

**PROTOCOLO PARA ESTUDIO TÉCNICO DE GEOLOGÍA BÁSICA, HIDROGEOLOGIA
AMBIENTAL Y ESTRUCTURAS Y RIESGOS DE AMENAZAS NATURLAES DEL TERRENO**

PROYECTO

NUEVO HOSPITAL MAX PERALTA DE CARTAGO

LOCALIZACIÓN

Provincia: CARTAGO

Cantón: TEJAR

Distrito: EL GUARCO

DATOS DEL DESARROLLADOR

DATOS DEL O LOS PROFESIONAL (ES) QUE ELABORAN LOS ESTUDIOS

Nombre del profesional: ANA ELENA VEGA ARCE

Número de cédula: 1-1106-0648

Número de colegiado: CGCR-362

Número de Consultor Individual SETENA: **CI-291-12**

Mes y año: Diciembre de 2018

Documento de responsabilidad profesional

El / La suscrito (a) **ANA ELENA VEGA ARCE**, portador(a) de la cédula de identidad número **1-1106-0648**, profesional en **GEOLOGÍA** Incorporado al colegio de profesionales, número de colegiado: CGCR-362 consultor(a) inscrito(a) en la Secretaría Técnica Nacional Ambiental, según registro CI-291-12-SETENA, cuya vigencia se encuentra al día hasta el 21 de noviembre 2020, manifiesto ser responsable directo de la información técnica científica que se aporta en el presente documento, la cual se elaboró para el proyecto denominado: **NUEVO HOSPITAL MAX PERALTA DE CARTAGO** .

En virtud de ello, someto el presente Estudio de Geología Básica del Terreno al conocimiento de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), como autoridad en materia de Evaluación de Impacto Ambiental del Estado costarricense, con el objetivo que sea analizado y se constate que el mismo ha cumplido con los lineamientos técnicos y normativos establecidos. Tengo presente que en apego al artículo 5 del Decreto Ejecutivo 32712-MINAE, la información contenida en este estudio se presenta bajo el concepto de Declaración Jurada, a conocimiento y conciencia de que dicha información es actual y verdadera y que, en caso contrario, pueden derivarse consecuencias penales del hecho. Por lo cual, manifiesto que, de encontrarse alguna irregularidad en la información, seré responsable no sólo por esta falta, sino también por las consecuencias de decisión que a partir de la información suministrada pudiera incurrir la SETENA y el desarrollador.

Atentamente.

Ana Elena Vega Arce
Cédula 1-1106-0648
CI-291-2012

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	3
Estudio técnico de geología básica.....	4
Estudio estructural y amenazas / riesgos naturales	4
Estudio técnico de hidrogeología ambiental	4
Metodología aplicada.....	4
2. ESTUDIO DE GEOLOGÍA AMBIENTAL DE LA FINCA.....	6
2.1 Datos geológicos del entorno inmediato.....	6
2.2 Identificación y descripción de las unidades geológicas superficiales y del subsuelo superior.....	6
2.3 Geología Local y caracterización de suelos del AP.....	7
2.4 Cauces en el AP	9
2.5 Nivel freático	9
2.6 Geomorfología local del terreno y su entorno inmediato	10
2.7 Procesos geológicos de geodinámica externa	10
2.8 Síntesis de la condición geológica básica del terreno.....	11
2.9 Discusión sobre limitantes de incertidumbre y alcance del estudio de geología básica del terreno 11	
3. ESTUDIO DE ESTRUCTURA Y AMENAZAS/RIESGOS NATURALES GEOLÓGICOS EN EL AP	12
3.1 Estructura geológica local y susceptibilidad a las amenazas	12
3.2 Fallas geológicas.....	12
3.3 Sismicidad	14
3.4 Amenaza volcánica	15
3.5 Deslizamiento.....	15
3.6 Potencial de Licuefacción	15
3.7 Síntesis de resultados y conclusiones.....	15
3.8 Discusión sobre las limitantes de incertidumbre y alcance del estudio	16
4. ESTUDIO DE HIDROGEOLOGÍA AMBIENTAL DE LA FINCA	17
4.1. Pozos perforados.....	17
4.2. Condiciones hidrogeológicas del AP.....	18
4.3. Análisis de riesgo de contaminación de las aguas subterráneas	20
Aplicación del método de vulnerabilidad G.O.D.....	20
4.4. RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	21
Identificación de fuentes potenciales de contaminación del agua subterránea	21
4.5. Modelado hidrogeológico local	21
4.6. Síntesis de resultados y conclusiones del estudio de hidrogeología ambiental de la finca ..	22
4.7. Discusión sobre las limitantes de incertidumbre y alcance del estudio	22
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22
6. FIGURAS.....	24

1. INTRODUCCIÓN

El Área del Proyecto (AP) donde se construirá el proyecto NUEVO HOSPITAL MAX PERALTA DE CARTAGO, se ubica en el distrito de El Tejar, del cantón Guarco, de la provincia de Cartago, Coordenadas CRTM 05 punto medio: 1088329 Norte, 504969Este. Hoja Cartográfica: Istarú, escala 1:50000 IGN. (Figura 1, Mapa de Ubicación).

El sitio donde se va desarrollar el proyecto presenta en sus alrededores áreas con cultivos el acceso al sitio se realiza por calles asfaltadas, las condiciones actuales de la finca se observan en las fotografías 1 y 2, donde se observa una cobertura superficial con maleza, con una topografía plana.



Fotografía 1. Vista hacia el Este del AP, cerca de la entrada principal, en las coordenadas CRTM05 504692/1088488



Fotografía 2. Las condiciones actuales de la finca, presentan una cobertura de maleza.

Objetivos

El siguiente estudio contempla los protocolos de geología, hidrogeología ambiental y amenazas y riesgos naturales, el objetivo en cada caso es el siguiente:

Estudio técnico de geología básica

Caracterizar de manera rápida y directa la conformación geológica estructural del AP y su entorno inmediato. De acuerdo con la sección I del Manual de Evaluación de Impacto Ambiental es importante determinar a geoaptitud de AP, que se define como las limitantes técnicas o atributos técnicos positivos respecto del desarrollo de la actividad, obra o proyecto.

Estudio estructural y amenazas / riesgos naturales

Establecer si el proyecto, actividad u obra a desarrollar, puede ser realizable bajo las condiciones estructurales, geomecánicas y geotécnicas y establecer las medidas necesarias para disminuir la eventual condición de vulnerabilidad que puede presentar el mismo, analizando además el entorno geotectónico en que se ubica.

Estudio técnico de hidrogeología ambiental

Evaluar las condiciones de geoaptitud del terreno tomando en cuenta aspectos de hidrogeología ambiental, determinando su vulnerabilidad intrínseca a la contaminación y calculando los tiempos de tránsito de los potenciales contaminantes bacteriológicos.

Metodología aplicada

- La metodología utilizada fue primeramente una visita al sitio para realizar observaciones de campo, hacer un análisis de las condiciones geológicas, de la topografía y de las unidades litológicas aflorantes en el lote que constituye el AP y en el AID. Igualmente se hace una recopilación de la información obtenida del estudio de suelos en lo que respecta a las características geotécnicas del AP.
- Posteriormente se realiza un análisis de las amenazas y riesgos naturales que presenta la zona del proyecto, tomando en cuenta estudios anteriores de sismicidad y neotectónica que se hayan realizado en la región, tomando en cuenta también los fallamientos activos

cercanos, finalmente recopilación de cualquier otra información bibliográfica necesaria y elaboración del presente informe conjunto.

