

PROTOCOLO PARA ESTUDIO GEOLÓGICO DEL TERRENO (INTEGRADO)

PROYECTO: **Construcción de espacios de alojamiento en CAI Jorge Arturo Montero Castro (Mínimas)**

LOCALIZACIÓN: Provincia: **Alajuela** Cantón: **Alajuela** Distrito: **San Rafael**

DESARROLLADOR: **Ministerio de Justicia y Paz.**

PROFESIONAL QUE ELABORA EL ESTUDIO: **Profesional en Geología**

Nombre del profesional: **Marco Araya Oviedo**

Número de cédula: **4-0205-0507** **Número de colegiado:** **CI-0252-2015**

Registro SETENA: **CI-0252-2015** Vigencia: **19/12/2021**

DOCUMENTO DE RESPONSABILIDAD PROFESIONAL

El suscrito **Marco Araya Oviedo**, portador de la cédula de identidad número **4-0205-0507**, profesional en **geología**, manifiesto ser responsable directo de la información técnica científica que se aporta en el presente documento, la cual se elaboró para el proyecto denominado: **Construcción de espacios de alojamiento en CAI Jorge Arturo Montero Castro (Mínimas)**, el cual se desarrollará en el plano catastrado número: **A-151437-1993**, finca número: **2-38105-000**.

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.

Firma del profesional

Fecha de emisión: Octubre, 2021

Tabla de contenido

1. Resumen	2
2. Introducción	3
DATOS DE LA GEOLOGÍA BÁSICA DE LA FINCA	5
3. Unidades geológicas superficiales y del subsuelo superior	5
3.3 Unidades geológicas en el AP y la zona de estudio	5
4. Datos geomorfológicos, procesos de erosión, datos de geodinámica externa	6
4.1 Geomorfología local de terreno.....	6
4.2 Procesos geológicos geodinámica externa.....	6
5. Síntesis de resultados y conclusiones geológicas	6
6. Discusión sobre las limitantes de incertidumbre y alcance del estudio	7
DATOS SOBRE LA HIDROGEOLOGÍA AMBIENTAL	8
7. Datos hidrogeológicos del entorno inmediato	8
8. Condiciones hidrogeológicas locales y caracterización básica del acuífero	8
8.1 Identificación y descripción básica de las unidades hidrogeológicas del terreno	8
8.2 Propiedades básicas del acuífero	11
9. Síntesis de resultados y conclusiones hidrogeológicas, análisis de vulnerabilidad a la contaminación basado en el modelo hidrogeológico local	11
9.1 Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero y evaluación del tiempo de tránsito del agua subterránea.....	11
9.1.1 Modelado básico de vulnerabilidad a la contaminación	11
9.1.2 Evaluación de tiempos de tránsito de contaminantes.....	13
9.2 Modelado hidrogeológico local.....	15
10. Discusión sobre las limitantes de incertidumbre y alcance del estudio	15
DATOS SOBRE LA CONDICIÓN DE AMENAZAS/RIESGOS NATURALES	16
11. Evaluación de la amenaza / riesgo por fallamiento geológico, sismicidad y potencial de licuefacción.	16
12 Evaluación de la amenaza / riesgo por estabilidad ladera y actividad volcánica 16	
13 Síntesis de resultados y conclusiones geológicas	17
14 Discusión sobre las limitantes de incertidumbre y alcance de estudio.	17
Referencias bibliográficas.	19
Anexos.	20

1. Resumen

1.1. Resumen de resultados

El proyecto Construcción de espacios de alojamiento en CAI Jorge Arturo Montero Castro (Mínimas), se ubica en la provincia de Alajuela, cantón de Alajuela, distrito de San Rafael. El área del proyecto (AP), se ubica en un lote con el plano catastrado número: A-151437-1993, finca número: 2-38105-000. Espacialmente se localiza entre las coordenadas 475847 E y 1101157 N (CRTM05) en la hoja topográfica Abra, editada por el IGN a escala 1:50.000.

Consiste en la construcción de estructuras de un nivel, para la creación de 1560 nuevos espacios de alojamiento en los ámbitos A, B y C, del Centro de Atención Integral Jorge Arturo Montero Castro.

Geológicamente el proyecto se encuentra sobre suelos residuales, que corresponden con la meteorización de las rocas volcánicas de la formación Depósitos de avalancha ardiente. Morfológicamente se caracteriza por relieves planos y drenajes desarrollados.

El perfil de suelo está compuesto por una capa superficial de suelo limo arcilloso de color café amarillento, hasta una profundidad mínima de 6 m. Geomorfológicamente, el AP se encuentra en el Relleno volcánico del Valle Central, este relleno se correlaciona con pendiente baja (5-12°).

Hidrogeológicamente, la unidad hidrogeológica corresponde con el acuífero Colima Superior. Se encuentra sobreyacido por suelos residuales y tobas volcánicas los cuales son producto de la meteorización de dicha formación Depósitos de Avalancha ardiente. La vulnerabilidad a la contaminación del acuífero es baja y el tiempo de tránsito se estima en 136,8 días.

El proyecto no presenta riesgo importante ante las amenazas naturales, siendo una de las principales amenazas la actividad sísmica. El área del proyecto se caracteriza por presentar una topografía plana, con pendientes menores al 5%, por tanto, se establece que no existe amenaza por laderas o taludes en el proyecto.

En conclusión, este proyecto se considera que es viable, siempre que se acaten las recomendaciones expuestas en el presente estudio, con el fin de que el entorno inmediato del proyecto no se vea amenazado. Considerando ciertos aspectos constructivos, las condiciones geológicas e hidrogeológicas no desfavorecen el proyecto.

1.2. Resumen de conclusiones técnicas

Desde el punto de vista geológico ambiental, hidrogeológico ambiental y de amenazas naturales el proyecto es viable si se respetan las indicaciones establecidas por ley y las recomendaciones de este estudio.

2. Introducción

2.1 Datos sobre la finca estudiada

El área del proyecto (AP) donde se construirá el proyecto **Construcción de espacios de alojamiento en CAI Jorge Arturo Montero Castro (Mínimas)**, se ubica en la provincia de Alajuela, cantón de Alajuela, distrito de San Rafael (Figura 1). El área del proyecto (AP), se ubica en un lote con el plano catastrado número: **A-151437-1993**, finca número: **2-38105-000**. Espacialmente se localiza entre las coordenadas 475847 E y 1101157 N (CRTM05) en la hoja topográfica Abra, editada por el IGN a escala 1:50.000 (Fig. 1).

