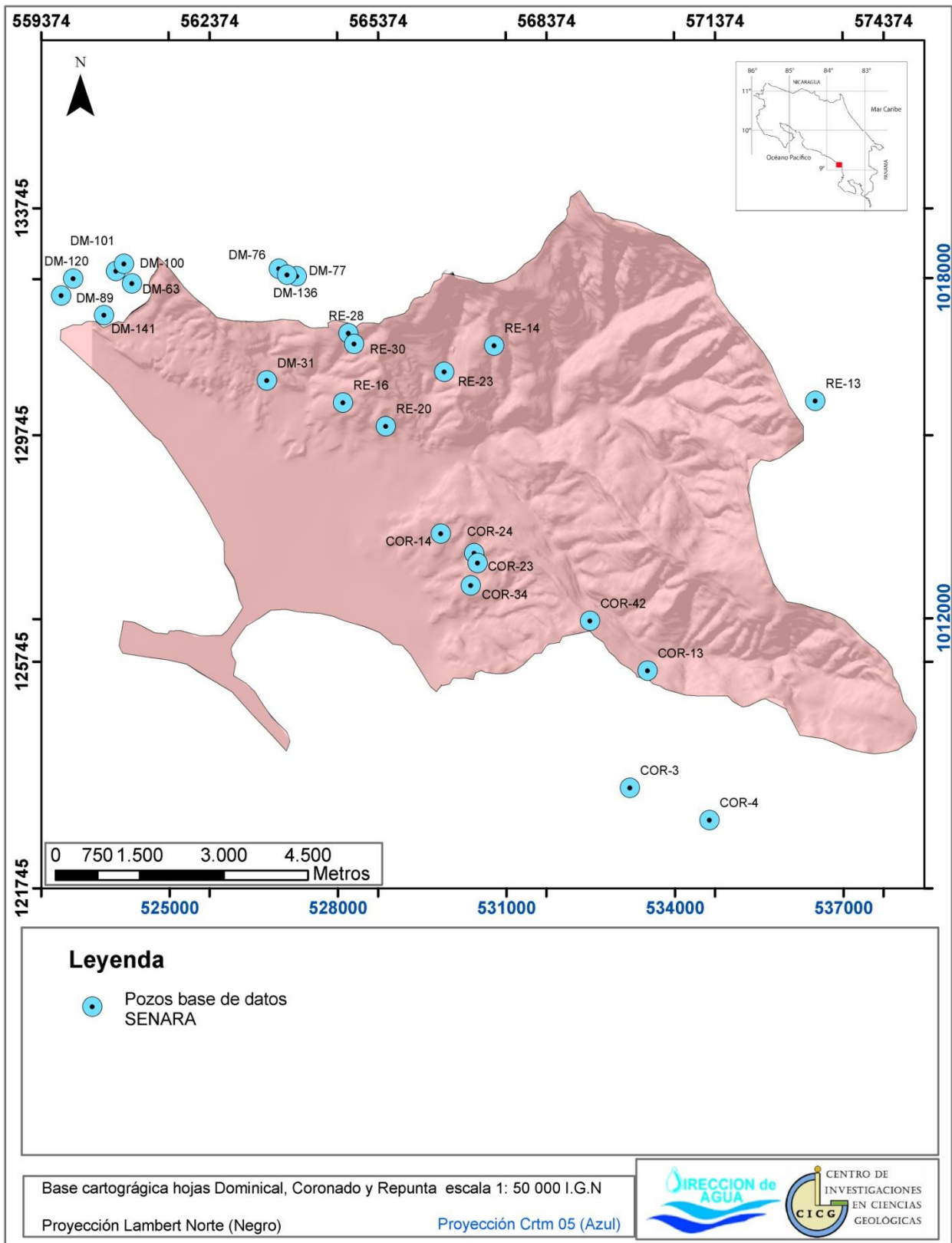


Figura 45: Mapa de elementos hidrogeológicos: pozos. Fuente: Elaboración Propia.

Es importante mencionar que salvo los pozos BB-P1 y BB-P2, (que se localizan en la zona aluvial) todos los restantes pozos perforados se localizan en la zona montañosa, perforando depósitos turbidíticos, además de acuerdo a la información litológica de los pozos RE-14, RE-28, RE-30, ubicados en el sector Norte del área de estudio, se encontraron rocas ígneas asociadas a la Formación Puerto Nuevo a una profundidad aproximada de 60 m.

6.2.3 Niveles de agua relacionados a Turbiditas

Los niveles de agua para el sector dominado por Turbiditas tienden a variar, pero se han identificado por lo menos tres niveles posiblemente interconectados entre sí y algunas veces separados por capas de rocas menos fracturadas, intrusivos o rocas alteradas a arcillas.

El primer nivel se ubicaría entre los 14 m y los 20 m, el segundo nivel se encuentra entre los 30 m a 70 m, mientras que el tercero se ubica a profundidades mayores de 80 m.

El primer nivel presentaría características semiconfinadas, mientras que los siguientes presentarían características confinadas, esto según la información aportada por los registros de los pozos.

Se elaboró un mapa de equipotenciales para cada uno de estos niveles (figuras 46, 47 y 48), en el cual se determinó que la dirección preferencial del flujo de agua subterránea es hacia el SW, lo que implica que el agua viaja de la zona montañosa a la zona costera. Este rumbo del flujo de agua concuerda con sistema de fallas con rumbo NE/SW, catalogadas en este estudio como de tipo normal producidas por esfuerzos tectónicos en el mismo sentido. Esto indica que el agua subterránea de los sectores compuestos por turbiditas viaja en sentido de las fracturas, y no en sentido de la dirección estratigráfica, esto posiblemente debido a que los planos de estratificación se encuentran muy compactados y en algunos casos fuertemente solidificados posiblemente con acción metamórfica, lo que disminuye de forma importante el paso del agua.

Los cuadros 6,7 y 8 indican la información de pozos más importante, utilizada para la definición de los niveles de agua.

Cuadro 6: Pozos que indican la presencia de un nivel de agua somero.

Código	Altura (msnm)	Nivel Agua(mbn s)	Altura Nivel de agua(msn m)	Litología	Longitud Lambert N	Latitud Lambert N
COR-3	80	14,00	66,00	Turbiditas	569 645	123 683
DM-141	20	10,00	10,00	Turbiditas	560 278	132 024
DM-63	240	20,00	220,00	Turbiditas	560 774	132 583
DM-76	220	17,00	203,00	Turbiditas	563 710	132 711
RE-13	1080	17,00	1063,00	Turbiditas	572 947	130 509

Cuadro 7: Pozos que indican la presencia de un nivel de agua medio.

Código	Altura (msnm)	Nivel Agua(mbns)	Altura Nivel de agua(msnm)	Litología	Longitud Lambert N	Latitud Lambert N
COR-13	440	70,00	370,00	Turbiditas	569 958	125 751
COR-14	80	30,00	50,00	Turbiditas	566 870	127 823
COR-23	100	35,00	65,00	Turbiditas	566 930	127 650
COR-24	140	50,00	90,00	Turbiditas	566 276	128 168
COR-3	80	34,00	46,00	Turbiditas	569 645	123 683
COR-34	140	36,00	104,00	Turbiditas	566 811	127 251
COR-4	160	45,00	115,00	Turbiditas	571 059	123 110
DM-31	100	52,00	48,00	Turbiditas	563 180	130 871
DM-63	240	50,00	190,00	Turbiditas	560 774	132 583
DM-76	220	30,00	190,00	Turbiditas	563 710	132 711
RE-13	1080	45,00	1035,00	Turbiditas	572 947	130 509
RE-14	500	55,00	445,00	Turbiditas/ Lavas Andesi.	567 227	131 487
RE-16	220	40,00	180,00	Turbiditas	564 534	130 480
RE-23	260	60,00	200,00	Turbiditas	566 338	131 022
RE-30	320	67,00	253,00	Turbiditas/ Gabroides	564 730	131 517
DM-77	280	33,00	247,00	Turbiditas	563 539	132 736

Cuadro 8: Pozos que indican la presencia de un nivel de agua profundo.

Código	Altura (msnm)	Nivel Agua (mbns)	Altura Nivel de agua(msnm)	Litología	Longitud Lambert N	Latitud Lambert N
COR-13	440	165,00	275,00	Turbiditas	569 958	125 751
COR-4	160	65,00	95,00	Turbiditas	571 059	123 110
COR-42	400	88,00	312,00	Turbiditas	568 935	126630
DM-100	300	95,00	205,00	Turbiditas	560 633	132 929
DM-101	260	110,00	150,00	Turbiditas	560 489	132 799
DM-120	120	135,00	-15,00	Turbiditas	559 729	132 669
DM-136	280	64,00	216,00	Turbiditas	563 393	132 844
DM-63	240	110,00	130,00	Turbiditas	560 774	132 583
DM-89	80	84,00	-4,00	Turbiditas	559 513	132 369
RE-13	1080	80,00	1000,00	Turbiditas	559 513	132 369
RE-20	180	70,00	110,00	Turbiditas	572 947	130 509
RE-30	320	100,00	220,00	Gabroides	565 296	130 066

Figura 46: Mapa de equipotenciales, en donde se muestra la tendencia de un flujo de agua superior. Nótese que las líneas equipotenciales se extienden más allá del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a lo de los niveles medio e inferior, es importante aclarar que el pozo COR-13 aparece tanto en los cuadros 7 y 8, porque a partir del armado y de su descripción se interpretó lo siguiente: A los 70 metros se perforó un nivel (medio), la perforación continuó y a los 165 m se encontró otro nivel confinado que varió la altura de la columna de agua dejándolo en 148m, pero si lo vemos sin perforar este nivel confinado se encuentra a los 165m en su estado natural. Una vez armado el pozo dejaron las rejillas continuas desde aproximadamente los 60 m hasta los 200m de profundidad.

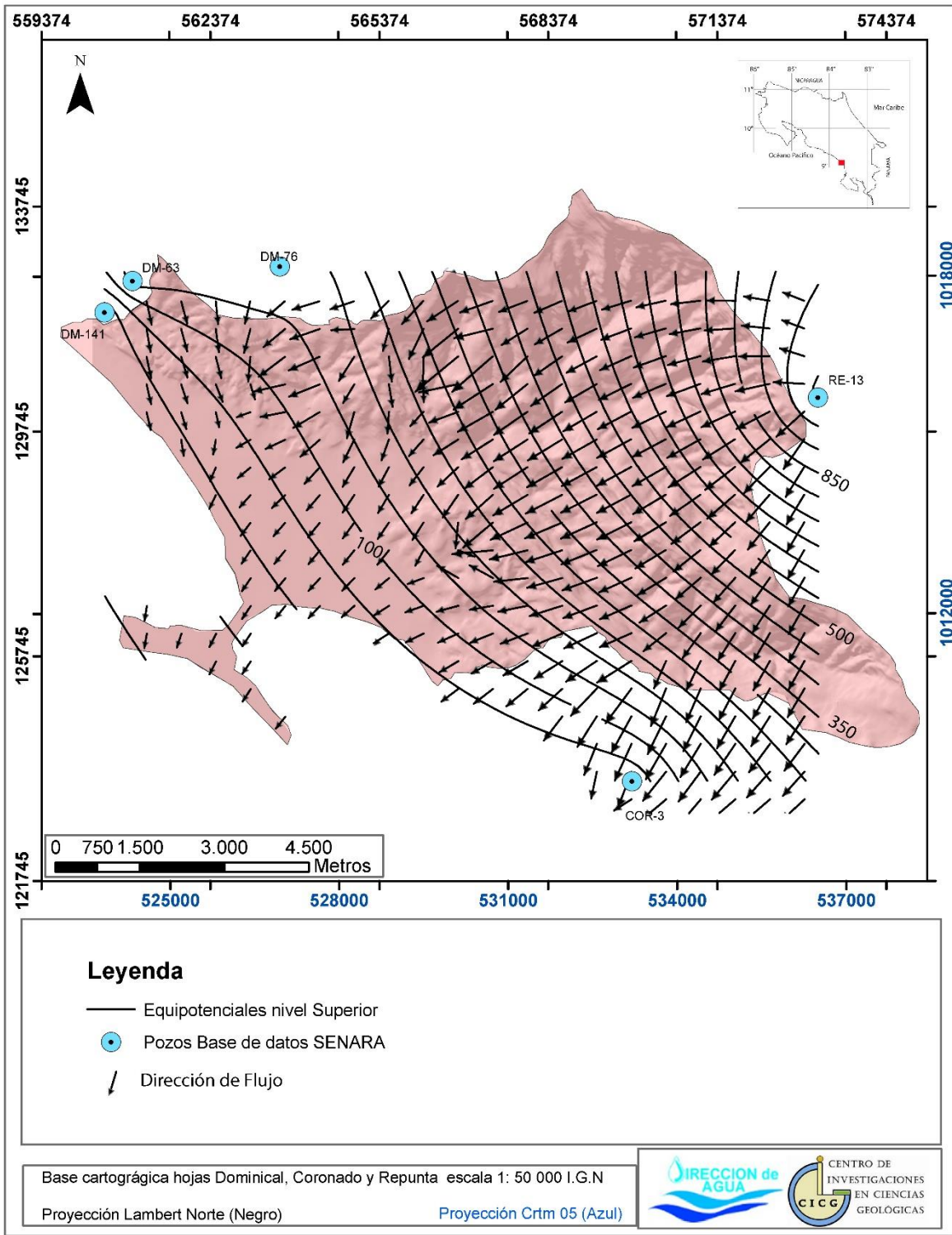


Figura 46: Mapa de equipotenciales, en donde se muestra la tendencia de un flujo de agua superior. Nótese que las líneas equipotenciales se extienden más allá del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

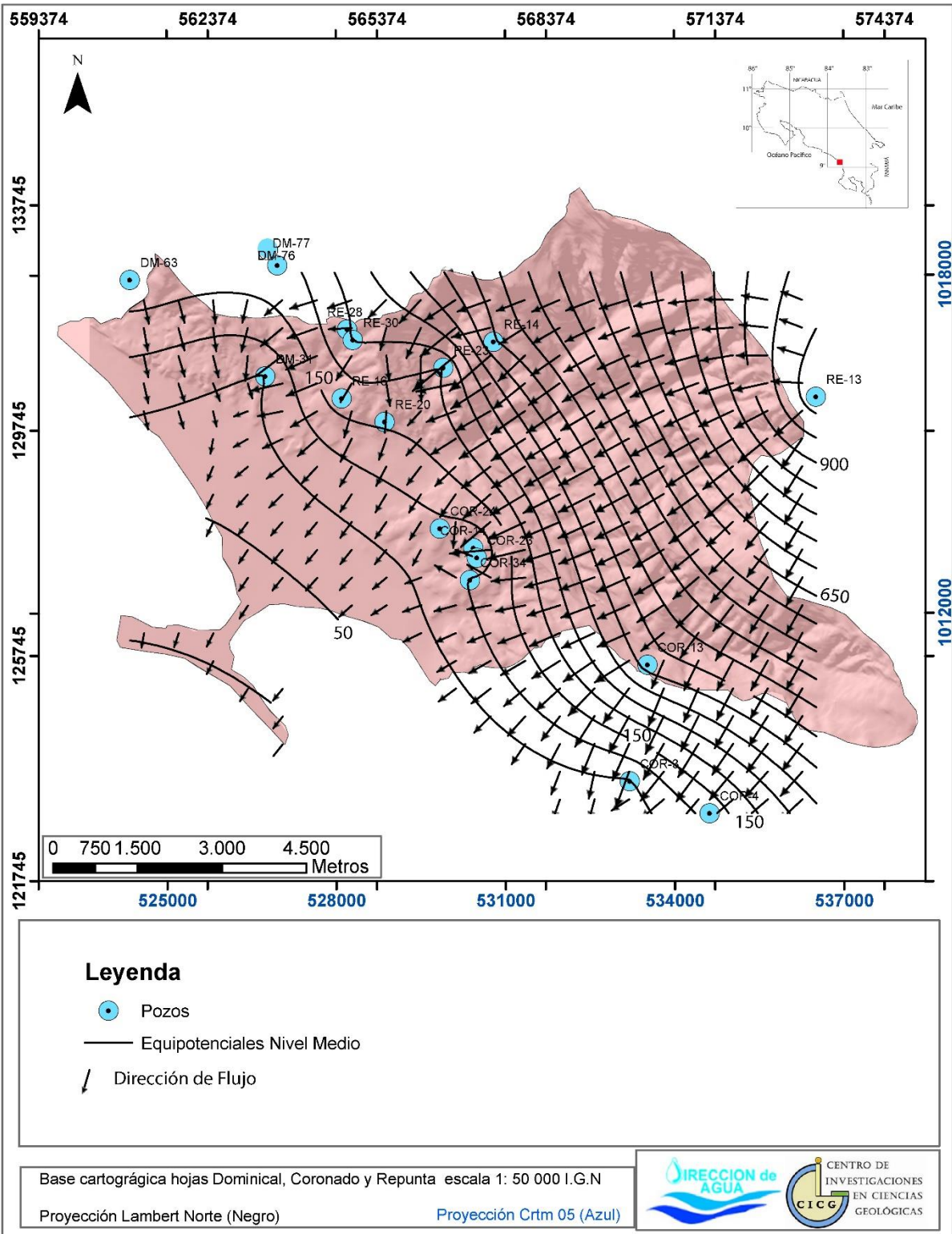


Figura 47: Mapa de equipotenciales, en donde se muestra la tendencia de un flujo de agua medio. Nótese que las líneas equipotenciales se extienden más allá del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

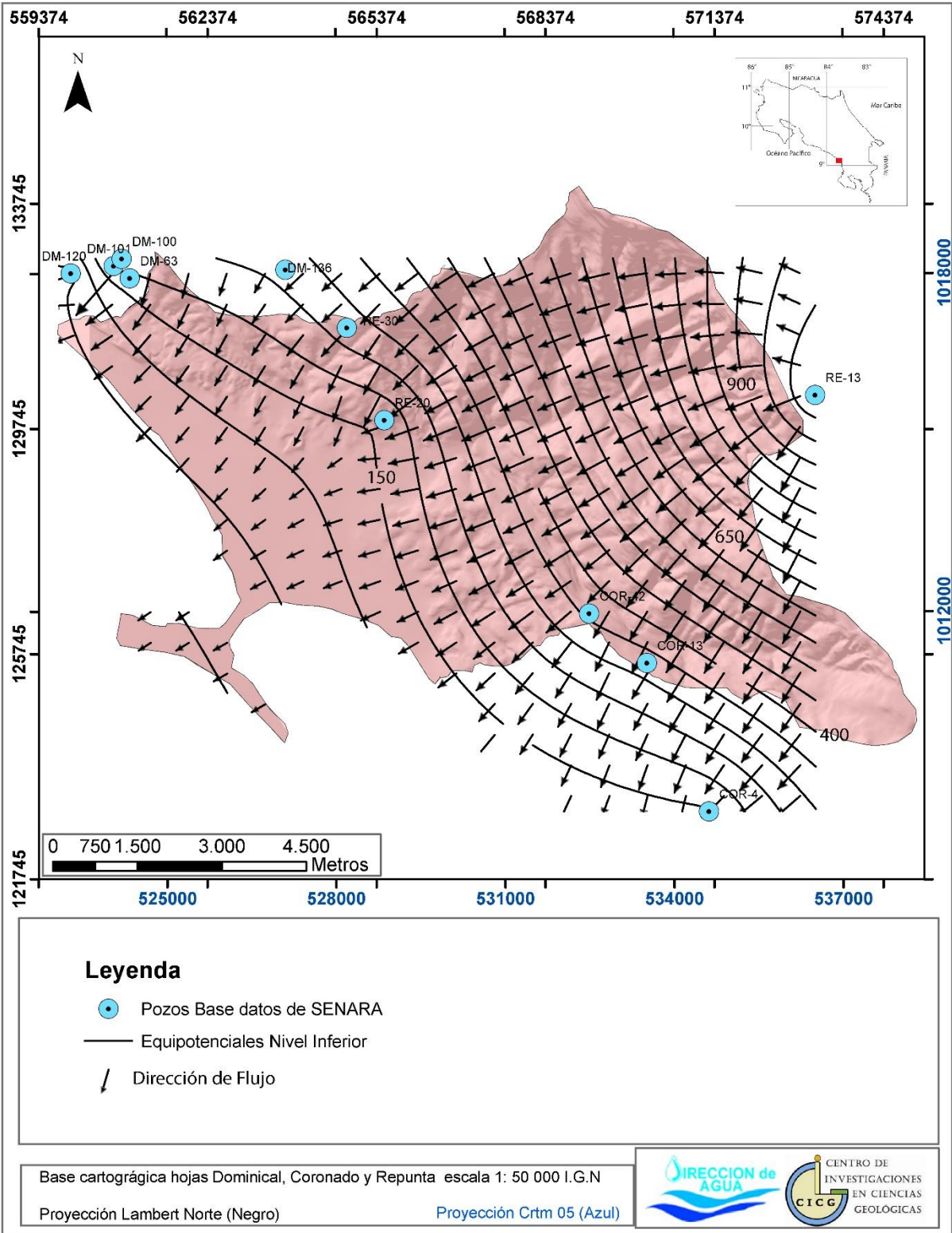


Figura 48: Mapa de equipotenciales, en donde se muestra la tendencia de un flujo de agua Inferior o profundo. Nótese que las líneas equipotenciales se extienden más allá del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

6.2.4 Niveles de agua relacionado al sector aluvial

Como se ha mencionado el sector aluvial del área de estudio carece de información de pozos proporcionada por el SENARA, sin embargo se logró obtener la información de dos pozos perforados (BB-P1 y BB-P2) por el AyA para la ASADA Bahía-Uvita, esta información resulta insuficiente para plantear un modelo. Como parte de los objetivos planteados en el proyecto y como forma de poder interpretar la dirección y velocidad de flujo del agua subterránea por los depósitos aluviales, se realizó una campaña de inventariado de pozos. Se mapearon un total de 46 pozos, de ellos cuatro fueron realizados por medio de máquinas perforadoras, mientras que el resto se realizaron de forma artesanal.

Con respecto a los pozos excavados, estos tienden a abundar alrededor del sector de Bahía, en el área sureste de la zona de estudio; conforme nos alejamos del centro de Uvita, hacia playa Hermosa y una vez cruzado el cauce actual del río Uvita, los pozos desaparecen. Esto debido a que el crecimiento urbano en esta zona es poco y reciente, abonado a esto la ASADA de Uvita/ Bahía proporciona de forma eficiente el agua, por lo que actualmente ya no es necesario la utilización del agua procedente de los pozos artesanales, por lo tanto; la mayoría de los pozos existentes no se encuentran funcionando y en aquellos casos en que si, su uso se limita a riego de jardines o turístico para uso de piscinas en hotel.

En la contraportada de este estudio, se anexa el catálogo de pozos inventariados. El cuadro 9 resume las características de los pozos mapeados. Y la figura 49 su distribución espacial.

Cuadro 9: Pozos mapeados en la zona aluvial.

Código de Pozo	Coordenadas Lambert Norte X	Coordenadas Lambert Norte Y	Elevación msnm	Profundidad del Nivel estático m	Propietario	Uso del Agua	Fuentes potenciales de Contaminación	Altitud del Agua msnm
BB-P1	564245	127851	37	4,49	Asada Uvita 11 l/s	Comunidad, alrededor de 800 pajas, solamente verano	Buen mantenimiento pero a menos de 100 m de otros pozos	32,51
BB-P2	564323	127904	35	4,5	Asada Uvita 11 l/s	Comunidad, los pozos se turnan. Solamente en verano	Buen mantenimiento. Pero a menos de 100 m de otro pozo	30,5
BB-P3	564107	126933	6	1,03	Caseta Parque Nacional.	Turístico	Antrópica	4,97
BB-P4	567423	126326	95	21,42		Domestico	Antrópica, falta infraestructura Capta turbiditas	73,58
BB-P5	564144	127041	15		CERRADO			15
BB-P6	565149	127444	25	3,45		Sin Uso	Antrópica, fácil acceso	21,55
BB-P7	564163	127066	7	1,1	Cabinas Pta. Uvita	Sin Uso	Drenaje	5,9
BB-P8	565507	127671	23	1,2	Domestico	Sin Uso	Caída de basura y lixiviados	21,8
BB-P9	564319	127225	18	1,15		Riego	Alcantarillas	16,85
BB-P10	565701	126383	6	2	Parque Nacional	Turístico	Infraestructura deficiente	4
BB-P11	564404	127276	9	1,15		Riego		7,85
BB-P12	565854	126341	8	2,1	Parque Nacional	Turístico	Infraestructura deficiente	5,9
BB-P13	564659	127399	21			Riego	Pozo Seco. Prof. 4m	
BB-P14	565770	126457	20	2		Sin Uso	Lixiviados, Basura, Arena	18
BB-P15	564753	127482	25	4,35				20,65
BB-P16	565741	126495	19	1,35		sin Uso	Pozo mal estado, Caída de Basura, Antrópica	17,65

BB-P17	564753	127482	25	4,35		Sin Uso	Expuesto caída materia orgánica	20,65
BB-P18	565796	126667	20	1,45	Finca María Luisa	Turístico	Caída de basura	18,55
BB-P19	565747	126655	20	1,76	Finca María Luisa	Turístico	Muy Expuesto	18,24
BB-P20	565739	126658	20	1,55	Finca María Luisa	Turístico	Muy Expuesto	18,45
BB-P21	565786	126692	20	1,55		Sin Uso?	Caída de Basura	18,45
BB-P22	565843	127000	23	2,97		Sin Uso	Caída de Basura	20,03
BB-P23	565917	126806	23	1,7	Hotel Halcón	Turístico		21,3
BB-P24	566065	126896	23	3,05		Sin Uso	Muy expuesto	19,95
BB-P25	565727	127320	21	2,2		Sin Uso	Malas condiciones Expuesto	18,8
BB-P26	565190	128941	37	6,2		Sin Uso	Expuesto	18,8
BB-P27	565224	129016	37	9,35		Sin Uso	Muy expuesto, basura encima	27,65
BB-P28	565264	129018	37	5,4		Sin uso		31,6
BB-P29	565334	128909	39	8,5		Sin Uso		30,5
BB-P30	565422	128986	42			Sin Uso	Colapsado a 1,5 m de profundidad	
BB-P31	565784	126480	10				Tapado, por salida de agua con herrumbre	
BB-P32	565727	126460					Visitar de Nuevo, No estaban los dueños	
BB-P33	564848	127288	20	2,9	Hotel Bahía Azul	Sin Uso	Muy Expuesto	17,1
BB-P34	565656	128779	40	6		Uso Agrícola	Fácil acceso	34
BB-P35	564192	127211	15	1,8		Sin Uso/Piscina	Fácil acceso	13,2
BB-P36	564148	127458	19	1,49		Sin uso	Contaminación de basura	17,51
BB-P37	564158	127493	17	1,62		Sin Uso	Animales muertos, peligro de caída personas	15,38
BB-P38	563987	127464	15	0,76		Riego	Puntual, agroquímicos	14,24

BB-P39	563990	127449	14	0,61	Zona Suamos	Sin uso	Descubierto, animales muertos	13,39
BB-P40	564235	127696	19	2,1		Sin Uso/Doméstico		16,9
BB-P41	564481	127768	23	3,88	Hotel Canto Ballena	Turístico/Piscina	Fácil acceso	19,12
BB-P42	564777	128056	21				Tapado	
BB-P43	565007	127378	14				No se tuvo acceso	
BB-P44	564255	127807	18	2,81	Hotel Canto Ballena	Sin Uso	Colapso de ramas-animales muertos, menos de 50 m pozo asada	15,19
BB-P45	564050	127858	17	1,8		Riego/Do místico	Fácil acceso, sin mantenimiento	15,2
BB-P46	563893	127760	16	0,97		Sin uso/Agrop ecuario	Puntual, Boñiga, sin mantenimiento	15,1

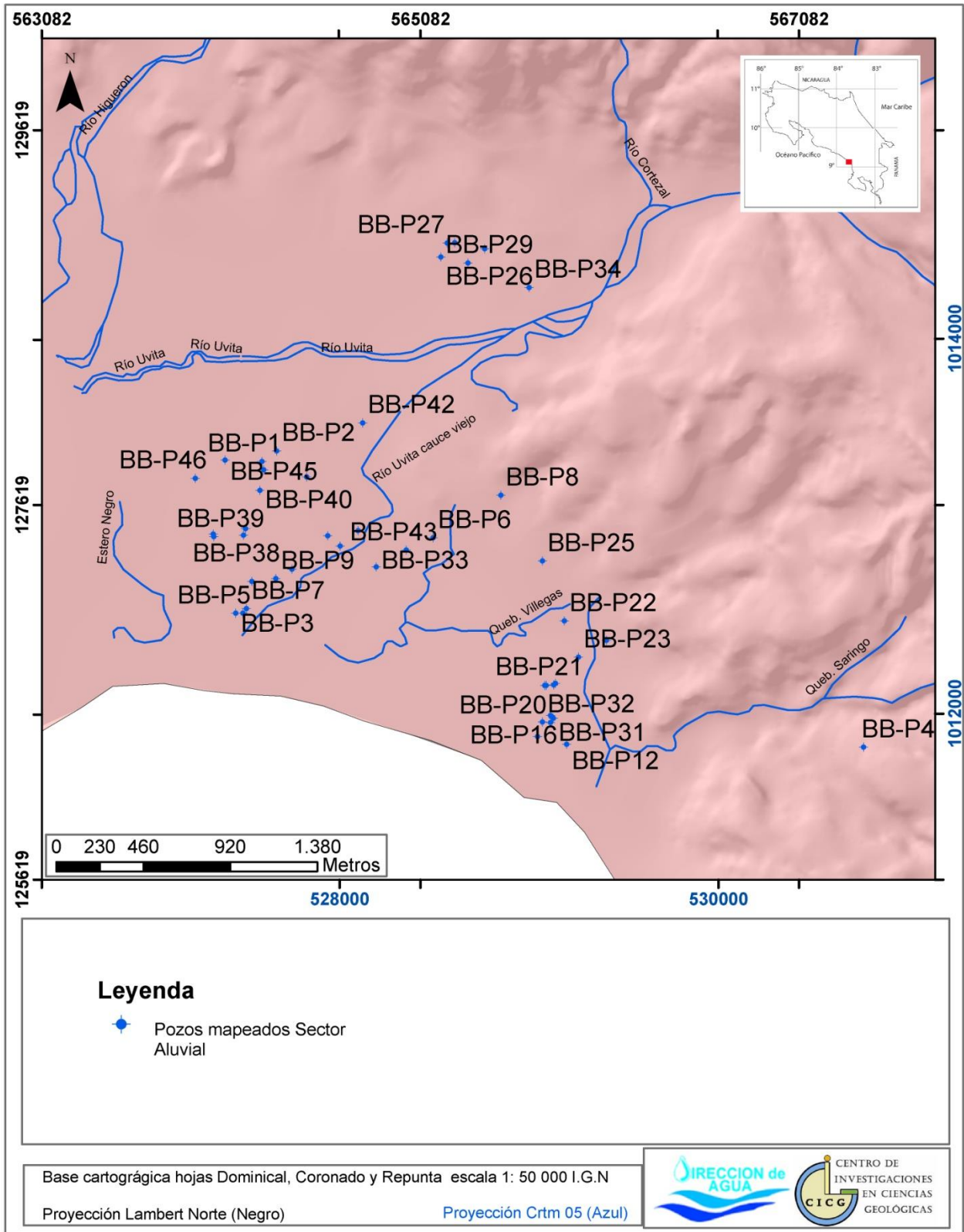


Figura 49: Distribución de los pozos mapeados en el sector aluvial, la mayoría de ellos son artesanales. Fuente: Elaboración propia.

Con base en la interpolación de las alturas de los niveles reportados se realizó un mapa de equipotenciales en donde se muestra como el flujo de agua viaja hacia el mar siguiendo un patrón similar al agua superficial, la presencia de líneas equipotenciales separadas unas de otras indica que no existen diferencias muy altas en la profundidad en la que se encuentra el agua, esto hace que esta viaje a una velocidad constante. Además junto a las equipotenciales se han señalado un par de sectores de la línea de costa donde se observa el afloramiento de agua cerca de las bermas de arena (figura 50). Estos afloramientos de agua están relacionados a agua proveniente de ríos y esteros, que se filtra por la arena de la playa y tiende a salir para descargar al mar.



Figura 50: Afloramiento de agua en la costa, muy cerca de un estero, ubicado en Playa Hermosa, la separación del estero a la costa es de unos 30 metros.

De acuerdo con la información obtenida se ha determinado que el sector aluvial del área de estudio presente un nivel localizado muy superficialmente, su máxima profundidad es de alrededor de 9 metros localizada en los sectores más cercanos a la zona montañosa, mientras que en los sectores costeros presenta profundidades menores a 1,5 metros (figura 51).