2. ESTUDIO DE GEOLOGÍA AMBIENTAL DE LA FINCA

2.1 Datos geológicos del entorno inmediato

El sitio se ubica sobre depósitos recientes, principalmente coluvios y depósitos fluviales de los principales ríos de la zona.

2.2 Identificación y descripción de las unidades geológicas superficiales y del subsuelo superior

El AP y AID se ubican dentro de las laderas distales del volcán Irazú. Con base en varios autores entre los que destaca Krushensky (1972), las formaciones del subsuelo corresponden a unidades volcánicas y fluvio-lacustres las cuales se describen a continuación (Mapa Geológico de la figura 2).

Formación Reventado

La Formación Reventado fue definida por Krushensky (1972) como rocas del Pleistoceno Tardío que sobreyacen las tobas del cañón del río Aguacaliente y subyacen la Formación Sapper. Es separada en tres unidades: el miembro inferior llamado Paraíso, una unidad media fuertemente meteorizada de ceniza café anaranjado a rojizo, llamada informalmente Miembro Cama de Ceniza y un miembro superior no denominado (Badilla et al. 1999).

Miembro Paraíso:

Descrito por Krushensky (1972) como constituido por coladas de lava andesítica augítica, con fenocristales de plagioclasa y augita, en una matriz densa y de grano fino; presentan disyunción columnar y posee un espesor de unos 170 m. Además, menciona que este miembro sobreyace discordantemente la Formación Ujarrás y es sobreyacido concordantemente por el Miembro Cama de Ceniza.

Miembro Cama de Ceniza:

Krushensky (1972) se refiere a esta unidad como compuesta completamente por ceniza fina de unos 15m de espesor, con un color característico café anaranjado oscuro a café rojizo, muy meteorizado. Aparentemente, no presenta estratificación. También, describe que el contacto inferior es irregular sobre el Miembro Paraíso y aunque el contacto superior está cubierto por lahares, se determina que la unidad es claramente más antigua que la Formación Cervantes.

Miembro Superior:

De acuerdo con Krushensky (1972), está constituida por al menos cuatro coladas de lava principales y numerosas coladas locales; estas rocas presentan disyunción columnar. Menciona que las coladas, de al menos 30m de espesor, están intercaladas con lahares de 2 a 8 m de espesor.

Las coladas de lava del miembro superior son andesitas basálticas de color gris medio a oscuro y que meteorizan a gris claro.

Depósitos recientes

Además de estas unidades Krushensky menciona varias unidades menores compuestas por limos y cantos rodados de forma caótica sin presencia de estratificación, los cuales reconoce como depósitos de abanico aluvial de Cartago y Quircot. Este mismo autor describe dentro de la zona de estudio depósitos fluvio-lacustres compuestos por limos y arenas finas bien estratificadas.

2.3 Geología Local y caracterización de suelos del AP

La zona del AP está conformada por materiales de un depósito aluviales, dada las condiciones topográficas de la finca, no hay evidencia de afloramientos en el sitio.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los estudios realizados en noviembre del 2018, por la compañía Castro De La Torre S.A y según se indica en el informe 18-0705. Se efectuaron 28 perforaciones mediante la metodología de perforación a percusión estándar SPT, según la tabla 3.1.1 tomada del informe original, se presenta a continuación, donde se presentan las profundidades de cada perforación y su distribución (imagen 1 y 2) .

Tabla 3.1.1. Sondeos exploratorios y su profundidad respectiva

Sondeo	Profundidad (m)	Sondeo	Profundidad (m)
P-1	6,30	P-15	6,30
P-2	10,35	P-16	20,00
P-3	13,05	P-17	6,30
P-4	20,50	P-18	26,00
P-5	27,90	P-19	26,00
P-6	27,90	P-20	26,00
P-7	27,90	P-21	23,00
P-8	28,35	P-22	23,00
P-9	26,60	P-23	23,85
P-10	26,60	P-24	20,00
P-11	26,45	P-25	20,00
P-12	25,50	P-26	28,40
P-13	6,00	P-27	28,20
P-14	15,50	P-28	21,00

RM= Rebote de mazo en el estrato natural y firme de sitio.

Imagen 1. Profundidad de cada una de las perforaciones realizadas en el sitio, fuente informe geotécnico 18-0705 Castro DeLaTorre.



Imagen 2. Ubicación de las perforaciones realizadas, fuente informe geotécnico 18-0705 Castro DeLaTorre.

Se describe a continuación las siguientes capas que se determinaron en el estudio de suelos:

- Capa A: Relleno artificial de limo plástico de color café oscuro contaminado con orgánico y arcilla expansiva de color gris.
- Capa B: Limo plástico arenoso de color café oscuro a negro con olor a orgánico y piedras.
- Capa C: Limo plástico arenoso de color café oscuro a negro con olor a orgánico y piedras
- Capa D: Limo plástico de color gris verdusco con piedras y lentes arenosos.
- Capa E: Limo plástico de color café amarillento con vetas verduzcas.
- Capa F: Turba de limo arcillo y limo de alta plasticidad de color negro con materia vegetal
- Capa G: Limo de alta plasticidad de color gris verdusco con piedras y lentes arenosos
- Capa H: Lahar fino de limo plástico arenoso de color café claro a amarillento con bloques decimétricos heterogéneos poco meteorizados (relación de matriz/bloque 70/30)
- Capa I: Lavas brechificada de composición andesítica fracturada con pátinas de meteorización, Formación Reventado

2.4 Cauces en el AP

No hay colindancia ni ningún cauce cruza la finca.

2.5 Nivel freático

Durante el proceso de perforación se detectó la presencia de un nivel freático en la mayoría de las perforaciones realizadas, a las profundidades indicadas en la siguiente imagen.

Tabla 4.2.1. Profundidad del nivel freático:

Sondeo	Profundidad a la que aparece el nivel freático (m)	Profundidad a la que estabiliza el nivel freático (m)	Sondeo	Profundidad a la que aparece el nivel freático (m)	Profundidad a la que estabiliza el nivel freático (m)
P-1	4,95	3,10	P-15	ND	----
P-2	ND	----	P-16	2,25	0,70
P-3	6,30	1,50	P-17	0,45	0,45
P-4	ND	----	P-18	4,05	1,00
P-5	2,70	0,40	P-19	3,55	2,65
P-6	3,15	0,25	P-20	1,40	0,40
P-7	3,60	0,40	P-21	2,25	1,20
P-8	5,10	0,80	P-22	3,50	0,40
P-9	1,80	4,00	P-23	3,60	0,50
P-10	0,60	0,60	P-24	0,50	0,50
P-11	ND	----	P-25	2,60	0,50
P-12	0,55	0,55	P-26	4,65	1,40
P-13	2,25	0,50	P-27	9,00	2,52
P-14	3,20	3,20	P-28	1,80	0,60

ND: No se detectó nivel freático.

Para que se pueda tener un monitoreo de la variación del nivel de la tabla de aguas durante los siguientes meses, hemos dejado instalados piezómetros en los sectores de las perforaciones P-9, P-16 P-20, P-22 y P-25, por medio de lo cual podrán a futuro realizar lecturas periódicas de control de la posición de la tabla de aguas.

Imagen 3. Profundidades de los niveles de agua subterránea determinados durante las labores exploratorias (fuente informe geotécnico 18-0705 Castro DeLaTorre).

2.6 Geomorfología local del terreno y su entorno inmediato

Unidad abanico aluvial del Río Reventado

Corresponde con la parte distal del volcán Irazú las cuales presentan una leve inclinación hacia el sur, con pendientes inferiores a los 5°, según se observa en la figura 3. Esta topografía se presenta en la sección SW de Cartago con topografías suaves, onduladas y la presencia de sistemas de drenaje poco desarrollados. El AP se ubica dentro de esta una unidad.