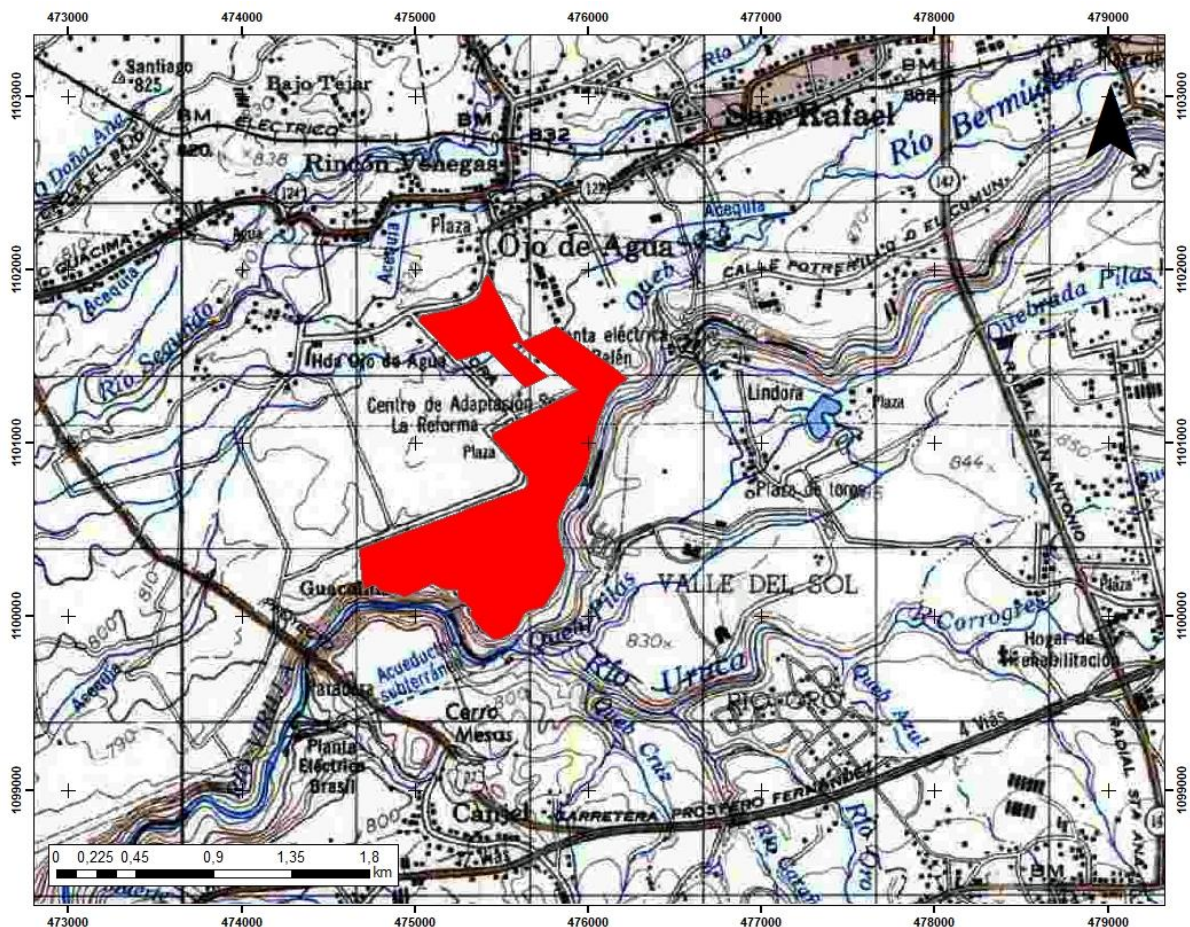


Figura 1 Ubicación del área del proyecto.

La propiedad corresponde con 113 hectáreas con 4900,87 metros cuadrado, de los cuales 12 104,74 m² corresponden a los metros de huella del proyecto.

El terreno cuenta con instalaciones existentes del CAI Jorge Arturo Montero Castro, zonas verdes, caminos internos y edificios.

El acceso al AP es por una carretera con cobertura asfáltica, es transitable todo el año, denominadas calle Zamora y calle La Reforma, además por la ruta 27 y ruta 124.

2.2 Coordinación profesional

Debido a la emergencia nacional por el COVID-19 no se realizó la visita al sitio para no poner en riesgo el bienestar de los privados de libertar. Además, ya que en el sitio hay estructuras existentes no se considera necesaria la visita del geólogo y se realiza la inspección mediante fotografías del área del proyecto.

2.3 Objetivos del estudio

El objetivo de este estudio es evaluar las condiciones de geoaptitud del terreno tomando en cuenta los aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, de amenazas y riesgos geológicos naturales, caracterizando las unidades geológicas, estructuras geomorfológicas, acuíferos y fuentes de agua cercanas, y las posibles amenazas para la actividad a desarrollar en el área del proyecto (AP).

2.4 Metodología aplicada

Inicialmente la metodología de trabajo consiste en la consulta de información de la zona de estudio en términos generales, posteriormente se realiza la visita de campo donde se recorre el AP, se recolectan y analizan muestra de suelo y roca en el sitio, con el fin de determinar las condiciones geológicas locales. Se observa la geomorfología del terreno y se correlaciona con la geología, tanto del Área de Influencia Directa (AID), así como del Área de Influencia Indirecta (AII). Junto a la información bibliográfica consultada y los datos de campo, se establece el marco geológico local y regional en la zona de estudio.

DATOS DE LA GEOLOGÍA BÁSICA DE LA FINCA

3. Unidades geológicas superficiales y del subsuelo superior

3.1 Descripción espacial de las unidades geológicas locales

El marco geológico local fue definido a escala 1:5000, dando énfasis al área circundante a la propiedad donde se realizará la construcción (Anexo 2). El AP y AID se ubican en el distrito de San Rafael, cantón de Alajuela, provincia de Alajuela, donde según Denyer & Alvarado (2007) se encuentran rocas volcánicas y volcanoclásticas producto del vulcanismo del Pleistoceno, incluyendo lavas, tefras, lahares, ignimbritas y tobas.

3.1.1. Formación Depósitos de Avalancha Ardiente (Qv3)

Esta unidad litológica está subyaciendo los depósitos de lahares y cenizas, y está constituida por depósitos de pómez de caída, seguida por cenizas, lapilli y bloques. También se encuentran ignimbritas con fiames de obsidiana y pómez (Arias & Denyer, 1991). La forma de este depósito es tabular, y presenta un espesor máximo de 150 metros. Hidrogeológicamente se le considera de utilidad como capa filtrante para los acuíferos inferiores (Arias & Denyer, 1991).

3.1.2. Formación Lavas Intracañón (Qv4)

Esta formación está constituida por lavas andesíticas, siendo estas coladas vesiculares en algunas secciones, y espesores que varían desde los 10 hasta los 30 metros. Se encuentran intercaladas con tobas y algunas brechas. El espesor total de esta formación tiene como máximo 270 metros. Estas lavas presentan disyunción columnas y fisuras por el flujo de las coladas, lo que le da una cualidad importante como acuífero, y se le confiere gran importancia por el abastecimiento de aguas a la ciudad de San José (Arias & Denyer, 1991).

3.2 Estudio de suelos

Según el estudio geotécnico (Informe geotécnico INF-GEO-038-2021), se realizan perforaciones (8) con profundidades desde 1,5 m hasta 6 m y no se detecta el nivel freático en ninguna de las perforaciones.