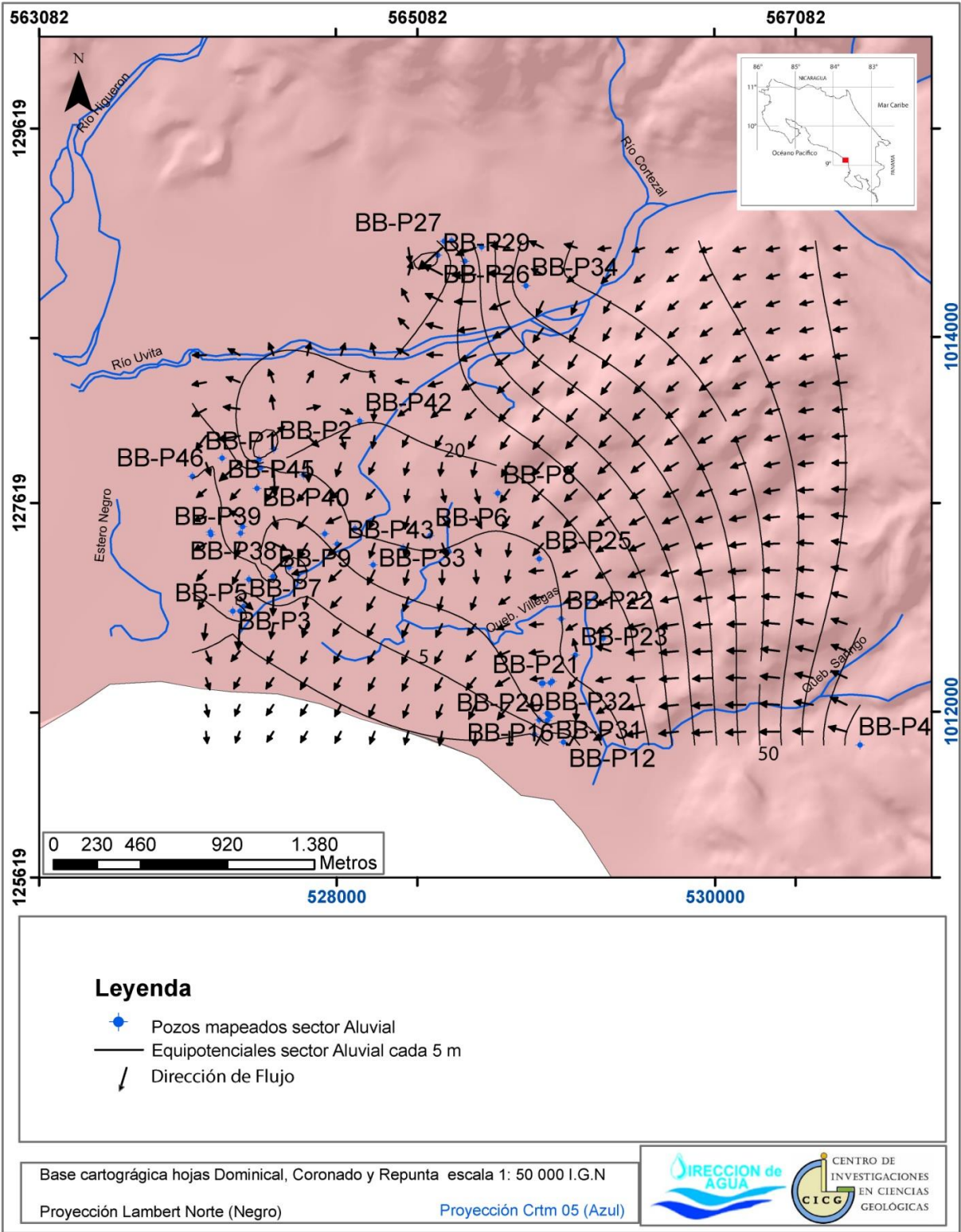


Figura 51: Mapa donde se muestra la dirección de flujo y altura del agua subterránea contenida en los depósitos aluviales, las equipotenciales se encuentran dispuestas cada 5 metros. Fuente: Elaboración propia.

6.2.5 Manantiales inventariados

Se mapearon 4 manantiales pertenecientes a la Asada de Uvita-Bahía. Las nacientes presentan un caudal total de 23 l/s (en época lluviosa), en la actualidad se utilizan solamente en la época lluviosa ya que en época seca la ASADA se abastece de agua proveniente de los pozos BB-P1 y BB-P2. El detalle y caracterización está en el anexo.

El agua de los manantiales se distribuye por medio de bombeo y gravedad y es almacenada en 1 tanque de 500 000 litros (figura 52), donde se clora por medio de pastilla, actualmente la ASADA agrupa un total de 877 abonados, aportando agua a prácticamente toda la población, hecho que ha generado que la utilización de pozos artesanales para consumo sea una práctica inusual en la zona.



Figura 52: Tanque de almacenamiento de agua de la asada Uvita-Bahía.

Los manantiales se encuentran en los cerros ubicados al Norte de poblado de Uvita cerca de un afluente del río Cortezal el cual a su vez forma parte de la cuenca del río Uvita. El cuadro 10 indica la ubicación de cada manantial, la cual se puede apreciar en la figura 53.

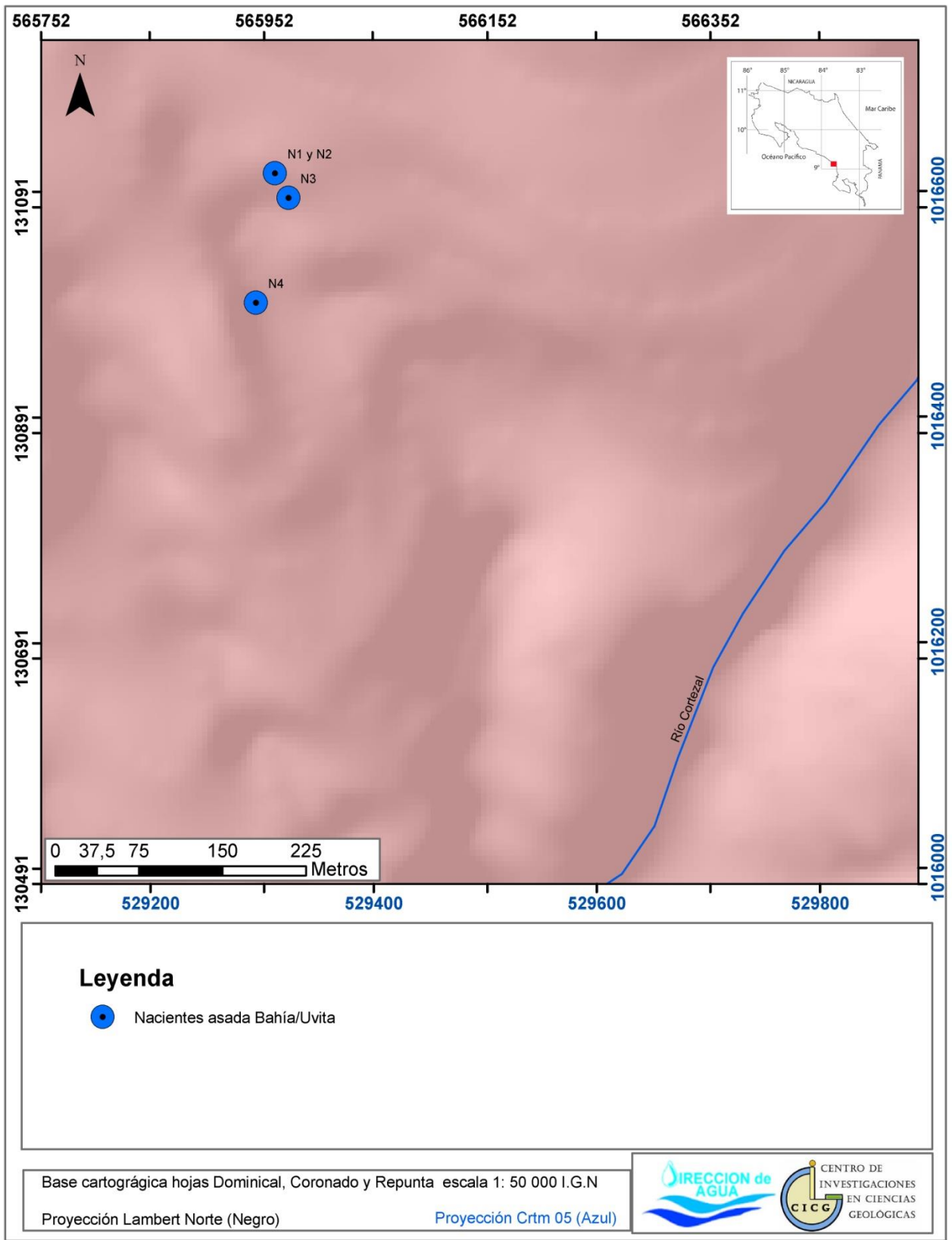


Figura 53: Ubicación de las nacientes captadas por la asada Uvita-Bahía.

Cuadro 10: Ubicación de los manantiales captados por la asada de Uvita-Bahía.

Nombre del Manantial	Coordenadas Lambert Norte X	Coordenadas Lambert Norte Y	Altitud msnm
N1 y N2	565962	131121	319
N3	565974	131099	311
N4	565945	131006	309

Las nacientes se encuentran ubicadas a poca distancia unas con otras, esto sugiere que todas se encuentran captando el mismo nivel de agua subterránea. Con respecto a la infraestructura de captación, se puede mencionar que está en buena condición, presentando tapas metálicas con candado, estructuras cementadas sin pintar pero sin fugas, y con desviaciones de aguas pluviales, además algunas presentan estructuras que funcionan como filtro de sedimentos para disminuir el contenido de suelo en el agua. Con respecto a la seguridad, los manantiales no se encuentran cercados y no poseen rótulos de advertencia ni de nombre de cada manantial (figuras 54, 55 y 56).



Figura 54: Manantial N1.



Figura 55: Manantial N3.



Figura 56: Manantial N4, presenta el mayor aporte de caudal.

Con respecto al uso del suelo a un radio de 100 metros alrededor de las nacientes, este consta de un bosque secundario y primario, que no muestra evidencias de deforestación. En lo que respecta a la geología, el sector se encuentra cubierto por una serie de depósitos coluviales, compuesto por bloques de tamaños métricos a decimétricos de génesis ígnea y algunos bloques de origen sedimentario dispuestos en menor proporción. Los bloques se encuentran envueltos en una matriz de suelo tipo arcillo-limoso de coloración café claro, presentándose una relación bloques-matriz de aproximadamente 50%. Y de un espesor mínimo de 2 metros (figura 57).



Figura 57: Se muestra la litología aflorante y el uso de suelo presente, en los alrededores de los manantiales de la asada Uvita-Ballena.

6.2.6 Concesiones Ubicadas dentro del área de estudio

A partir de la información de la base de datos de la Dirección de Aguas del MINAE, se localizaron 45 concesiones de agua (esto sin contar las nacientes y pozos de la ASADAS Bahía-Uvita) dentro del área de estudio. El cuadro 11 muestra la información más destacada de cada una de estas concesiones. De las 45 concesiones encontradas, 36 pertenecen a nacientes que se caracterizan por su escaso caudal siendo este en su mayoría menor a 1 l/s. Además se presentan 4 pozos artesanales, un pozo perforado (COR-40), 3 captaciones en quebradas sin nombre y una concesión otorgada en el río Pejibaye.

La ubicación espacial de las concesiones encontradas se puede apreciar en la figura 58.

Cuadro 11: Listado de las concesiones de agua presentes dentro del área de estudio. Fuente: Dirección de Aguas.

Código para el proyecto	Concesión	Caudal (l/s)	Coordenadas Lambert Norte X	Coordenadas Lambert Norte Y	Número Expediente Dirección de Aguas
1	Río Pejibaye	16	574071	126016	395R
2	Naciente	0,99	566212	130982	586R
3	Naciente	5,99	566002	131108	586R
4	Naciente	2	566015	131008	586R
5	Naciente	4,5	565997	131117	586R
6	Naciente	0,24	566669	129814	586R
7	Naciente	0,12	567040	131090	586R
8	Naciente Carmen 2	Sin dato	572165	130487	602R
9	Naciente Carmen 1	Sin dato	572515	130688	602R
10	Platanares 1	Sin dato	572886	130181	602R
11	Platanares 2	Sin dato	572631	130485	602R
12	Platanares 3	Sin dato	572570	130595	602R
13	Naciente	Sin dato	561743	131942	602R
14	Naciente	Sin dato	568772	126679	11302A
15	Pozo Artesanal	0,94	565789	126627	11433P

16	Naciente	Sin dato	561440	131890	11702A
17	Naciente	0,03	568908	126620	11853A
18	Naciente	0,07	561534	131885	11870A
19	Naciente	0,7	567282	126046	11886A
20	Naciente	0,19	568100	130925	12222A
21	Naciente	0,19	567960	130435	12222A
22	Naciente	Sin dato	566460	129440	12270A
23	Naciente	0,02	567145	129817	12833A
24	Naciente	0,02	567155	129847	12833A
25	Naciente	0,02	567255	128441	12973A
26	Naciente	Sin dato	565538	130198	13024A
27	Naciente	0,02	565539	130190	13039A
28	Naciente	0,02	565542	128190	13041A
29	Naciente	0,02	565481	129673	13060A
30	Naciente	0,06	565578	129609	13062A
31	Naciente	0,05	568891	126180	13159A
32	Naciente	Sin dato	566224	129890	13172A
33	Quebrada	0,05	567363	129671	13405A
34	Quebrada	Sin dato	567363	129671	13452A
35	Quebrada	0,1	566038	127043	13456A
36	Naciente	0,17	568830	126217	14184A
37	Naciente	0,07	568426	126923	14184A
38	Naciente	0,12	567765	125478	14184A
39	Pozo Artesanal	0,03	565960	126810	14187P
40	Pozo Artesanal	0,02	565910	126756	14188P
41	Pozo Artesanal	0,03	565914	126798	14189P
42	Pozo COR 40	0,1	567801	126189	15165P
43	Naciente	Sin dato	562438	131571	15949A

44	Naciente	Sin dato	562502	131556	16146A
45	Naciente	Sin dato	567078	128917	16378A
46	Naciente	Sin dato	572572	131614	16382A

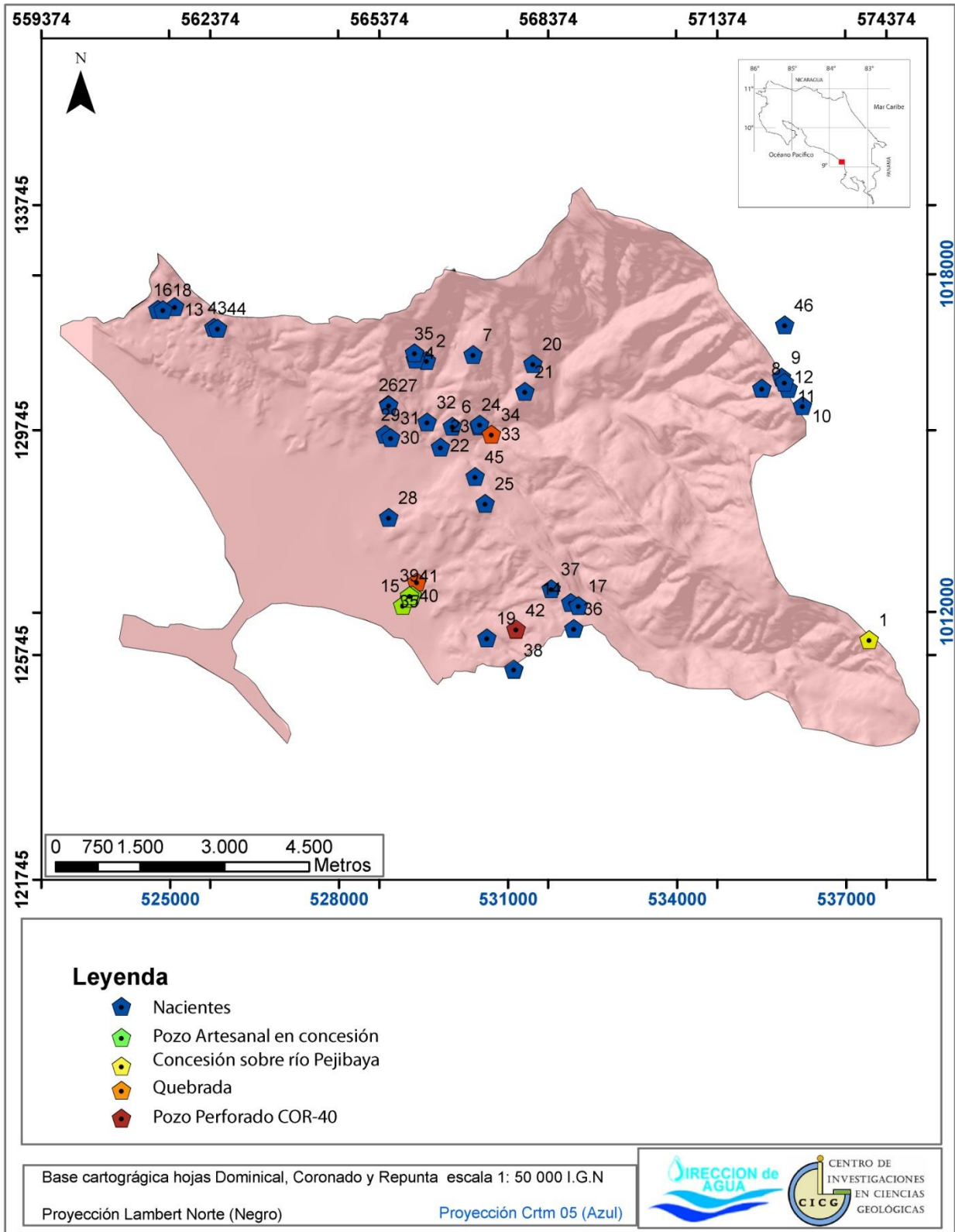


Figura 58: Mapa de ubicación de las concesiones de agua, presentes en la base de datos de la dirección de aguas. Fuente: Elaboración propia.

6.3 Unidades Hidrogeológicas Locales

La determinación de las unidades hidrogeológicas locales se basó en la información proveniente del estudio geofísico realizado, de la interpretación de la geología local con la litología de 30 pozos perteneciente a la base de datos del SENARA y el listado de pozos mapeados en el presente proyecto. La información obtenida se ha correlacionado con la información litológica y estructural realizada previamente, con lo cual se estableció el modelo hidrogeológico, una vez establecido se crearon dos perfiles hidrogeológicos (A-B y C-D), con el fin de expresar el modelado realizado.

Se ha establecido la presencia de dos unidades hidrogeológicas utilizando los criterios de la ASTM (2004). La Unidad Hidrogeológica Ballena y la Unidad Hidrogeológica Uvita, las cuales se diferencian principalmente en su génesis litológica y características hidráulicas. La Unidad Hidrogeológica Ballena, está constituida por una alternancia de areniscas y lutitas relacionadas como depósitos turbidíticos afectados en ciertos momentos por los intrusivos de la formación Puerto Nuevo. Mientras que la Unidad Hidrogeológica Uvita, estará constituida por depósitos aluviales principalmente aportados por el río Uvita.

En el caso de la Unidad Hidrogeológica Ballena, estará constituida de por lo menos 3 niveles de agua, uno superior ubicado entre los 14m y 20m, uno intermedio ubicado entre los 30m y 70 m y un nivel profundo ubicado a profundidades mayores a los 80 m. La dirección del flujo de estos niveles de agua indica una dirección preferencial hacia el SW, siguiendo fracturas y fallas producidas por un fenómeno tectónico de distensión.

La unidad Hidrogeológica Uvita, está conformada por un nivel de agua superficial ubicado a los 8m, disminuyendo hasta menos de 1m de profundidad conforme el agua se acerca al sector costero. La dirección preferencial del agua en esta unidad está condicionada al flujo de agua superficial, siguiendo el mismo patrón que el del río Uvita, con dirección SW hacia la costa.

Se estima que existe una transición de agua entre los niveles de la Unidad Hidrogeológica Ballena y la Unidad Hidrogeológica Uvita en donde la primera estaría aportando parte de su caudal a la segunda por medio de una recarga lateral.

La relación estratigráfica entre ambas unidades, indica que la Unidad Hidrogeológica Ballena, se presenta descubierta en la zona montañosa, mientras que el sector plano se encuentra cubierta y sobreyacida por la Unidad Hidrogeológica Uvita.

El cuadro 12 resume las principales características de las ambas unidades hidrogeológicas definidas, cuya delimitación se aprecia en la figura 59.

Cuadro 12: Modelo conceptual hidrogeológico de la zona de estudio.

Características	Unidad Hidrogeológica Ballena			Unidad Hidrogeológica Uvita
	Nivel Superior	Nivel medio	Nivel Inferior	
Litología predominante	Turbiditas meteorizadas	Turbiditas y en algunos casos intrusivos	Turbiditas y en algunos casos intrusivos	Depósitos Aluviales
Espesor promedio (m)	10 m	30-40 m	Mayor a 30 m	20 m
Profundidad del agua (mbns)	14-20 m	30m - 70m	Mayor a 80 m	8 m -1 m
Grado de confinamiento hidráulico	Semiconfinado	Confinado-semiconfinado	Confinado	Libre
Gradiente Hidráulico	0,13 – 0,06	0,14-0,05	0,12-0,047	0,013
Caudal promedio l/s	1,24	1,79	2,3	11 (De acuerdo pozos ASADA)
Transmisibilidad promedio m ² /d	1	190, coefic.Alm.0,6	62,67	-
Unidad estratigráfica	Fm. Térraba	Fm. Térraba/Fm Puerto Nuevo	Fm. Térraba/Fm Puerto Nuevo	Depósitos Cuaternarios
Edad	Oligoceno a Mioceno Inferior	Oligoceno a Mioceno Inferior (intrusivos Mioceno Medio)	Oligoceno a Mioceno Inferior (intrusivos Mioceno Medio)	Cuaternario

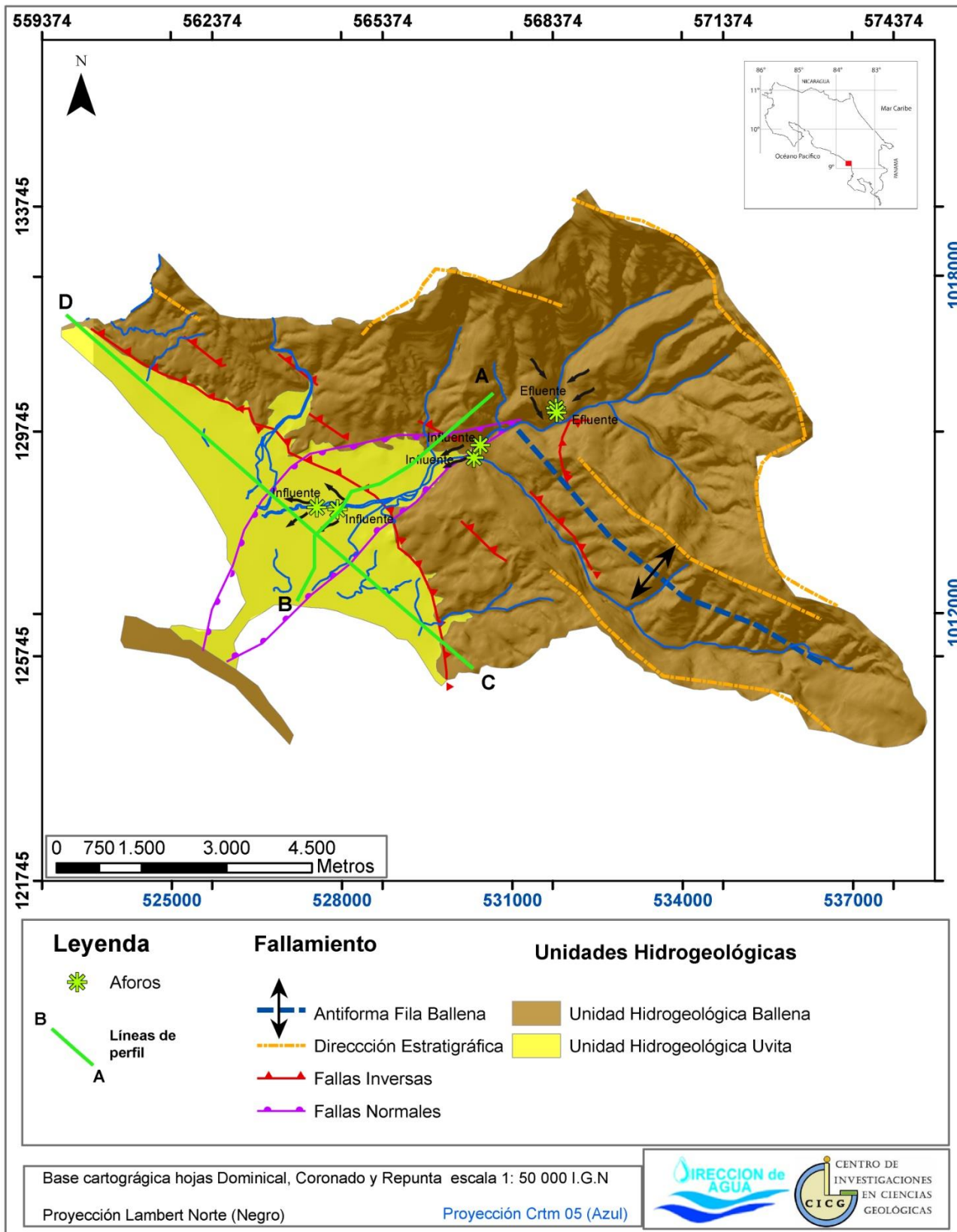


Figura 59: Mapa Hidrogeológico del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

6.3.3.1 Unidad Hidrogeológica Ballena

La determinación de los niveles y el nivel de confinamiento de los niveles se basó en la interpretación de la información proveniente de los expedientes de la base de datos de SENARA, para la diferenciación de los niveles se realizó una interpretación con base en la ubicación de las rejillas de los pozos a profundidad, variaciones en el nivel de agua reportado y en las descripciones de las condiciones hidrogeológicas mencionadas por los geólogos y empresas perforadoras que realizaron los pozos en la zona.

6.3.3.1.1 Nivel somero

El nivel superior de la unidad Hidrogeológica Ballena, se ha definido por medio de la información aportada por los pozos COR-3, DM-141, DM-63, DM-76 y RE-13. El cuadro 13 muestra las principales características obtenidas a partir de la información de pozos.

Cuadro 13: Resumen de los pozos que describen el nivel somero.

Código	Nivel Agua msnm	Trans m^2/d	Caudal l/s	Grado de Confinamiento	Longitud Lamber N	Latitud Lamber N
COR-3	14,00	0,00	2,00	Semiconfinado	569 645	123 683
DM-141	10,00	182,00	1,00	Hay confinamiento capa arcilla de alta, Plasticidad	560 278	132 024
DM-63	20,00	0,00	0,00	Confinado	560 774	132 583
DM-76	17,00	0,00	0,00	Semiconfinado	563 710	132 711
RE-13	17,00	1,00	0,74	Semiconfinado	572 947	130 509

Se localizaría en todo el sector montañoso del área de estudio. Está conformado por intercalaciones de lutitas y areniscas, de la formación Térraba, se ha estimado que su nivel se encuentra entre los 17 m y 24 m, con un espesor de alrededor de 10m.

Se considera que es un nivel con un grado de confinamiento de tipo semiconfinado, pero no se descarta que existan sectores tanto libres como confinados. Su caudal promedio es de 1,24 l/s de acuerdo la información de pozos. Este nivel es poco captado por la mayoría de los pozos perforados lo que puede indicar que presenta una baja producción, se ha estimado su transmisibilidad en $1 m^2/d$ basándose en el pozo RE-13, la transmisibilidad del pozo DM-141 se ha interpretado que pertenece a niveles inferiores.

Su gradiente hidráulico varía de 0,13 a 0,06 conforme se acerca a la costa, y presenta una dirección hacia el SW, siguiendo el fracturamiento local.

6.3.3.1.2 Nivel Medio

El nivel medio de la Unidad Hidrogeológica Ballena, se ha definido por medio de la información aportada por los pozos COR-13, COR-14 ,COR-23 ,COR-24,COR-3,COR-34,COR-4,DM-31,DM-63,DM-76,RE-13,RE-14,RE-16,,RE-23,RE-30 y DM-77. El cuadro 14 muestra las principales características obtenidas a partir de la información de pozos.

Cuadro 14: Resumen de los pozos que describen el nivel medio.

Código	Nivel Agua	Trans. m²/d	Caudal l/s	Grado de Confinamiento	Longitud Lamber N	Latitud Lamber N
COR-13	70,00	0,00	2,00	Confinado	569 958	125 751
COR-14	30,00	3,00	2,05	Confinado	566 870	127 823
COR-23	35,00	1111,00	0,00	Confinado	566 930	127 650
COR-24	50,00	6,00	1,00	Libre	566 276	128 168
COR-3	34,00	0,00	2,00	Semiconfinado	569 645	123 683
COR-34	36,00	25,00	2,04		566 811	127 251
COR-4	45,00	0,00	1,00	Confinado	571 059	123 110
DM-31	52,00	0,00	0,30	Libre	563 180	130 871
DM-63	50,00	0,00	0,00	Confinado	560 774	132 583
DM-76	30,00	0,00	0,00	Semiconfinado	563 710	132 711
RE-13	45,00	1,00	0,74	Semiconfinado	572 947	130 509
RE-14	55,00	10,00	0,00	Semiconfinado	567 227	131 487
RE-16	40,00	177,00	5,00	Semiconfinado	564 534	130 480
RE-23	60,00	0,00	0,00		566 338	131 022
RE-30	67,00	0,00	0,00		564 730	131 517
DM-77	33,00	0,00	0,00		563 539	132 736

Se localizaría en todo el sector montañoso del área de estudio. Está conformado por intercalaciones de lutitas y areniscas, de la formación Térraba y en algunos casos por rocas pertenecientes al intrusivo de la formación Puerto Nuevo. Se ha estimado que su nivel se encuentra entre los 30 m y 70 m, con un espesor de entre 30 m y 40 m.

Se considera que es un nivel con un grado de confinamiento de tipo confinado, pero en algunos pozos se reporta de tipo semiconfinado hasta libre. Se caudal promedio es de 1,74 l/s de acuerdo la información de pozos. Este nivel es el que la mayoría de los pozos perforados tratan de captar, ya que puede presentar caudales de hasta 5 l/s.

Se ha estimado su transmisibilidad promedio en 190 m²/d, pero ésta puede llegar hasta los 1111 m²/d con un coeficiente de almacenamiento de 0,6.

Su gradiente hidráulico varía de 0,14 a 0,05 conforme se acerca a la costa, y presenta una dirección hacia el SW, siguiendo el fracturamiento local, estando limitado por capas arcillosas y rocas menos fracturadas. Este nivel se encuentra subyaciendo al nivel superior y suprayaciendo al nivel inferior

6.3.3.1.3 Nivel Inferior

El nivel inferior de la Unidad Hidrogeológica Ballena, se ha definido por medio de la información aportada por los pozos COR-13,COR-4,COR-42,DM-100,DM-101,DM-120,DM-136,DM-63,DM-89,DM-89,RE-13,RE-20 y RE-30. El cuadro 15, muestra las principales características obtenidas a partir de la información de pozos.

Cuadro 15: Resumen de los pozos que describen el nivel Inferior.

Código	Nivel Agua. msnm	Trans_ m²/d	Caudal l/s	Grado de Confinamiento	Longitud Lamber N	Latitud Lamber N
COR-13	165,00	0,00	2,00	Confinado	569 958	125 751
COR-4	65,00	0,00	1,00	Confinado	571 059	123 110
COR-42	88,00	10,35	1,96	Confinado	568 935	126630
DM-100	95,00	0,00	3,00		560 633	132 929
DM-101	110,00	57,00	2,15	Confinado	560 489	132 799
DM-120	135,00	0,00	2,00	Confinado	559 729	132 669
DM-136	64,00	242,00	8,34	Confinado	563 393	132 844
DM-63	110,00	0,00	0,00	Confinado	560 774	132 583
DM-89	84,00	2,00	1,00	Confinado	559 513	132 369
DM-89	84,00	2,00	1,00	Confinado	559 513	132 369
RE-13	80,00		0,74	Semiconfinado	572 947	130 509
RE-20	70,00	0,00	3,00	Confinado	565 296	130 066
RE-30	100,00	0,00	0,00	Confinado, aporte viene intrusivos	564 730	131 517

Se localizaría en todo el sector montañoso del área de estudio. Está conformado por intercalaciones de lutitas y areniscas, de la formación Térraba y en algunos casos puede presentar rocas de tipo intrusivo de la formación Puerto Nuevo. Se ha estimado que su nivel se encuentra a partir de los 80 m de profundidad pero es posible que se extienda hasta los 200 m de profundidad, presenta espesor mínimo de entre 30 m y 40 m.

Se considera que es un nivel con un grado de confinamiento de tipo confinado. Su caudal promedio es de 2,3 l/s de acuerdo la información de pozos, su caudal máximo reportado

es de 8,34 l/s. Se ha estimado su transmisibilidad promedio en 62 m²/d, pero ésta puede llegar hasta los 242 m²/d.

Su gradiente hidráulico varía de 0,12 a 0,047 conforme se acerca a la costa, y presenta una dirección hacia el SW, siguiendo el fracturamiento local y estando limitado por rocas menos fracturadas e intrusivos impermeables. Este nivel se encuentra subyaciendo al nivel medio.

6.3.3.2 Unidad Hidrogeológica Uvita

Se localiza a lo largo del sector plano del área de estudio, por lo que sobreyace y se encuentra en contacto lateral con la Unidad Hidrogeológica Ballena. Esta unidad se ha definido con base en la información de los pozos excavados artesanalmente, los pozos de la ASADA Bahía-Uvita, y con base en los resultados del estudio geofísico realizado.

Su litología predominante está conformada por bloques redondeados, gravas, arenas y arcillas relativamente impermeables, la composición de los clastos varía desde rocas sedimentarias, intrusivos y lutitas metamorfizadas a cornubianitas.

Presenta un nivel muy superficial el cual se encuentra entre 8 m y 1 m de profundidad. De acuerdo a lo observado su grado de confinamiento es libre, y con base en el estudio geofísico realizado se ha estimado que su espesor varía desde los 5m en los sectores de playa Hermosa y playa Colonial hasta los 34 m en los sectores cercanos al poblado de Uvita, generando una forma cóncava con la parte más profunda en su centro.