2.7 Procesos geológicos de geodinámica externa

Dentro del AP no se observaron evidencias de erosión de tipo fluvial, como es la formación de zanjas o cárcavas de variable tamaños y profundidad. La escorrentía superficial es de tipo laminar hacia el suroeste, esto debido a la leve pendiente que muestra la propiedad.

2.8 Síntesis de la condición geológica básica del terreno

- Las rocas del AP y AID se correlacionan con la Unidad de Depósitos Recientes, la geología local de la finca se asocia a los depósitos de flujos volcánicos, así como coluvio aluviales originados sobre la falda sur del volcán Irazú y el sistema fluvial de en el AID.
- Para el sitio y según el estudio de suelos realizado se generaliza un perfil de suelos heterogéneo caracterizado por la presencia de capas de limos y arcillas de alta plasticidad. El nivel freático se detectó a diversas profundidades dentro de los sondeos y a profundidades estudiadas.
- El AP se presenta sobre la unidad denudacional de pendiente baja, corresponde con la parte media distal del volcán Irazú las cuales se inclinan hacia el sur con pendientes promedio 5°, hacia el sector de Cartago con topografías suaves.
- No hay colindancia ni cauces que atraviesen la finca.
- Se considera que la geoaptitud del terreno es favorable para el desarrollo de las instalaciones, siempre y cuando se tomen en cuenta todas las medidas pertinentes de diseño de obras y control de la erosión, así como las recomendaciones en el estudio de suelos sobre las técnicas de cimentación adecuadas.

2.9 Discusión sobre limitantes de incertidumbre y alcance del estudio de geología básica del terreno

El principal alcance de este estudio es la definición de la geología y de las características de las unidades que afloran en el AP, así como de las unidades geomorfológicas, basándose en las observaciones de campo hechas a lo largo de la finca.

3. ESTUDIO DE ESTRUCTURA Y AMENAZAS/RIESGOS NATURALES GEOLÓGICOS EN EL AP

Con base en los lineamientos establecidos en la Sección IV del anexo 6 del Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, se desarrolla a continuación el estudio técnico de condición de amenazas/riesgos geológicos naturales, para el proyecto.

3.1 Estructura geológica local y susceptibilidad a las amenazas

Con base en varios autores entre los que destaca Krushensky (1972), las formaciones del subsuelo corresponden a unidades fluviales para el AP. A nivel local no se observaron fallas geológicas o discontinuidades geológicas que limiten las unidades superficiales. Las condiciones del terreno a nivel local presenta susceptibilidad a sismicidad debido a las fallas activas y Cuaternarias cercanas y que afectan por igual toda la zona sureste de Cartago.

3.2 Fallas geológicas

Existen numerosas fallas neotectónicas en el Valle Central que podrían afectar el proyecto por su relativa cercanía.

Falla Agua Caliente inicia al sur de la Loma Salitral y continua hasta el sur de Paraíso de Cartago, se presenta geomorfológicamente como alineamientos de promontorios truncados, contraescarpes en depósitos recientes, valles y fuentes termales alineados, lomos de falla y sillas de falla (Fernández & Montero, 2002). Es una falla sinuosa con rumbo variable entre NW, EW y WNW en sus sectores oeste, central y este respectivamente. Se han identificado depósitos del Cuaternario Superior cortados por fallas inversas asociadas a esta falla (Fernández & Montero, 2002). Esta falla tiene un movimiento predominante sinistral con una zona transtensiva entre Quebrada Honda y Bermejo al sur de Cartago.

Históricamente ha provocado 4 sismos importantes, entre estos están: el ocurrido el 21 de marzo de 1842 de 5,8 Mw, conocido como “Terremoto de Alajuelita”, y causó importantes daños en Escazú y Alajuelita. Otros son los dos ocurridos el 13 de abril de 1910 de magnitudes entre 5,0 Mw y 5,2 Mw, conocidos como “Los Terremotos del Tablazo” que causaron importantes daños en Desamparados. El otro muy importante, es el del 4 de mayo de 1910 de magnitud 6,4 Mw, que

destruyó la Ciudad de Cartago y es el peor desastre ocurrido en Costa Rica en número de víctimas (Rojas, 1993).

En la imagen 4, se observa la ubicación del AP y la traza de la falla Agua Caliente según MONTERO, & KRUSE, 2006, dicha traza se ubica a una distancia mayor a los 600 metros al Norte del AP.

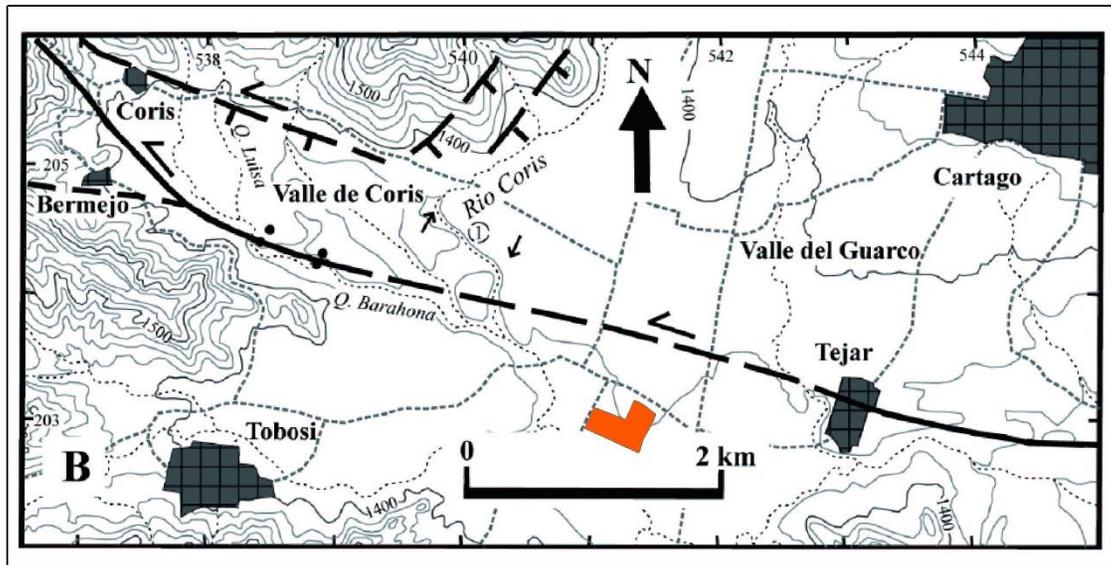


Imagen 4. Ubicación del AP y la respectiva traza de la falla Agua Caliente (MONTERO, & KRUSE, 2006)

En el mapa de CNE para el cantón de Cartago, se traza además la falla Cangreja al sur del AP, tal como se observa en el mapa de amenazas. Se localiza entre dos grandes sistemas de falla sinestrales; Agua Caliente al norte y Navarro al sur. Tiene una longitud que ronda los 6 km, (Fernández & Montero, 2002; Denyer et al., 2009).

Esta falla es relativamente desconocida; Fernández & Montero (2002) son los primeros en describirla con detalle. Especifican que esta falla se orienta NW y que presenta una inclinación subvertical a vertical (?) debido a que su traza es muy rectilínea. No indican el tipo de movimiento asociado a la falla, sin embargo, por su orientación podría corresponder con una falla dextral.

3.3 Sismicidad

Este es quizás el factor de amenaza más importante a tomar en cuenta en el AP. La sismicidad en el AP está muy vinculada con la presencia de las fallas antes mencionadas y otras que podrían causar efectos en la zona y que están ubicadas en otros bloques tectónicos del país.