Se encuentran 4 estratos, uno compuesto por limos de alta plasticidad con arena MH de color café con consistencia media (Capa 1) con un espesor de 0,5 m; arcilla de alta plasticidad CH de color café con consistencia media a firme (Capa 2) con un espesor de 3,5 m; arcilla de alta plasticidad CH de color gris con consistencia media a firme (Capa 3) con un espesor de 2,5 m; arena limosa SM con compacidad media a muy densa.

El terreno presenta un estrato general de capacidad de soporte de mala a regular, la capacidad buena se ubica solo entre 50cm y 350cm de profundidad.

3.3 Unidades geológicas en el AP y la zona de estudio

En el área del proyecto a desarrollar existen suelos limo arcillosos, producto de la meteorización de los depósitos volcánicos de la formación Depósitos de avalancha ardiente. Morfológicamente se presentan relieves predominantemente ondulados.

4. Datos geomorfológicos, procesos de erosión, datos de geodinámica externa

Regionalmente la geomorfología está definida por la litología, principalmente las rocas volcánicas y volcánicas de la formación Depósitos de Avalancha Ardiente; por lo que el origen de las formas del terreno es de origen volcánico.

Se encuentra únicamente una forma, correspondiente al Relleno volcánico del Valle Central (Anexo 2), este relleno se correlaciona con pendiente baja (5-12°) y el relieve presenta elevaciones entre 800 y 840 m.s.n.m. El drenaje es en dirección noroeste (SW) y los ríos se encuentran encajados evidenciando un claro dominio de la erosión sobre la deposición. Esto evidencia el estado joven del drenaje o en estado de rejuvenecimiento por las formas meandriformes en cañones profundos (Denyer & Arias, 1991).

4.1 Geomorfología local de terreno

4.1.1 Relleno volcánico del Valle Central

Localmente, el AP corresponde con rocas volcánicas y volcánicas de la formación Depósitos de Avalancha Ardiente que se depositaron sobre las lavas Intracañon. Estos depósitos de flujo como las ignimbritas y lahares rellenaron las irregularidades del terreno originando un relieve plano con ondulaciones leves. Además, los depósitos de cenizas cayeron sobre los depósitos originando una capa de suelo con espesores de 10 metros aproximadamente (Anexo 2).

Por la naturaleza del relleno volcánico del Valle Central, en la zona se encuentran laderas denudacionales de pendiente baja en toda la zona del Valle Central, y como se observa en el Mapa Geomorfológico (Anexo 2) en el AP el relieve es plano y las pendientes decrecen hacia el suroeste (SW). Los ríos se encuentran encajados y son meandriformes debido a las pendientes bajas de la zona que limitan el drenaje y el flujo, produciendo estas formas sinuosas en los ríos que se aprecian en el Mapa Geomorfológico.

4.2 Procesos geológicos geodinámica externa

Regionalmente el proceso erosivo más importante se da en los ríos, los cuales se encuentran encajados producto de rejuvenecimiento y evidenciando mayor erosión que deposición (Denyer & Arias, 1991). La sedimentación en estos ríos se espera que sea en zonas donde cambia la pendiente hacia el suroeste (SW), desembocando en el río Virilla.

Localmente, en el AP no se evidencia erosión de tipo fluvial producto de la escorrentía, ya que tanto en el terreno como en los alrededores la superficie se encuentra impermeabilizada y con sistema de recolección de aguas pluviales, por lo que la escorrentía no es un proceso de erosión significativa. Además, el cuerpo de agua más cercano se encuentra a más de 200 metros del proyecto, aproximadamente, por lo que no tienen influencia sobre el AP, sin mencionar que ninguno de los ríos ha presentado inundaciones en el AID ni AII del proyecto. Y por el relieve plano del AP y sus alrededores no se presentan deslizamientos u otros procesos de erosión mecánica.

5. Síntesis de resultados y conclusiones geológicas

El proyecto se encuentra sobre limo arcillosos y los suelos residuales que corresponden con la meteorización de las rocas volcánicas de la formación Depósitos de Avalancha Ardiente. Geomorfológicamente el área del proyecto caracteriza se caracterizados por relieves planos. En el área del proyecto predomina la unidad de Relleno volcánico del Valle Central de

pendiente baja, y en las inmediaciones del área del proyecto predomina la unidad Depósitos de Avalancha Ardiente.

En cuanto a los procesos de geodinámica externa, la topografía en los alrededores del sitio de proyecto es predominantemente plana, por lo que no se detectaron evidencias referentes a procesos geodinámicos externos que pudieran estar generando una afectación específica al terreno, como son cárcavas por la escorrentía superficial.

Por lo tanto, desde el punto de vista geológico ambiental, el proyecto es viable siempre y cuando se respeten las indicaciones establecidas por ley y las recomendaciones de este estudio.

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

Es importante mencionar que la metodología utilizada para el estudio de la geología del sitio de proyecto consiste en una evaluación general basada en la información geológica existente recopilada. Para este estudio específico, el modelo geológico está basado en la geología regional y local del sitio, así como de la información de los pozos cercanos. A pesar de lo anterior, se considera que la información es suficiente para identificar las condiciones geológicas del sitio y plantear las recomendaciones generales pertinentes, así como para estudiar la factibilidad del proyecto desde el punto de vista geológico.

Como todo estudio geológico, las premisas y conclusiones están basadas en inspecciones visuales de las condiciones superficiales del terreno y en información bibliográfica, por lo que se pueden dar variaciones inesperadas en las condiciones del terreno, por tanto, es importante que durante la etapa constructiva se verifique que las condiciones reales del sitio son coherentes con las que se describen en este informe. Esto debido a que pueden existir condiciones específicas en determinados puntos de la propiedad que no fueron detectados durante la etapa de exploración, o porque pueden haberse presentado variaciones en las condiciones originales, producto de movimientos de tierras, variación del nivel de aguas subterráneas, etc.

En cuanto a las limitantes del análisis geológico, obedecen propiamente al tipo de incertidumbres que se manejan con este tipo de estudios, como lo es la escasa información publicada a escalas adecuadas, debido a inaccesibilidad por coberturas de suelo o vegetación. Además, que es una zona que no cuenta con pozos cercanos con información litológica para interpretar y validar un modelo geológico detallado.

Únicamente se cuenta con la información de las perforaciones SPT realizadas en el estudio geotécnico, donde se perforó hasta máximo 6 m, por lo cual el modelo geológico local se basa en dicha información e interpolaciones.

Debido a los resultados del estudio se concluye que el ambiente geológico no se verá afectado por el proyecto, por tanto, se considera viable desde el punto de vista geológico ambiental. Esto siempre y cuando se utilicen las recomendaciones que se presentan en este informe, de forma tal que se minimicen los efectos negativos que puedan traer algunas condiciones problemáticas del sitio.

DATOS SOBRE LA HIDROGEOLOGÍA AMBIENTAL

7. Datos hidrogeológicos del entorno inmediato

SENARA (2005) identifica que en la zona el acuífero Colima Superior (55 m de espesor) en estas lavas fracturadas, sin embargo, también se ubica un acuífero colgado subyaciendo Colima superior conocido como acuífero La Libertad. Este también se ubica en las lavas fracturadas de la formación Lavas Intracañón, ambos presentan vulnerabilidad baja según SENARA.