Con base en la información de los pozos de la ASADA se ha determinado que es posible obtener un caudal de 11 l/s en época seca. No existe hasta el momento información que ayuda a calcular su transmisibilidad.

Su gradiente hidráulico varía es de 0,013. Esta unidad presenta una dirección hacia el SW, siguiendo el sentido del río Uvita.

De acuerdo con el estudio geofísico realizado se ha estimado la posible presencia de otro nivel de agua ubicado en los sectores con mayor espesor, éste nivel se encontraría en la zona de transición de los depósitos aluviales con las Turbiditas. Esto se ha inferido debido a una caída en los valores de resistividad en los sectores definidos como límites de ambas unidades, sin embargo debido a la falta de una perforación profunda esto no ha sido posible de comprobar.

Se estima que la Unidad Hidrogeológica Uvita, presenta una recarga lateral por parte de la Unidad Hidrogeológica Ballena, debido al cambio en la pendiente al pasar del sector montañoso al sector aluvial.

6.3.4 Descripción del perfil A –B

Debido a la carencia de información disponible, la interacción en estos perfiles con las zonas montañosas está muy restringida, únicamente se relaciona en aquellos casos en los que se información.

El perfil A-B posee una dirección hacia el Suroeste, tiene como base la interpretación geofísica realizada en el sector aluvial del área de estudio, la información proveniente de los pozos RE-14 y RE-23 (figura 60).

Inicia en el sector montañoso en donde se ha representado la presencia del nivel medio de la Unidad Hidrogeológica Ballena con una profundidad de agua entre 50m y 60m aproximadamente.

Sobre el sector montañoso es posible encontrar intrusivos de la formación Puerto Nuevo, representados en el perfil de forma esquemática y basándoseos en el pozo RE-14.

La Unidad Hidrogeológica Ballena tendría un contacto lateral en superficie con la Unidad Hidrogeológica Uvita en donde existiría una recarga de tipo lateral. El nivel de agua Intermedio que se dirige entre el sector montañoso y el sector aluvial se ha dejado con líneas discontinuas con el fin de representar la incertidumbre del espaciamiento e interconexión con la Unidad Uvita, la cual es una interpretación pero no cuenta con suficiente información para determinar su gradiente hidráulico, disposición y continuidad.

Una vez en la Unidad Hidrogeológica Uvita, el agua tomaría o un nivel entre los 8 m y 1 m de profundidad, o podría localizarse en la parte basal del aluvión, el cual irá aumentando en su espesor conforme se acerca al centro del poblado de Uvita, en donde de acuerdo a la información geofísica obtenida podría existir un nivel de agua en la unidad Hidrogeológica Ballena a unos 65 m de profundidad, el cual se ha representado con líneas discontinuas e incompleto para evidenciar un alto grado de incertidumbre en el sector debido a la falta de un pozo en el sector aluvial que haya perforado hasta llegar a las turbiditas.

Conforme se acerca a la costa el espesor de la Unidad Hidrogeológica Uvita disminuye, hasta que el agua subterránea entre en contacto con el agua proveniente del océano generando tanto en la superficie con en profundidad un sector de transición.

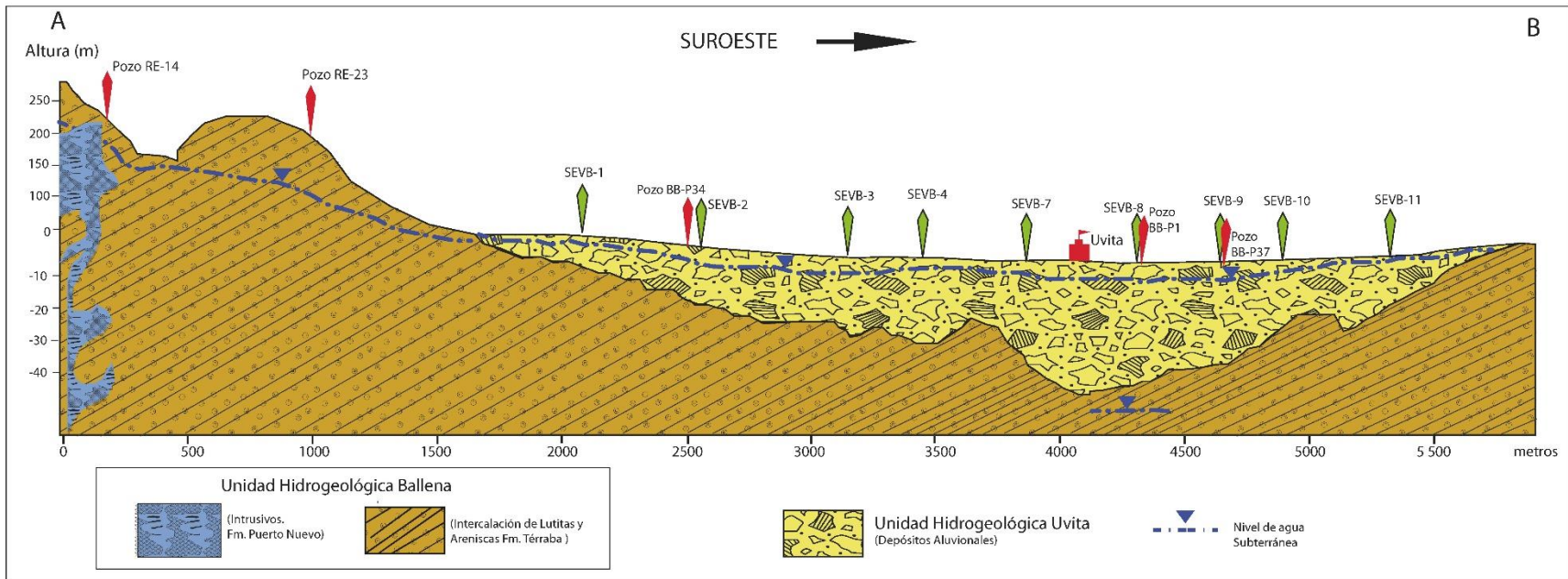


Figura 60: Perfil hidrogeológico A-B, inicia en los sectores montañosos y culmina en la costa.

6.3.5 Descripción del perfil C –D

El perfil C-D se realizó paralelo a la costa iniciando en el sector sureste del área de estudio y finalizando al noroeste en el sector de Playa Hermosa, para la realización de este perfil se tomó en cuenta la información proveniente del modelo geofísico, además de la información obtenida de pozos escavados, las descripciones realizadas por Mora (1991), el modelo estructural establecido en el presente estudio y la información de los pozos de la ASADA de Uvita-Ballena (figura 61).

Se presenta el nivel de agua de la Unidad Hidrogeológica Uvita, el cual se encuentra a una profundidad entre 5m y 8 m, siendo las profundidades más bajas en los sectores alejados al poblado de Uvita.

En el sector de la comunidad central de Uvita, a ambos márgenes del río Uvita se presenta un aumento en el espesor del aluvión, debido a esfuerzos tectónicos, los cuales están generando una depresión o cuenca delimitada por fallas de tipo normal.

Al aumentar el espesor de la Unidad Hidrogeológica Uvita es posible que se presenten otros niveles de agua a mayor profundidad, se ha representado la posible presencia de un nivel en el basamento del aluvión, interpretado con base en los estudios geofísicos realizados. Además es posible que exista un intercambio de agua a la Unidad Hidrogeológica Ballena por medio del fracturamiento modelado.

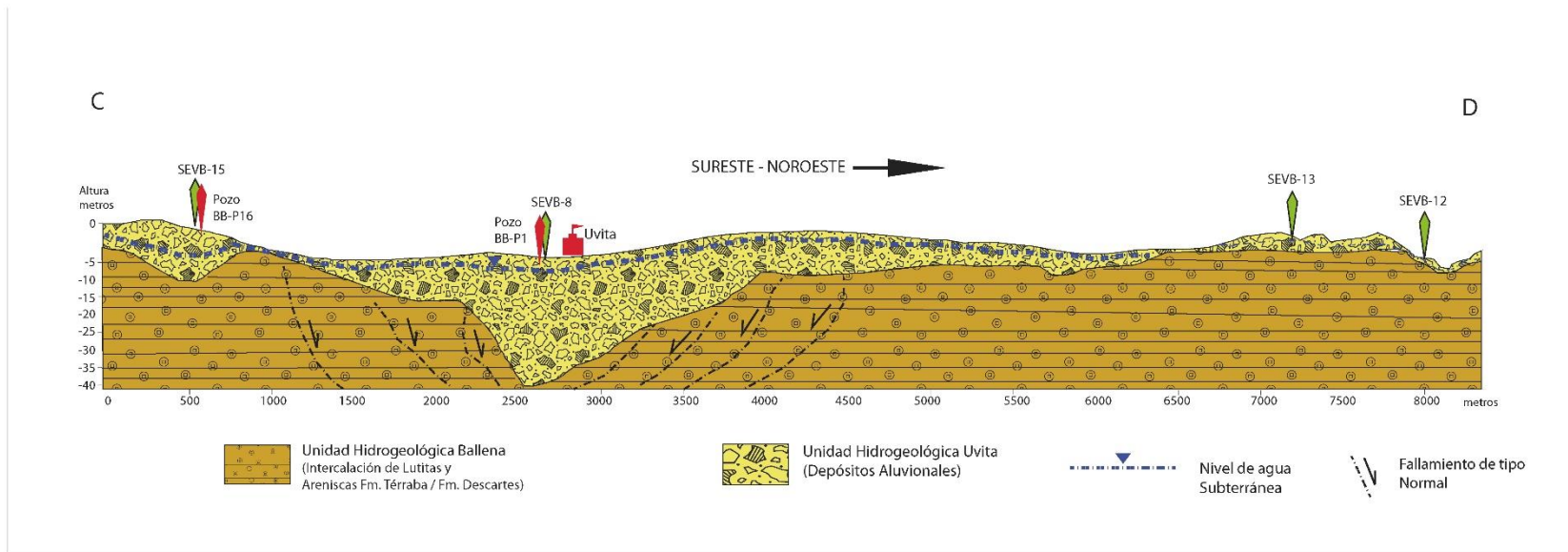


Figura 61: Perfil hidrogeológico C-D, abarca los sectores costeros del área de estudio.

6.3.6 Campaña de Aforos

Con el fin de determinar sectores influentes y efluentes de la Unidades Hidrogeológicas definidas se realizaron en el mes de febrero del año 2016, una serie de aforos a lo largo del cauce del río Uvita, se eligió este río debido a que se considera que es el colector principal del área de estudio, además de ser el río con mayor longitud dentro de la cuenca (9 km) y presentar la mayor accesibilidad, éste atraviesa perpendicular a las unidades Hidrogeológicas definidas por lo que sería el que tuviera mayor relación hidráulica con las mismas.

Se realizaron un total de 6 aforos divididos en 3 zonas a lo largo del cauce del río (figura 62), se trató de ubicar zonas en donde no existiera aporte de agua superficial entre un aforo y otro. Se estableció una zona en el sector montañoso correspondiente con la Unidad Hidrogeológica Ballena en donde se realizaron dos aforos. Otra zona se estableció en un sector de la parte media del río Uvita perteneciente a la Unidad Hidrogeológica Uvita en donde se realizaron otros 2 aforos. Finalmente se estableció una tercera zona en la parte baja del río Uvita, perteneciente a la Unidad Hidrogeológica Uvita en donde se realizaron 2 aforos más. La figura 80 muestra la ubicación de los aforos realizados.

Los aforos se realizaron con la metodología del molinete y en casos en donde la velocidad el flujo de agua era muy baja se utilizó la metodología del flotador.

Los aforos realizados se ubicaron en sectores en donde no existiera un aporte de agua superficial entre cada medición, es importante mencionar que en el área de estudio las condiciones de acceso a los ríos y quebradas son muy limitadas, debido a la escasas de caminos y rutas de acceso, además para realizar los aforos se ubicaron sectores en donde el espejo de agua no fuera afectado por turbulencias provocadas por clastos o bloques de roca, ó por cataratas ó cascadas, de forma que el flujo de agua fuera lo más constante a lo largo que cada sección.

En el sector montañoso la principal limitante al momento de realizar los aforos es la falta de acceso, además los ríos y quebradas de la zona presentaban caudales muy bajos para poder ser medidos con la instrumentación utilizada. En los sectores planos encontraron limitantes tanto de accesibilidad, como de falta de secciones en donde se pudiera medir el caudal completo sin aportes de agua externos, esto debido al tipo de drenaje anastomosado y entrelazado en la zona, presente principalmente en los ríos Higuerón y Uvita, además de las quebradas Colonia, Villegas entre otras. Además en algunos casos de la falta de un caudal medible con la instrumentación utilizada.

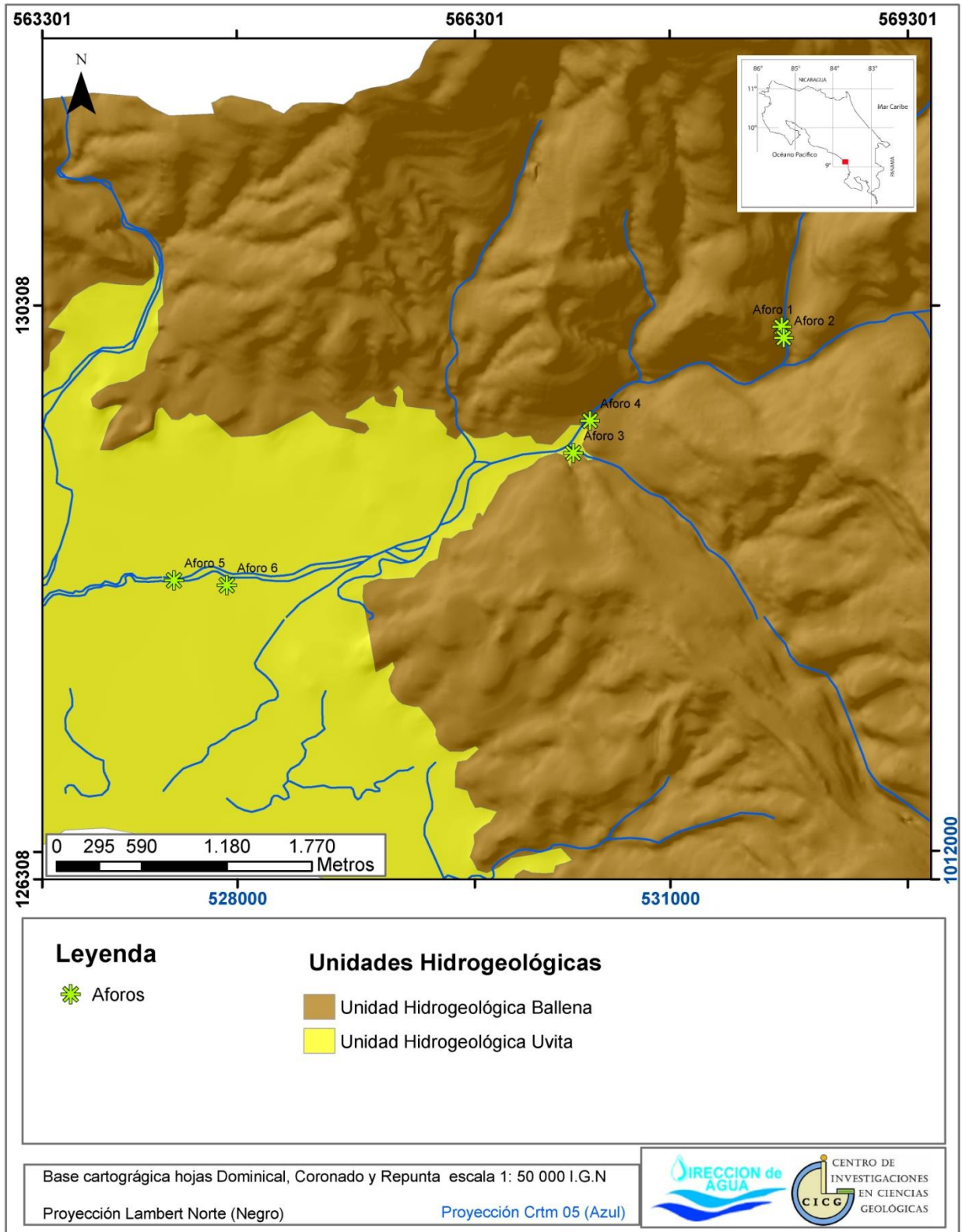


Figura 62: Mapa de ubicación de los aforos realizados en el cauce del río Uvita. Fuente: Elaboración propia.

6.3.6.1 Zona 1

Para la zona 1 se realizaron los aforos 1 y 2. El aforo 1 se realizó aguas arriba del aforo 2.

El aforo 1 se realizó en las coordenadas Lambert Norte 568 427 E/ 130 161 N, presenta una longitud de 10,5 m con una profundidad máxima de 52 cm (figura 63). Se determinó que el área total de esta sección es de 3,47 m², con velocidades que varían desde 0,03 m/s hasta los 0,08 m/s. Se obtuvo un caudal de 0,15 m³/s lo que equivale a 149,5 l/s.



Figura 63: Sección del río Uvita

La siguiente figura muestra el caudal promedio alcanzado a lo largo del perfil del río. Como se aprecia los mayores caudales alcanzados se encuentran en la zona central del cauce (figura 64).

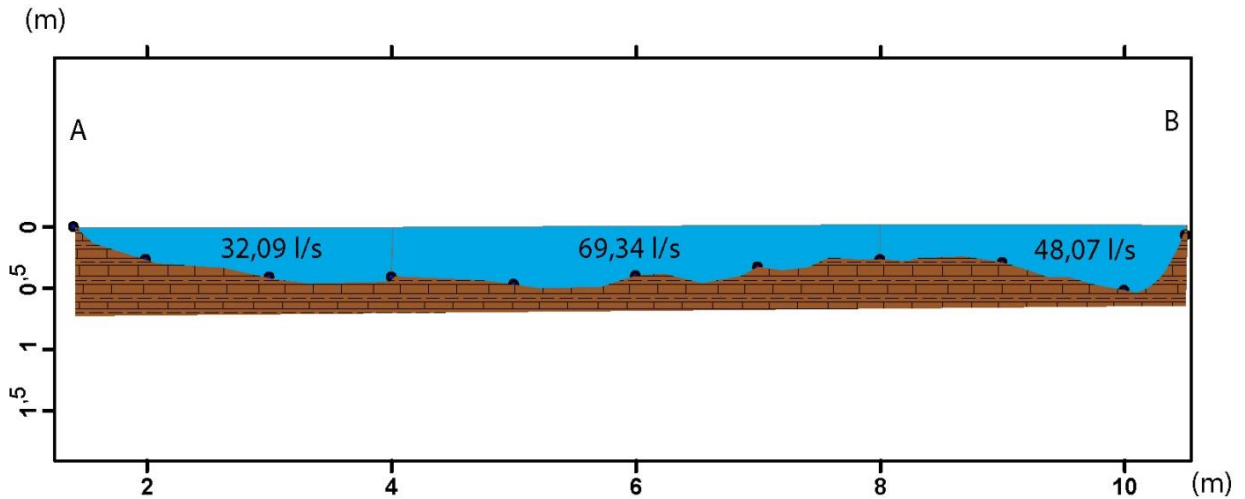


Figura 64: Perfil del cauce río Uvita, aforo 1.

El aforo 2 se realizó en las coordenadas Lambert Norte 568 441E/ 130 083 N, presenta una longitud de 5,5 m con una profundidad máxima de 49 cm. Se determinó que el área total de esta sección es de 2,37 m², con velocidades que varían desde 0,07 m/s hasta los 0,13 m/s. Se obtuvo un caudal de 0,19 m³/s lo que equivale a 194,83 l/s.

La figura 65 muestra el caudal promedio alcanzado a lo largo del perfil del río. Como se aprecia los mayores caudales alcanzados se encuentran en el margen derecho del río.

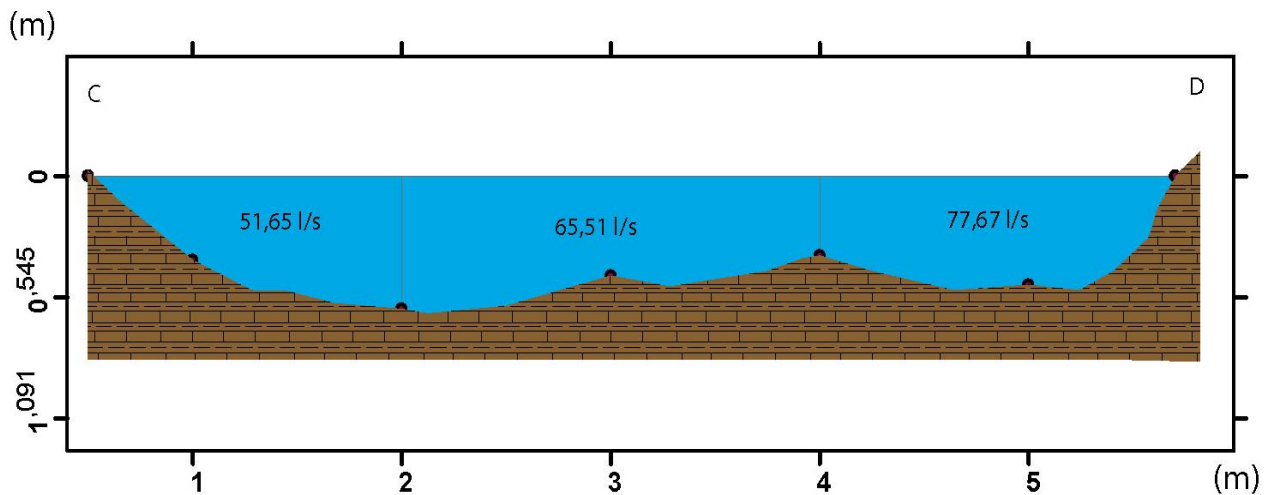


Figura 65: Perfil del cauce río Uvita, aforo 2.

De acuerdo a los datos obtenidos en los aforos 1 y 2 se observa un aumento en el caudal de aproximadamente de 45,32 l/s por lo que se establece que en la sección analizada el río Uvita es efluente de la Unidad Hidrogeológica Ballena, la cual estaría aportando agua por medio de zona de fractura.

6.3.6.2 Zona 2

Para la zona 2 se realizaron los aforos 3 y 4. El aforo 4 se realizó aguas arriba del aforo 3.

El aforo 3 se realizó en las coordenadas Lambert Norte 566 983E/ 129 281N, su sección presenta una longitud de 9,33 m con una profundidad máxima de 35 cm (figura 66). Se determinó que el área total de esta sección es de 2,03 m², con velocidades que varían desde 0,03 m/s hasta los 0,13 m/s. Se obtuvo un caudal de 0,161 m³/s lo que equivale a 162,7 l/s.



Figura 66: Sección del río Uvita

La figura 67, muestra el caudal promedio alcanzado a lo largo del perfil del río. Como se aprecia los mayores caudales alcanzados se encuentran en la zona central a derecha del cauce.

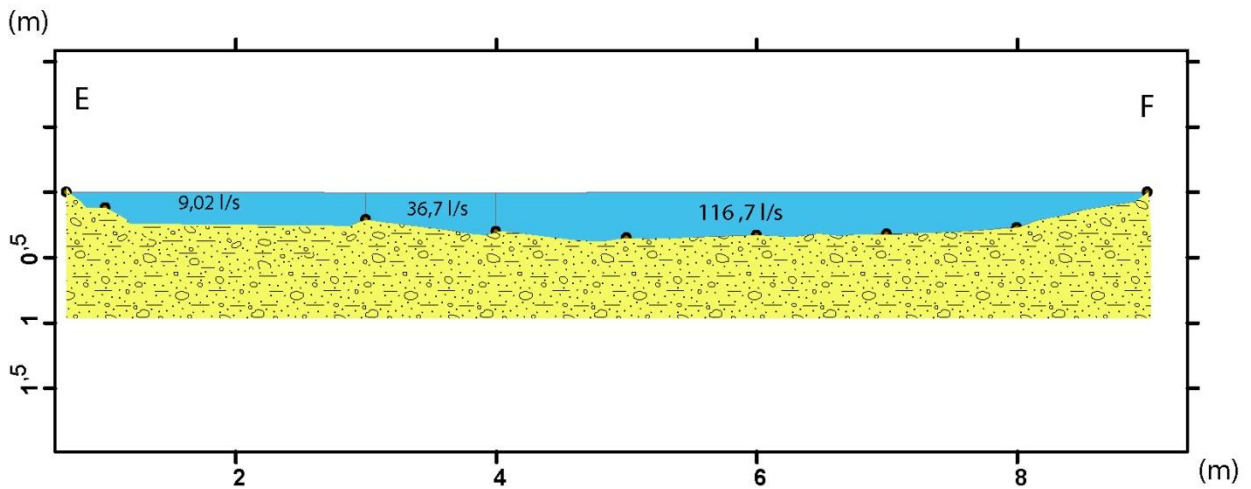


Figura 67: Perfil del cauce río Uvita, aforo 3.

El aforo 4 se realizó en las coordenadas Lambert Norte 567 706E/ 129 374N, presenta una longitud de 12 m con una profundidad máxima de 27 cm. Se determinó que el área total de esta sección es de 1,436 m², con velocidades que varían desde 0,01 m/s hasta los 1,77 m/s. Se obtuvo un caudal de 0,167 m³/s lo que equivale a 166,7 l/s.

La figura 68, muestra el caudal promedio alcanzado a lo largo del perfil del río. Como se aprecia los mayores caudales alcanzados se encuentran en la zona central del río.

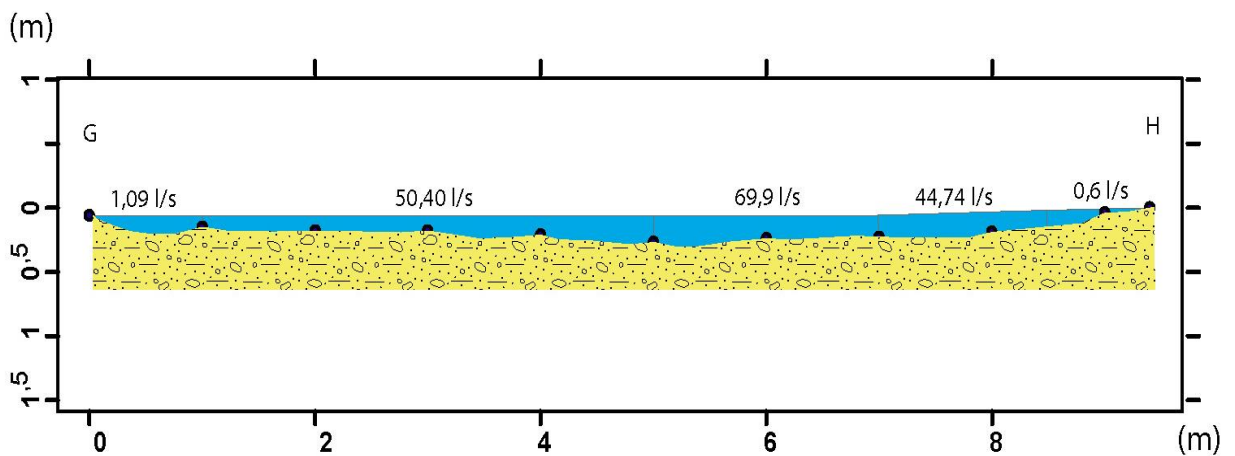


Figura 68: Perfil del cauce río Uvita, aforo 4.

De acuerdo a los datos obtenidos en los aforos 4 y 3 se observa una disminución en el caudal de aproximadamente de 4 l/s por lo que se establece que en la sección analizada el río Uvita es influente de la Unidad Hidrogeológica Uvita.

6.3.6.3 Zona 3

Para la zona 3 se realizaron los aforos 5 y 6. El aforo 6 se realizó aguas arriba del aforo 5.

El aforo 5 se realizó en las coordenadas Lambert Norte 564 214E/ 128 393N, presenta una longitud de 12,5 m con una profundidad máxima de 31 cm (figura 69). Se determinó que el área total de esta sección es de 2,46 m², con velocidades que varían desde 0,05 m/s hasta los 0,10 m/s. Se obtuvo un caudal de 0,197 m³/s lo que equivale a 197,3 l/s.



Figura 69: Sección del río Uvita aforo 5.

La figura 70, muestra el caudal promedio alcanzado a lo largo del perfil del río. Como se aprecia los mayores caudales alcanzados se encuentran en la zona central del río.

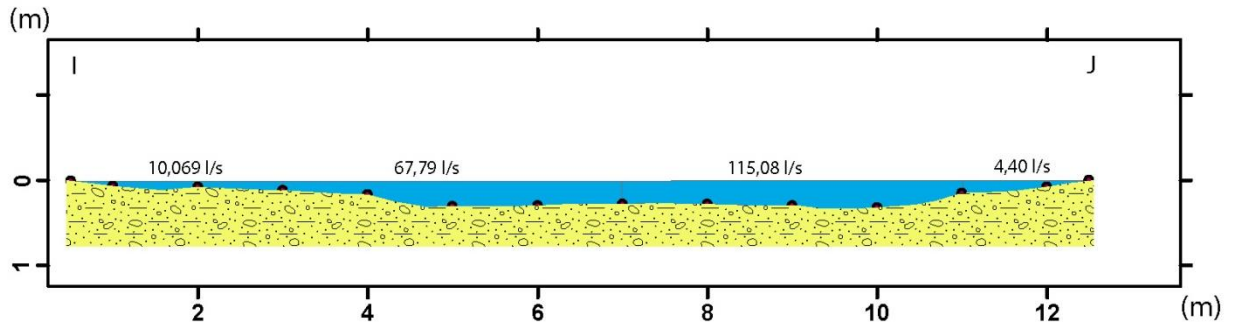


Figura 70: Perfil del cauce río Uvita, aforo 5.

El aforo 6 se realizó en las coordenadas Lambert Norte 564 580E/ 128 359N, presenta una longitud de 20 m con una profundidad máxima de 28 cm (figura 71). Se determinó que el área total de esta sección es de 2,99 m², con velocidades que varían desde 0,1 m/s hasta los 0,2 m/s. Se obtuvo un caudal de 0,255 m³/s lo que equivale a 255 l/s.



Figura 71: Sección del río Uvita aforo 6

La figura 72, muestra el caudal promedio alcanzado a lo largo del perfil del río. Como se aprecia los mayores caudales alcanzados se encuentran en la zona central del río.

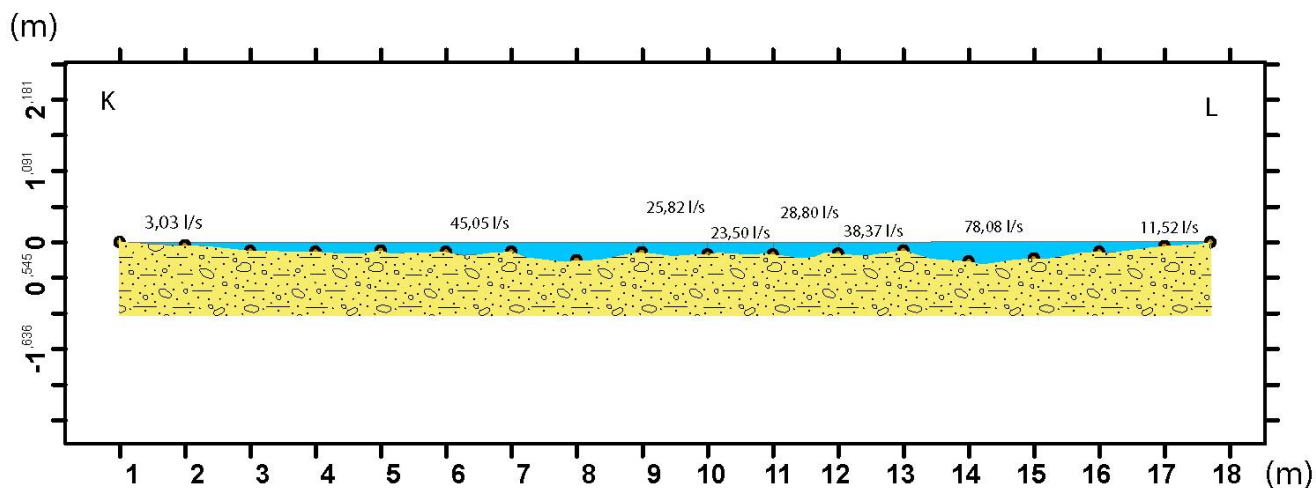


Figura 72: Sección del río Uvita aforo 6.

De acuerdo a los datos obtenidos en los aforos 4 y 3 se observa una disminución en el caudal de aproximadamente de 58 l/s por lo que se establece que en la sección analizada el río Uvita es influente de la Unidad Hidrogeológica Uvita.

7 DETERMINACIÓN DE LA RECARGA POTENCIAL

7.1 Introducción

Para su elaboración se tomó la cuenca hidrográfica de la zona de estudio, en la cual el principal colector de aguas es el Río Uvita.

Para realizar el balance del suelo, se requiere en primer lugar la infiltración mensual al suelo generada por la lluvia. Posteriormente, es necesario conocer las propiedades del suelo (zona no saturada) como lo son la capacidad de campo, el punto de marchitez y la densidad aparente. Estos valores se obtienen directamente del laboratorio a partir del muestreo de suelos en el campo. Otro elemento que es importante conocer es la profundidad aproximada de las raíces extractoras de agua, en la zona donde se va a realizar el balance del suelo, esta profundidad se obtiene de observaciones en el campo.