El sistema de fallas Agua Caliente-Rio Azul-Cipreses, es el más importante en cuanto a la cercanía con el AP; varios autores dentro de los que destacan Montero & Miyamura (1981) sugieren que el terremoto de Cartago del 4 de mayo (Ms 6,4) y el del 21 de febrero 1912, que causo muchos daños en Tres Ríos y alrededores son producto de este sistema de fallas. Además, de dos enjambres de temblores ocurridos entre el 5 y el 10 de junio de 1994 y entre el 25 de octubre y 2 de noviembre de 1994, fueron localizados sobre la traza de la falla Agua Caliente (Montero, 2001).

Desde el siglo XIX se han registrado sismos importantes en la zona que comprende San José y Cartago, en el cuadro 1 se da una lista de los principales sismos según Rojas (1993).

CUADRO 1. Temblores históricos de la zona comprendida entre San José y Cartago
(Rojas, 1993)

Número	Nombre	Fecha	Magnitud (Ms)	Daños
1	Cartago	02-09-1841	6,0-6,5	Destrucción de Cartago, 38 muertos
2	Alajuelita	1842	5,0-5,5	Daños en Alajuelita
3	Tablazo	13-04-1910	5,8	Daños en Desamparados
4	Cartago	04-05-1910	6,4	Destrucción de Cartago y Paraíso, 600 muertos
5	Tres Ríos	21-02-1912	5,0-5,5	Daños en Tres Ríos
6	Paraíso	1951	5,4	Daños en Paraíso y Orosí

Los sismos que más han afectado la zona se han producido en fallas corticales como las descritas anteriormente, esos ocurren a profundidades relativamente someras menores a 15 km y de ahí que su potencial de destrucción sea alto, aunado a que se dan en zonas con altas densidades de población como es el caso de Cartago.

Las características geomorfológicas y geológicas del terreno del AP lo hacen favorable para el tipo de proyecto que se pretende, se estima que los movimientos de tierras se realicen considerando las características de los suelos y la actividad sísmica que impera.

3.4 Amenaza volcánica

Debido al ambiente geotectónico en el que se ubica la zona del proyecto y a la existencia volcanes activos en una radio inferior a los 15 km como lo es el volcán Irazú y Turrialba no se descarta la afectación por la actividad volcánica y sus efectos directos o indirectos asociados, como flujos de lodo en cauces cercanos, lluvia ácida y caída de cenizas.

3.5 Deslizamiento

Según el mapa de amenazas para la localidad no hay presencia de zona de movimiento de masa, principalmente dadas las condiciones topográficas del AP.

3.6 Potencial de Licuefacción

Según el estudio de suelos, realizado informe 18-0705, se descarta dicho fenómeno para el AP.

3.7 Síntesis de resultados y conclusiones

- La sismicidad en el AP y AID está muy vinculada con la presencia de fallas que están claramente identificadas en el Mapa Sismológico y Neotectónico de la Gran Área Metropolitana, escala 1:200 000 (Montero, 1993) y en el Atlas Tectónico de Costa Rica, hoja San José, escala 1:500 000. Entre las fallas principales Agua Caliente.
- Varios sismos se han originado en el este y sureste del Valle Central con magnitudes (Ms) entre 5,4 y 6,4 e intensidades registradas en San José entre V y VIII (MM). Dentro de la sismicidad histórica para la zona hay registros de actividad de la Falla Lara. El sistema de fallas Agua Caliente-Rio Azul-Cipreses, es el más importante en cuanto a la cercanía con el AP; varios autores dentro de los que destacan Montero & Miyamura (1981) sugieren que el terremoto de Cartago del 4 de mayo (Ms 6,4) y el del 21 de febrero 1912, que causo muchos daños en Tres Ríos y alrededores son producto de este sistema de fallas. Además, de dos enjambres de temblores ocurridos entre el 5 y el 10 de junio de 1994 y entre el 25 de octubre

y 2 de noviembre de 1994, fueron localizados sobre la traza de la falla Agua Caliente (Montero, 2001).

- Debido al ambiente geotectónico en el que se ubica la zona del proyecto y a la existencia volcanes activos en una radio inferior a los 15 km como lo es el volcán Irazú; no se descarta la afectación por la actividad volcánica y sus efectos directos o indirectos asociados, como lluvia acida, caída de cenizas y flujos de lodo en los cauces.
- Se concluye que el terreno tiene una geopotitud favorable desde el punto de vista de las amenazas naturales de índole geológico. Las obras a construir tienen que estar diseñadas de acuerdo a lo que se establece en el Código Sísmico y Código de Cimentaciones vigentes en Costa Rica y a los parámetros determinados en los estudios de suelos correspondientes para la prevención de cualquier afectación de las obras por un evento sísmico de magnitud considerable.
- Se recomienda delimitar las zonas de seguridad, sitios de reunión en caso de emergencia.
- Se recomienda realizar análisis geotectónico para la finca, dada la importancia de la infraestructura a desarrollar y el potencial sísmico de la zona.

3.8 Discusión sobre las limitantes de incertidumbre y alcance del estudio

Los alcances de este estudio están dados por estudios sísmicos anteriores, bibliografía y mapas tectónicos regionales disponibles que indican estructuras regionales para la zona en que se suscribe el AP y el AID, así como en las observaciones de campo realizadas en toda el área del proyecto y alrededores.

La principal incertidumbre es el momento de la afectación de las obras por eventos sísmicos de gran magnitud que puedan originar fuertes aceleraciones en el terreno.

Se concluye que el proyecto es viable desde el punto de vista de las amenazas naturales geológicas, con la limitante que se deben acatar las recomendaciones hechas por los ingenieros a cargo, sobre los diseños antisísmicos que deberán contener las obras, todo tomando en cuenta las magnitudes e intensidades que se han registrado en la zona sísmica donde se ubica el AP, además se debe seguir lo estipulado en el Código Sísmico y de Cimentaciones de Costa Rica vigentes actualmente.

4. ESTUDIO DE HIDROGEOLOGÍA AMBIENTAL DE LA FINCA

4.1. Pozos perforados

El Área de Aguas Subterráneas del SENARA posee una base de datos de pozos perforados y nacientes, en la cual se procedió a revisar la información disponible en un radio de 1000 metros con respecto al AP; la principal información se muestra en el siguiente cuadro. Se presentan un total de 38 pozos, los cuales se muestran en el siguiente cuadro, y se muestran en el mapa de ubicación de pozos y concesiones.

CUADRO 2. POZOS UBICADOS EN UN RADIO DE 1 KM CON RESPECTO AL AP Y EL AID

No. pozo	X	Y	Propietario
IS-129	541100	203150	sin dato
IS-127	541250	203250	INMOBILIARIA
INV-69	541200	203100	Superior Greens S.a
IS-330	541060	203480	T.I.TECNOLOGIA INDUSTRIAL
INV-68	541250	203100	Superior Greens S.a
INV-68	541250	203100	Superior Greens S.a
IS-345	541200	203500	EXTRUSIONES DE ALUMINIO
IS-130	541100	203550	F.MADRIGAL
IS-190	541350	203300	EMCOOPER R.L.
IS-344	540850	203510	FLORIAL, S.A.
IS-359	540825	203000	HELECHOS ORN.LA MARGARITA
IS-367	541400	203550	CORPORACION LUMS, S.A.
IS-169	541220	203700	QUIMICAS HOLANDA DE C.R.
IS-125	541550	203350	sin dato
IS-117	541500	203000	
IS-121	541200	203750	
IS-152	541250	203750	MOV. FAMILIAR CRISTIANO
ILG-205	541400	203700	MOVIMIENTO FAMILIAR CRISTIANO
IS-40	540450	203370	LINDA VISTA LTDA.
IS-374	541320	202700	MANUEL ANTONIO LEIVA
IS-313	541650	203120	MARIA ENGRACIA BRENES G.
IS-987	540561	202864	Green Mountain Group Anónima
IS-339	540750	202700	LINDA VISTA, S.A.
ILG-444	541450	203750	INVERSIONES AGLO S.A.
IS-350	541060	203900	FLORIAL, S.A.
ILG-338	540400	203150	HELECHOS ORN.LA MARGARITA
IS-334	541750	203150	MARIA CRISTINA BRENES M.
ILG-512	541680	203600	ROBRELE LTDA
IS-356	540820	202550	LINDA VISTA, S.A.