En la zona de Alajuela los pozos tienen por lo general menos de 80 m de profundidad y captan tobas e ignimbritas, ocasionalmente capas de lavas fracturadas que se asocia a la formación Depósitos de Avalancha Ardiente. También algunos pozos captan la formación Barva, la cual esta compuesta por sedimentos finos, limos y arcillas de permeabilidad baja. Esta secuencia se puede cataloga como un acuitardo que recarga al acuífero Colima Superior que se encuentra a unos 120 m de profundidad.

Las tobas y lavas de la Formación Barva e ignimbritas de la Formación Tiribí, no presentan condiciones favorables para la explotación de pozos de alto régimen de caudal, especialmente hacia la parte sur y sureste de la ciudad; sin embargo, hacia la parte suroeste y oeste la condición es distinta y existen pozo con caudales reportados de más de 9,5 L/s a profundidades de menos de 60 m.

8. Condiciones hidrogeológicas locales y caracterización básica del acuífero

8.1 Identificación y descripción básica de las unidades hidrogeológicas del terreno

En base a la información de pozos y nacientes, se estima que el gradiente hidráulico para el acuífero en el sector del área de proyecto oscila entre un 2% y un 30 % aproximadamente con una dirección NE-SW, dirección paralela a la mayoría de los cauces de la zona.

De acuerdo con los datos del ensayo de permeabilidad, realizados en la zona (Anexo 2), en el proyecto, se determinó que el coeficiente de conductividad hidráulica en la zona vadosa es del orden de 1.89 m/ día y 0.48 m/ día.

Según con diferentes pruebas realizadas, la capa superficial del AP; corresponde con limos arcillosos, ante ello y según parámetros determinados para este tipo de material, la porosidad del material oscila entre 35% y 60% (Fetter, 2000).

No se encuentran nacientes cercanas al AP, según la base de datos de la Dirección de Aguas del MINAE.

Cuadro 1. Resumen de la información de pozos inscritos en SENARA cercanos al AP.

No. pozo	X	Y	Propietario	Q (l/s)	N. E. (m)	Prof. (m)	Uso
AB-1203	514100	219150	Maria Adela Chaves A.	0.5	75	90	Doméstico
AB-1389	515380	220050	Luis Murillo Murillo	2.3	10.19	75	Doméstico
AB-1768	515100	220200	Finoe S.A.	1.16	10.6	50	Doméstico

AB-2097	514100	219700	Aya Comunidad	38.5	57.55	95	Abast. Público
AB-2285	514975	219600	Banco Banex S.A.	10	NI	70	Urbanístico
AB-2332	515300	220200	Ay A	9.3	106.3	159	Abast. Público
AB-244	514500	219800	Mario Esquivel	0.5	11.36	14.41	Doméstico
AB-245	514120	219620	R. Agüero	0.5	9.45	30.48	Doméstico
AB-246	514100	219400	Dr. Agüero	0.5	9.45	10.5	Doméstico
AB-247	514300	219500	Rancho Agüero	0.5	2.32	30.48	Doméstico
AB-248	514500	219340	Alexis Agüero	0.5	N.I	N.I	Doméstico
AB-250	514800	219200	Mario Esquivel	0.5	14.99	16.32	Doméstico
AB-252	515200	219390	Antonio Lahmann	0.44	7.42	36.58	Riego
AB-253	515320	219390	Antonio Lahmann	N.I	6.31	36.58	Riego
AB-273	514400	219850	Jose Simón	0.5	N.I	N.I	Doméstico
AB-919	514300	219200	Costarricense S.R.L.	3	N.I	30	Industrial
BA-39	514150	220300	M.O.P.T.	0.5	104.75	181.11	Doméstico
BA-698	514260	220250	Dirección Aviación Civil	N.I	12.65	73	Varios
BA-702	515110	220350	Tractogruas S.A.	2.5	18.2	96	Industrial
NAC-264	514500	219500		0.3	N.I	N.I	Doméstico
NAC-276	515380	219900		N.I	N.I	N.I	Doméstico

Cuadro 2. Resumen de la información de pozos inscritos en SENARA cercanos al AP.

Pozo	Litología
AB-1015	0.00 10.00 material café arcilloso, permeabilidad baja 10.00 55.00 toba gris claro perm. baja 55.00 70.00 ignimbrita fragmentos lavicos fracturada porosidad secund. Evidencia circulación de agua 70.00 78.00 brecha lavica mezclado con escoria, 78.00 88.00 lava gris abundantes feldespatos, evidencia de circulación de agua 88.00 81.00 paleosuelo material rojizo

AB-1203	0.00 6.00 suelo café pardo arcilloso perm. ap. Moderada 6.00 12.00 lava alterada, 12.00 26.00 cenizas volcánicas baja permeabilidad 26.00 32.00 lava andesítica muy alterada 32.00 54.00 toba alterada baja perm. ap 54.00 68.00 lava andesítica gris oscuro dura y un 60% de toba café muy alterada 68.00 70.00 toba gris arcillosa baja perm. ap 70.00 76.00 toba café arcillosa baja perm. 76.00 82.00 ignimbrita, no está saturada 82.00 90.00 lava andesítica,
AB-1367	0.00 8.00 cenizas volcánicas perm. ap. muy baja 8.00 14 Formación barba lavas de color gris oscuro muy dura perm. Ap moderada 14.00 16.00 lava escóreas 16.00 18.00 lava andesítica fracturada. Dura 18,00 30.50 lava andesítica muy dura 30.50 32.00 brecha lávica, muy suelta compuesta por fragmentos de Lava, escoria, arcilla, completamente saturada
AB-1964	0.00 3.00 arcilla rojiza, impermeable 3.00 8.00 arcilla impermeable 8.00 18.00 ignimbrita gris, Perm. Ap. Muy baja 18.00 22.00 cenizas volcánicas duras, perm. ap. mala 22.00 24.00 piroclastos perm. ap. buena 24.00 28.00 arcilla impermeable acuifugo-sello) 28.00 38.00 toba arenosa con algo de arcilla, suave Perm. Mala 38.00 45.00 ignimbrita gris claro, perm. Mala perm. 45.00 50.00 lava andesítica, fracturada perm. ap. Buena 50.00 64.00 ignimbrita perm. ap. Baja 64.00 67.00 arcilla. impermeable actúa como acuifugo 67.00 95.00 lava 95.00 96.00 contacto con ignimbrita 96.00 98.00 ignimbrita arcillosa, muy dura, acuifugo 98.00 110.00 lava andesítica, perm .ap. Baja
AB-2054	0.00 10.00 tobas meteorizadas, material de relleno 10.00 12.00 lavas meteorizadas 12.00 18.000 Lava sana de alta dureza y de una coloración gris oscuro 18.0 30.00 lavas brechosa. 30.00 50.00 material piroclásticos. muy cementado y duro
AB-252	0.0 9.10 arcilla impermeable 9.10 21.30 toba gris-café aparentemente muy impermeable 21.30 24.40 toba lapilli, poco permeable 24.40 33.50 toba poco permeable 33.50 54.00 toba grisácea compacta permeabilidad reducida

BA-206	0.00 3.00 suelo de color café 3.00 8.00 lava vesicular sana con fracturas 8.00 23.30 lava densa fracturada 23.30 43.70 brecha lávica 43.70 49.00 toba limosa de color café 49.00 50.80 toba arenosa fragmentos de color blanco 50.80 63.10 toba limosa color café 63.10 80.00 brecha de lava de color negro
BA-698	0.00 12.00 Tobas 12.00 15.00 Lava meteorizada 15.00 38.00 Lava densa, sana y dura, 38.00 48.00 Lavas brechosas 48.00 51.00 Lavas sanas y duras 51.00 55.00 Tobas arcillosas de color marrón. 55.00 59.00 Lavas sanas 59.00 73.00 Tobas arcillosas meteorizadas de color marrón.