Una vez determinadas las propiedades hidrológicas de los suelos, las características hidrometeorológicas y las propiedades del terreno, así como el uso de la tierra, se construyeron zonas de propiedades específicas en las cuales hay atributos característicos y únicos, que facilitan la aplicación del balance hídrico computacional, según la metodología Schosinsky (2006).

7.2 Precipitación zonal

Generalmente, para su elaboración se considera el método de los polígonos de Thiessen tomando en cuenta las estaciones meteorológicas más cercanas. En este caso particular, la única estación cercana a la zona de estudio (15 km) es la estación meteorológica perteneciente al Instituto Meteorológico Nacional (IMN) conocida como Tinamaste, el cuadro 16 muestra el valor promedio mensual de precipitación en milímetros de lluvia.

Cuadro 16: Valores promedio mensual en mm, de la estación meteorológica cercana al área de estudio (periodo 1982-2006).

ESTACION	TINAMASTE													
	No. 96001						Lat. 09° 18' N Long. 83° 47' O					Altitud 680 m.		
Elementos	Periodo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiem.	Octubre.	Noviem.	Diciem.	Anual
LLUVIA(mm)	1982-2006	53,0	28,3	63,0	197,9	487,7	364,0	339,5	420,1	611,4	694,0	402,4	135,1	3796,4

La figura 73, muestra el mapa obtenido, en donde se puede observar que la distribución de los valores de precipitación promedio anual en mm, para la zona de interés es la misma por estar relacionada únicamente a la estación Timamaste.

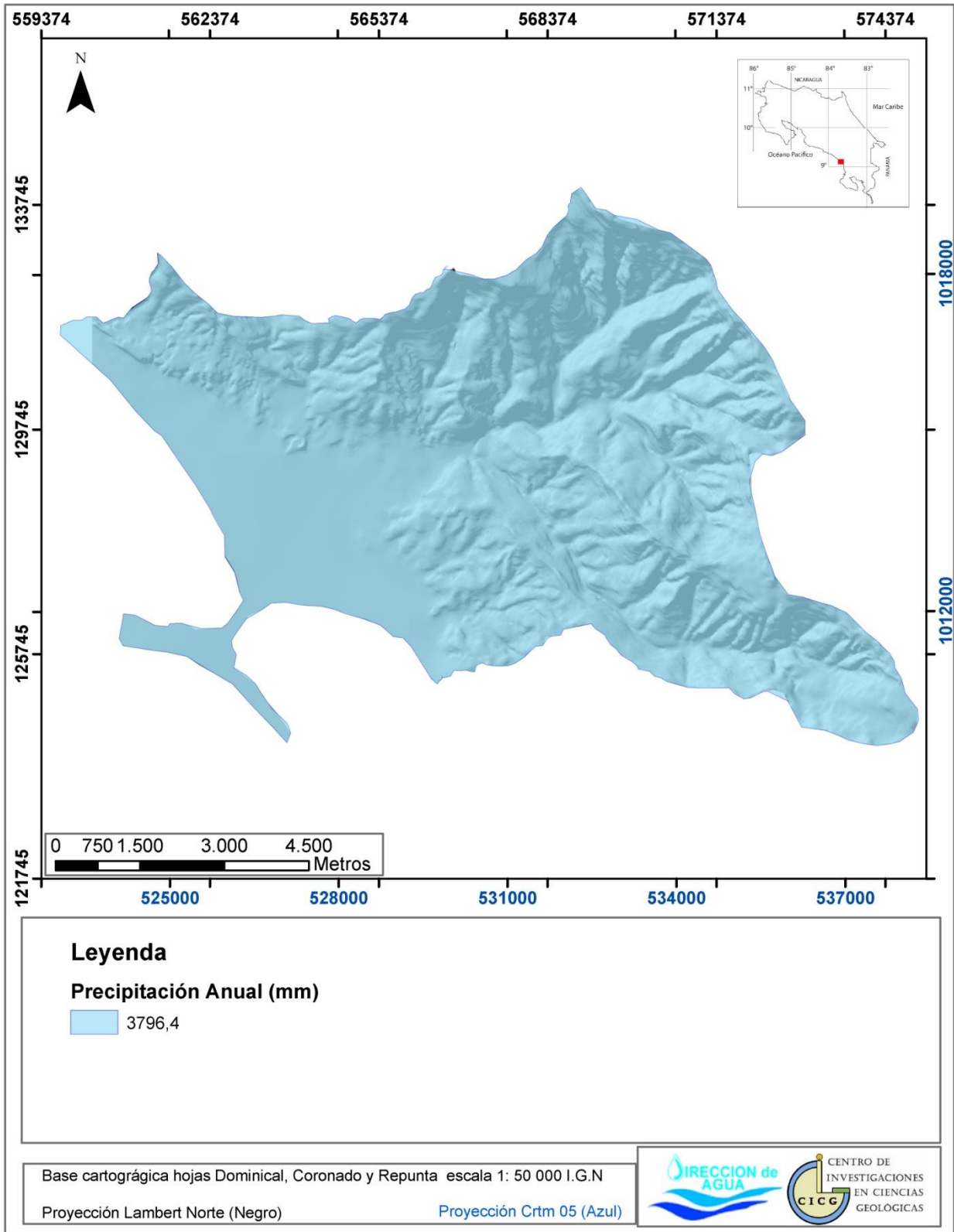


Figura 73: Mapa de la distribución de precipitación anual en mm, utilizado para el balance hídrico.
Fuente: Elaboración propia.

Al poseer únicamente datos de precipitación de una estación meteorológica, se genera una única área de influencia (polígono) en donde se tiene una precipitación promedio anual de 3796,4 mm.

Las precipitaciones máximas en la zona se dan en los meses de setiembre y octubre llegando a valores entre los 600 mm a 700 mm promedio, además se presenta un pico o aumento en la precipitación durante el mes de mayo, en donde la precipitación llega a hasta los 500 mm. Los meses de Junio a finales de Setiembre presentan una constante en la precipitación, con valores promedio entre los 300 mm a 400 mm. La estación seca inicia a finales de Noviembre en donde se muestra una disminución considerable en la precipitación llegando a 25 mm mensuales en los meses de Enero y Febrero, comenzando a aumentar levemente en los meses de Marzo y Abril.

7.3 Pendiente en Porcentaje

De acuerdo con las curvas topográficas y mediante la utilización de un sistema de información geográfica, se calculó la pendiente del terreno. La pendiente fue calculada en unidades porcentuales según lo establece la metodología propuesta por Schosinsky (2006), con el fin de obtener el factor de pendiente (K_p), su representación se aprecia en la figura 74.

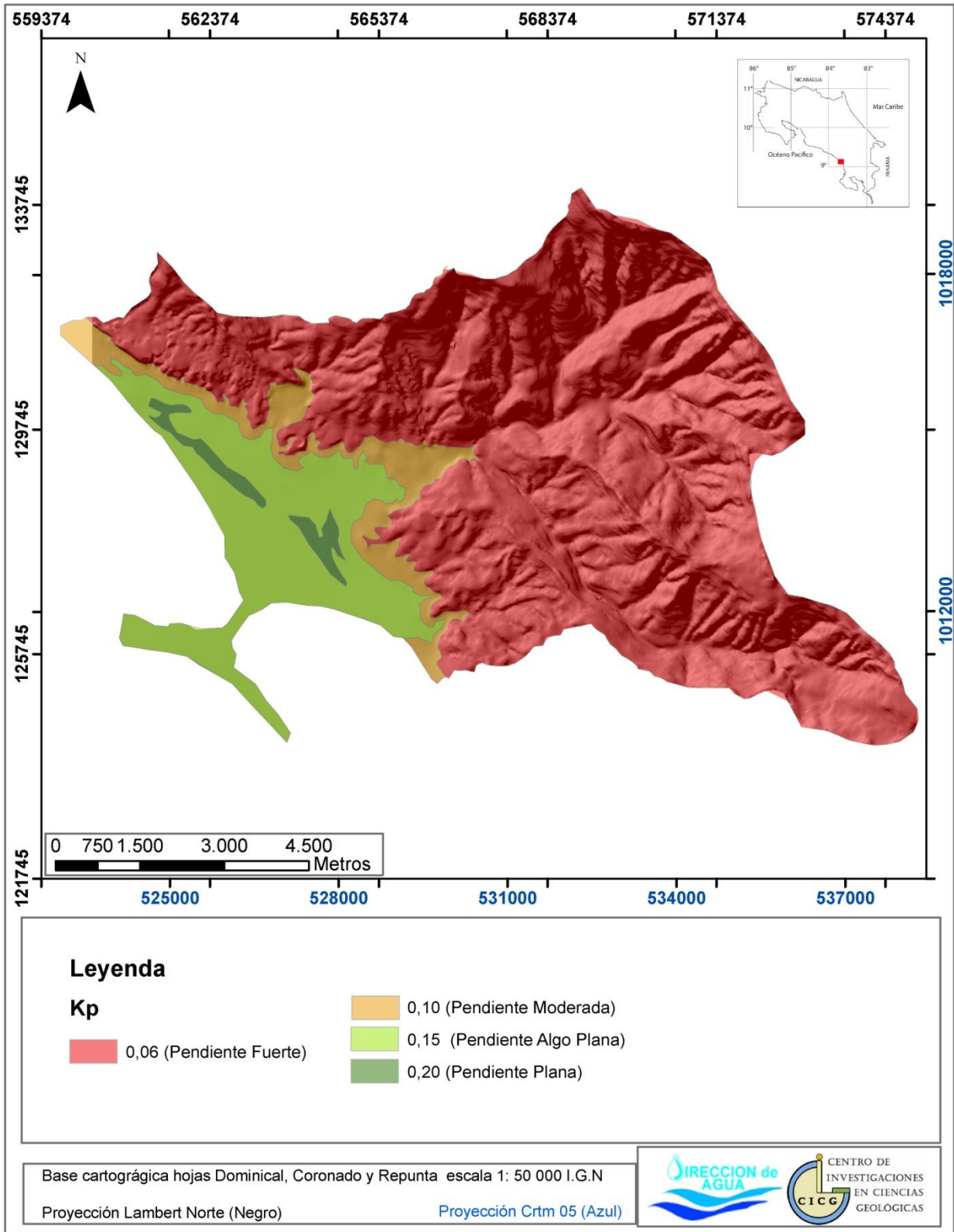


Figura 74: Mapa de pendientes de la zona de estudio, en los rangos requeridos por la metodología.
 Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la figura anterior la zona de estudio se ha clasificado en cuatro sectores de acuerdo al porcentaje de pendiente. El sector central en donde se ubica el poblado de Uvita y que está compuesto litológicamente por depósitos aluvionales presentan pendientes de las categoría pendiente muy plana (0,06- 0,4%) a plana (0,4 a 2 %), lo que les asigna una valor k_p dentro de la metodología Schosinsky (2006) de 0,20 y 0,15 respectivamente.

Los sectores de piedemonte que presentan las áreas de transición entre los sectores planos y montañosos presentan una pendiente moderada con un valor de porcentaje entre 2 % a 7% lo que implica un valor de k_p de 0,10, mientras que los sectores montañosos que limitan la cuenca y abarcan la mayoría del área de estudio, presentan pendientes fuertes con porcentajes de inclinación mayores al 7% y un valor k_p de 0,06.

7.4 Uso del suelo

El mapa de uso de la tierra utilizado para la elaboración del balance hídrico de suelos, fue levantado por medio de una imagen satelital obtenida del programa Google Earth (2014), por medio de la cual se clasifico el uso de la zona de estudio en 4 apartados: urbano, bosques, pastizales y costa.

De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que el uso destinado a bosques es el más importante, abarcando alrededor de un 79 % del área total, en dicha clasificación se intentaron agrupar todos tipos de bosques (tanto primario como secundario) presentes. En este caso la mayor concentración de este tipo de uso se da en el sector montañoso, pero se puede encontrar una proporción importante en los sectores del parque nacional. Para ésta unidad se le asignó un valor de K_v de 0,20 de acuerdo con la metodología Schosinsky (2006) y se ha calculado un valor promedio de la profundidad de raíces de alrededor de un metro.

En segundo nivel de importancia es destinado a pastizales, los cuales abarcan alrededor de un 12% del área de estudio, en este apartado se incluye los charrales, zonas de pastoreo de ganado y zacates de altura considerable que han ido creciendo en sectores anteriormente deforestados o en sectores de cultivos abandonados. Se distribuyen principalmente en el sector plano en los alrededores de los centros urbanos, sin embargo también es posible localizarlos en forma esporádica en los sectores montañosos. Para ésta unidad se le asignó un valor de K_v de 0,18 de acuerdo con la metodología Schosinsky (2006) y se ha calculado un valor promedio de la profundidad de raíces de alrededor de medio metro.

El sector costero abarca los sectores pertenecientes a la línea de costa dominada principalmente por playas con escasa cobertura vegetal. Ésta unidad abarca alrededor

de un 5 % del área total, cuyo valor variará en dependencia de los cambios de la marea. Para ésta unidad se le asignó un valor promedio de profundidad de raíces de 100 mm y un valor kv de 0,30; el cual fue tomado de UNESCO (2006) y aplicado a la metodología Schosinsky (2006), debido a que dicha metodología no estima un valor kp propio para sectores con suelo arenoso descubiertos.

Las áreas urbanas donde se agruparon los sectores con mayor concentración de viviendas e infraestructura, abarcan aproximadamente un 3% del área de interés y se ubican principalmente en los sectores más planos ubicados en la parte central de Uvita, al ser sectores urbanos pero cuya densidad en infraestructura no es tan elevada y existe mucho espacio abierto entre cada construcción, con caminos asfaltados limitados, se le ha asignado un valor de kv de 0,09 con una profundidad de raíces de 200 mm.

El mapa de uso de suelo se reclasificó en función de la metodología Schosinsky (2006), agrupando las zonas en dependencia del uso de suelo que domina, con el fin de obtener el factor de vegetación (Kv), este proceso se representa en las figuras 75 y 76.

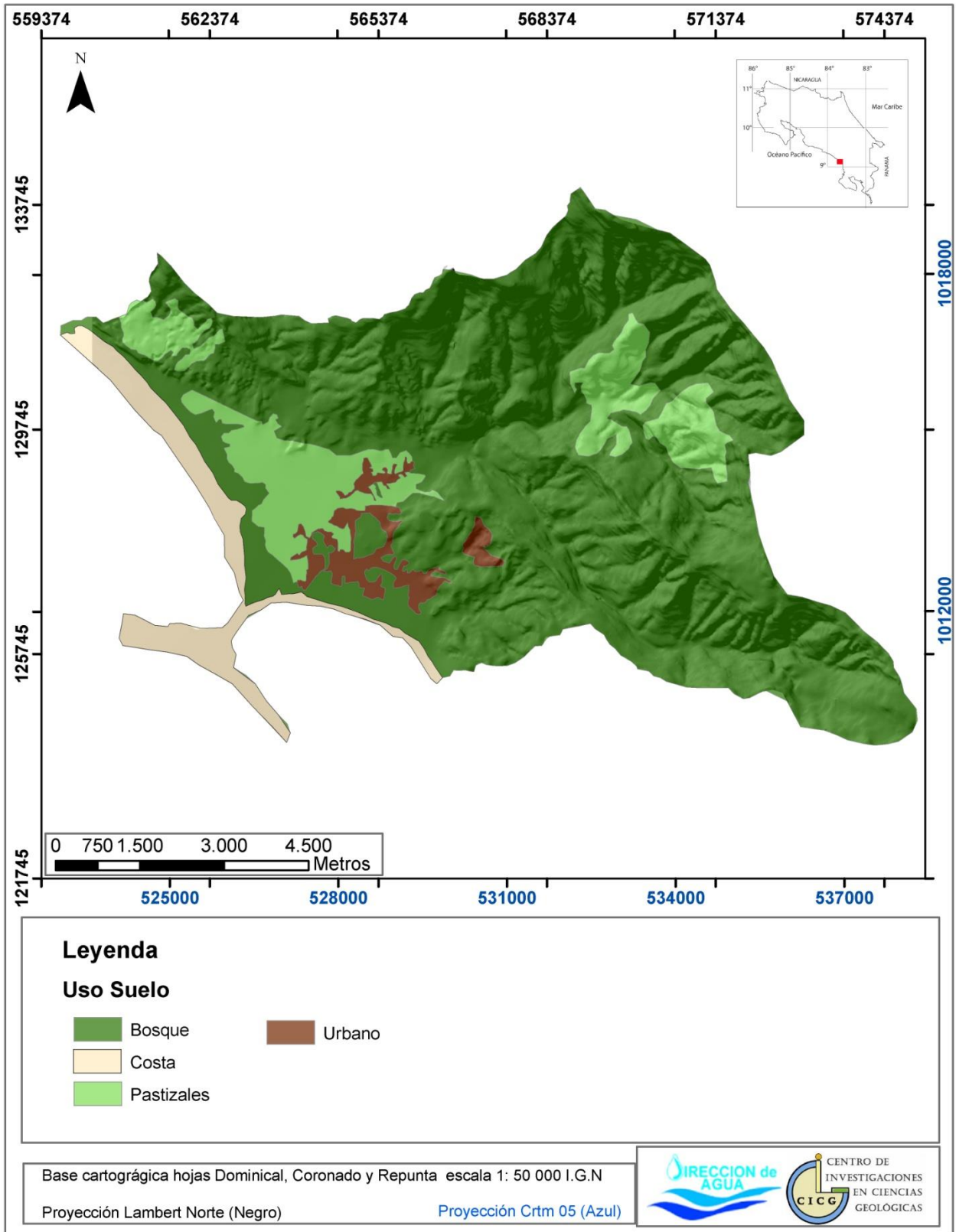


Figura 75: Mapa de distribución del uso de suelo para el área de estudio. FUENTE: Elaboración propia.

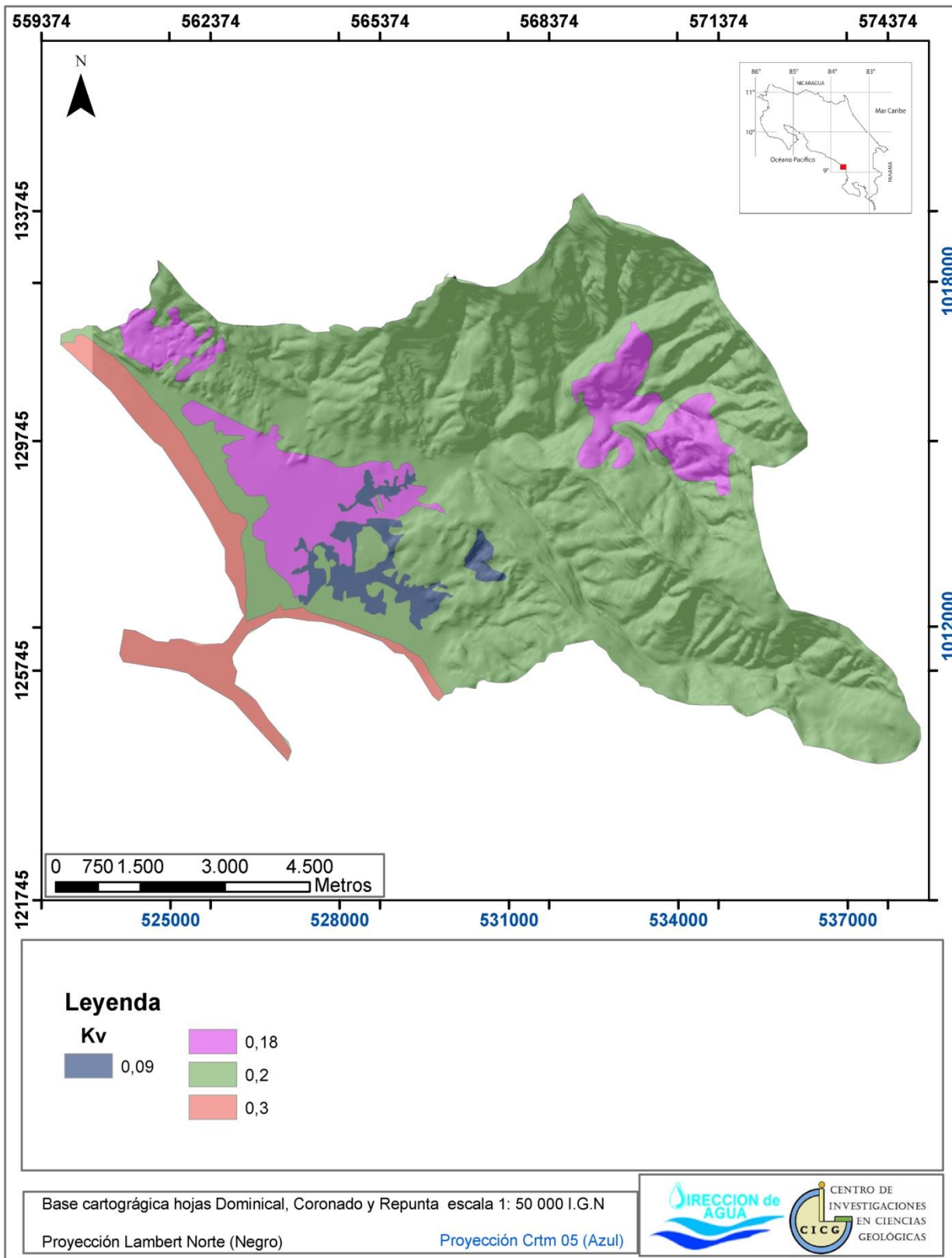


Figura 76: Mapa Kv para el área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

7.4.3 Capacidad de Infiltración del suelo.

Se realizaron un total de 11 pruebas de infiltración alrededor del área de estudio utilizando la metodología de doble anillo (figura 77), esto se hace con el fin de determinar la cantidad de agua aproximada que se infiltra, para calcular mediante un balance hídrico la cantidad potencial de agua que puede ayudar a recargar los diferentes unidad hidrogeológicas de la zona. El resumen de los resultados se puede apreciar en el cuadro 17, mientras que la figura 78 muestra la distribución de las pruebas de infiltración y la figura 79 los resultados procesados por medio de un sistema de información geográfica, utilizando la interpolación por medio de criterios geopetales.



Figura 77: Prueba de infiltración IB-4, realizada en la divisoria de aguas de Fila Tigre.

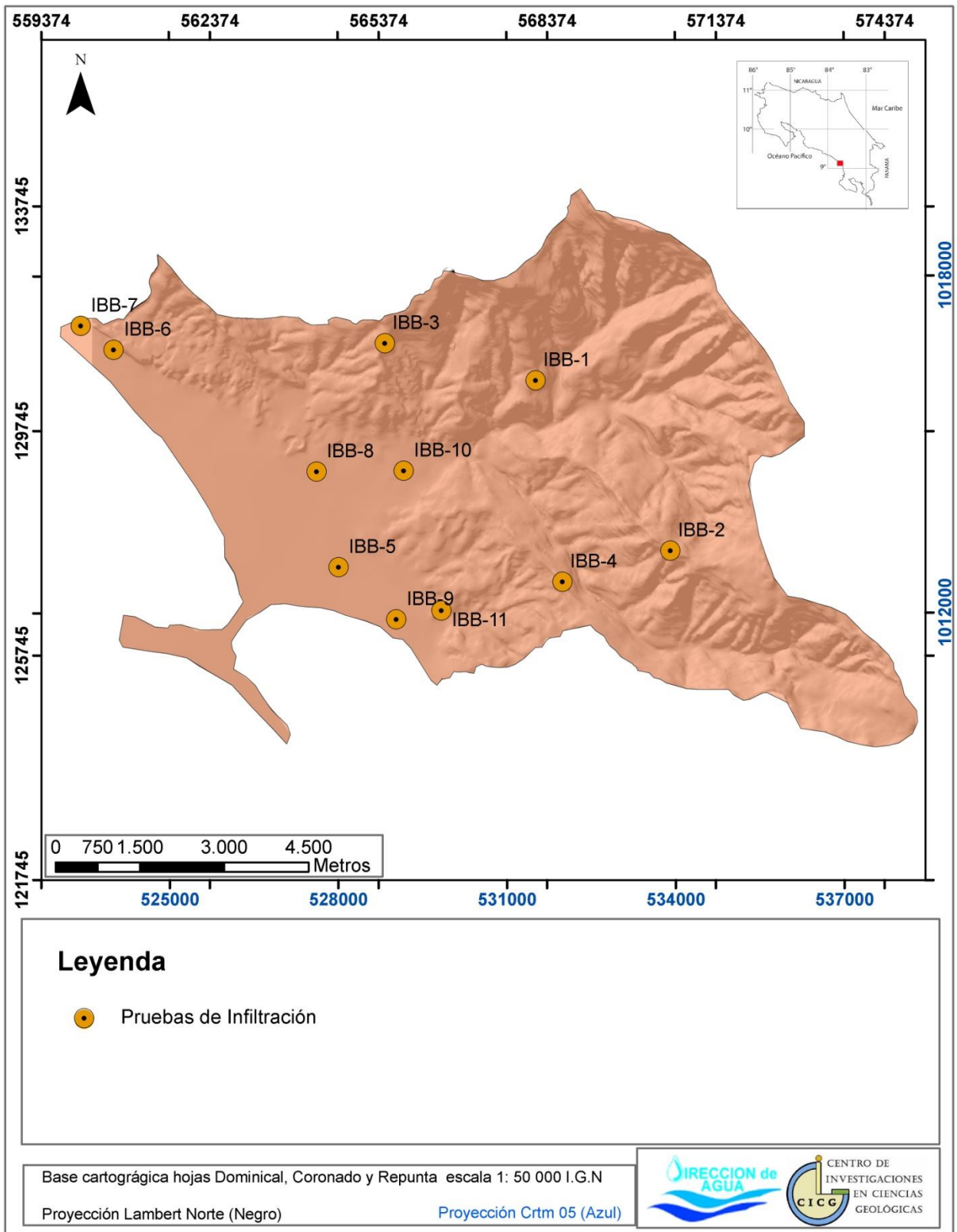


Figura 78: Mapa de ubicación de pruebas de infiltración. FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 17: Resultados de pruebas de infiltración, método doble anillo.

Código Pruebas Infiltración	Lambert Norte X	Lambert Norte Y	Infilt. cm/h	Infilt. mm/d
IB-1	568169	130650	0,4	96
IB-2	570567	127617	9,0	2160
IB-3	565483	131312	1,8	432
IB-4	568646	127065	4,8	1152
IBB-5	564662	127322	2,4	576
IBB-6	560661	131194	240,0	57600
IBB-7	560073	131622	516,0	123840
IBB-8	564270	129023	14,0	3360
IBB-9	565691	126396	184,8	44352
IBB-10	565823	129039	2,8	672
IBB-11	566492	126552	60,0	14400

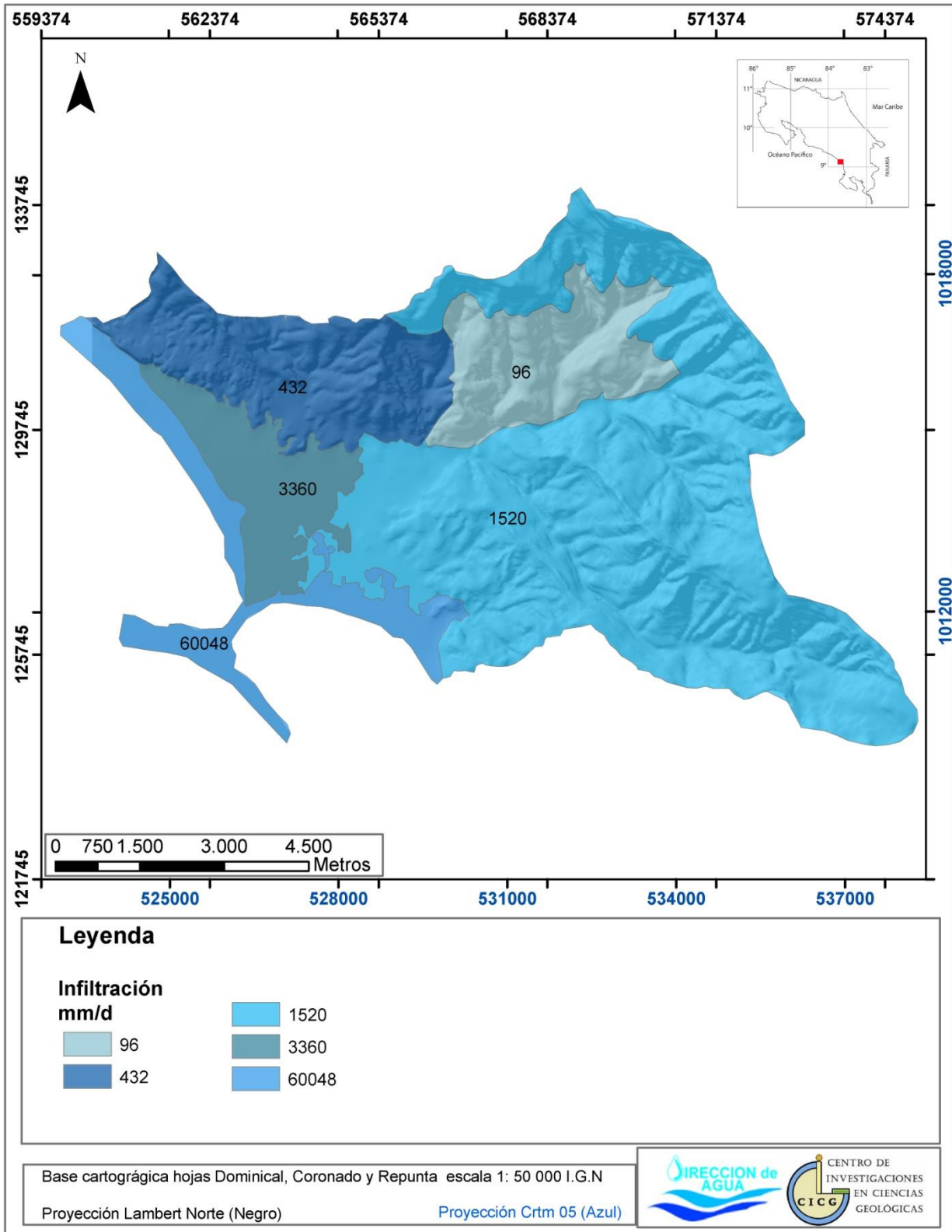


Figura 79: Mapa de la velocidad de infiltración, obtenido a partir de ensayos de campo con el método de doble anillo. FUENTE: Elaboración propia.

De acuerdo con las observaciones de campo y los datos suministrados en el mapa de infiltración, se pueden interpretar zonas con características de infiltración muy distintas.

El sector montañoso con suelos de textura franco-arcillo-arenosa, presentan valores de infiltración entre 1150 a 2160 mm/d lo cual indica una tasa de infiltración intermedia.

Siempre en el sector montañoso pero con suelos de dominancia arcillosa el valor de infiltración cae de forma importante a 96 mm/d lo que implica una tasa de infiltración sumamente baja. Mientras que suelos de textura franco arcillosa muestran un valor de 432 mm/d, lo que implica que la abundancia de contenido arcilloso produce un factor inverso a la tasa de infiltración provocando importantes variaciones en ésta.

En el sector plano del área de estudio se presentan las mayores tasas de infiltración, siendo los suelos arenosos los que presentan los mayores valores, los cuales son muy difíciles de calcular debido a la alta velocidad, para ello se utilizó un doble anillo más pequeño que permitió obtener valores aproximados, siendo el máximo una capacidad de 123,84 m/d.

Los suelos con contenido arcilloso ubicados en el sector plano presentan una tasa de infiltración 3360 mm/d un valor considerablemente alto si lo comparamos con los resultados obtenidos en la zona montañoso, esta variación podría atribuirse al cambio litológico, ya que en los sectores montañosos abundan las intercalaciones de areniscas y lutitas, mientras que en el sector plano se presenta una zona de depósitos aluviales.

7.5 Parámetros de suelo

Con base en el muestreo (figura 80) y análisis de once pruebas de suelo distribuidas por toda el área de estudio, se han determinado las principales características hidrológicas de los suelos pertenecientes al sector de Uvita y alrededores.



Figura 80: Muestra de suelo SB-5, realizado en el parque de Uvita.

El cuadro 18 y la figura 81 presentan la distribución de los sitios seleccionados para la extracción de muestras de suelos, las cuales fueron sometidas a análisis de laboratorio en el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agraria (INTA).