No. pozo	X	Y	Propietario
IS-206	540300	203100	VERDES SUPERIORES
IS-303	540500	202700	GOLD SMITH SEEDS INC.
IS-207	540300	203000	VERDES SUPERIORES
IS-98	541800	203500	BERNAL JIMENEZ MONGE
IS-484	541018	204063	GERBER INGREDIENTS S.A.
IS-558	541866	203296	J.M.C. CONSTRUCCIONES S.A
IS-360	540675	202500	LINDA VISTA, S.A.
IS-258	541860	203030	PALMITOS DE COSTA RICA
IS-261	541800	203650	EMPRESAS CAVENDISH
IS-126	541700	202700	sin dato
IS-224	541925	203300	PLANTEX S.A.
IS-30	540720	204070	M. GUARDIA
IS-194	540150	203200	VERDES SUPERIORES S.A.
IS-123	541900	202900	RESTAURANTE QUIJONGO
IS-257	541970	203260	PLANTEX S.A.
IS-280	541800	202700	LUIS ALBERTO RETANA
IS-240	541820	203780	EMPRESAS CAVENDISH, S.A.
IS-402	541900	203650	INMOBILIARIA JAGUA S.A.
IS-255	541650	204050	CARTEX MANUFACTURERA

Del listado anterior se trabajará con los pozos más cercanos al AP, que tengan a la información, y se encuentren en la misma sub cuenca, con la idea de utilizarlos para la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual. Los mismos se presentan en el cuadro 3.

CUADRO 3. INFORMACIÓN DE POZOS UBICADOS CERCANOS AL AP Y AID

POZO	PROF_	N_EST_	N_DIN_	QFIN	USO3	Rejilla
IS-129	74	6		0.5	DOMESTICO	16-35
IS-117	80.0	0.0		15.0	DOMESTICO	24-39 48-80
IS-127	21.0	1.0		1.0	INDUSTRIAL	
IS-190	50.0	8.0		1.0	INDUSTRIAL	26-44
IS-125	21.0	3.0		0.5	DOMESTICO	9-21

4.2. Condiciones hidrogeológicas del AP

A continuación, se presenta la descripción litológica de los pozos cercanos al AP.

IS-129

0-40m Arcilla impermeable

40-48 m Lava, porosa, presenta oxidación

48-52 m Arcilla impermeable

52-64 m Material heterogéneo, constituido por lavas, areniscas y arcillas, permeabilidad aparente media

64-74 m Material heterogéneo, constituido por areniscas de grano fino y sedimentos tobáceos grises

IS-117

0-1 m arcilla de color gris

1-8 m material silíceo, blanco, mezclado con fragmentos lávicos.

8-19 m Arcilla gris oscuro

19-22 m Lavas de color gris oscuro, andesítica

22-30 m Lahar

30-37 Lavas andesíticas

37-43 m Arcilla

43-48 Lahar

48-60 Lava

60-80 Ignimbrita

IS-190

0-10 m arcilla

10-25 m arcilla

25-44 m Arena con guijarros mezclados con arcilla de color verdoso

44-50 m Arcilla con arena fina de color verdoso

La hidrogeología del AP, está conformada dentro de paquetes de materiales aluviales, con intercalaciones de capas arcillas, lahares y lavas según la información obtenida de pozos cercanos al AP, así como el estudio de suelos.

Se presenta un acuífero superior en cual presenta niveles a partir de 1 metro hasta los 8 metros de profundidad, dentro de paquetes de arcillas, posiblemente se trate de una capa de origen aluvial. En la sección intermedia se presenta un paquete de lahares hasta los 50 metros de profundidad aproximadamente y para presentarse finalmente una capa de lavas andesíticas, los espesores de estos materiales son variables.

Durante la etapa exploratoria del estudio de suelos, se presentaron niveles de agua subterránea a diversas profundidades, a partir de los 0.70 metros hasta los 4 metros de profundidad, se presentan dentro de paquetes limosos, los cuales presentan una mayor permeabilidad, corresponden quizás con niveles subsuperficiales de agua, se presentan como lentes limosos dentro de los paquetes aluviales (figura 7).

La ubicación de las rejillas se presenta en los lahares y en el pozo IS-117 en las lavas, este pozo capta hasta los 15 litros por segundo, este potencial alto corresponde con el acuífero en lavas.

Se reportan diferentes profundidades de perforación hasta los 80 m, se reportan una variación de los niveles estáticos desde los 1 a 8 m. La explotación del recurso es principalmente para para uso doméstico e industrial (cuadro 3).

4.3. Análisis de riesgo de contaminación de las aguas subterráneas

Aplicación del método de vulnerabilidad G.O.D.

Para el análisis de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, conformado en las rocas del subsuelo del AP y el AID, se usará el Método "G.O.D". (Por sus iniciales en inglés), el cual considera dos factores básicos:

- El grado de inaccesibilidad hidráulica de la zona saturada
- La capacidad de atenuación de los estratos suprayacentes a la zona saturada del acuífero. (Foster, et al, 2002).

El índice de vulnerabilidad G.O.D. caracteriza la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos en función de los parámetros:

- Grado de confinamiento hidráulico
- Ocurrencia del sustrato suprayacente
- Distancia al nivel freático.

La ocurrencia del sustrato (O) se determinó con base en las litologías descritas en los mapas geológicos y los pozos perforados en el AID; para el proyecto los valores asignados los encontramos en la Figura 5, Gráfico de G.O.D y en el siguiente cuadro 4:

CUADRO 4. APLICACIÓN DEL MÉTODO “G.O.D”. EN EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ÁREA DEL PROYECTO

PARÁMETRO	CLASIFICACIÓN	VALOR
Grado de confinamiento hidráulico	No confinado-Cubierto	0.60
Ocurrencia del sustrato suprayacente	Limos –arcillas	0.50
Distancia al nivel del agua subterránea	<5 m	0.90
Valor del índice de vulnerabilidad	G x O x D	0.27
Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero	BAJA	

La vulnerabilidad intrínseca a la contaminación del acuífero en la zona del proyecto se clasifica como baja. Se utilizó el acuífero como no confinado cubierto, debido al espesor de arcillas que lo cubren.

4.4. RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Identificación de fuentes potenciales de contaminación del agua subterránea

El proyecto contará con planta de tratamiento, ante ello se reduce el riesgo de contaminación de aguas subterráneas.

4.5. Modelado hidrogeológico local

- El flujo de agua subterránea es variable y predomina en el sentido noreste a suroeste, hacia el colector principal, que sería el río Agua Caliente, en base a la información de pozos.
- El acuífero local en el AP se alberga dentro de paquetes de materiales aluviales, con intercalaciones de capas de limos y arcillas. Por su parte el acuífero principal se alberga en materiales volcánicos (lavas andesíticas, con presencia de intercalaciones de tobas, capas de arcillas y paleosuelos.
- Presenta un potencial medio evidencia de ello son los caudales de explotación reportados en los pozos cercanos al proyecto, con valores desde los 15 litros por segundo.