Según el estudio geotécnico (Informe geotécnico INF-GEO-038-2021), se realizan perforaciones (8) con profundidades desde 1,5 m hasta 6 m y no se detecta el nivel freático en ninguna de las perforaciones.

Se encuentran 4 estratos, uno compuesto por limos de alta plasticidad con arena MH de color café con consistencia media (Capa 1) con un espesor de 0,5 m; arcilla de alta plasticidad CH de color café con consistencia media a firme (Capa 2) con un espesor de 3,5 m; arcilla de alta plasticidad CH de color gris con consistencia media a firme (Capa 3) con un espesor de 2,5 m; arena limosa SM con compacidad media a muy densa.

8.2 Propiedades básicas del acuífero

Se plantea un modelo hidrogeológico basado en la información de pozos, donde se observan los niveles estáticos del agua subterránea de 72 a 126 metros de profundidad. El flujo del agua subterránea es hacia el suroeste (SW), controlado por la morfología del suelo y al nivel observado en los pozos (Anexo 3).

En el AP con base en la información del Modelo Hidrogeológico planteado, se observa que en la AP el nivel se encuentra alrededor de los 72 metros, además en el AP se realizaron 8 perforaciones SPT con profundidades hasta 6 metros, en ninguna se encontró el nivel freático (IIG, 2021), reafirmando la información del modelo. Además, en el mismo estudio geotécnico se estimó una porosidad efectiva del material de 19 %, este valor es el valor de porosidad para limos según Sanders (1998). Se define una conductividad hidráulica aplicando el valor teórico de 0,1 m/día que Fetter (2001) define para limos.

9. Síntesis de resultados y conclusiones hidrogeológicas, análisis de vulnerabilidad a la contaminación basado en el modelo hidrogeológico local

9.1 Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero y evaluación del tiempo de tránsito del agua subterránea

9.1.1 Modelado básico de vulnerabilidad a la contaminación

La vulnerabilidad a la contaminación se determina mediante el método GOD, el cual fue desarrollado por Foster en 1987. Este método determina la vulnerabilidad intrínseca del acuífero, por lo que no toma en cuenta el tipo de contaminante; establece la vulnerabilidad del acuífero como una función de la inaccesibilidad de la zona saturada, desde el punto de vista hidráulico, a la penetración de contaminantes y la capacidad de atenuación de los estratos encima de la zona saturada como resultado de su retención física y la reacción química con los contaminantes (Foster et al., 2002).

Esta metodología, denominada GOD calcula un índice de vulnerabilidad de acuífero basado en los valores de tres atributos de éste: Grado de confinamiento o tipo de acuífero (G), Litología y grado de consolidación de los estratos ubicados encima de la zona saturada (O), y Profundidad de la capa freática (D).

El grado de confinamiento hidráulico está evaluado con una escala que varía de 0.0 a 1.0. Según esta escala los acuíferos artesianos o confinados son menos vulnerables que un acuífero freático. En el caso objeto de estudio se asignó a este parámetro un valor **0.4**, considerado un valor típico de un acuífero semiconfinado en vez de confinado para tener un parámetro de mayor seguridad y ser conservador en los cálculos (Fig. 2).

Las características del substrato suprayacente a la zona saturada del acuífero se evalúan por su grado de consolidación y por su tipo de litología. Para este parámetro, la escala varía de 0.4 a 1.0. En este caso específico, el terreno que sobreyace a la zona saturada está conformado por suelos residuales limosos. Convencionalmente se le asigna un valor de **0.4**. (Fig. 2).

La profundidad del nivel estático del agua (acuíferos no confinados) o del techo del acuífero (acuíferos confinados) tiene una escala que varía de 0.6 a 1.0. En este caso se asignó el valor de **0.7**, tomando en cuenta el nivel estuviera entre 20 y 50 metros (Fig. 2).

El índice de vulnerabilidad de acuíferos GOD es el resultado del producto de los valores asignados a los 3 parámetros antes mencionados. Por lo tanto, en el caso objeto de estudio es:

$$G \times O \times D = 0.4 \times 0.4 \times 0.7 = 0.112$$

Considerando que, según la escala de valores de la vulnerabilidad del método GOD, el valor obtenido para un acuífero no confinado cubierto cae en la clase de vulnerabilidad baja ($0.1 < GOD < 0.3$), por lo tanto, en la vulnerabilidad del acuífero debajo del AP es **BAJA** (Fig. 2), y el mapa de SENARA indica que la vulnerabilidad de la zona es media.