Cuadro 18: Ubicación de la Pruebas de suelo realizadas

Código INTA	Longitud Lambert N	Latitud Lambert N
SB-1	568169	130650
SB-2	570567	127617
SB-3	565483	131312
SB-4	568646	127065
SB-5	564662	127322
SB-6	560661	131194
SB-7	560073	131622
SB-8	564270	129023
SB-9	565691	126396
SB-10	565823	129039
SB-11	566492	126552

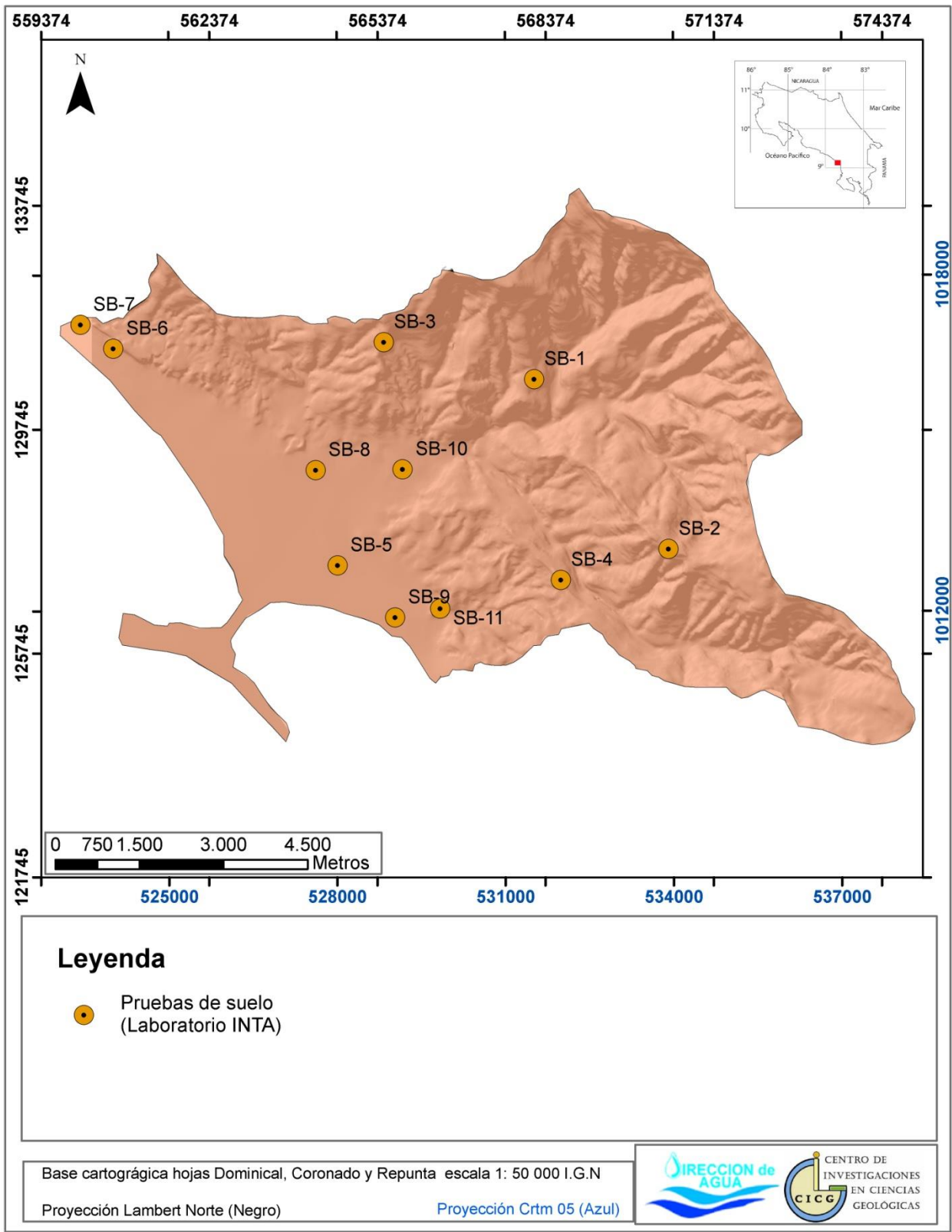


Figura 81: Mapa de ubicación de las pruebas de suelo. FUENTE: Elaboración propia.

Mediante la observación de campo, se determinó que la génesis de los suelos del sector de Uvita es principalmente producto de la meteorización de los materiales sedimentarios presentes en toda el área de estudio, los cuales generan suelos de coloración amarillenta-rojiza de tipo laterítico. Se han observado fracciones principalmente franco arcillo-arenosas, arenosas y arcillosas.

El análisis de los suelos se ha realizado con base en los criterios del departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA), para la interpolación de los datos obtenidos en las pruebas se optó por una interpretación basada en el criterio profesional y utilizando como base la geomorfología de la zona, aplicando lo que se conoce como geopedología.

La geopedología se refiere a las relaciones entre geomorfología y pedología, con énfasis en la contribución de la primera a la segunda. Es un enfoque dirigido al levantamiento de suelos, combinando criterios geomorfológicos y pedológicos, para establecer unidades de mapeo y analizar la distribución de los suelos en el paisaje. La geomorfología provee los contornos de las unidades de mapeo, mientras que la pedología suministra los componentes taxonómicos de las unidades de mapeo (Zinck, 2012).

El cuadro 19 muestra los resultados obtenidos de cada una de las pruebas de suelo realizadas.

Cuadro 19: Resultados de las pruebas de suelos.

Código	Pto. Marchitéz	Capac. Campo	Text. Suelo	Dens. Apa	Dens. Real	Humedad Disponible (%)	Porosidad (%)
SB-1	22,59	40,32	A	1,12	2,15	17,73	47,91
SB-2	21,49	36,94	FAa	1,16	2,23	15,45	47,98
SB-3	15,72	23,55	Fa	1,21	2,31	7,83	47,62
SB-4	19,66	29,62	F	1,09	2,07	9,96	47,34
SB-5	20,07	36,28	FAa	1,16	2,19	16,21	47,03
SB-6	14,02	18,31	a	1,31	2,42	4,29	45,87
SB-7	13,61	19,47	a	1,33	2,44	5,86	45,49
SB-8	21,86	39,72	A	1,09	2,07	17,86	47,34
SB-9	14,52	20,71	a	1,01	1,92	6,19	47,40
SB-10	16,94	22,15	aF	1,21	2,33	5,21	48,07
SB-11	20,87	30,86	FAa	1,15	2,24	9,99	48,66

Léase: A: arcilloso, FAa: Franco arcillo arenoso, F: Franco, a: arenoso, aF: Franco arenoso

El mapa de texturas de suelo (figura 82) muestra la distribución de los resultados obtenidos.

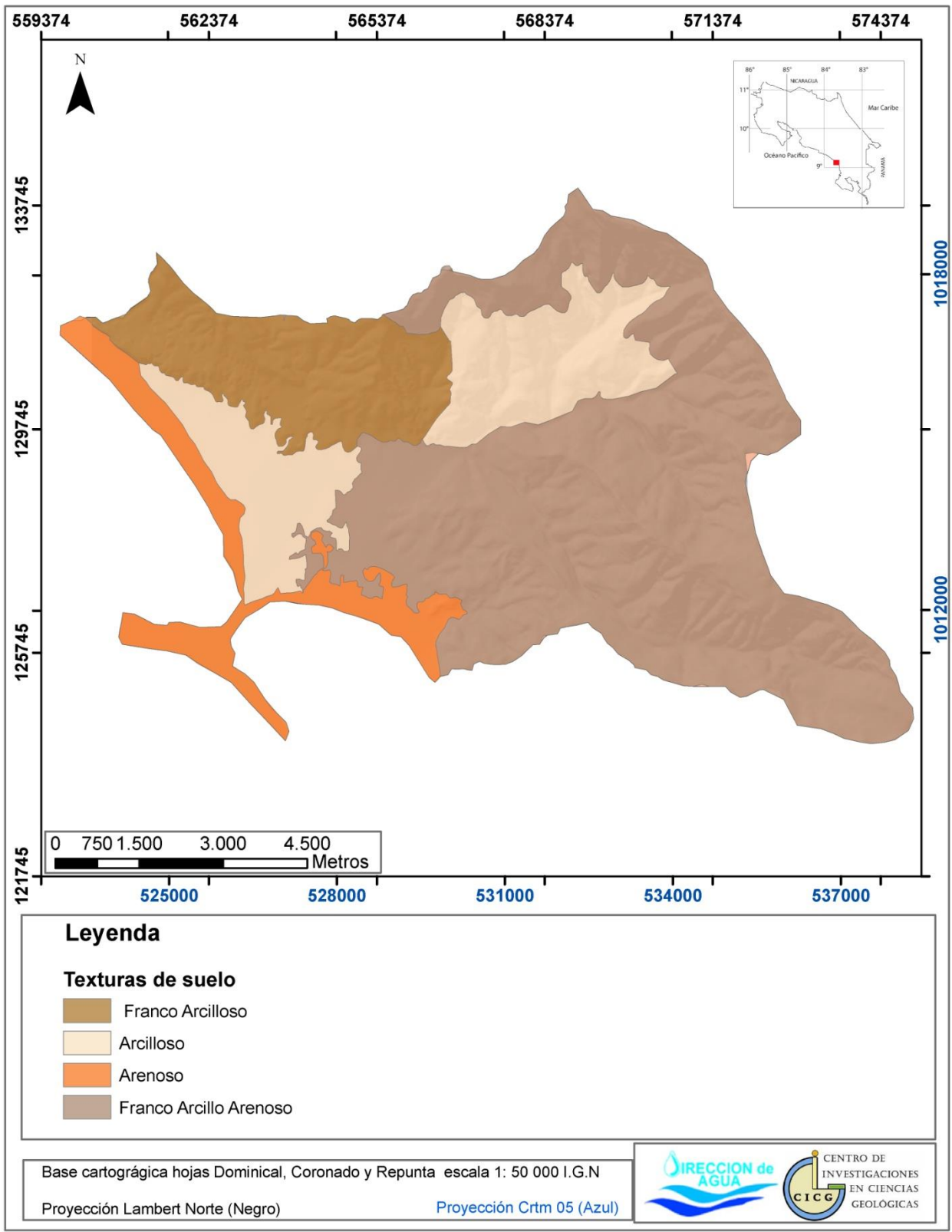


Figura 82: Mapa de distribución espacial de tipos de textura del suelo. FUENTE: Elaboración propia.

Como se puede apreciar, texturalmente los suelos en los sectores montañosos se caracterizan por estar constituidos principalmente por fracciones franco arcillo-arenosas a arcillosas, donde domina la presencia de intercalación de areniscas y lutitas, mientras que las fracciones arcillosa y arenosas, se ubican en el sector plano, aumentando su contenido arenoso conforme se aproxima a la costa.

En el caso de los sectores con mayor contenido de arcilla, se pueden presentar plasticidades generalmente altas. Esto puede llegar a generar suelos muy impermeables (en caso de ser compactados) blanda durante periodos largos de lluvia o fuertes precipitaciones.

Los sectores con mayor contenido de arena, al contrario generan suelos muy permeables que favorecen el proceso de infiltración, con capacidades generalmente altas.

Con respecto a la porosidad, su distribución se puede apreciar en la figura 83, en general esta tiende a encontrarse entre 45 a 48 % en dependencia de la textura y plasticidad de cada suelo, pero en general se presenta un valor bajo para los suelos con mayor contenido de arena, mientras que los suelos arcillosos presentan valores de alrededor de 47 %, sin embargo la relación textura-porosidad no es tan determinante, variando poco entre suelos.

Es importante aclarar que la distribución de los puntos de muestreo se realizó en función a las posibilidades reales de acceso a las propiedades y a la presencia de fuentes de agua cercana para utilizarlas en los ensayos de infiltración. En estos ensayos de infiltración, fueron realizados en superficie ya que la finalidad del mismo es simular la infiltración por lluvia, para ser utilizada en el balance hídrico de suelos aplicando la metodología de Schosinsky (2006).

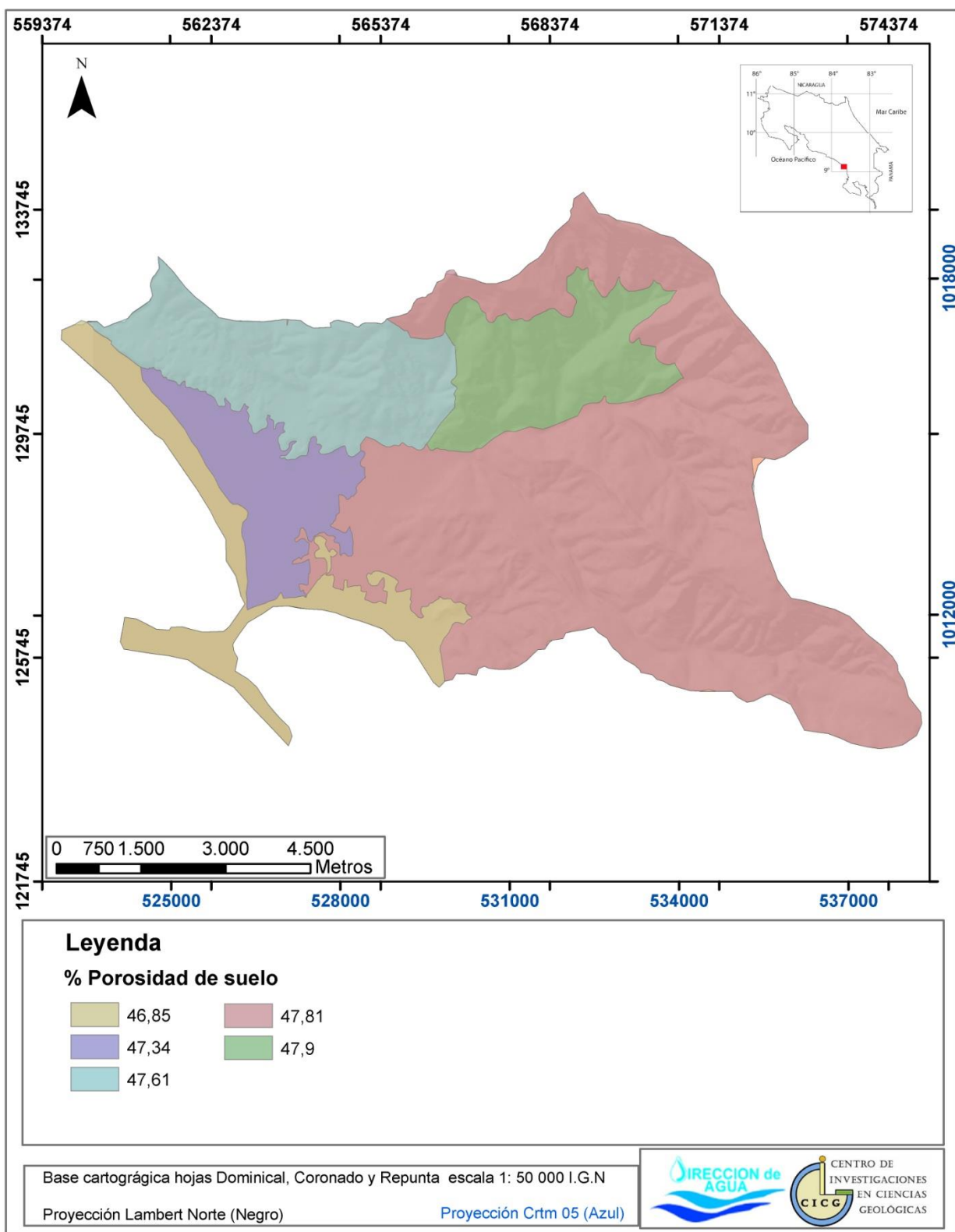


Figura 83: Mapa de distribución espacial de porosidad del suelo. FUENTE: Elaboración propia.

Cuando ocurre la precipitación, el agua que se infiltra se acumula en los poros del suelo, para llevarlo a capacidad de campo, que es la máxima acumulación de agua que puede tener un suelo. Una vez terminado el aguacero, se lleva a cabo el proceso de evapotranspiración, tomando las raíces el agua que se encuentra en los poros del suelo. Si la cantidad de infiltración de la lluvia es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y llenar la necesidad de evapotranspiración, el sobrante de agua que infiltra, percola para recargar al acuífero (Schosinsky, 2006). Sea el coeficiente Ch, el coeficiente de humedad, obtenido de la siguiente ecuación:

$$Ch = (HS - PM - CC) / (CC - PM)$$

Ch = coeficiente de humedad

HS = humedad del suelo

CC = capacidad de campo

PM = punto de marchitez

Las figuras 84, 85 y 86 muestran la variación espacial calculada de la capacidad de campo, de la densidad aparente y del punto de marchitez, para la el área de estudio, obtenidas mediante muestreos y ensayos de laboratorio, e interpoladas por medio del criterio profesional con base en geomorfología.

El mapa de punto de marchitez presenta valores entre el rango de 15,72 a 22,59; los valores más altos tienden a distribuirse en los sectores montañosos este y sur, mientras que los más bajos abarcan el sector costero.

El mapa de capacidad de campo, posee un rango de valores entre los 22,34 a los 40,32; los valores más altos se distribuyen principalmente en la parte este del sector montañoso y parte del sector plano urbanizado, mientras que los valores más bajos se presentan a lo largo de la línea de costa.

Con respecto a la densidad aparente, ésta varía de 1,09 g/cm³ hasta 1,21 g/cm³ los valores más altos se localizan tanto en los sectores montañosos como a lo largo de la línea de costa, mientras que los valores bajos se localizan en el sector con mayor concentración urbana de Uvita.

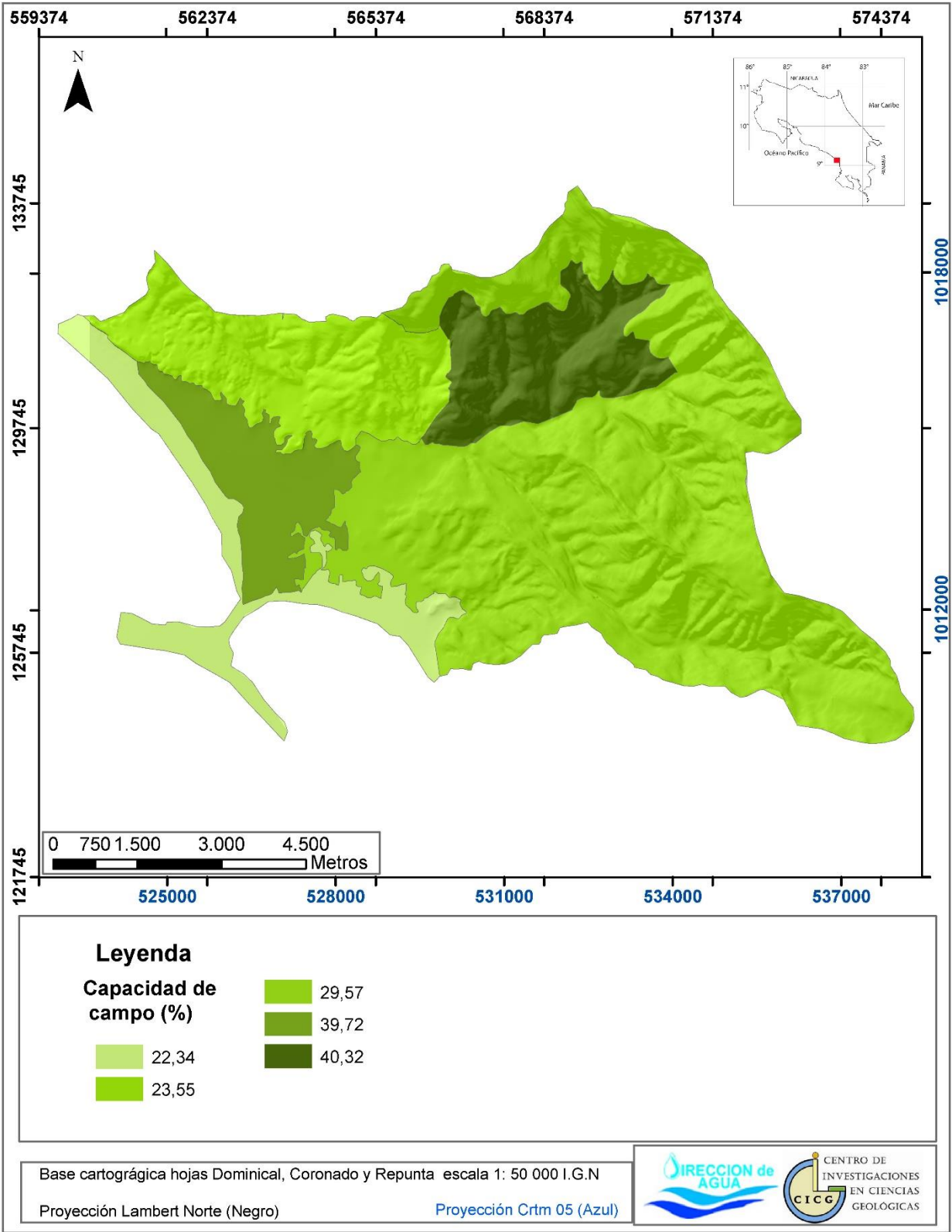


Figura 84: Mapa de distribución espacial capacidad de campo. Fuente: Elaboración propia.

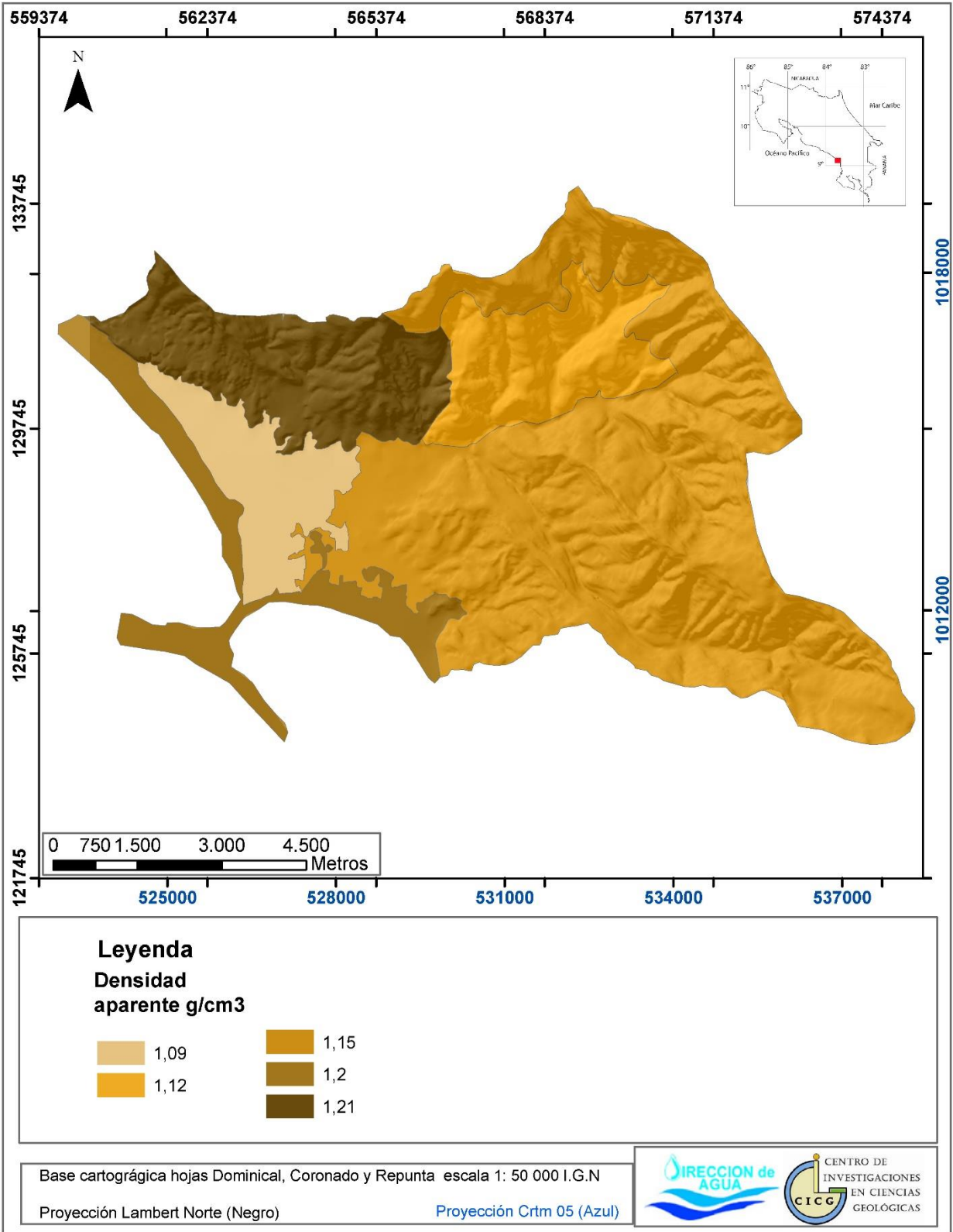


Figura 85: Mapa de distribución espacial de la densidad aparente. Fuente: Elaboración propia.

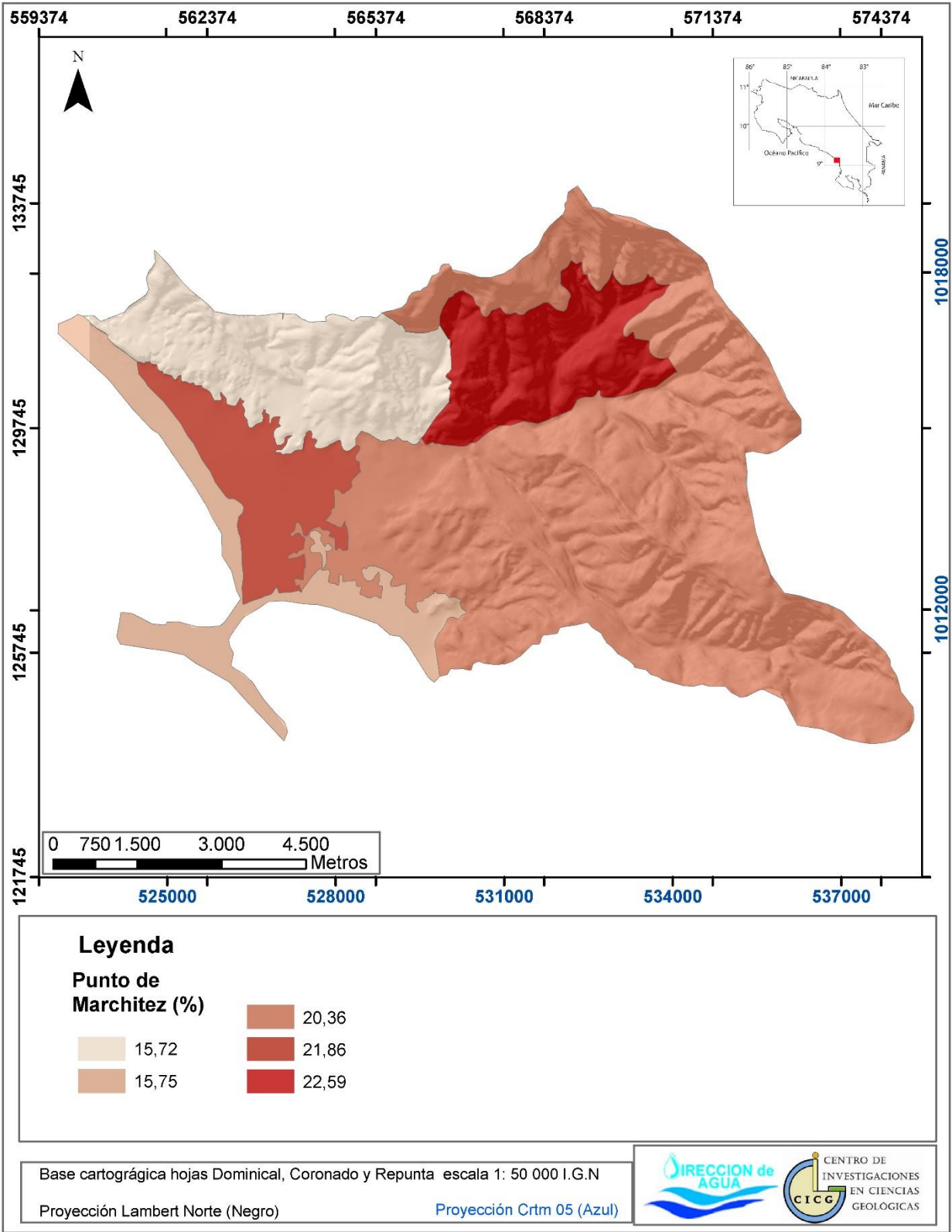


Figura 86: Mapa de distribución espacial del punto de marchitez. Fuente: Elaboración propia.

7.6 Evapotranspiración

La evapotranspiración de una zona de cultivo se define como la transpiración de la planta cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, más la evaporación del suelo. La mayor capacidad de evapotranspiración de un cultivo es cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo. Sin embargo; cuando la humedad de suelo es menor que la capacidad de campo, las hojas de las plantas van cerrando las estomas, con el propósito de transpirar menos y así economizar el agua.

Cuando la humedad del suelo llega al punto de marchitez permanente, la planta no transpira y muere. Para el balance hídrico de suelos se asume que la evapotranspiración potencial real va a ser proporcional a la humedad del suelo, comparada con la diferencia de humedad entre la capacidad de campo y el punto de marchitez. Para el cálculo de la evapotranspiración potencial real (ETPR) de la planta se utiliza la siguiente ecuación

$$ETPR = (HS - PM) \cdot (ET) / (CC - PM)$$

ETPR = evapotranspiración potencial (mm/mes)

HS = humedad del suelo (%)

ET = evapotranspiración de la planta a capacidad de campo (mm/día)

CC = capacidad de campo (%)

PM = punto de marchitez (%)

Cada planta tiene una evapotranspiración diferente y va a depender de: la temperatura del ambiente, humedad relativa, radiación solar, velocidad de viento y el grado de desarrollo de la planta. En una cuenca o en una zona cualquiera, es muy difícil determinar la evapotranspiración de la vegetación, debido a la gran cantidad de vegetación y el grado de desarrollo de las plantas existentes en una cuenca o en una zona de la misma (Schosinsky, 2006). Por esta razón, es conveniente asumir una evapotranspiración que sea promedio para toda la zona de estudio. Esta evapotranspiración promedio de la zona de estudio o cuenca se asumirá que es igual a la evapotranspiración potencial (ETP).

Para obtener la ETP, se ha utilizado la siguiente ecuación basada en Blaney & Criddle (ONU, 1972).

$$ETP \text{ (mm/mes)} = (8, 10 + 0,46T) \text{ Psi}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial en [mm/mes]

T = Temperatura media mensual en [grados centígrados]

Psi = Porcentaje de horas de luz solar mensual, con respecto al año [%]

Para la obtención de Psi se utilizó la clasificación usada por (Schosinsky, 2006). Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizaron los valores de temperatura de la estación Meteorológica Tinamaste que se mencionan en el apartado de meteorología.

7.7 Zonas de balance hídrico de la cuenca

Para aplicar un balance hídrico de suelos es necesario que se den una serie de condiciones específicas de una cuenca, sin embargo la aplicación de un balance implica definir zonas o áreas específicas que a la vez sean únicas en toda la cuenca, lo cual deriva no en un balance regional sino en varios balances, conforme más diferenciada este la cuenca en función a sus características hidrológicas. En este caso, se tomaron en cuenta cuatro factores: la precipitación, la pendiente, el uso de suelo y las características de los suelos. Con lo cual se obtuvieron un total de 33 zonas de balance, las cuales se muestran en el siguiente mapa (figura 87).

Una vez analizados cada uno de los componentes del balance mediante un análisis en sistemas de información geográfica, se determinan las distintas zonas del balance las cuales presentan características específicas, tal y como se expone en el cuadro 20.