- El nivel freático se reporta en el AP a los desde 1m hasta los 3 m de profundidad.
- Se recomienda realizar un estudio hidrogeológico a detalle en la zona del AP.

4.6. Síntesis de resultados y conclusiones del estudio de hidrogeología ambiental de la finca

El modelo hidrogeológico local ha determinado que el acuífero principal en el AP se ubica dentro de las rocas porosas, dentro de un matriz limo arcilloso e intercalaciones de capas de este material.

El acuífero tiene un nivel freático variable desde 3 a 8 m de profundidad, de acuerdo con los registros de los pozos cercanos.

El análisis de la vulnerabilidad a la contaminación en el acuífero del AP resultó ser baja de acuerdo con el método GOD.

4.7. Discusión sobre las limitantes de incertidumbre y alcance del estudio

Dentro de los alcances de este estudio está la conceptualización de un modelo hidrogeológico local del acuífero en el AP, el mismo se ha definido con base en la correlación geológica con las unidades existentes y la información sustraída de los reportes de perforaciones cercanas.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DENYER, P., MONTERO, W. & ALVARADO, G.E., 2003: Atlas tectónico de Costa Rica. –1 ed. –Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, C.R. –79 págs

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

KRUSHENSKY, R. 1972: Geology of the Istarú Quadrangle, Costa Rica.-Geological Survey Bulletin.

FERNÁNDEZ, M. & MONTERO, W., 2002: Fallamiento y sismicidad del área entre Cartago y San José, Valle Central de Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 26: 25-37.

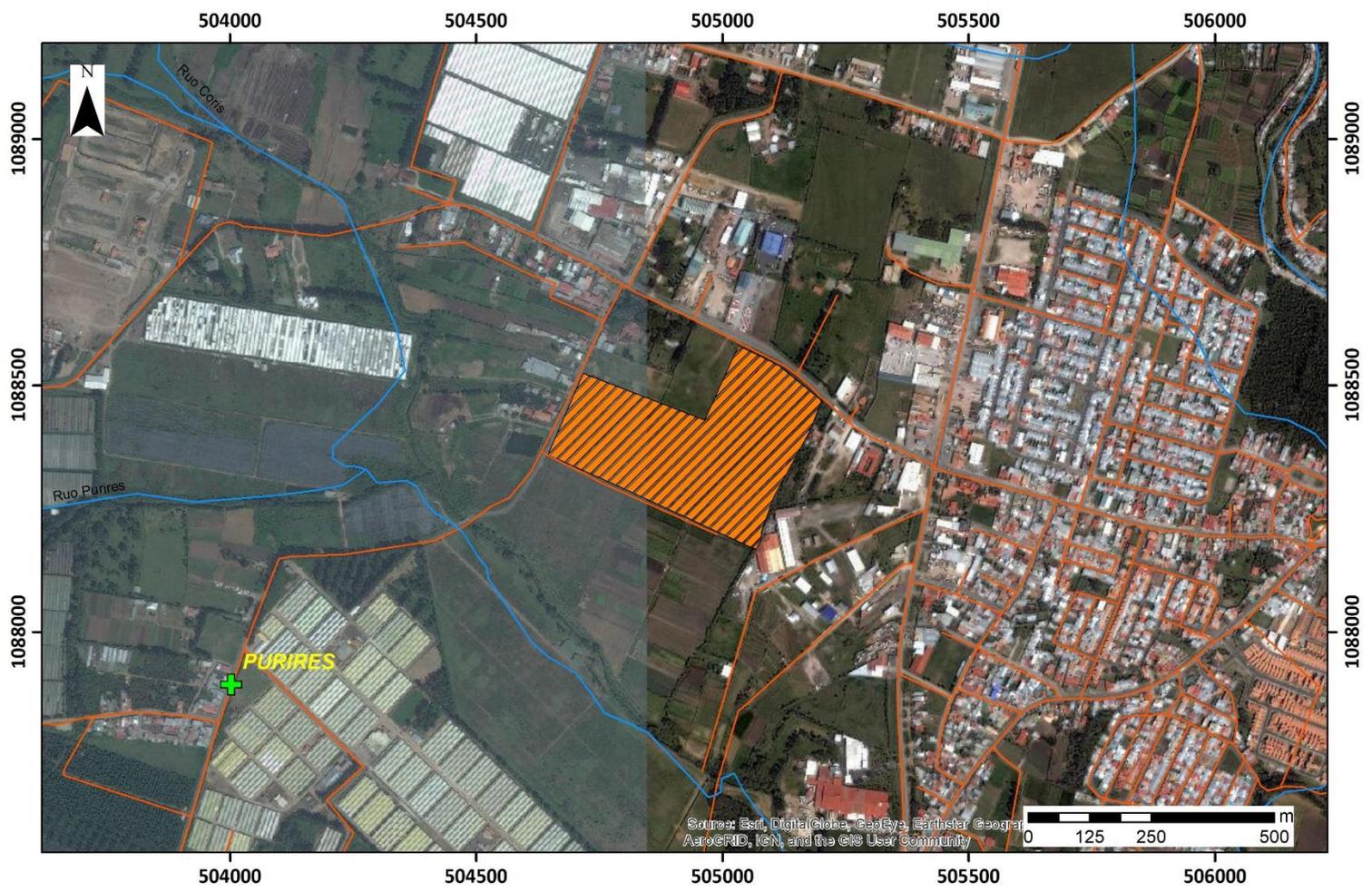
MONTERO, W., 2001: Neotectónica de la región central de Costa Rica: frontera oeste de la Microplaca de Panamá.- Rev. Geol. Amér. Central, 24: 29-56.

MONTERO, W. & KRUSE, S., 2006: Estudio neotectónico y geofísico de la falla Aguacaliente en los valles de Coris y de El Guarco.- Rev. Geol. Amér. Central, 34-35: 43-58.

ROJAS, W., 1993: Catálogo de sismicidad histórica y reciente en América Central: Desarrollo y Análisis. Tesis de Licenciatura en Geología, Universidad de Costa Rica, 91 p.

SENARA 2018. Base de Datos de Pozos

6. FIGURAS



**MAPA DE UBICACIÓN
 PROYECTO
 NUEVO HOSPITAL MAX PERALTA
 DE CARTAGO**

- Simbología**
- + Poblaciones
 - rios
 - carreteras
 - ▨ Plano_crtm

Coordenadas CRTM05
 Distrito Tejar Cantón El Guarco
 Provincia Cartago

figura 1



**MAPA GEOLÓGICO
PROYECTO
NUEVO HOSPITAL MAX PERALTA
DE CARTAGO**

Simbología

- + Poblaciones
- ríos
- - - FALLAS CRTM05
- carreteras
- Plano_crtm
- Aluvial Cuaternario