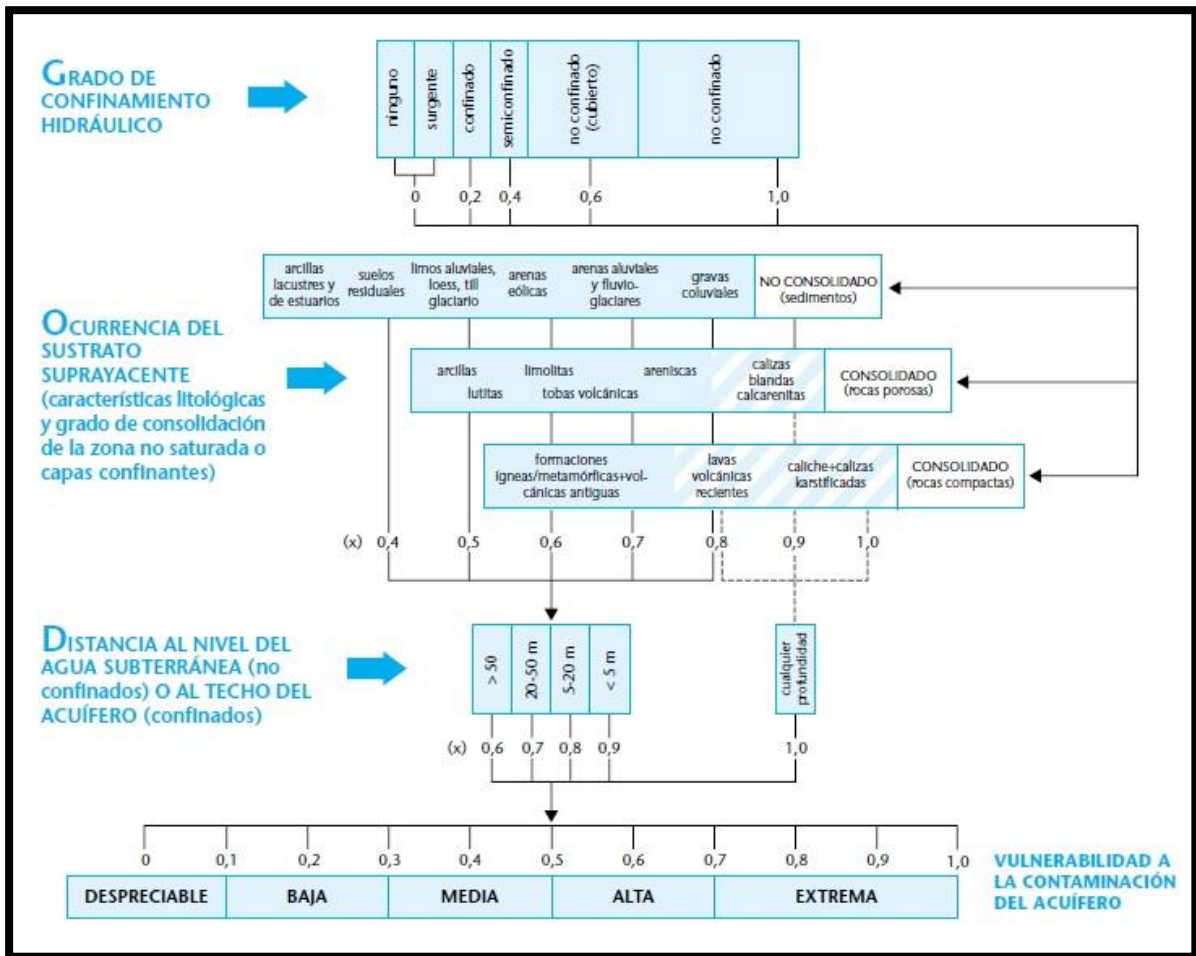


Figura 2. Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos (Tomado de Foster et al., 2002).

9.1.2 Evaluación de tiempos de tránsito de contaminantes

Para el cálculo del tiempo de tránsito de un contaminante se usará la ecuación del flujo de agua subterránea definida por la Ley de Darcy:

$$Q = k i A$$

Donde,

- a) **Q:** caudal
- b) **k:** permeabilidad o conductividad hidráulica
- c) **i:** gradiente hidráulico
- d) **A:** área por donde pasa el flujo

Al dividir el caudal entre el área por donde pase el flujo se obtiene la velocidad aparente (V'):

$$V' = k i$$

La velocidad real (V) toma en cuenta la porosidad (n) del medio, la ecuación anterior se transforma en:

$$V = k i / n$$

En un flujo vertical el gradiente hidráulico (i) es siempre igual a 1. El tiempo de tránsito vertical será:

$$t = \frac{\text{espesor} \cdot \text{porosidad}}{\text{permeabilidad}}$$

En el caso de un flujo horizontal se toma en cuenta el gradiente hidráulico del flujo subterráneo, la ecuación para el tiempo de tránsito será:

$$t = \frac{\text{distancia horizontal } (d_h) \cdot \text{porosidad } (\delta)}{\text{permeabilidad } (k) \cdot \text{gradiente hidráulico } (i)}$$

La fórmula anterior puede variar de manera que se calcule la distancia mínima (d) que debe existir entre los drenajes sépticos y el pozo o manantial tomando en cuenta los días que faltan para completar los 70 días necesarios para la degradación de las bacterias:

$$d = \frac{\text{tiempo restante } (t) \cdot \text{permeabilidad } (k) \cdot \text{gradiente hidráulico } (i)}{\text{porosidad } (\delta)}$$

El nivel freático no se registró en ninguna de las perforaciones realizadas IIG (2021), y como se muestra en el modelo hidrogeológico el nivel se encuentra entre 72 y 126 metros; según la información de los pozos AB-549, AB-578 y AB-595 (Anexo 3). Los materiales reportados en los pozos corresponden con limos arcillosos y limos arcillo arenosos, la porosidad efectiva de materiales gravosos varía entre 3 y 19 % (Sanders, 1998). Además, se reporta un valor de conductividad de 0,1 m/día (IIG, 2021).

Se calcula el tiempo de tránsito para el segmento de limos explorado en el estudio de suelos de la siguiente manera:

$$t = \left(\frac{6 \text{ m} \cdot 0,19}{0,1 \text{ m/d}} \right)$$

$$t = 11,4 \text{ días}$$

Posteriormente, se procede con el análisis del tiempo de tránsito hasta el nivel freático del acuífero, el cual según la información de pozo se encuentra a 72 m. Para este cálculo se utiliza la porosidad efectiva de materiales limosos y se utiliza el valor de permeabilidad más conservador indicado por Fetter (2001). Se calcula el tiempo de tránsito para el segmento de limos arcilloso de la siguiente manera:

$$t = \left(\frac{(72 \text{ m} - 6 \text{ m}) \cdot 0,19}{0,1 \text{ m/d}} \right)$$

$$t = 125,4 \text{ días}$$

Se obtiene un total de tránsito vertical de **136,80 días**, siendo superior a los 70 días de vida de las bacterias, evidenciándose que el acuífero inferior tiene probabilidades muy bajas de verse afectado por las aguas negras infiltradas, se recomienda que acaten las recomendaciones realizadas por el estudio geotécnico (IIG, 2021).

9.2 Modelado hidrogeológico local

El proyecto será ubicado sobre suelos residuales, producto de la meteorización de los depósitos volcánicos de la formación Tiribí. Estos depósitos que predominan en el AP poseen un moderado potencial para generar acuíferos en esta zona, ya que depende del grado de fracturamiento e interconexión de las discontinuidades para poder transmitir el flujo (porosidad secundaria).

El perfil está compuesto por limos orgánicos de 0 a 0,30 m, posteriormente sigue los materiales limosos hasta una profundidad de 72 m, posterior a esta profundidad se encuentra en acuífero en las ignimbritas del valle central.

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

Es importante mencionar que la metodología utilizada para el análisis hidrogeológico del sitio de proyecto consiste en una evaluación general de las condiciones basadas en la información hidrogeológica recopilada. Para este estudio específico, no se cuenta con información hidrogeológica de nacientes cercanas, sin embargo, lo cual el modelo hidrogeológico está basado en la información de pozos, la geología regional y local del sitio.

Como todo estudio hidrogeológico, las premisas y conclusiones están basadas en ensayos puntuales y en recopilación de información, así como de la inspección visual, por lo que se pueden dar variaciones inesperadas en las condiciones del terreno, por tanto, es importante que durante la etapa constructiva se verifique que las condiciones reales del sitio son coherentes con las que se describen en el presente informe. Esto debido a que pueden existir condiciones específicas en determinados puntos de la propiedad que no fueron detectados durante la etapa de exploración, o porque pueden haberse presentado variaciones en las condiciones originales, producto de movimientos de tierras, variación del nivel de aguas subterráneas, etc.