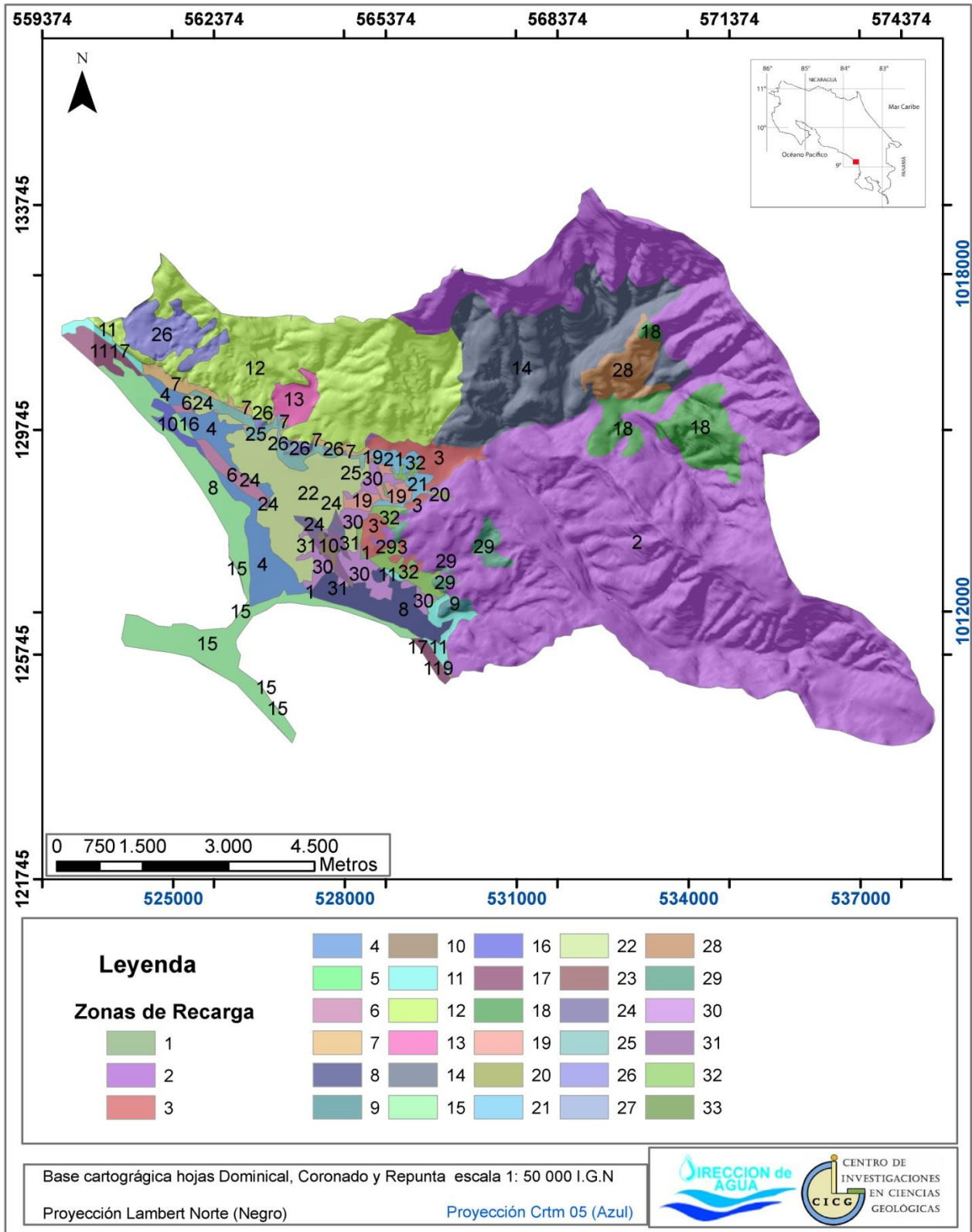


Figura 87: Mapa de distribución de las zonas definidas para el balance hídrico. Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 20: Resultados Balance hídrico

Léase: **CC**: capacidad de campo, **PM**: punto de marchitez, **DA**: densidad aparente, **Kv**: factor de vegetación, **Kph**: factor de pendiente

Zona	Infilt. mm/d	CC	D.A	P.M	Uso	Prof. Raíces (mm)	Kv	Kp	Recarga Anual (mm)	Por. Lluvia logra Recargar
1	1520	29,6	1,15	20,4	Bosque	1000	0,20	0,15	2036,72	54
2	1520	29,6	1,15	20,4	Bosque	1000	0,20	0,06	2036,72	54
3	1520	29,6	1,15	20,4	Bosque	1000	0,20	0,10	2036,72	54
4	3360	39,7	1,09	21,9	Bosque	1000	0,20	0,15	2032,18	54
5	3360	39,7	1,09	21,9	Bosque	1000	0,20	0,06	2008,34	53
6	3360	39,7	1,09	21,9	Bosque	1000	0,20	0,20	2008,34	53
7	3360	39,7	1,09	21,9	Bosque	1000	0,20	0,10	2008,34	53
8	60048	22,3	1,20	15,8	Bosque	1000	0,20	0,15	2053,97	54
8	60048	22,3	1,20	15,8	Bosque	1000	0,20	0,15	2053,97	54
9	60048	22,3	1,20	15,8	Bosque	1000	0,20	0,06	2053,97	54
10	60048	22,3	1,20	15,8	Bosque	1000	0,20	0,20	2053,97	54
11	60048	22,3	1,20	15,8	Bosque	1000	0,20	0,10	2053,97	54
12	432	23,6	1,21	15,7	Bosque	1000	0,20	0,06	2043,41	54
13	432	23,6	1,21	15,7	Bosque	1000	0,20	0,10	2043,41	54
14	96	40,3	1,12	22,6	Bosque	1000	0,20	0,06	1234,48	33
15	60048	22,3	1,20	15,8	Costa	100	0,30	0,15	2164,21	57
16	60048	22,3	1,20	15,8	Costa	100	0,30	0,20	2164,21	57
17	60048	22,3	1,20	15,8	Costa	100	0,30	0,10	2164,21	57
18	1520	29,6	1,15	20,4	Pastizales	500	0,18	0,06	2145,81	57
19	1520	29,6	1,15	20,4	Pastizales	500	0,18	0,15	2147,81	57
20	1520	29,6	1,15	20,4	Pastizales	500	0,18	0,06	2145,81	57
21	1520	29,6	1,15	20,4	Pastizales	500	0,18	0,10	2145,81	57
22	3360	39,7	1,09	21,9	Pastizales	500	0,18	0,15	2115,80	56
23	3360	39,7	1,09	21,9	Pastizales	500	0,18	0,06	2115,80	56
24	3360	39,7	1,09	21,9	Pastizales	500	0,18	0,20	2115,80	56
25	3360	39,7	1,09	21,9	Pastizales	500	0,18	0,10	2115,80	56
26	432	23,6	1,21	15,7	Pastizales	500	0,18	0,06	2150,55	57
27	432	23,6	1,21	15,7	Pastizales	500	0,18	0,10	2150,55	57
28	96	40,3	1,12	22,6	Pastizales	500	0,18	0,06	1287,32	34
29	1520	29,6	1,15	20,4	Urbano	200	0,09	0,06	2150,94	57
30	1520	29,6	1,15	20,4	Urbano	200	0,09	0,15	2150,94	57
31	1520	29,6	1,15	20,4	Urbano	200	0,09	0,20	2150,94	57
32	1520	29,6	1,15	20,4	Urbano	200	0,09	0,10	2150,94	57
33	3360	39,7	1,09	21,9	Urbano	200	0,09	0,15	2150,9	57

Es importante señalar que los valores de infiltración, CC, PM y Da, fueron promediados en dependencia de la cantidad de pruebas de suelo realizadas dentro de cada zona de balance, esto también se aplicó para los valores de infiltración.

7.8 Resultados

A partir de la información generada, se construyen las zonas de recarga potencial, las cuales se caracterizan por presentar rangos de recarga potencial variable, lo cual está condicionado por las características hidrológicas de los suelos de la cuenca, el uso actual de la tierra y las características del terreno, tal y como se observa en la figura 88.

A nivel general se muestra una recarga alta para el área de estudio entre un 32% y hasta un 57 % del agua que precipita logrará recargar.

Se muestra una recarga potencial anual por zona entre los 1234 mm hasta los 2164 mm anuales en la cuenca de estudio, siendo los sectores central y costero los que presentan una mayor intensidad de recarga, llegando a un porcentaje de recarga potencial de 57% del agua que precipita anualmente, esto se debe principalmente a ser zonas planas donde el agua de lluvia escurre con mayor dificultad, abonado a una tasa de infiltración alta producto de suelos arenosos, además de una escasa profundidad de raíces que limita la extracción de agua del suelo por parte de la vegetación, abonado a una disminución en la cantidad de agua de lluvia retenida en el follaje lo que favorece a un aumento en la cantidad de agua de logra llegar hasta el suelo .

Por su parte, la figura 89 muestra que en las zonas montañosas se presentan una recarga potencial de entre un 32 % a un 54 % de la precipitación anual, ésta disminución comparada con los sectores menos boscosos se debe principalmente a la fuerte pendiente, a un aumento en la profundidad de raíces y a la cobertura por follaje, lo que tiende a restar agua a la recarga.

Además de esto los sectores con menor recarga presentan los valores de punto de marchitez y capacidad de campo más elevados, esto quiere decir que para que se efectúe la recarga se requiere una cantidad de agua mucho mayor para satisfacer los requerimientos de la evapotranspiración definida por la capacidad de campo y punto de marchitez, lo que hace que la recarga potencial disminuya.

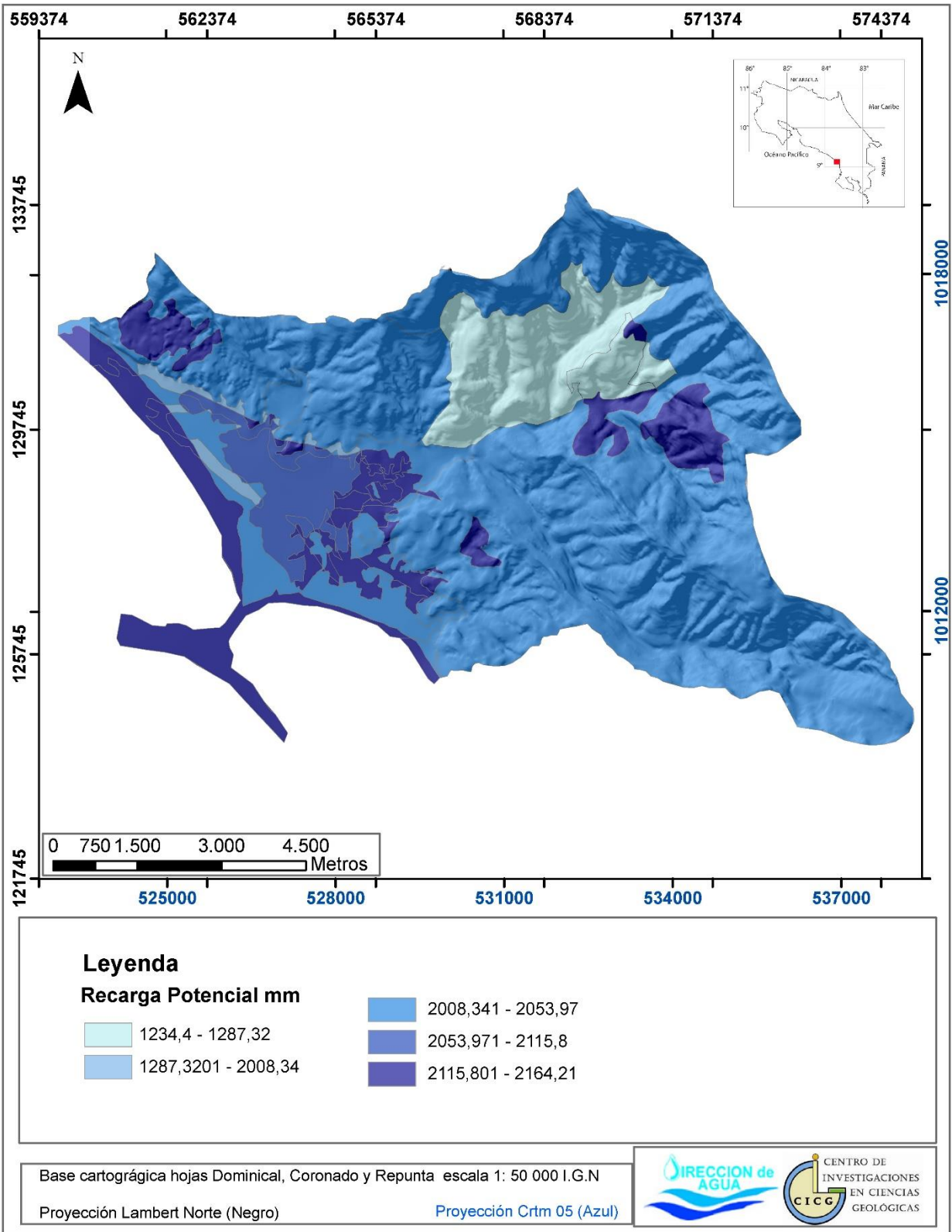


Figura 88: Mapa de recarga potencial anual en cada zona utilizada en el balance. Fuente: Elaboración propia.

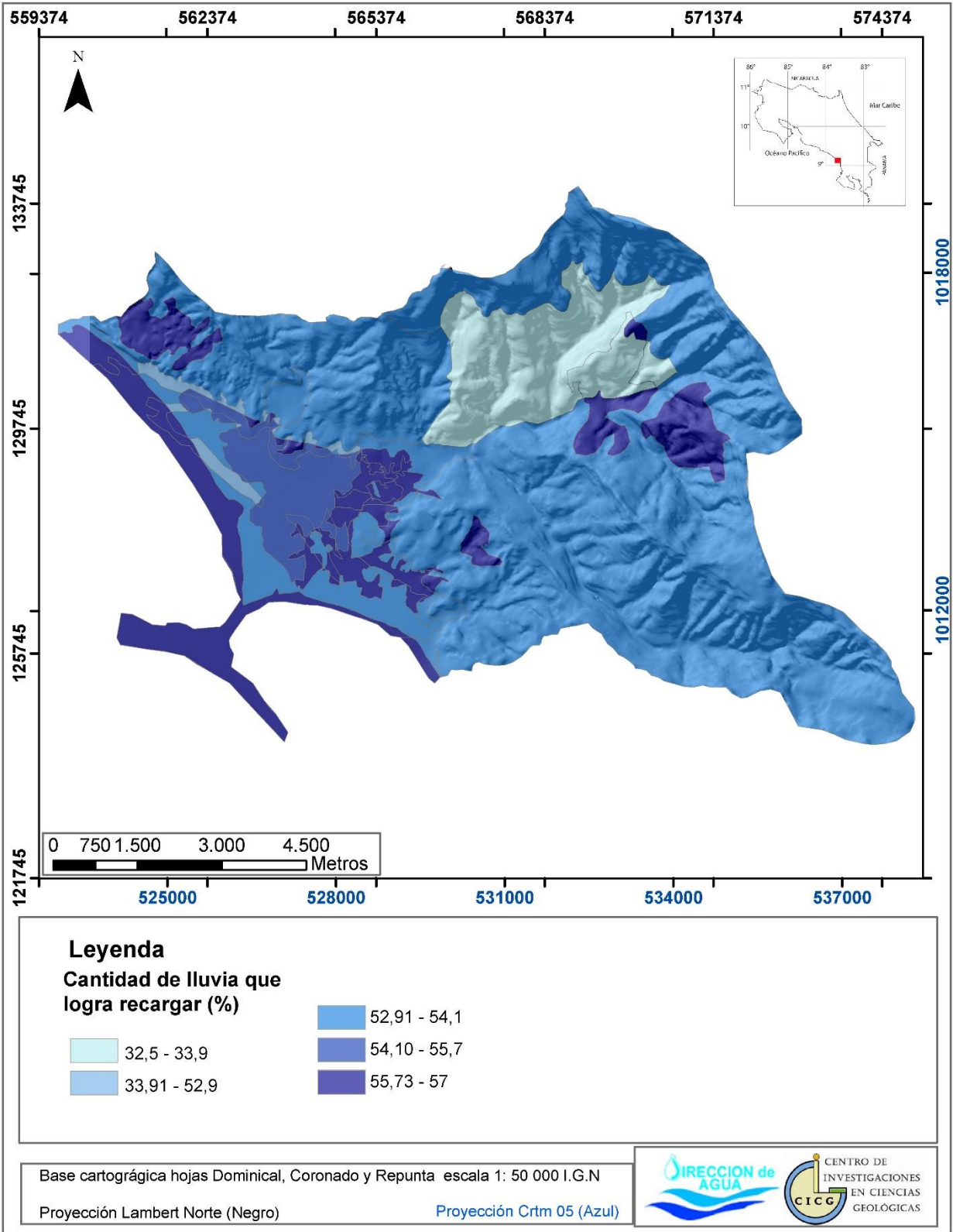


Figura 89: Mapa de porcentaje de recarga potencial anual en cada zona utilizada en el balance.
Fuente: Elaboración propia.

En general se presenta una recarga potencial alta, se estima un caudal anual total de agua de 160 865 546,46 m³, producido por sectores con pendiente baja, escasa vegetación y altas tasas de infiltración. Además de esto la tasa de lluvia promedio registrada es bastante alta, abonada a suelos con valores de capacidad de campo y punto de marchitez bajos los que disminuyen el efecto de evapotranspiración y favorecen la recarga.

7.9 Caudal de extracción y oferta-demanda para el área de estudio

De acuerdo con la información recopilada de diferentes fuentes se ha calculado el caudal de extracción por unidad hidrogeológica que actualmente se presenta en el área de estudio (cuadro 21).

Cabe señalar que el cálculo no contempla el posible caudal extraído en situación ilegal, como pueden ser pozos o cauces de río. O algún otro tipo de extracción que por razones de falta de información no se esté reportado en las instituciones consultadas.

Además, es importante señalar que el cálculo de agua sobrante se ha basado en los resultados del balance hídrico, el cual puede poseer un error de 20% (Schosinsky, 2006), además la recarga dependiendo de cambios de tipo climatológico (aumento de temperatura y disminución de la precipitación) y uso de suelo, puede variar su resultado en dependencia del año en que se analice.

Otro factor a considerar es que no se está evaluando la calidad ni el grado de potabilidad de agua calculada, por lo que se debe señalar que no se puede asegurar el porcentaje de agua que sea apta para el consumo humano, a excepción de la utilizada por la ASADA de la zona.

Con respecto a la disponibilidad de agua, es importante mencionar que al ser un cálculo anual no se está considerando una posible disminución del mismo en la época seca, aspecto que puede ser de importancia a la hora de otorgar una concesión, sobre todo en nacientes y cauces superficiales.

Cuadro 21: Cálculo de caudal extraído y oferta-demanda.

		Unidad Hidrogeológica	Caudal		
			l/s	l/año	m3/año
EXTRACCIÓN	Concesiones sin contar Nacientes de Asada ni pozos de la base de datos Senara	Unidad Ballena	32,88	1036903680	1036903,68
	Concesiones Sin contar Pozos de Asada ni pozos de la base de datos de Senara	Unidad Uvita	1,02	32166720	32166,72
	Pozos Asada	Unidad Uvita	11	346896000	346896
	Pozos SENARA	Unidad Ballena	102,7	3238747200	3238747,2
	Nacientes Asada	Unidad Ballena	23	725328000	725328
	Total de agua extraída	Unidad Uvita	12,02	379062720	379062,72
	Total de agua extraída	Unidad Ballena	158,58	5000978880	5000978,88
	Total de agua extraída	Todo el área	170,6	5380041600	5380041,6
RECARGA	Total de agua que se estima recarga anualmente	Unidad Ballena		115742465877,76	115742465,9
	Total de agua que se estima recarga anualmente	Unidad Uvita		45123080583	45123080,58
	Total de agua que recarga	Todo el área		160865546461,15	160865546,5
BALANCE	Agua Disponible	Unidad Ballena		110741486997,76	110741487
		Unidad Uvita		44744017863,39	44744017,86
	Porcentaje agua Disponible	Unidad Ballena		95,7	95,7
		Unidad Uvita		99,2	99,2
	Total de agua Disponible	Todo el área		155485504861,15	155485504,9
	Porcentaje total de agua Disponible	Todo el área		96,66	96,66

El cuadro 21 indica que actualmente se está extrayendo anualmente sobre la unidad Hidrogeológica Ballena un total de 250,7 l/s (esto considerando una jornada de Bombeo de 24 horas continuas debido a falta de información que ayuda a definir una jornada de bombeo adecuada), lo que representa alrededor de un 7% del agua que recarga anualmente sobre esta unidad lo que quiere decir que esta unidad presenta una cantidad disponible de alrededor de un 95,7% de agua.

Con respecto a la Unidad Hidrogeológica Uvita actualmente se extrae anualmente alrededor de 12,02 l/s, lo que representa alrededor de un 1% del agua que recarga anualmente sobre esta unidad lo que quiere decir que esta unidad presenta un sobrante de alrededor de un 99% de agua.

Ahora bien si se analizan las dos unidades en conjunto, se estima que actualmente el agua que se encuentra almacenada equivaldría al 96% de la recarga anual, lo que implica que hay un aprovechamiento concesionado total alrededor de un 4% de la cantidad de agua que logra recargar.

Con respecto a los usos a los que va destinada el agua, no existe suficiente información para estimarlo, pero se puede decir que por lo menos que alrededor de un 12% del caudal extraído está concesionado por la ASADA de Bahía-Uvita, lo que implica un destino de consumo dirigido a la población del lugar.

Con estos resultados se estima que el sector aún no sufre de sobreexplotación, pero se deja claro que se desconoce la calidad del agua que se encuentra recargando, sobre todo en el sector de la Unidad Hidrogeológica Uvita, que como se muestra en la sección de vulnerabilidad, presenta un nivel moderado de vulnerabilidad a la contaminación, lo que puede generar que el agua de este sector no sea aprovechable.

En anexo, se adjunta una estimación de la extracción de los pozos excavados.

8 PROTECCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

8.1 Concepto de vulnerabilidad hidrogeológica

En este capítulo se evalúa la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación acuífera. La evaluación se efectuó aplicando la metodología GOD.

Este concepto está basado en la asunción de que el ambiente físico puede proveer algún grado de protección a las aguas subterráneas, producto de los impactos naturales y antrópicos. El término de vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación fue introducido en 1969 por J. Margat.

El concepto fundamental de la vulnerabilidad del agua subterránea es que alguna área es más vulnerable que otra. Este concepto ha ido evolucionando gradualmente desde la mera evaluación de características hidrogeológicas a la valoración del riesgo de contaminación de un acuífero por actividades humanas, por ello, la vulnerabilidad es una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea y no depende del impacto humano ni natural.

Hay varios tipos de vulnerabilidad: intrínseca o natural: es definida en función de los factores hidrogeológicos. Por otro lado, tenemos la vulnerabilidad específica: incluye en este caso, el impacto humano y requiere de la evaluación del potencial de atenuación del contaminante.

Esta depende sobre todo de la cantidad, calidad y representatividad de los datos utilizados. Los principales atributos utilizados en las evaluaciones de vulnerabilidad intrínseca son: recarga, propiedades del suelo, características de las zonas no saturada y saturada. Parámetros utilizados frecuentemente son: topografía, relación agua superficial-agua subterránea, y la naturaleza de la capa sobreyacente del acuífero, estos parámetros se emplean en diversas metodologías.

Estos mapas son particularmente útiles para regular, manejar y tomar decisiones a nivel gubernamental. Los mapas de vulnerabilidad son una buena herramienta para hacer una valoración local y regional del potencial grado de afectación, identificando áreas susceptibles a la contaminación, diseñando redes de monitoreo, y evaluando el grado de contaminación difusa.

Estos mapas también son de gran ayuda en el proceso educativo e informativo para los tomadores de decisión en la protección del agua subterránea, riesgo y prevención de la contaminación.

8.2 La metodología GOD

La metodología utilizada en esta investigación es la GOD, desarrollada originalmente por Foster (1987): asigna índices entre 0 y 1 a tres variables, del acrónimo en Inglés GOD:

- **G**: ground water occurrence: “Tipo de acuífero”.
- **O**: overall aquifer class: “Litología de la cobertura”.
- **D**: depth: “Profundidad del agua o del acuífero”.

La estimación de este índice de vulnerabilidad, involucra una serie de etapas concretas:

Identificar el grado de confinamiento hidráulico del acuífero y asignarle un índice a este parámetro en una escala de 0,0 a 1,0.

Especificar las características del sustrato suprayacente a la zona saturada del acuífero en términos de: a) grado de consolidación (teniendo en cuenta la probable presencia de permeabilidad secundaria por fracturas) y b) tipo de litología (considerando indirectamente la porosidad, permeabilidad y contenido de humedad de la zona no saturada) y asignar un índice a este parámetro en una escala de 0,4 a 1,0.

Estimar la distancia o profundidad al nivel del agua (en acuíferos no confinados) o profundidad al techo del primer acuífero confinado, con la consiguiente asignación de un índice en una escala de 0,6 a 1,0.

El índice final integrado de vulnerabilidad de acuíferos GOD, es el producto de los índices obtenidos para cada uno de estos parámetros. Foster, *et al.* (2002), presentan el diagrama de la figura 90, para la descripción de la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación.

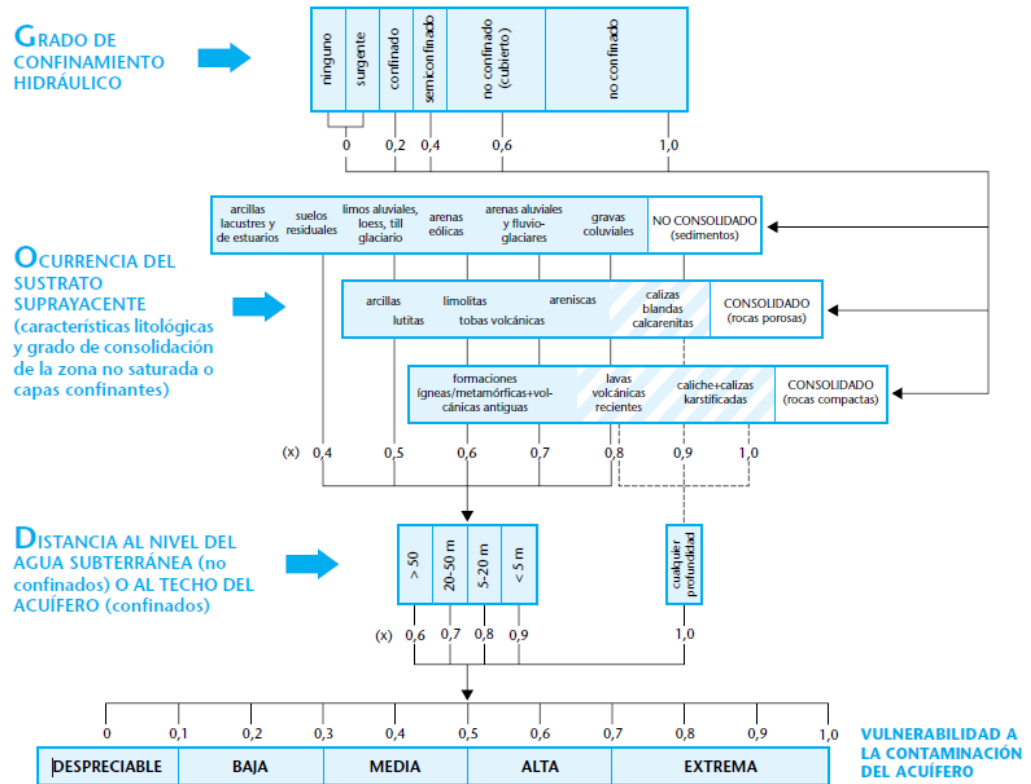


Figura 90: Diagrama para determinar la vulnerabilidad con la metodología GOD, Fuente: Foster et al. (2002).

8.3 Determinación de la vulnerabilidad hidrogeológica

A partir del modelo conceptual hidrogeológico se procedió a calcular el índice de vulnerabilidad utilizando la metodología GOD para cada una de las Unidades Hidrogeológicas definidas. Los datos se muestran a continuación.

8.3.1 Unidad Hidrogeológica Ballena

Esta unidad presenta por lo menos tres niveles de agua, los cuales inician a una profundidad de aproximadamente de 17 m, 30m y mayor a 80 m respectivamente. Ésta unidad presenta un grado de confinamiento que va desde semiconfinado a confinado, en la zona montañosa está cubierto por turbiditas alteradas y sanas, mientras que el sector plano está cubierto por depósitos aluviales de la Unidad Hidrogeológica Uvita. Por lo que para realizar la metodología GOD se dividió esta unidad en zona montañosa y zona plana, la cual a su vez se dividió en sectores de acuerdo a la profundidad a la que se estima pudiera estar el agua. Los cuadros 22, 23, 24 y 25 muestran los resultados obtenidos.

Cuadro 22: Cálculo del índice de vulnerabilidad hidrogeológica para la Unidad Hidrogeológica Ballena Sector Montañoso

Parámetro	Unidad Hidrogeológica Ballena
Grado de confinamiento Hidráulico	Confinado Cubierto
Valor	0,2
Ocurrencia del sustrato suprayacente	Areniscas y Lutitas
Valor	0,7
Distancia al agua (m)	Entre 17 - 80 m (se toma el valor más bajo)
Valor	0,8
Índice de vulnerabilidad	0,112
Valoración	Vulnerabilidad Baja

Cuadro 23: Cálculo del índice de vulnerabilidad hidrogeológica para la Unidad Hidrogeológica Ballena Sector Plano, Barra de la cola de la Ballena

Parámetro	Unidad Hidrogeológica Ballena
Grado de confinamiento Hidráulico	Libre No Cubierto
Valor	1
Ocurrencia del sustrato suprayacente	Areniscas y Lutitas
Valor	0,7
Distancia al agua (m)	Menor a 5 m
Valor	0,9
Índice de vulnerabilidad	0,63
Valoración	Vulnerabilidad Alta

Cuadro 24: Cálculo del índice de vulnerabilidad hidrogeológica para la Unidad Hidrogeológica Ballena Sector Plano, cubierto por aluviones y con profundidad agua entre 5m y 20m.

Parámetro	Unidad Hidrogeológica Ballena
Grado de confinamiento Hidráulico	Confinado
Valor	0,2
Ocurrencia del sustrato suprayacente	Aluviones
Valor	0,7
Distancia al agua (m)	Entre 5 m y 20 m
Valor	0,8
Índice de vulnerabilidad	0,112
Valoración	Vulnerabilidad Baja

Cuadro 25: Cálculo del índice de vulnerabilidad hidrogeológica para la Unidad Hidrogeológica Ballena Sector Plano, cubierto por aluviones y con profundidad agua entre 20m y 50m.

Parámetro	Unidad Hidrogeológica Ballena
Grado de confinamiento Hidráulico	Confinado
Valor	0,2
Ocurrencia del sustrato suprayacente	Aluviones
Valor	0,7
Distancia al agua (m)	Entre 20 m y 50 m
Valor	0,7
Índice de vulnerabilidad	0,098
Valoración	Vulnerabilidad Despreciable

Como resultado del análisis realizado, en la figura 91 se observa que para la mayoría del área que comprende la Unidad Hidrogeológica Ballena, se presenta una vulnerabilidad Baja debido al grado de confinamiento que posee y a la profundidad del agua que es mayor a los 17 m. Para los sectores planos en donde el espesor de aluvión es superior a los 20 m se ha calculado una vulnerabilidad despreciable. El sector conocido como Cola de la Ballena en donde es muy probable que exista alguna zona de transición entre agua dulce con salada, se catalogaría con una vulnerabilidad alta, producto de la escasez de cobertura y a un posible nivel más superficial.

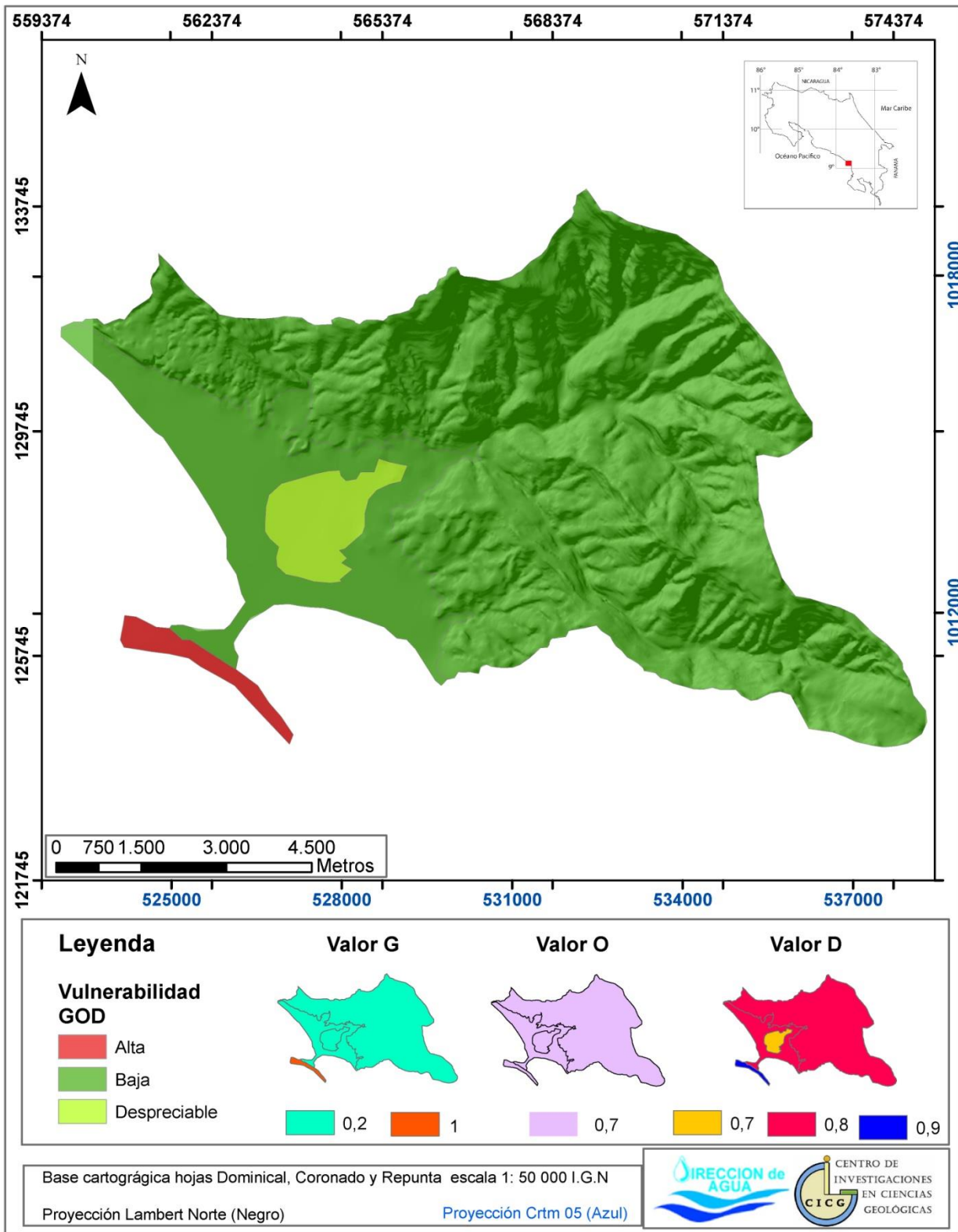


Figura 91: Mapa de Vulnerabilidad Hidrogeológica para la Unidad Hidrogeológica Ballena. Fuente: Elaboración Propia.

8.3.2 Unidad Hidrogeológica Uvita

Se caracteriza por ser una unidad cuyo nivel de agua se localiza entre los 8 m a 1m de profundidad. Su grado de confinamiento se cataloga como libre, con una escasa cobertura de material aluvial.

El cuadro 26 muestra los resultados obtenidos.

Cuadro 26: Cálculo del índice de vulnerabilidad hidrogeológica para la Unidad Hidrogeológica Uvita.

Parámetro	Unidad Hidrogeológica Uvita
Grado de confinamiento Hidráulico	Libre
Valor	0,6
Ocurrencia del sustrato suprayacente	Depósitos aluviales y suelo
Valor	0,9
Distancia al agua (m)	Menor a 5m
Valor	0,9
Índice de vulnerabilidad	0,48
Valoración	Moderada

Los resultados obtenidos en el cuadro 26 y representados en la figura 92, indican un grado de vulnerabilidad moderada, debido principalmente a lo cercano que se encuentra el nivel de agua a la superficie. Es importante notar, que se utilizaron los parámetros más ajustados a la realidad que ofrece la metodología considerando los escenarios más conservativos.