Coordenadas CRTM05
Distrito Tejar Cantón El Guarco
Provincia Cartago

figura 2

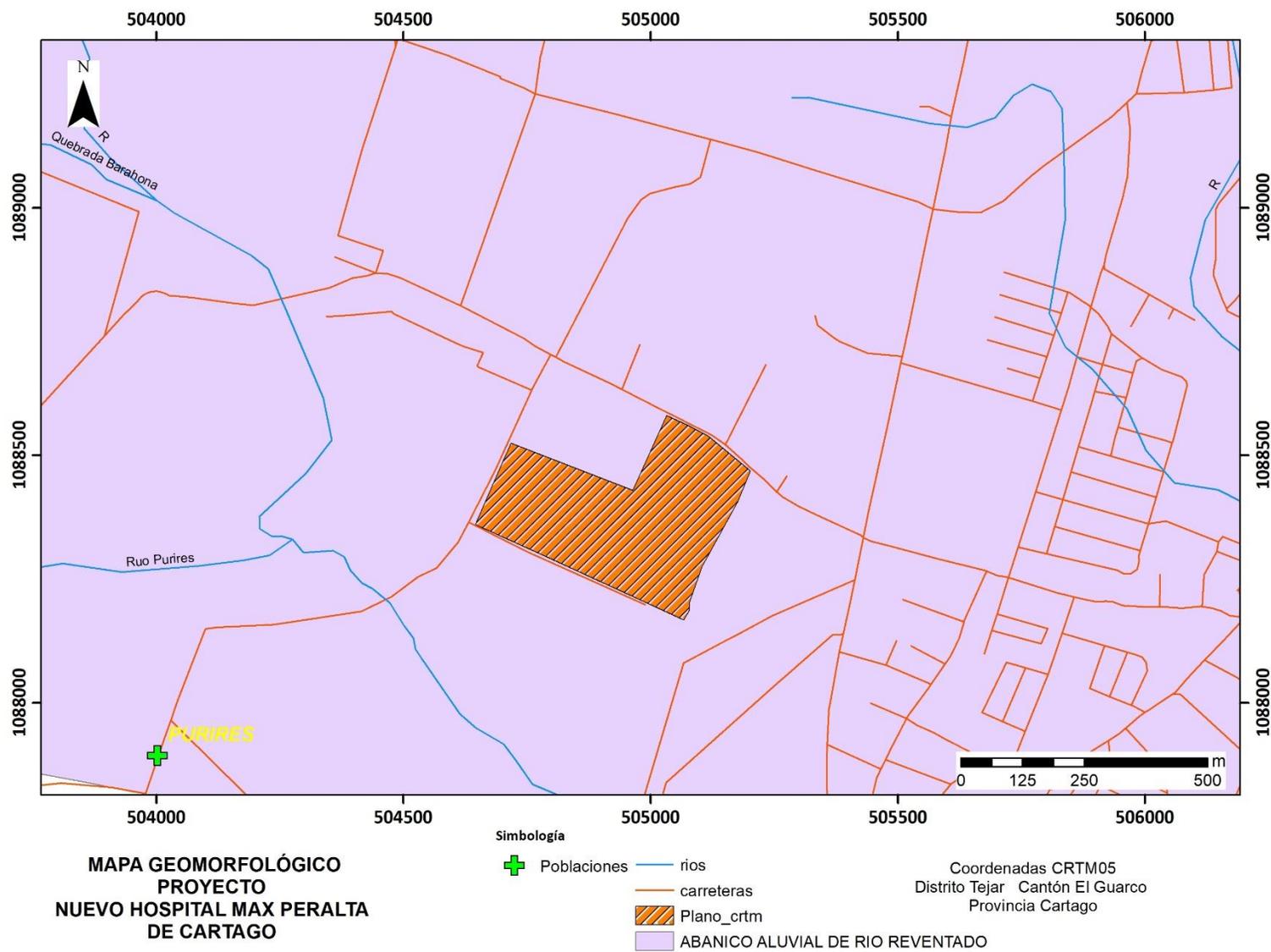
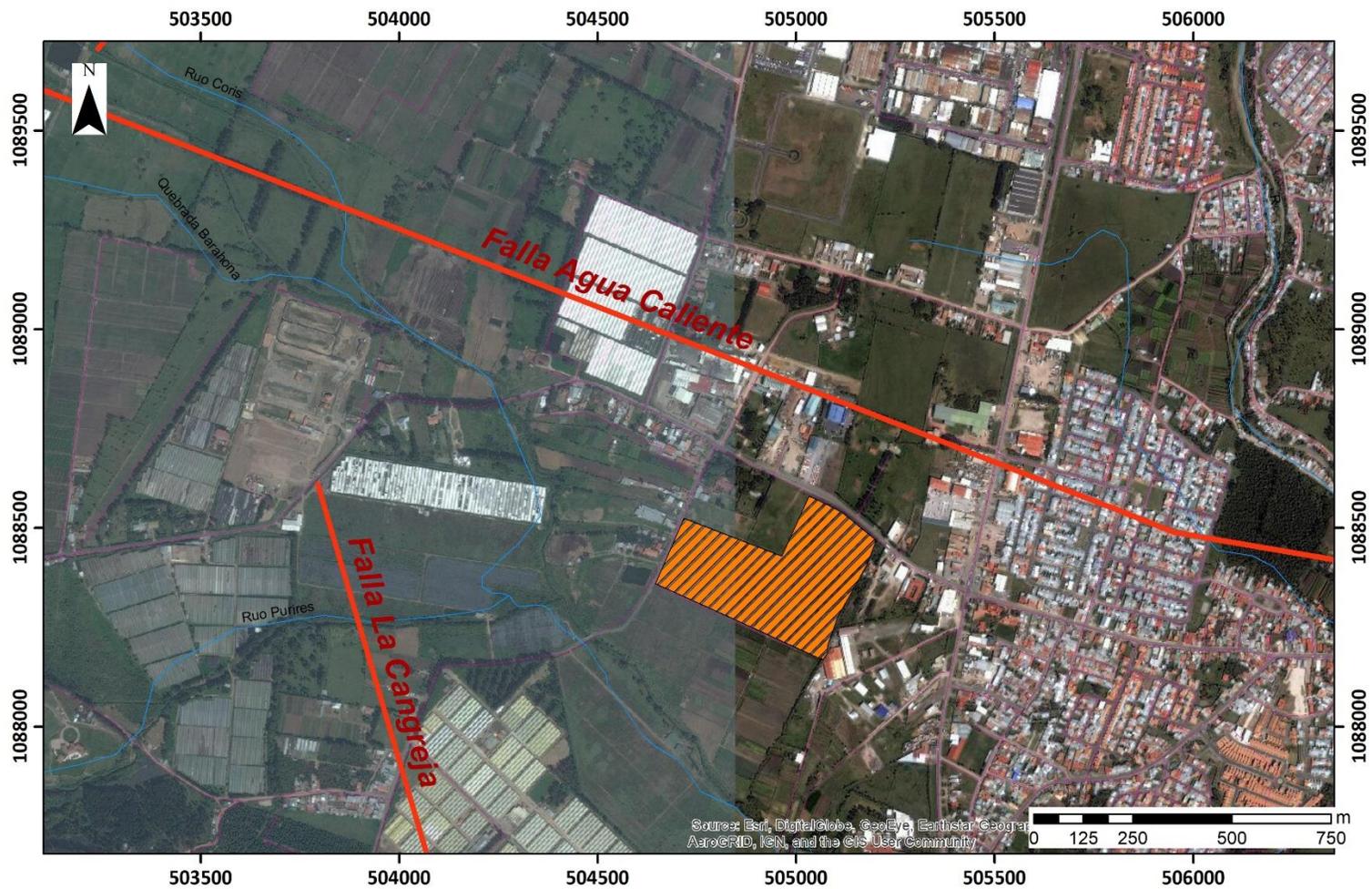


Figura 3



**MAPA DE AMENAZAS
NATURALES
PROYECTO
NUEVO HOSPITAL MAX PERALTA
DE CARTAGO**

Simbología

- FALLAS CRTM05
- rios
- carreteras
- ▨ Plano_crtm

Fuente: Mapa CNE de la
Provincia de Cartago

figura 4.