En un radio de 1000 m alrededor del AP se encuentran no se encuentran nacientes reportadas en la base de datos de SENARA, sin embargo, se reportan varios incluso 3 dentro del AP.

Se define el nivel freático regional en 72 m, ya que en las perforaciones SPT realizadas se detectó no se detectó la presencia de nivel freático, hasta una profundidad máxima de 6,0 m.

Por lo tanto, para calcular el tránsito horizontal, el valor de permeabilidad (k) se estimó a partir de valores teóricos. La porosidad según Sanders (1998) para materiales de este tipo es de 0,19. Y se define el nivel freático regional a 72,0 m. Esta metodología que se utiliza es conservadora, y protege el recurso hídrico de la zona del AP.

Debido a la distancia horizontal requerida para completar la degradación de las bacterias y el tiempo de tránsito de 136,8 días, no se pone en riesgo ninguna fuente de agua o elemento fluvial, ya que estos se encuentran a distancias mucho mayores.

Debido a los resultados del estudio se concluye que el ambiente hidrogeológico no se verá afectado por el proyecto, por tanto, se considera viable desde el punto de vista hidrogeológico. Esto siempre y cuando se utilicen las recomendaciones que se presentan en este informe, de forma tal que se minimicen los efectos negativos que puedan traer algunas condiciones problemáticas del sitio.

DATOS SOBRE LA CONDICIÓN DE AMENAZAS/RIESGOS NATURALES

11. Evaluación de la amenaza / riesgo por fallamiento geológico, sismicidad y potencial de licuefacción.

11.1 Estructura de geología local y susceptibilidad a las amenazas

Las rocas piroclásticas de la Formación Depósitos de Avalancha Ardiente en la zona de estudio corresponden con una ligera cubierta (Denyer & Arias, 1991) esta es de forma tabular y se acuña hacia el este (Denyer & Arias, 1991).

El AP es vulnerable a la amenaza por caída de piroclastos tamaño ceniza y a la sismicidad activa y reciente de esta zona del Valle Central.

11.2 Fallas Geológicas

De acuerdo con el Mapa geológico de la Hoja Abra (Denyer & Arias, 1991) y el Mapa de Amenazas Naturales Potenciales del cantón de Alajuela (CNE, 2013) no existen fallas tectónicas cerca al AP.

11.3 Sismicidad

El AP está localizado en la zona sísmica del Valle Central o zona sísmica No. 10 de Costa Rica. La cual se caracteriza por presentar 0.12 sismos anuales de magnitud mayor a 4,5. El valor medio probable de magnitud máxima en esta zona generado por una fuente sísmica es de 6.5 y puede ubicarse a poca profundidad (1-15 Km) según Fernández & Rojas (2000), lo que implica una amenaza poco despreciable a tomar en cuenta. El AP se encuentra en zona sísmica No. III con clasificación de suelos tipo S3. La aceleración máxima esperada es de 0,30 a 0,35 g. (CFIA, 2010) y de 0, 33 (en la componente horizontal).

Históricamente no se registran terremotos generados en el área o cerca del AP.

11.4 Potencial de Licuefacción

Con base en el criterio de evaluación del potencial de licuefacción de terrenos establecido por SETENA (2006), el cual considera las características de geoaptitud, el AP presenta un potencial nulo a la licuefacción que pueda desarrollarse por eventos sísmicos significativos, esto tomando en cuenta los niveles freáticos regionales y locales y espesores arenosos superficiales inexistentes.

12 Evaluación de la amenaza / riesgo por estabilidad ladera y actividad volcánica

12.1 Amenaza riesgo por estabilidad de ladera (taludes)

El Mapa de Amenazas Naturales potenciales de la Hoja Abra (CNE, 2002) y el Mapa de Amenazas Naturales Potenciales del cantón de Alajuela (CNE, 2013) indica que el AP no está ubicado en ninguna área de inundación o zona con inestabilidad de laderas, sin embargo, hacia el sur del AP a unos 250 m aproximadamente está localizada una zona con potencial de inestabilidad de laderas asociados con las laderas del valle fluvial del río Virilla.

12.2 Amenaza volcánica

El AP está en la zona de influencia del volcán Barva (volcán dormido, RSN,2015) y del volcán Poás, este último macizo representa la amenaza volcánica actual más importante del área debido a su cercanía y estado activo con comportamiento eruptivo casual (RSN,2015). Sin embargo, el área del AP no se encuentra dentro de ningún área de amenaza volcánica directa identificada por la CNE. La amenaza más cercana es por la caída de cenizas provenientes de una eventual erupción de estos volcanes tipo principalmente vulcaniana. La caída de los productos sub-aéreos está condicionada por los vientos que ingresan desde el norte-noreste.

13 Síntesis de resultados y conclusiones geológicas

Las condiciones geológicas estructurales del AP son continuas, la unidad geológica en superficie es homogénea y posee características geotécnicas aptas para la cimentación de las obras consideradas en el estudio de suelos.

La amenaza sísmica la constituye la actividad sísmica por reactivación de la falla situada al sur del AP. En esta zona el sismo más severo esperado puede tener una magnitud de 6,5 Ms y generar una aceleración pico de hasta 0,30 a 0.35 g. La superficialidad (1-15 km) de eventuales sismos grandes implica una amenaza sísmica significativa. No hay potencial de licuefacción debido al material subyacente y al nivel freático no encontrado en el AP a niveles inferiores de 6 m.

La principal amenaza volcánica es la afectación por caída de cenizas del volcán Poás, lo anterior está evidenciado por su estado activo.

Las amenazas volcánicas y sísmicas descritas son de escala temporal levemente mayor al AP, por lo que no representan una limitante significativa para la viabilidad del proyecto.

14 Discusión sobre las limitantes de incertidumbre y alcance de estudio.

Los alcances de este estudio están dados por análisis bibliográficos, mapas tectónicos regionales, mapas de amenazas y riesgos naturales de la CNE, donde se indican las estructuras regionales para la zona en que se suscribe el AP y la zona de estudio, así como observaciones de campo realizadas en el área del proyecto y alrededores el día de la gira.

Se determina el alcance de estos estudios de manera general, no representan investigaciones a detalle que puedan evidenciar condiciones anómalas, el espacio temporal de la información recolectada es uno de los limitantes, ya que el país cuenta con registros muy cortos en el tiempo y que a escala geológica no representan periodos de recurrencia de muchos eventos naturales considerados ahora como amenazas naturales.

Es importante mencionar que la metodología utilizada para el estudio de la geología del sitio de proyecto consiste en una evaluación general de las condiciones basadas en la información geológica recopilada (bibliografía, visita geológica, información de la CNE), así como la inspección visual durante la visita al sitio del proyecto.