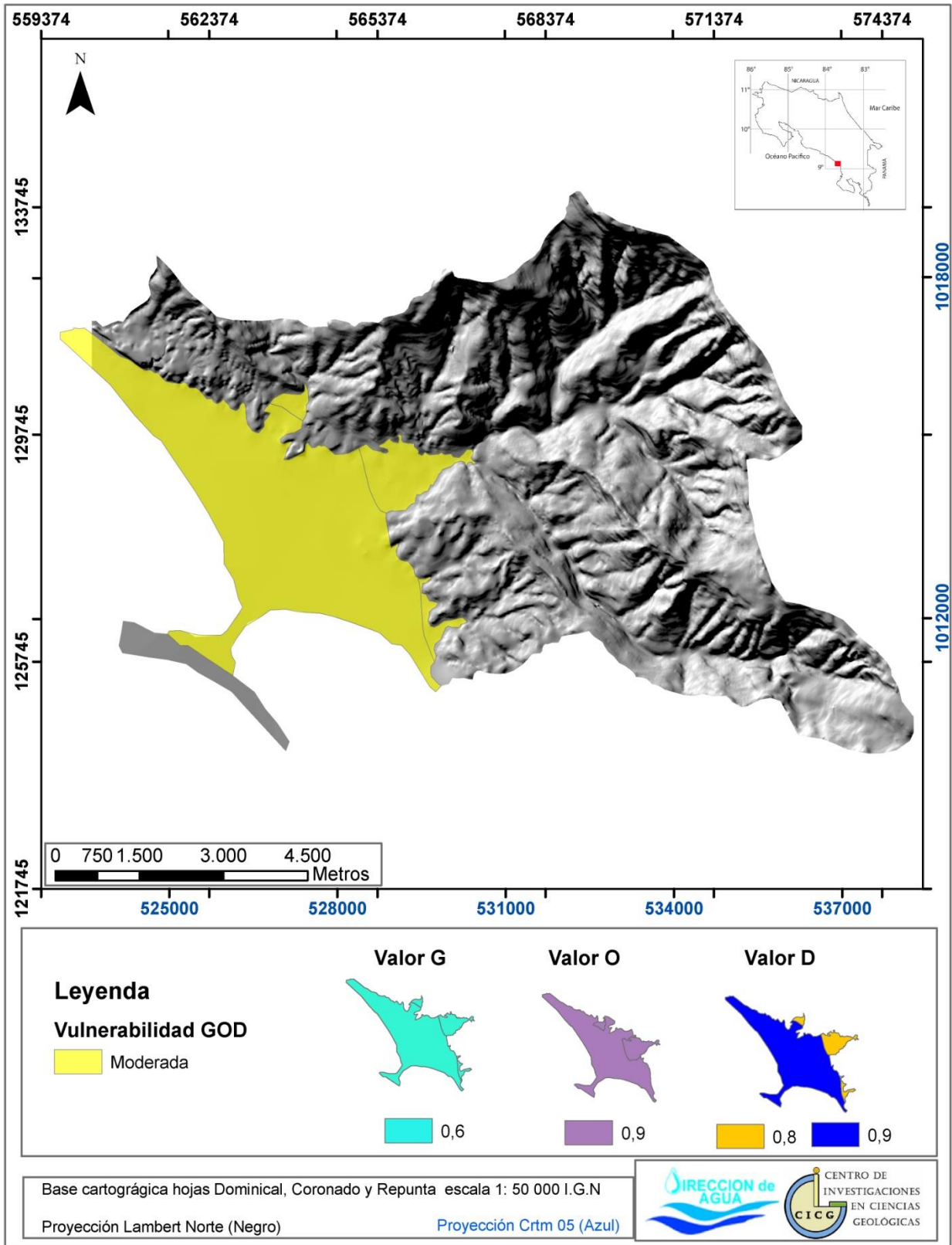


Figura 92: Mapa de Vulnerabilidad Hidrogeológica para la Unidad Hidrogeológica Uvita. Fuente: Elaboración Propia.

8.4 Riesgo hidrogeológico

El riesgo de contaminación de acuíferos puede ser determinado considerando la interacción entre los elementos representados en la figura 93.

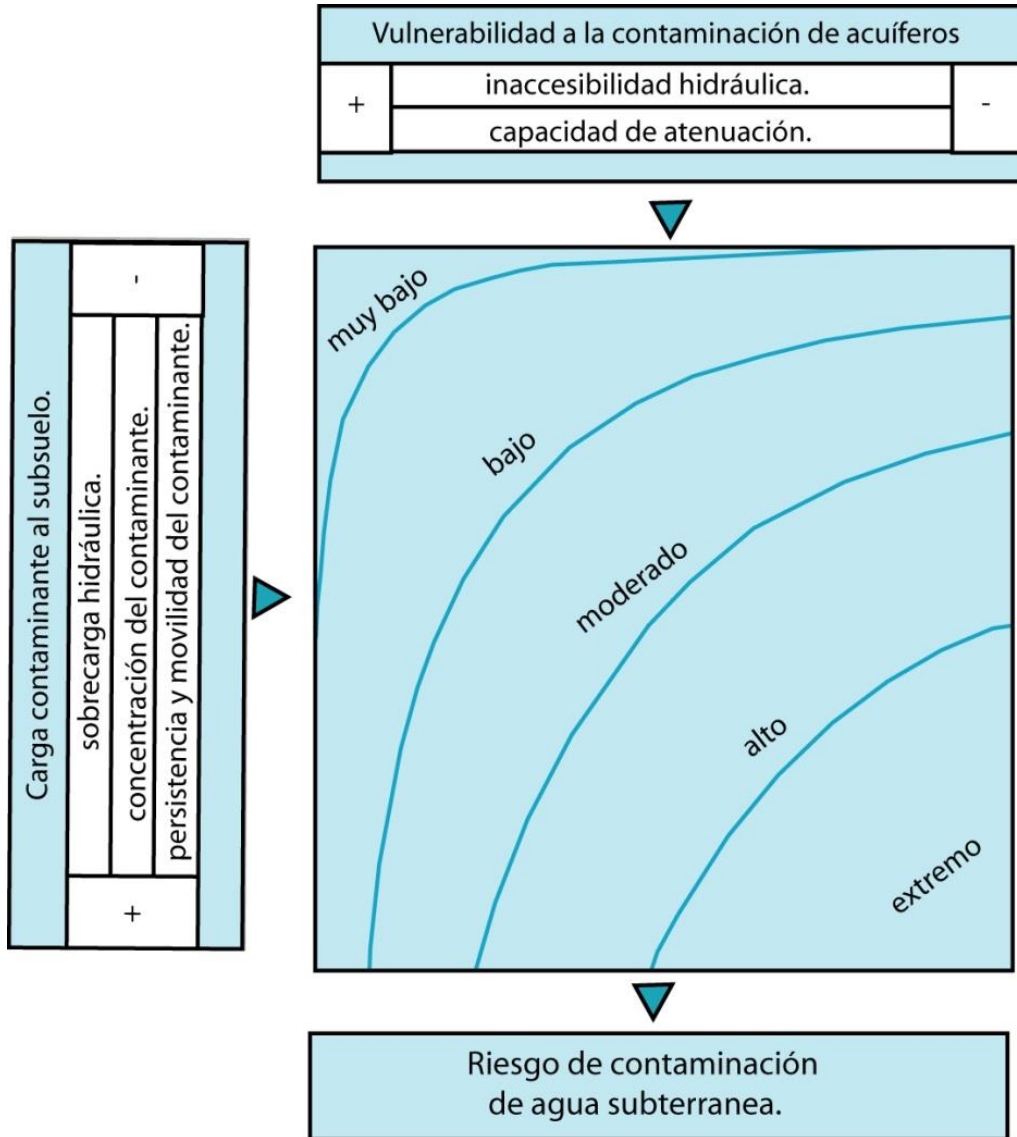


Figura 93: Esquema conceptual para la evaluación del riesgo de los recursos hídricos subterráneos. (Tomado de Foster *et al.*, 2002)

La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, que depende de las características naturales y propias de los estratos que lo separan de la superficie terrestre ya fue evaluada en el apartado anterior de este informe.

La carga contaminante sub-superficial que es, será o podría ser aplicada en el subsuelo como resultado de las actividades humanas denominadas en este estudio como fuentes potenciales de contaminación.

La contaminación de los acuíferos ocurre cuando la carga de contaminantes generados por descargas o lixiviados de actividades urbanas, industriales, agrícolas o mineras no es controlada adecuadamente, y en ciertos componentes excede la capacidad natural de atenuación del subsuelo y estratos suprayacentes.

Los horizontes del suelo contribuyen a la disminución de muchos contaminantes gracias al proceso de degradación bioquímica y la reacción bioquímica que se produce durante el transporte subterráneo por la zona vadosa (no saturada), de igual forma el retraso de los contaminantes por la adsorción aportan mayor tiempo que favorece a su eliminación.

No todos los horizontes del suelo son buenos atenuando contaminantes, de igual forma los acuíferos con rocas consolidadas con fisuras le dan mucha vulnerabilidad al acuífero. El tipo de contaminante y el proceso de contaminación también variarán el grado de atenuación de la contaminación.

En el cuadro 27 se aprecian los principales tipos de contaminantes y sus fuentes que afectan los acuíferos en general. Las fuentes potenciales de contaminación del sector de Bahía Ballena fueron determinadas a partir de las observaciones de campo y de uso de la tierra actual.

Cuadro 27: Contaminantes comunes del agua subterránea

Fuentes de contaminación	Tipo de contaminante
Actividad agrícola	Nitratos; Amonios; Pesticidas; Organismos fecales.
Saneamiento <i>in situ</i>	Nitratos; Hidrocarburos Halogenados; Microorganismos.
Gasolineras y Garajes	Hidrocarburos aromáticos; benceno; fenoles; hidrocarburos halogenados.
Disposición de residuos sólidos	Amonio; salinidad; hidrocarburos halogenados; metales pesados
Industrias Metalúrgicas	Tricloroetileno; tetracloroetileno; hidrocarburos halogenados; fenoles; metales pesados; cianuro.
Pintura y Esmaltes	Alcalobenceno; hidrocarburos halogenados; metales; hidrocarburos aromáticos; tetracloroetileno.
Industria Maderera	Pentaclorofenol; hidrocarburos aromáticos; hidrocarburos halogenados.
Tintorerías	Tricloroetileno; tetracloroetileno.
Manufactura de pesticidas	Hidrocarburos halogenados; fenoles; arsénico.
Disposición de Lodos Residuos Domésticos	Nitratos; hidrocarburos halogenados; plomo, cinc.
Curtidurías	Cromo; hidrocarburos halogenados; fenoles.
Exploración/Extracción de Gas y Petróleo	Salinidad (Cloruro de sodio); hidrocarburos aromáticos.
Minas de Carbón y Metales	Acidez; varios metales pesados; hierro y sulfatos.

Tomado de Foster *et al.*, 2002.

El peligro de contaminación del agua subterránea se definiría como la probabilidad de que el agua subterránea en la parte superior de un acuífero sea contaminada en un nivel inaceptable por las actividades que se desarrollan en la superficie del terreno suprayacente.

En términos prácticos, la evaluación del riesgo involucra la consideración de esta interacción mediante la superposición de los resultados del inventario de cargas contaminantes del subsuelo con el mapa de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos. Las zonas más críticas se presentan donde hay actividades capaces de generar carga contaminante elevada en un área de alta o extrema vulnerabilidad del acuífero, y es en ellas donde se deben establecer mayores restricciones al uso del suelo.

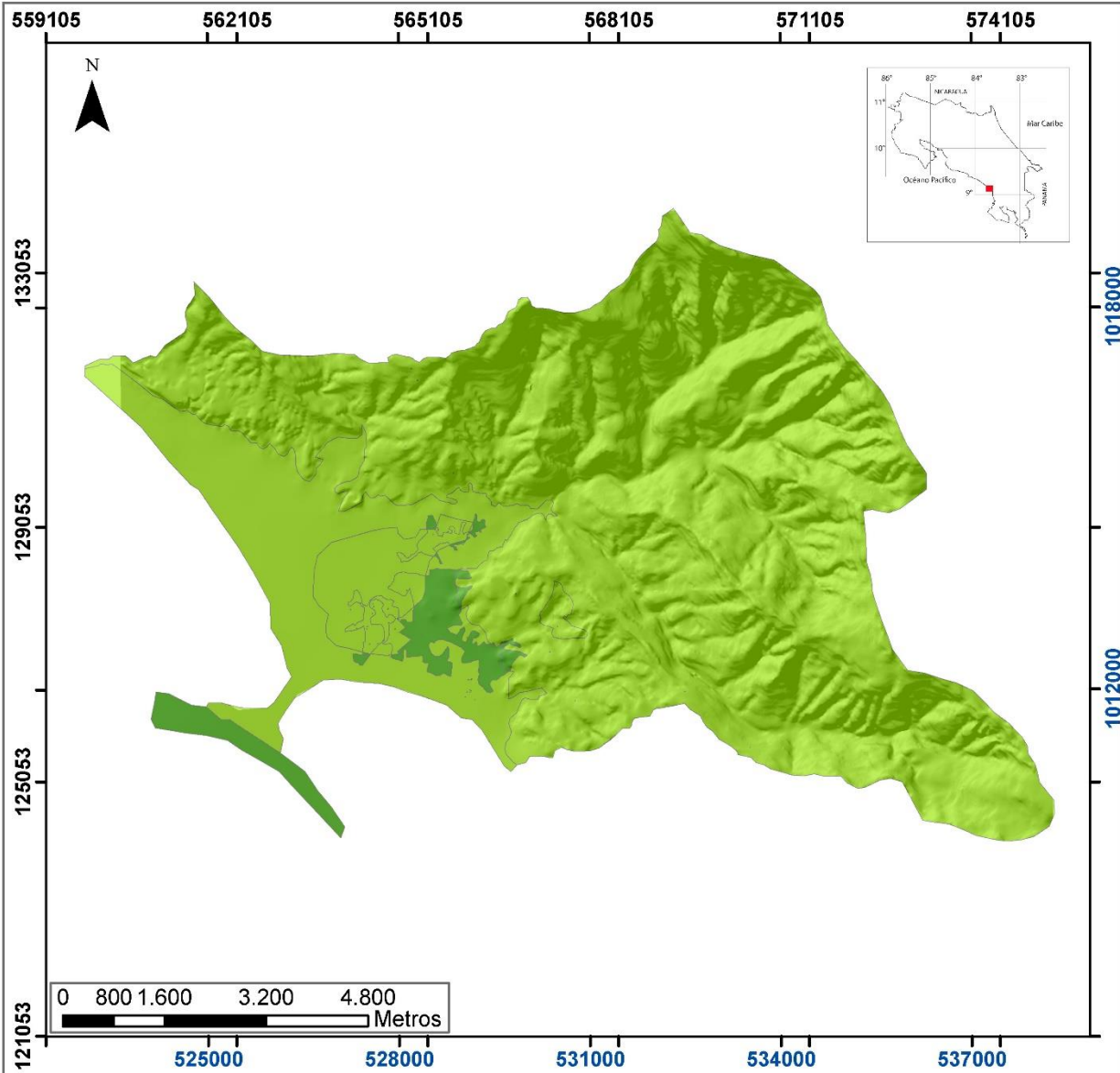
La evaluación del riesgo de contaminación del acuífero es un prerequisite esencial para la protección de los recursos hídricos subterráneos, ya que identifica aquellas actividades humanas que tienen la mayor probabilidad de tener impactos negativos sobre el acuífero, permitiendo priorizar las medidas de control y mitigación necesarias.

Con el fin de cuantificar cuales son las zonas de mayor riesgo de contaminación hidrogeológica en el área de estudio, se ha aplicado la matriz propuesta por Arias (2011), que se detalla en el cuadro 28 (en anexo digital se detalla el valor asignado a cada fuente potencial de contaminación).

Cuadro 28: Matriz para cuantificar el riesgo de contaminación

Valor			Zonas de Vulnerabilidad				
			Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
			1	2	3	4	5
Carga de contaminación	Reducida	1	1	2	3	4	5
	Moderada	2	2	4	6	8	10
	Elevada	3	3	6	9	12	15
Riesgo de contaminación			Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
			1-2	3-5	6-8	9-11	12-15

Las figuras 94 y 95, muestran el mapa resultante de la combinación de la vulnerabilidad hidrogeológica y de las fuentes potenciales de contaminación que evidencian el grado de riesgo hidrogeológico para cada unidad hidrogeológica.



Leyenda

Riesgo contaminación Unidad Ballena

- MEDIO
- BAJO
- MUY BAJO

Base cartográfica hojas Dominical, Coronado y Repunta escala 1: 50 000 I.G.N

Proyección Lambert Norte (Negro) Proyección Crtm 05 (Azul)






Figura 94: Mapa de riesgo hidrogeológico de la Unidad Ballena. Fuente: Elaboración Propia

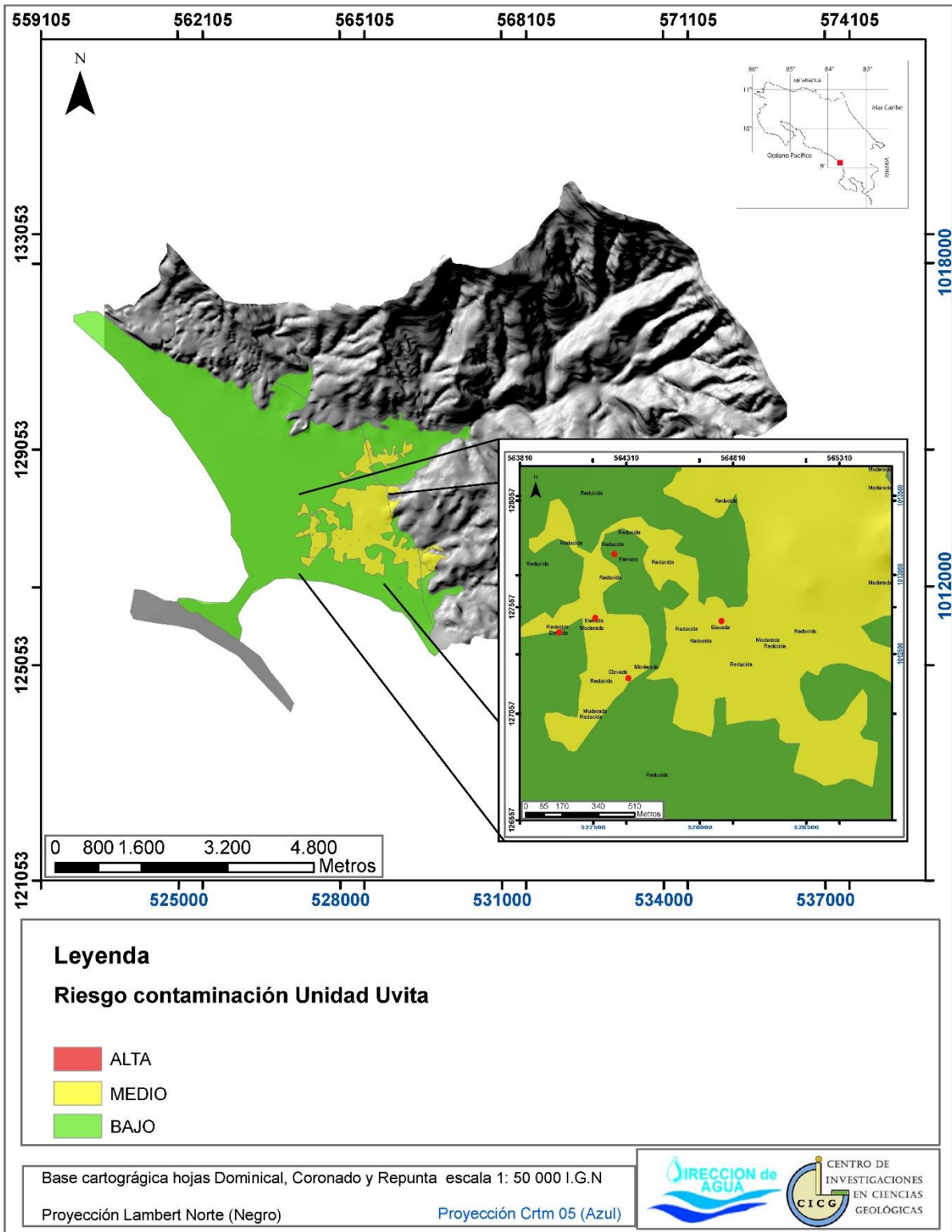


Figura 95: Mapa de riesgo hidrogeológico de la Unidad Uvita. Fuente: Elaboración Propia

Se determinó que los sectores que poseen mayor riesgo a la contaminación se ubican en las áreas urbanas donde se encuentran los sectores con mayor concentración de viviendas e infraestructura. Este sector abarca aproximadamente un 3% del área de interés y se ubican principalmente en los sectores más planos ubicados en la parte central de Uvita (ver mapa uso de suelo apartado Balance Hídrico), mayoritariamente al margen izquierda del río Uvita. Las principales fuentes de contaminación serían de tipo puntual, por la presencia de tanques sépticos en la mayoría de viviendas y establecimientos. Además la presencia de talleres mecánicos a los márgenes de la carretera interamericana sur, pueden generar problemas de contaminación.

Además muchos de los pozos excavados de manera artesanal (ver ficha de pozos) se encuentran abandonados y expuestos (figuras 96 y 97), lo que favorece la presencia de animales muertos, o caída de algún tipo de contaminante.

En los sectores montañosos, principalmente de Fila Tigre, se está empezando a desarrollar mucho proyecto inmobiliario, por lo cual si no se ejerce un control adecuado se podrían generar zonas de contaminación potencial por mal manejo de aguas residuales.

En lo que respecta a las aguas superficiales, la mayoría de ríos se observan sin contaminación por desechos no biodegradables, exceptuando el río Uvita en el sector urbanizado, el cual puede poseer basura en poca y esporádica cantidad.

Con respecto a las playas en su mayoría estas pertenecen al Parque Nacional por lo que se presentan sin contaminación por desechos no biodegradables. Sin embargo el sector al norte de Playa Hermosa que es de tipo pública presenta abundante basura.



Figura 96: Pozos expuestos y abandonados son el principal riesgo a la contaminación que presenta la unidad Hidrogeológica Uvita



Figura 97: Pozo abandonado con infraestructura colapsada.

8.5 Red de Monitoreo de calidad de agua subterránea

El primer paso para una adecuada gestión del recurso hídrico, es la instalación de una red del monitoreo de la cantidad y calidad del agua (Arias, 2013).

El término monitoreo implica seguimiento y por lo tanto, se refiere a mediciones y muestreos reiterados (periódicos). La periodicidad del monitoreo, depende de variados factores: régimen de flujo (natural o artificial - extracción); fuentes reconocidas o potenciales de contaminación (ubicación y características), carga, movilidad, persistencia y toxicidad de los contaminantes; tamaño del acuífero; comportamiento hidráulico (libre, semiconfinado o confinado); características y espesor de la zona subsaturada; características y posición de la zona de recarga y profundidad de los acuíferos semi y confinados; relación exceso - déficit y periodicidad de la recarga; entre otros.

Los principales objetivos de una estrategia de monitoreo de aguas subterráneas incluyen (Auge 2006, 2008):

- Soportar la estrategia de protección de aguas subterráneas en los niveles locales, regionales y nacionales con el objetivo de preservar sus propiedades naturales especialmente para propósitos de abastecimiento de agua potable.
- Proveer datos representativos sobre el estado natural y las tendencias del sistema hidrogeológico con fines de planeación, manejo y toma de decisiones sobre la protección y conservación de las aguas subterráneas.
- Disponer de datos precisos y confiables para ayudar a identificar la existencia de fuentes puntuales y difusas de contaminación.
- Producir datos para estudiar los cambios en el espacio y en el tiempo en la calidad de los sistemas hidrogeológicos debido a procesos naturales.

El desarrollo de la estrategia debe tener en cuenta que los objetivos de monitoreo dependen del nivel (nacional, regional, local), de las prioridades, de los intereses y de las necesidades de los usuarios y por ello su determinación es complicada. En sentido amplio, son objetivos comunes (IDAM 2002, 2007):

- Identificar las propiedades físicas, químicas y biológicas del sistema de aguas subterránea.
- Definir el estado, en cantidad y calidad, de las aguas subterráneas (identificar formaciones geológicas, características hidroquímicas).
- Identificar los efectos de los procesos naturales y los impactos humanos de los sistemas hidrogeológicos.
- Pronosticar a largo plazo las tendencias en cantidad y calidad de las aguas subterráneas.
- Definir el grado de vulnerabilidad de los sistemas hidrogeológicos.

- Definir medidas a ser adoptadas para prevenir la degradación de las aguas subterráneas o restaurar los acuíferos que ya han sido afectados.
- Determinar prioridades y conflictos entre los usuarios de los recursos hídricos subterráneos y otros recursos naturales (estudio socio-económico).

El sistema de monitoreo incluye las siguientes actividades (Arias, 2013, Quintana 2008, Morelio & Torres, 2002):

- Delimitación del área de monitoreo.
- Análisis de la estructura geológica, el sistema de flujo de aguas subterráneas y la calidad de las aguas subterráneas.
- Diseño de la red de monitoreo.
- Designación e implementación de métodos de campo y procedimientos analíticos de laboratorio.
- Determinación de la frecuencia de muestreo y selección de variables a ser analizadas incluyendo muestras de campo y blancos como parte de los procesos de aseguramiento control de calidad.
- Manejo de la base de datos, especialmente en lo relacionado con manipulación, procesamiento y evaluación de los datos.

La selección de los sitios para el muestreo de la calidad y cantidad de las aguas subsuperficiales y subterráneas deberá diseñarse a partir del modelo hidrogeológico conceptual y de los sistemas acuíferos presentes en cuencas y/o subcuencas hidrogeológicas (Arias, 2013). Es importante destacar que las variaciones naturales de los niveles y la calidad de las aguas subterráneas están íntimamente relacionadas con las variaciones espaciales y temporales de variables meteorológicas e hidrológicas que definen las diferentes épocas climáticas.

Desde el punto de vista hidrogeológico es importante conocer el tipo de acuífero a monitorear teniendo en cuenta (Arias, 2013):

- El marco geológico y estructural
- El modelo de flujo que defina sus zonas de recarga, tránsito y descarga
- Las relaciones entre río- acuífero, sus parámetros hidráulicos, sus características hidrogeoquímicas naturales.
- La recarga proveniente de la precipitación, sus recursos y reservas
- La vulnerabilidad y las fuentes potenciales puntuales y/o difusas de contaminación.

La mayoría de estos factores incide también en la distribución y separación de los pozos para monitoreo, cuya principal virtud consiste en que sean hábiles para brindar valores representativos de los potenciales hidráulicos y para permitir un muestreo que también sea representativo de la calidad del acuífero.

En el estudio de Bahía Ballena se recomienda realizar el muestreo tanto en los pozos excavados ubicados en la Unidad Hidrogeológica Uvita como en los pozos perforados ubicados en la Unidad Hidrogeológica Ballena.

Se considera que los pozos seleccionados poseen facilidad de acceso y seguridad, sin embargo es importante mencionar que los pozos ubicados en la Unidad Hidrogeológica Uvita en su mayoría son de uso artesanal y muchas veces se encuentran sin uso o abandonados, por lo que si en algún caso no se puede realizar la medida en un determinado lugar se recomienda visitar otro pozo cercano. Además es importante mencionar que los pozos se concentran en ciertos sectores por lo que existen zonas que carecerán de información, a menos de que se instalen piezómetros de observación (más adelante se recomiendan algunos sitios en donde se podrían implementar).

La red de monitoreo se ha dividido por Unidad Hidrogeológica.

8.5.3 Unidad Hidrogeológica Uvita

Corresponde a un acuífero aluvial que limita con la costa así que es la unidad más susceptible al efecto de la intrusión salina. La mayoría de los pozos en este sector son artesanales, muchas veces no se encuentran en uso por lo cual se recomienda antes de realizar los muestreos, realizar un bombeo de agua para desechar agua estancada y confirmar que se está tomando agua del acuífero.

Los siguientes pozos se utilizarán para realizar el muestreo (cuadro 29).

Cuadro 29: Pozos dentro de la red de monitoreo Unidad Hidrogeológica Uvita.

Código de Pozo	Coordenadas Lambert Norte X	Coordenadas Lambert Norte Y	Elevación msnm	Tipo de Pozo	Nivel estático	Propietario	Uso del Agua	Fuentes de Contaminación	Altitud del Agua	Código de Fotografía
BB-P1	564245	127851	37	Perforado	4,49	Asada Uvita 11 l/s	Comunidad, alrededor de 800 pajas, solamente verano	Buen mante. pero a menos de 100 m de otros pozos	32,51	Pozo 1
BB-P2	564323	127904	35	Perforado	4,5	Asada Uvita 11 l/s	Comunidad, los pozos se turnan. Solamente en verano	Buen mante. Pero a menos de 100 m de otro pozo	30,5	Pozo 2

BB-P3	564107	126933	6	Excavado	1,03	Caseta Parque Nacional.	Turístico	Antrópica	4,97	Pozo 3
BB-P5	564144	127041	15	Excavado					15	Pozo 5
BB-P7	564163	127066	7	Excavado	1,1	Cabinas Pta. Uvita	Sin Uso	Drenaje	5,9	Pozo 7
BB-P10	565701	126383	6	Perforado	2	Parque Nacional	Turístico	Infraest. Defici.	4	Pozo 10
BB-P12	565854	126341	8	Excavado	2,1	Parque Nacional	Turístico	Infraest. Defici.	5,9	Pozo 12
BB-P16	565741	126495	19	Excavado	1,35		sin Uso	Pozo mal estado, Caída de Basura, Antrópica	17,65	Pozo 16
BB-P19	565747	126655	20	Excavado	1,76	Finca María Luisa	Turístico	Muy Expuesto	18,24	Pozo 19
BB-P23	565917	126806	23	Excavado	1,7	Hotel Halcón	Turístico		21,3	Pozo 23
BB-P28	565264	129018	37	Excavado	5,4		Sin uso		31,6	Pozo 28
BB-P29	565334	128909	39	Excavado	8,5		Sin Uso		30,5	Pozo 29
BB-P30	565422	128986	42	Perforado			Sin Uso	Colapsado a 1,5 m de prof.		Pozo 30
BB-P34	565656	128779	40	Excavado	6		Uso Agrícola	Fácil acceso	34	Pozo 33
BB-P35	564192	127211	15	Excavado	1,8		Sin Uso/Piscina	Fácil acceso	13,2	Pozo 35
BB-P38	563987	127464	15	Excavado	0,76		Riego	Puntual, agroquímicos	14,24	Pozo 38

Debido a falta de pozos hay sectores que quedarían sin información, sobre todo el sector de Playa Hermosa, por lo que se recomienda para un futuro la instalación de piezómetros que pudieran ayudar, esto no tendrían una profundidad entre 5 y 10 m debido a lo cercana que se encuentra el agua en estos sectores de acuerdo a las curvas equipotenciales interpoladas.

Las siguientes coordenadas en proyección Lambert Norte recomiendan posibles lugares de instalación de piezómetros.

1. Piezómetro 1: 129 453 N / 562 633 E.
2. Piezómetro 2: 129 133 N / 562 345 E.
3. Piezómetro 3: 131 562 N / 560 177 E.

Así mismo aunque se trata de un monitoreo en aguas subterráneas, se ha definido por medio de la campaña de aforos que la Unidad Hidrogeológica Uvita recibe aporte de agua del Río Uvita por lo que se recomienda definir por lo menos 4 muestreos a lo largo de este río, a continuación se sugieren las coordenadas.

1. Muestreo 1: 128 206 N / 562 971E, desembocadura del río Uvita, zona de Parque Nacional, tendría que gestionarse el respectivo permiso.
2. Muestreo 2: 128 340N / 564 559E.
3. Muestreo 3: 129 732N / 567 380E.
4. Muestreo 4: 129 812 N / 568 453E.

8.5.4 Unidad Hidrogeológica Ballena

Los pozos de esta unidad (cuadro 30) se localizan en los sectores montañosos generalmente en hoteles o zonas privadas, además la ASADA de Bahía Uvita capta varias nacientes en el sector por lo que el agua captada de esta unidad es la principal fuente de abastecimiento de la zona (exceptuando los pozos BB-P1 y BB-P2, que son utilizados por la ASADA en época seca). Con respecto a la información de los pozos de la ASADA, es importante reiterar que estos se turnan el bombeo cada 6 horas, por lo que si se desea medir el nivel del agua, se recomienda hacerlo en el pozo que se encuentre en reposo, idealmente con el tiempo de recuperación más prolongado posible.

Los resultados que se puedan obtener en este sector pueden servir de complemento con los obtenidos en el sector aluvial debido a que se ha considerado que existe una transición de los niveles de agua de la Unidad Ballena a la Uvita.

Cuadro 30: Pozos dentro de la res de monitoreo de la Unidad Ballena.

Código	Altura	Nivel Est.(m)	Trans_m²/d	Caudal	Latitud Lambert N	Longitud Lambert N
COR-13	440	148,92	0,00	2,00	569 958	125 751
COR-14	80	12,26	3,00	2,05	566 870	127 823
COR-24	140	23,91	6,00	1,00	566 276	128 168
COR-34	140	28,02	25,00	2,04	566 811	127251
DM-31	100	28,00	0,00	0,30	563 180	130 871
RE-14	500	55,00	10,00	0,00	567 227	131 487
RE-23	260	60,00	0,00	0,00	566 338	131 022
RE-28	380	0,00	0,00	0,00	564 629	131 703

Además se recomienda muestrear alguna de las nacientes pertenecientes a la ASADA Uvita-Bahía ya que todas se encuentran muy próximas una de la otra (cuadro 31).