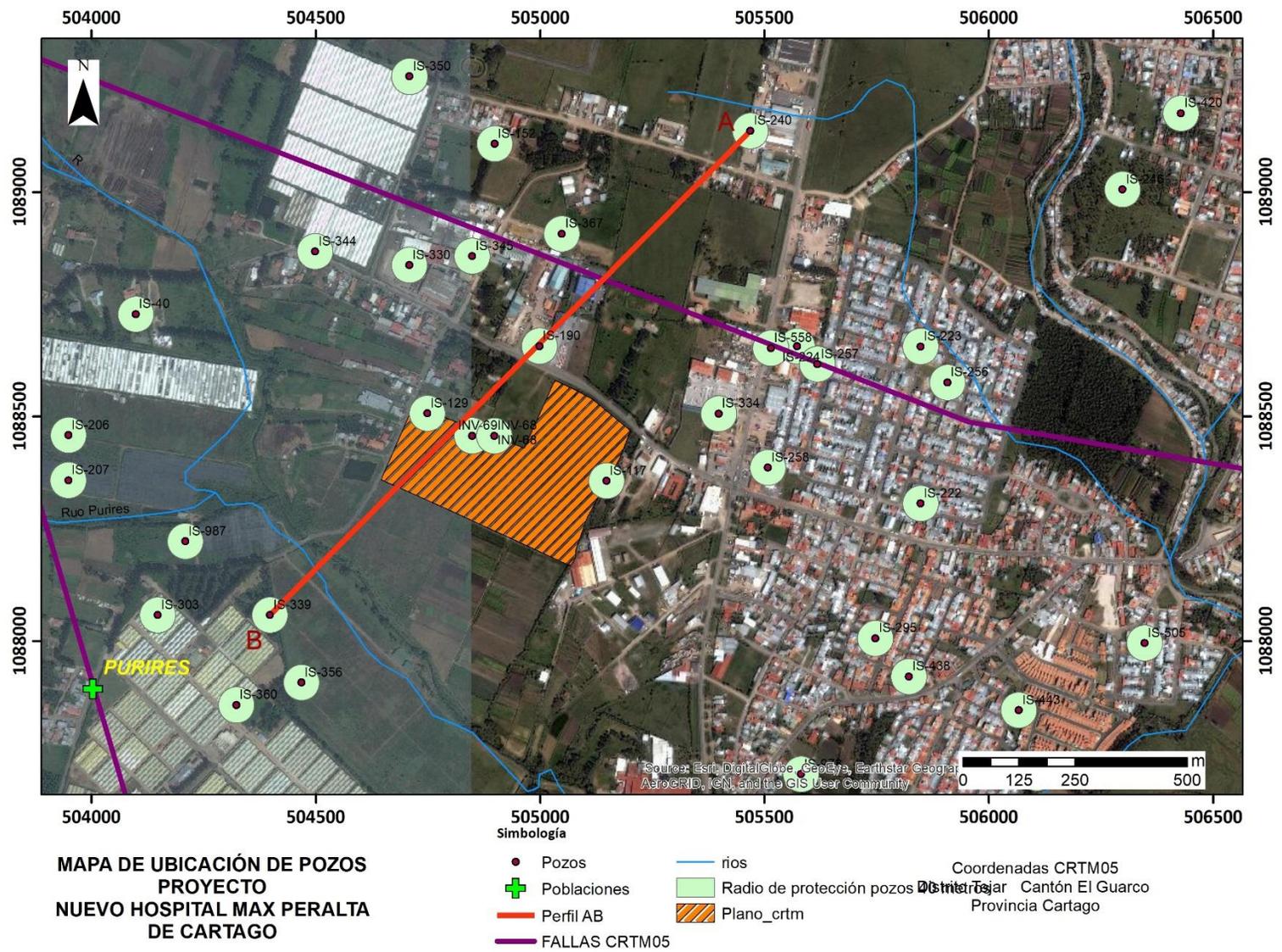


figura 6.

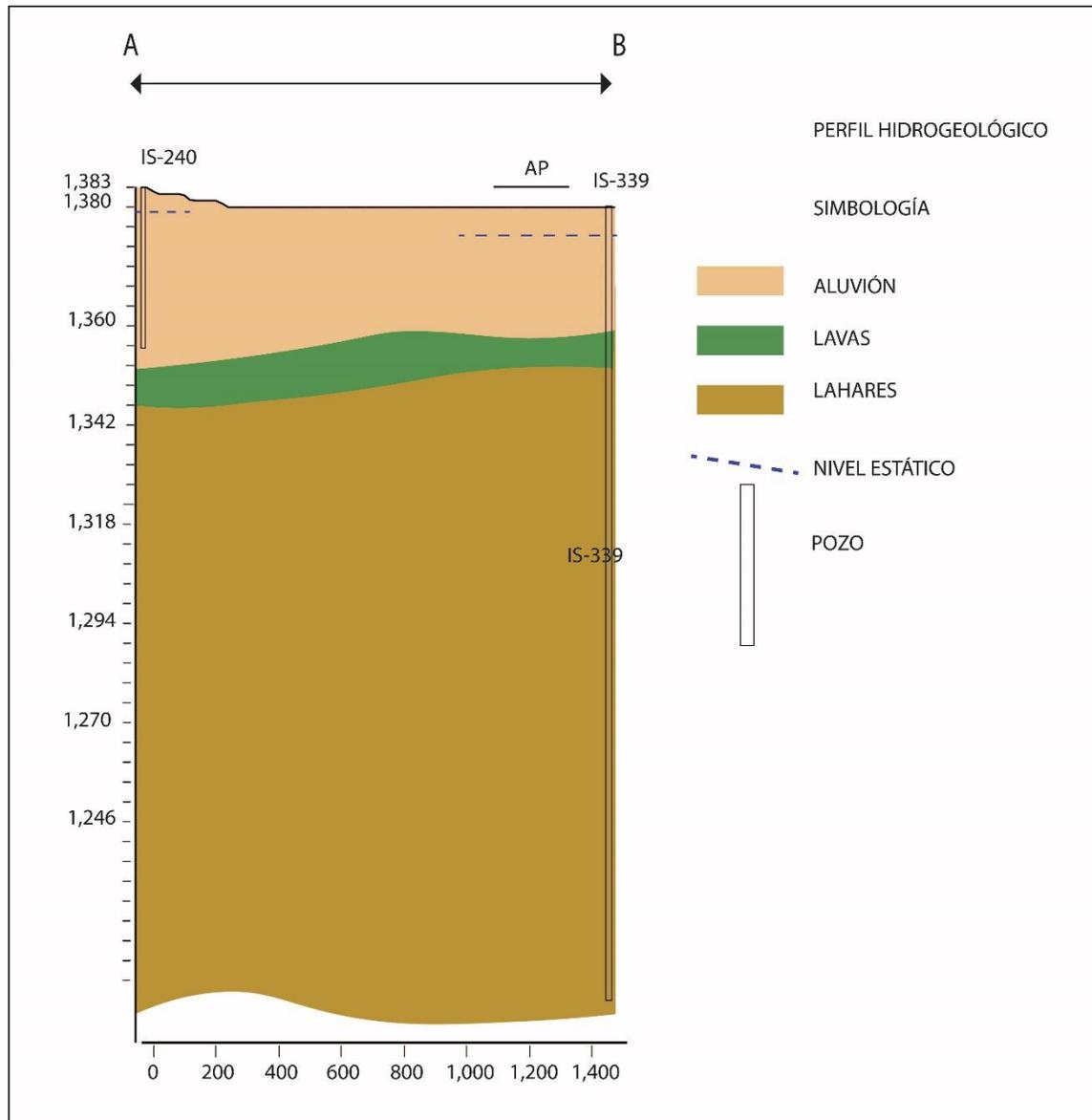


Figura 7