Cuadro 31: Naciente de la ASADA.

Nombre del Manantial	Coordenadas Lambert Norte X	Coordenadas Lambert Norte Y	Altitud msnm
N1 y N2	565962	131121	319
N3	565974	131099	311
N4	565945	131006	309

8.5.5 Medición de niveles de agua

Las profundidades de los niveles de agua subterránea se medirán con el empleo de una sonda, tomando como referencia el nivel del suelo.

Se anotará para cada medición los siguientes datos: fecha y hora de la medición, nombre de quien realiza la medición, punto de referencia para la medición del nivel del agua, elevación del punto de referencia sobre el suelo, condiciones especiales como lluvia y otros que puedan afectar el nivel (Dirección de Aguas, 2009).

En caso de que la medición se realice el mismo día del muestreo, la medición del nivel debe hacerse antes de la toma de la muestra para que represente las condiciones naturales del acuífero y no se vaya a medir un falso nivel estático que más bien corresponde con un nivel de recuperación parcial originado por el abatimiento de nivel del agua durante la purga. Este error podría producirse principalmente en sitios poco permeables de lenta recuperación (Dirección de Aguas, 2009).

8.5.6 Parámetros que se deben medir

Los parámetros a medirse en el campo son al menos los siguientes: color, olor, turbidez, conductividad eléctrica, temperatura y pH.

Los parámetros que se pueden medir en el laboratorio en función del presupuesto del proyecto son: contenido bacteriológico, conductividad eléctrica, sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, alcalinidad parcial, alcalinidad total, dureza total, dureza de carbonatos, dureza de no carbonatos, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, sílice, amonio, hierro total, fósforo, cianuro, plomo, mercurio, bromuros, sodio, fluoruros y nitratos. Como mínimo es imperativo que se midan los parámetros establecidos en los niveles N1 y N2 del Reglamento de Calidad de Agua vigente.

8.5.7 Frecuencia de Medición

Dependiendo de los objetivos, características y costos del programa de monitoreo los parámetros físicos se deberían medir cada mes. Si esto no fuera posible por los costos, al menos es indispensable realizar un monitorio de los parámetros dos veces al año. Una a mediados de la época lluviosa (alrededor de octubre) y otra a mediados de la época seca (marzo).

Los parámetros de calidad de agua, a no ser que se detecte algún indicio de contaminación existente (en cuyo caso se debería muestrear y analizar cada mes), es factible tomar las muestras para el análisis trimestralmente.

Con respecto a los pozos ubicados en la Unidad Uvita se recomienda realizar dos mediciones, una en marea alta y la otra en marea baja, con el fin de determinar si existen cambios en los parámetros de conductividad, temperatura y nivel del agua, que indiquen una influencia directa del océano o una posible variación en la salinidad.

Lógicamente si en algún momento se observa un cambio en los patrones que se consideren línea base, se recomienda que los muestreos se realicen con mayor frecuencia. Así mismo; si se identificada una fuente real de contaminación, se debe aumentar el periodo de muestreo e incluso ampliar la gama de parámetros analizados.

9 . CONCLUSIONES

Contexto regional

La zona de estudio comprende un área aproximada a los 78 km². abarca la cuenca de los ríos Uvita e Higuerón hasta la quebrada Tibia, su principal poblado es Uvita.

De acuerdo con la estación meteorológica Tinamaste el área de estudio posee una precipitación anual de 3796 mm con una época lluviosa que abarca desde los meses de Mayo a Octubre, y una época seca de Diciembre a Marzo. La temperatura anual promedio se encuentra entre los 21,5°C y los 23,5°.

La cuenca del Río Uvita no se encuentra muy desarrollada, debido a su escasa longitud (9 km), sin embargo es posible subdividirla en por los menos 3 subcuencas, la del Río Uvita, la del río Ballena y la del río Higuerón. Además se pueden mencionar un par de microcuencas que no están relacionadas directamente a la cuenca del Río Uvita, debido a su escaso desarrollo y que desembocan directamente al océano; estas con La microcuenca de la Quebrada Villegas-Quebrada Saringo y la microcuenca de la Quebrada Sargento.

Geomorfológicamente el área de estudio está conformada por una cuenca delimitada por cerros y montañas de moderada a fuerte pendiente. Éstas se encuentran compuestas por rocas de génesis sedimentaria, con la presencia de intrusiones de origen ígneo, lo que genera en ciertos puntos metamorfismo de contacto. Las rocas al erosionarse producto principalmente de los ríos y quebradas presentes, son transportadas y depositadas en un sector de baja pendiente debido a la pérdida de energía producida por el fuerte cambio topográfico producido por el fallamiento local, generando así una zona de abanico aluvial de pendiente plana.

Contexto geológico

El área de estudio está compuesta por un basamento de origen sedimentario conformado por la alternancia de areniscas y lutitas, la cual se ha asociado a depósitos turbidíticos de la Formación Térraba de edad Oligoceno a Mioceno Inferior.

La roca sedimentaria ha sido intruída y afectada por un metamorfismo de contacto la cual ha generado la presencia de bloques de alta dureza, zonas de alteración hidrotermal y cornubianitas, estas litologías se han asociado a intrusivos de edad Mioceno Medio de la Formación Puerto Nuevo.

Por su parte, en el sector plano se presentan depósitos aluviales conformados por bloques, clastos, capas de arenas y arcillas; los cuales han sido erosionados y transportados por el cauce del río Uvita, estos depósitos se han catalogado de edad reciente.

Localmente, las rocas sedimentarias poseen un buzamiento general hacia el noreste con ángulos que van desde los 45° cerca de la costa, hasta los 10° en las zonas montañosas. También es posible observar cambios repentinos en la dirección de buzamiento, lo que sugiere la presencia de grandes plegamientos y fallamiento regional que esté afectando a todas las capas de roca aflorantes.

Se corrobora la presencia de fallamiento inverso en una dirección Noroeste-Sureste, que separa el sector montañoso del sector plano, dicho fallamiento se ha correlacionado por el generado por la Falla Longitudinal de Costa Rica.

Se define el antifirma Fila Ballena el cual posee una forma de "U" invertida con una longitud de su Charnela (cuya ubicación es aproximada) de 4 km con dirección NW/SE, siguiendo la tendencia y la dirección de la falla longitudinal, la anchura estimada entre sus flancos es de aproximadamente 3 km.

Se define un fallamiento de rumbo NE/SW, paralelo al cauce del río Uvita, y que corta verticalmente los depósitos sedimentarios, este fallamiento es de tipo normal y genera la presencia de gran cantidad de cataratas en la zona de estudio.

Como modelo estructural se establece que el área de estudio se generó a partir de esfuerzos principales con rumbo NE/SW, los cuales generaron en primera instancia fallamiento inverso con rumbo NW/SE, este fallamiento correspondería con el sistema de fallas inversas correlacionado con la Falla Longitudinal. Además de esto como resultado de los esfuerzos de compresión se generaron plegamientos de tipo anticlinal en el centro del esfuerzo lo que originó el antifirma Fila Ballena. Posteriormente debido a los esfuerzos de compresión rumbo NE/SW, se generaron una serie de esfuerzos de tipo distensivos los que generarán fallamiento de tipo normal con rumbo NE/SW, lo cual concuerda con el fallamiento normal observado a ambos márgenes del río Uvita a lo largo de su cauce. Finalmente los esfuerzos de distensión generan una zona de distensión en el centro del área, esta zona presentará un rumbo NE/SW, con una mayor apertura en el centro disminuyendo sus dimensiones a lo largo de los ejes de compresión.

Esta zona de distensión se ha correlacionado con la cuenca sobre la cual se ha depositado la Unidad de Depósitos Aluviales del Río Uvita, misma que presenta una forma ovoide con orientación NE/SW siguiendo el cauce del Río Uvita, y en donde los sectores de mayor profundidad (35 m) se ubican en el centro del Poblado de Uvita, disminuyendo considerablemente su espesor tanto en las cercanías de la zona

montañosa como en la costa (5 m), lo mismo tiende a ocurrir a lo largo de la dirección NE/SE.

Modelo hidrogeológico conceptual

A partir del registro institucional se identificaron 16 pozos perforados, además se mapearon 44 pozos de tipo artesanal, para un total de 60 pozos. Además dentro del sector de estudio existen 45 concesiones otorgadas por la Dirección de Aguas del MINAE. Y se mapearon 4 nacientes pertenecientes a la asada de Uvita/Bahía la cual suministra el agua para la mayoría de la comunidad.

Se define por primera vez el modelo conceptual de la zona, el cual incluye la existencia de dos unidades hidrogeológicas. La Unidad Hidrogeológica Ballena y la Unidad Hidrogeológica Uvita, las cuales se diferencian principalmente en su composición litológica.

La Unidad Hidrogeológica Ballena, está constituida por una alternancia de areniscas y lutitas relacionadas como depósitos turbidíticos afectados en ciertos momentos por los intrusivos de la formación Puerto Nuevo. Esta unidad está constituida por lo menos 3 niveles de agua, uno superior ubicado entre los 14 m y 20 m, uno intermedio ubicado entre los 30 m y 70 m y un nivel profundo ubicado a profundidades mayores a los 80 m. De acuerdo a la campaña de aforos esta unidad tiende a dar agua al río Uvita. La dirección del flujo de estos niveles de agua indica una dirección preferencial hacia el SW, siguiendo fracturas y fallas producidas por un fenómeno tectónico de distensión.

La unidad Hidrogeológica Uvita, está constituida por depósitos aluviales principalmente aportados por el río Uvita. En ella se ha identificado un nivel de agua somero ubicado entre los 8 m hasta menos de 1m de profundidad conforme el agua se acerca al sector costero. El río Uvita tiende a aportar agua a esta unidad. La dirección preferencial del agua subterránea está condicionada al flujo de agua superficial, siguiendo el mismo patrón que el del río Uvita, con dirección SW hacia la costa.

Se estima que existe una transición de agua entre los niveles de la Unidad Hidrogeológica Ballena y la Unidad Hidrogeológica Uvita en donde la primera estaría aportando parte de su caudal a la segunda por medio de una recarga lateral. La relación estratigráfica entre ambas unidades indica que la Unidad Hidrogeológica Ballena se presenta descubierta en la zona montañosa, mientras que el sector plano se encuentra cubierto por la Unidad Hidrogeológica Uvita.

Recarga potencial

Los suelos del sector de Uvita son principalmente producto de la meteorización de los materiales sedimentarios presentes en toda el área de estudio, los cuales generan suelos de coloración amarillenta-rojiza de tipo laterítico. Se han observado fracciones principalmente Franco arcillo-arenosas, arenosas y arcillosas, siendo los sectores arenosos los que presentan una mejor tasa de infiltración, la cual disminuye en dependencia del contenido de arcilla.

La recarga potencial se considera alta, con un éxito de recarga de un 32% y hasta un 57 % del agua que precipita. Se estima un caudal anual de 160 865 546,46 m³, producido por sectores con pendiente baja, escasa vegetación y altas tasas de infiltración. Además de esto la tasa de lluvia registrada es bastante alta, abonada a suelos con valores de capacidad de campo y punto de marchitez bajos los que disminuyen el efecto de evapotranspiración y favorecen la recarga.

Protección del recurso hídrico

Mediante la metodología GOD se establece que la vulnerabilidad intrínseca de la Unidad Hidrogeológica Ballena es de baja a despreciable, mientras que la vulnerabilidad intrínseca de la Unidad Hidrogeológica Uvita es moderada, esto debido principalmente a la cercanía de los niveles de agua con la superficie y a su grado de confinamiento hidráulico de tipo libre.

Las principales fuentes potenciales de contaminación identificadas son de tipo puntual, entre ellas; la presencia de tanques sépticos en la mayoría de viviendas y establecimientos, además de talleres mecánicos a los márgenes de la carretera interamericana sur, aunado a que muchos de los pozos excavados de manera artesanal se encuentran abandonados y expuestos.

En lo que respecta a las aguas superficiales, la mayoría de ríos se observan sin contaminación por desechos no biodegradables, exceptuando el río Uvita en el sector urbanizado, el cual transporta basura en poca y esporádica cantidad. Con respecto a las playas en su mayoría pertenecen al Parque Nacional por lo que se presentan sin contaminación por desechos no biodegradables, sin embargo; el sector al norte de Playa Hermosa si presenta abundante basura, por ser esta playa de libre acceso.

A partir de la interacción entre la vulnerabilidad intrínseca y las fuentes potenciales de contaminación se determinó que los sectores que poseen mayor riesgo a la contaminación se ubican en las áreas urbanas donde se encuentran la mayor concentración de viviendas e infraestructura. Este sector abarca aproximadamente un 3% del área de interés y se ubican principalmente en los sectores más planos ubicados en la parte central de Uvita, mayoritariamente al margen izquierda del río Uvita.

Durante el desarrollo del presente estudio se presentaron una serie de situaciones externas que dificultaron en cierta medida el cumplimiento a cabalidad de los objetivos y actividades trazadas en el planteamiento de este proyecto. En primer lugar cabe mencionar que para el área específica en la que se desarrolló este estudio la información bibliográfica disponible tanto de carácter geológico como hidrogeológico es muy escasa, prácticamente nula, convirtiendo esta investigación en pionera en su tipo para el área de estudio. Entre las carencias de información destacan las inconsistencias en las descripciones litológicas de pozos, la escasez de la información básica necesaria para definir los parámetros hidráulicos de cada una de estas unidades descritas, las limitaciones técnicas y logísticas para realizar pruebas de bombeo.

10 RECOMENDACIONES

Es necesario establecer un programa de monitoreo de las características climáticas dentro de la zona, esto incluye el establecimiento de una estación meteorológica que permita medir los parámetros climáticos. Esta información base es indispensable para mejorar el conocimiento sobre la recarga potencial, el efecto estacional del clima sobre el caudal de los manantiales que son captados por la ASADA para abastecimiento público, así como el efecto en las variaciones de los niveles estáticos en los pozos.

Para el balance hídrico se recomienda actualizarlo, por lo menos cada 5 años, o cada vez que se cuente con un mapa de uso de suelo actualizado con el fin de determinar variaciones en la recarga potencial producto de la variación del uso de suelo

Se recomienda establecer una relación de colaboración con la ASADA Bahía Uvita, para poder brindar capacitación y formación a los operarios del acueducto, con el fin de hacer conciencia de la importancia del recurso y de las buenas prácticas que se deben establecer, así como obtener información de los parámetros hidráulicos de la Unidad Hidrogeológica Uvita

Desde la perspectiva de la gestión del territorio es muy importante realizar un estudio geológico detallado de la zona, que investigue a mayor detalle la estratigrafía local y la tectónica imperante, pues sería un insumo muy importante al Ordenamiento Ambiental del Territorio si se abordan los componentes relacionados con recursos minerales y amenazas geológicas.

A partir del modelo conceptual hidrogeológico, es evidente la necesidad de ampliar el área de estudio, pues se evidencia que existe continuidad lateral en la zona aluvional de la Unidad Hidrogeológica Uvita.

Debido a la carencia de información de pozos perforados, así como a la limitante en la descripción de los registros de pozos, es recomendable realizar una perforación exploratoria en la Unidad Hidrogeológica Uvita, con ella se podría confirmar el espesor de aluvión interpretado en el presente estudio, además de determinar otros posibles niveles dentro del sector central del abanico aluvial.

Se recomienda realizar los trámites correspondientes ante los propietarios para el cierre de los pozos excavados que se encuentren en estado de abandono o que no cuentan con una infraestructura adecuada, esto con el fin de evitar sectores que favorezcan el proceso de contaminación de la Unidad Hidrogeológica Uvita.

Es necesario proteger los sectores montañosos de procesos de deforestación que puedan generar problemas de contaminación y erosión que puedan afectar (en calidad y cantidad el agua) a la Unidad Hidrogeológica Ballena. Los sectores montañosos presentan una fuerte pendiente que no favorece ni la ganadería ni a grandes proyectos inmobiliarios, por lo que es importante velar por que cada proyecto que se genere en la zona presente un estudio geotécnico-geológico-hidrogeológico a detalle. El uso del suelo este condiciona mucho la recarga de agua a los acuíferos de la zona, por lo que se recomienda evitar un sobre poblamiento en los sectores ubicados en las zonas montañosas, estas deberían ser utilizadas con efectos de reforestación o agricultura y ganadería de bajo impacto.

Es necesario establecer las zonas de protección para los manantiales captadas o en proceso de captación por parte de la ASADA, estas zonas se realizarán bajo criterios hidrogeológicos e hidráulicos.

Regular construcciones en sectores planos donde el nivel de agua subterránea en época lluviosa tienda a salir en superficie o se encuentre a una profundidad menor a 1 m. Además se debe velar por evitar construcciones que generen la presencia de aguas negras que caigan de forma directa sobre el cauce de los ríos.

Se recomienda la aplicación de la matriz de criterios de uso del suelo, según vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos para la protección del recurso hídrico realizada por el SENARA (2006), y que es de aplicación en todas las zonas del país donde se cuente con mapas de vulnerabilidad.

En las zonas de vulnerabilidad hidrogeológica baja, las actividades de vivienda unifamiliar, sistemas urbanísticos y hoteles se pueden permitir siempre que se cumpla el diseño apropiado de eliminación de excretas y aguas servidas. Con respecto a las actividades ganaderas estas también se pueden permitir respetando las zonas de protección de manantiales, ríos y pozos de agua, y contando con prácticas de conservación de suelos. Las actividades agrícolas, se puede permitir siempre y cuando se utilicen agroquímicos de muy baja toxicidad, persistencia y movilidad, se debe dar un manejo y tratamiento de los efluentes y la actividad debe contar con una certificación de buenas prácticas agrícolas y un plan de manejo de la finca considerando la capacidad de uso del suelo.

En las zonas de vulnerabilidad hidrogeológica media o moderada, las actividades de desarrollo urbanístico se pueden permitir siempre que se cumpla con un diseño apropiado para la eliminación de las excretas y se regule la densidad de población en función de las características del sitio, así como el tamaño y área de impermeabilización de los lotes. Las actividades ganaderas se pueden permitir siempre que se utilicen agroquímicos de muy baja toxicidad, persistencia y movilidad., se debe contar con plan de manejo de los

remanentes y aguas, sería conveniente que las fincas sean orgánicas o conservacionistas, el uso de biodigestores, lombricultura y sistemas de tratamiento de aguas residuales, reforestación y protección de nacientes de acuerdo con la legislación, recuperación de áreas degradadas, diseño y mantenimiento de caminos y evacuación de aguas y diseño y protección de taludes. Las actividades agrícolas se deben regular tomando en consideración la utilización de agroquímicos de muy baja toxicidad, persistencia y movilidad. Debe contar con un plan de manejo de suelos de acuerdo al decreto 23214-MAG-MIRENEM. Se debe dar un manejo y tratamiento de los efluentes. La actividad debe contar con una certificación de buenas prácticas agrícolas.

Es imperativo establecer una red de monitoreo de la calidad del agua subterránea en cada una de las dos Unidades Hidrogeológicas definidas, tal y como se expuso en el apartado correspondiente.

Se debe velar por el cumplimiento de la legislación vigente en el país referente a la protección del recurso hídrico, en especial aquellas normativas que regulen el establecimiento de zonas de protección de cursos de agua superficial, manteniendo con ello un monitoreo sobre todas aquellas actividades productivas que se desarrollen cerca de ríos o quebradas y que pudieran estar generando algún tipo de afectación sobre la calidad de sus aguas.

Las autoridades nacionales deben hacer valer la legislación ambiental establecida, especialmente en lo referente a las zonas de protección de los cuerpos de agua (quebradas y manantiales), con el fin de tener una zona de resguardo ante las actividades potencialmente contaminantes.

Es necesario que este estudio, sea considerado dentro de los planes de ordenamiento territorial en su justa dimensión: la escala de trabajo y el objetivo del estudio deben ser respetados. Es decir; que para diversas actividades específicas se debe presentar un estudio hidrogeológico local, que evalúe a mayor detalle el área de influencia de cada proyecto.

Es imperativo continuar con la inversión en la generación de conocimiento hidrogeológico, para ello es necesario ampliar la zona de estudio, prever la realización de una campaña de perforación exploratoria con un muy buen control litológico, y determinación de parámetros hidráulicos a partir de pruebas de bombeo, control de la calidad del agua subterránea, acompañada además de una campaña geofísica con mayor número de sondeos eléctricos verticales, incluyendo tomografías eléctricas transversales a la línea de la costa y de los esteros para tratar de evidenciar el efecto de la contaminación o intrusión salina (según sea el caso).

Es necesario que la Dirección de Aguas migre sus bases de datos al sistema de coordenadas CRTM05, el cual es oficial en nuestro país a partir del Decreto Ejecutivo número 33797-MJ-MOPT, del 6 de junio del año 2007.

11 .REFERENCIAS

- ALVARADO, G., 2005: La Falla Longitudinal de Costa Rica: Un insumo neotectónico hacia la Amenaza Sísmica del P.H. Boruca-Veraguas. ICE (Informe interno)- 21 págs.
- ARIAS, M. E. 2002a: Aplicación de métodos geofísicos en Hidrogeología.- en Reynolds, J. (edit.) Manejo Integrado de Aguas Subterráneas. EUNED.
- ARIAS, M. E. 2002b: La prospección eléctrica y electromagnética en dos dimensiones y su aplicación en la hidrogeología. Rev. Geol. América Central. N.27. 21-26.
- ARIAS, M. E. 2002c: Aplicaciones Geofísicas a la Hidrogeología de Costa Rica. Rev. Geol. América Central. N: 27. 11-20.
- ARIAS, M. E. 2007: Comparación de los principales dispositivos utilizados en los sondeos eléctricos verticales. Revista de Ciencia y Tecnología, Univ. de Costa Rica, 25 (1-2): 7-23.
- ARIAS, M.E. 2009: Análisis del Plan de Monitoreo propuesto para la Gestión de la Seguridad Hídrica. En : Sardinal: ¿ejemplo de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico?. Informe del Consejo Universitario, Universidad de Costa Rica. 124 p.
- ARIAS, M., 2011: Estudio Hidrogeológico de la Cuenca del Río Frío. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas. Univ. de Costa Rica (Informe Interno), 129 págs + anexos.
- ARIAS, M.E., 2013: El monitoreo del agua subterránea como instrumento de gestión. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas. Univ. de Costa Rica (Informe Interno), 10 págs.
- ARIAS M.E. 2014. Estudio Hidrogeológico del acuífero aluvial de Bahía Ballena, comprendido en la cuenca del río Uvita y río Higuerón, hasta la quebrada Tibia en Osa, Puntarenas: Plan de Trabajo Inicial. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas, Univ. de Costa Rica (Informe Interno), 21 págs.
- ARIAS M.E. 2015 Estudio Hidrogeológico del acuífero aluvial de Bahía Ballena, comprendido en la cuenca del río Uvita y río Higuerón, hasta la quebrada Tibia en Osa, Puntarenas. Informe de Avance. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas, Univ. de Costa Rica (Informe Interno), 31 págs.
- ARIAS M.E. 2015. Estudio Hidrogeológico del acuífero aluvial de Bahía Ballena, comprendido en la cuenca del río Uvita y río Higuerón, hasta la quebrada Tibia en

Osa, Puntarenas: Informe de Campo. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas, Univ. de Costa Rica (Informe Interno), 85 págs incluyendo anexos.

ASTM, 2004: Standard Guide for Establishing Nomenclature for Groundwater Aquifers. Designation D-6106-97, 17 págs.

ARROYO, I., 2001: Sismicidad y Neotectónica en la región de influencia del proyecto Boruca: hacia una mejor definición sismogénica del Sureste de Costa Rica.- 162 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis de Lic.].

AUGE, M., 2008: Hidrogeología ambiental. Universidad de Buenos Aires, Argentina. 295 p.

AUGE, M., 2006: Métodos y técnicas para el monitoreo de acuíferos. Universidad de Buenos Aires, Argentina. 21 p.

COWAN, H., MONTERO, W., SALAZAR, G., ALVARADO, G.E., TAPIA, A. & SÁNCHEZ, L., 1997: Estudio de las fallas activas en la región fronteriza Costa Rica-Panamá: David-Panamá, Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC), y Norwegian Agency for Development Cooperation (NORAD), Programa de Reducción de los Desastres Naturales en América Central, Proyecto de Microzonificación de David (Panamá), no publicado, 59 pp (+ apén. y 2 mapas).

DENYER, P., MONTERO, W & ALVARADO, G., 2003: Atlas Tectónico de Costa Rica.- 79 págs. Ed. Univ. Costa Rica, San José.

DIRECCIÓN DE AGUAS, 2009: Plan de muestreo de la calidad de agua y niveles del agua subterránea en el acuífero Aluvial de Playa Panamá. http://www.da.go.cr/textos/E.acuiferos/acuifero_playa_panama/plan%20monitoreo%20playa%20panama.pdf [Consultado el 29/2/2016].-

FOSTER, S. 1987: Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy.- Proceedings and Information of International Conference: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants,38: 69-86.

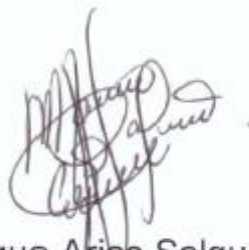
FOSTER, S., HIRATA, R., GÓMEZ, D., D'ELIA, M. & PARIAS, M., 2002: Protección de la calidad del agua subterránea. – 115 págs. Mundi-Prensa Libros, S.A, Madrid.

IDEAM, 2007: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Bogotá, Colombia. 162 p.

IDEAM, 2002: Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. Bogotá, Colombia, 83 p.

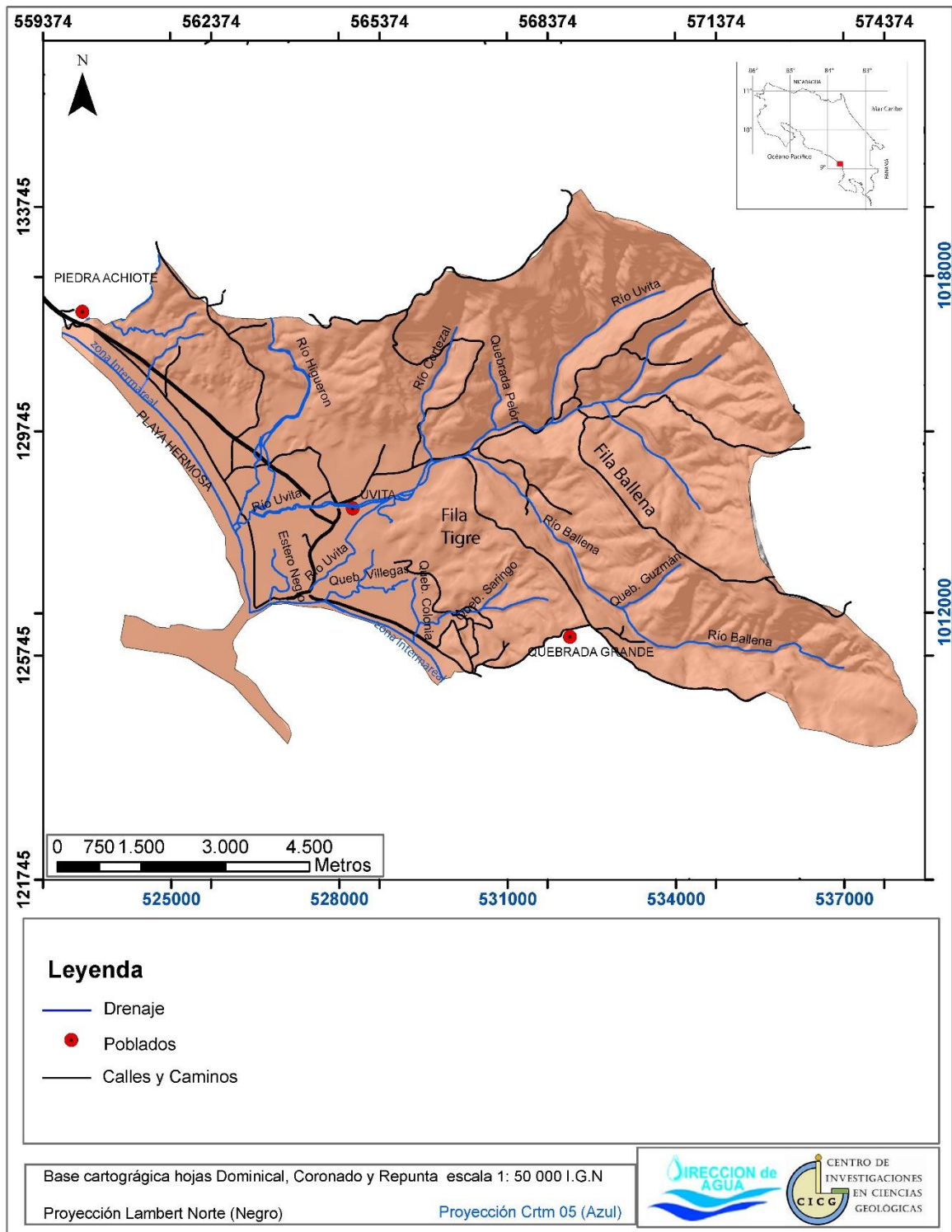
- INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL: 2015: Catastro de las series de temperatura y precipitación medidas en Costa Rica. Estación: Tinamaste.
- LA GACETA, 2015: Reglamento para la calidad de agua potable. Decreto Ejecutivo 38924-S, aprobado el 1 de setiembre del 2015.
- MARSILY, G. 1986: Quantitative hydrogeology, Academic Press, Orlando.
- MATUS, O.D., 2007: Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa Nicaragua.- 228 págs. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE. Turrialba, Costa Rica. [Tesis de Maestría].
- MINISTERIO DE AMBIENTE, ENERGÍA Y TELECOMUNICACIONES, 2012: Metodologías Hidrogeológicas para la evaluación del Recurso Hídrico. Acuerdo 60-2012. San José, Costa Rica.
- MOLERIO L.F., & TORRES, J.C., 2002: Métodos geomatemáticos de diseño y optimización de redes de monitoreo de agua subterránea. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, XXIII (2), 38-45.
- MONTERO, W., DENYER, P., BARQUERO, R., ALVARADO, G., COWAN, H., MACHETTE, M., HALLERMAN K & DART, RICHARD., 1998: Map an database of Quaternary faults and folds in Costa Rica and its offshore regions. – Reporte preliminar de USGS.
- MORA, S.1979: Estudio geológico de una parte de la región sureste del Valle del General, provincia de Puntarenas, Costa Rica. Escuela Centroamericana de Geología. UCR [Tesis Lic.]-3 Volúmenes.
- MORA, S., 1983: Una revisión y actualización de la clasificación morfotectónica de Costa Rica, según la teoría de la tectónica de placas. Boletín de Vulcanología, Universidad Nacional, Heredia, p.18-36.
- MORA, S., 1991: Estudio de Impacto ambiental Carretera Costanera Sur, Sector Barú-Palmar Norte. Consultora SINERGIA 69 S.A. [Informe Interno].-68 páginas.
- MURILLO., D., 2008: Aplicación ambiental del método de resistividad eléctrica en el modelado del acuífero costero en playa panamá, Guanacaste, Costa Rica. Revista geológica de América Central, 38: 21-31.
- QUINTANA C., 2008: Estrategia y métodos de monitoreo de aguas subterráneas. Concepción, Chile, 33 p.

- RED SISMOLÓGICA NACIONAL: Falla Longitudinal. Recopilación Bibliográfica [Consultado el 3/2/2015] -<http://www.rsn.ucr.ac.cr/index.php/sismologia/fallas-activas-sismologia/2594-falla-longitudinal>
- ROJAS, W.MORALES, N. & SANEZ, L. & ÅKE S., (2011): Neotectonic and paleoseismology of the Longitudinal fault system in southern Costa Rica. Posters on 2 nd INQUA – IGCP-567 International Workshop on Active Tectonics, Corinth, Grece (2011).
- ROSSELLO, E. A., 2009. Control Estructural de mineralizaciones: determinación mecánica y pronósticos prospectivos, Curso dirigido, Medellín. Memorias CD
- SÁNCHEZ.J., 2014: Sondeos eléctricos verticales. Material de curso- Dpto Geología Universidad Salamanca. España. <http://web.usal.es/javisan/hidro> (Consultado el 14 de diciembre de 2014).
- SENARA, 2015: Archivo nacional de pozos. Hojas topográficas Dominical, Repunta y Coronado, escala 1:50000.
- SOLANO, J. & VILLALOBOS, R., 2012: Regiones y subregiones climáticas de costa rica. Instituto Meteorológico Nacional, Gestión de Desarrollo. -32 págs.
- SCHOSINSKY, G. & LOSILLA, M. 2000: Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual.- Rev. Geol. Amér. Central, 23: 43-55.
- SCHOSINSKY, G. 2006: Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante balance hídrico de suelos.- Rev. Geol. Amér. Central, 34-35: 13-30.
- UNESCO, 2006: Evaluación de los recursos hídricos: Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. Documento Técnico del PHI-LAC N° 4.
- VAN ZUIDAM, R.A. 1986: Aerial photointerpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping.-442 págs. Smits Publishers. The Hague.
- ZINCK.J., 2012: Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales.- 123 pgs. ITC, Faculty of Geo-Information. Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Mario Enrique Arias Salguero', is centered within a light blue rectangular box.

Mario Enrique Arias Salguero

Investigador Responsable



Localización del estudio hidrogeológico en Bahía Ballena.