A pesar de lo anterior, se considera que la información es suficiente para identificar las condiciones geológicas del sitio y plantear las recomendaciones generales pertinentes, así como para estudiar la factibilidad del proyecto desde el punto de vista de amenazas naturales.

Como todo estudio de amenazas naturales, las premisas y conclusiones están basadas en

inspecciones visuales de las condiciones superficiales del terreno y en recopilación de información, por lo que se pueden dar variaciones inesperadas en las condiciones del terreno, por tanto, es importante que durante la etapa constructiva se verifique que las condiciones reales del sitio son coherentes con las que se describen en el presente informe. Esto debido a que pueden haberse presentado variaciones en las condiciones originales, producto de movimientos de tierras, variación del nivel de aguas subterráneas, etc.

En cuanto a las limitantes del análisis de amenazas naturales, obedecen propiamente al tipo de incertidumbres que se manejan con este tipo de estudios. La escasa información publicada a escalas adecuadas, debido a inaccesibilidad por coberturas de suelo o vegetación.

Cualquier fenómeno natural extremo, ya sean precipitaciones intensas, terremotos, erupciones volcánicas de gran escala pueden afectar todo el territorio nacional y, por lo tanto, el área del proyecto. No se consideran dentro del estudio eventos extraordinarios en tiempos geológicos.

Debido a los resultados del estudio se concluye que las condiciones naturales del terreno y el tipo de obra a realizarse presentan una condición apta para desarrollarse, por tanto, se considera viable desde el punto de vista de amenazas naturales. Esto siempre y cuando se utilicen las recomendaciones que se presentan en este informe, de forma tal que se minimicen los efectos negativos que puedan traer algunas condiciones problemáticas del sitio, por lo cual es de suma importancia que se respeten las directrices de los diferentes códigos constructivos.

Referencias bibliográficas.

- CFIA, 2002: Código sísmico de Costa Rica. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, San José, Costa Rica. 247 pp.
- CNE, 2010. Mapa de Amenazas Naturales del cantón de Alajuela: 1: 50 000.
- DENYER, P. AGUILAR, T. & MONTERO, W. 2013: Cartografía Geológica de la Península de Nicoya, Costa Rica: Estratigrafía y Tectónica. Hoja Cabuya (3144-I) – Escala 1:50000, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- 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. Librería Francesa. San José.
- FERNÁNDEZ, M. & ROJAS W., 2000: Amenaza Sísmica y por Tsunamis. -En: DENYER, P. & KUSSMAUL, S. (comp): Geología de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago. –págs 287-301.
- MONTERO, W., 1986: Períodos de recurrencia y tipos de secuencias sísmicas de los temblores intraplaca y interplaca de Costa Rica. Rev. Geol. de Amér. Central, 5: 35-72.
- MONTERO, W. & DENYER, P., 2011: Fallamiento neotectónico de la Península de Nicoya y su relación con el escape tectónico del antearco centroamericano. Rev. Geol. de Amér. Central, 45: 9-52.
- SETENA, 2006: Manual de Instrumentos Técnicos para el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (Manual de EIA). Diario Oficial La Gaceta, 4 de mayo.
- USGS, 1982: Hidrología del agua subterránea básica (Geological Survey water- supply paper).

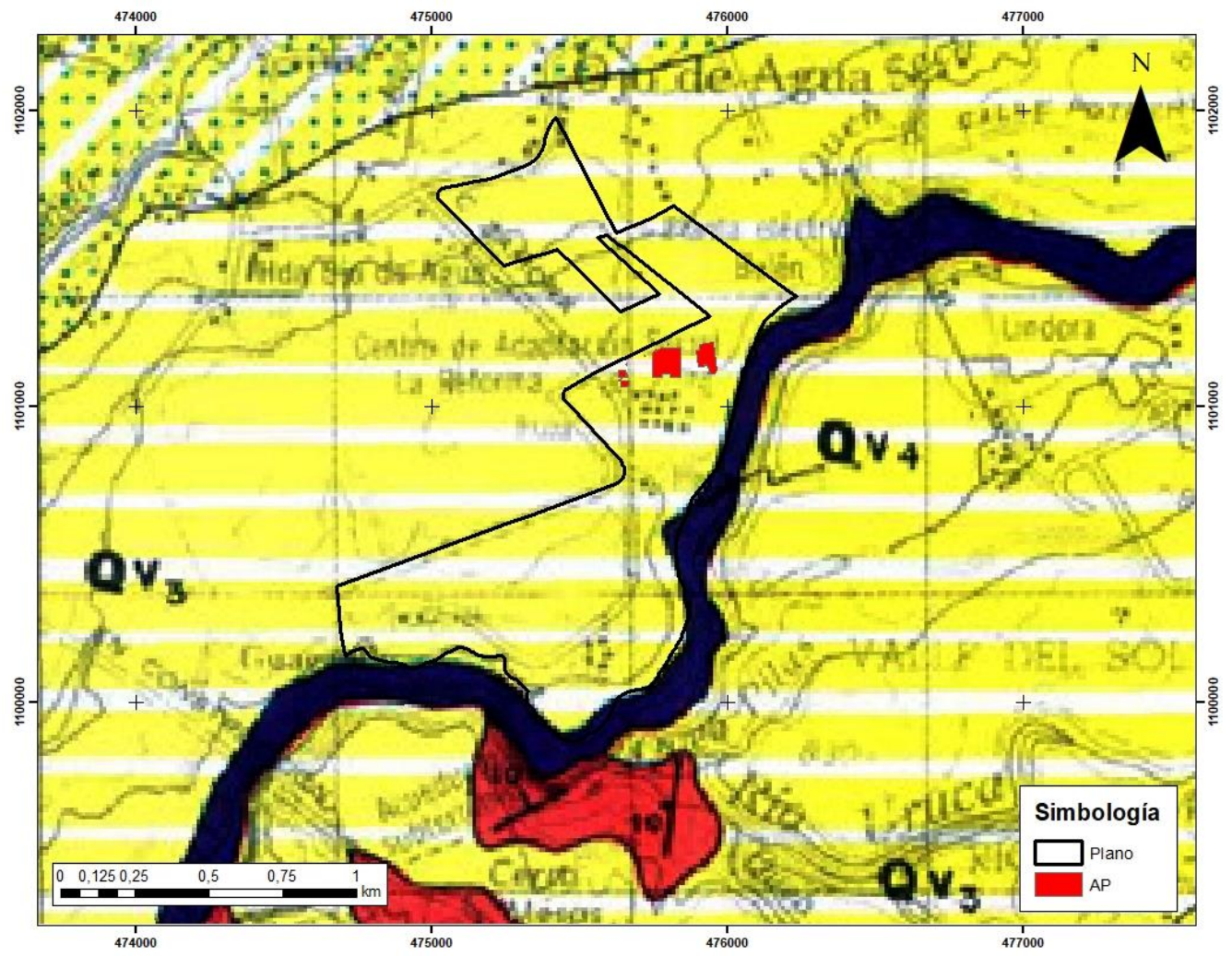
Planificación y Diseño Ambiental DLS Ltda.
Correo electrónico: info@avicennia.co.cr



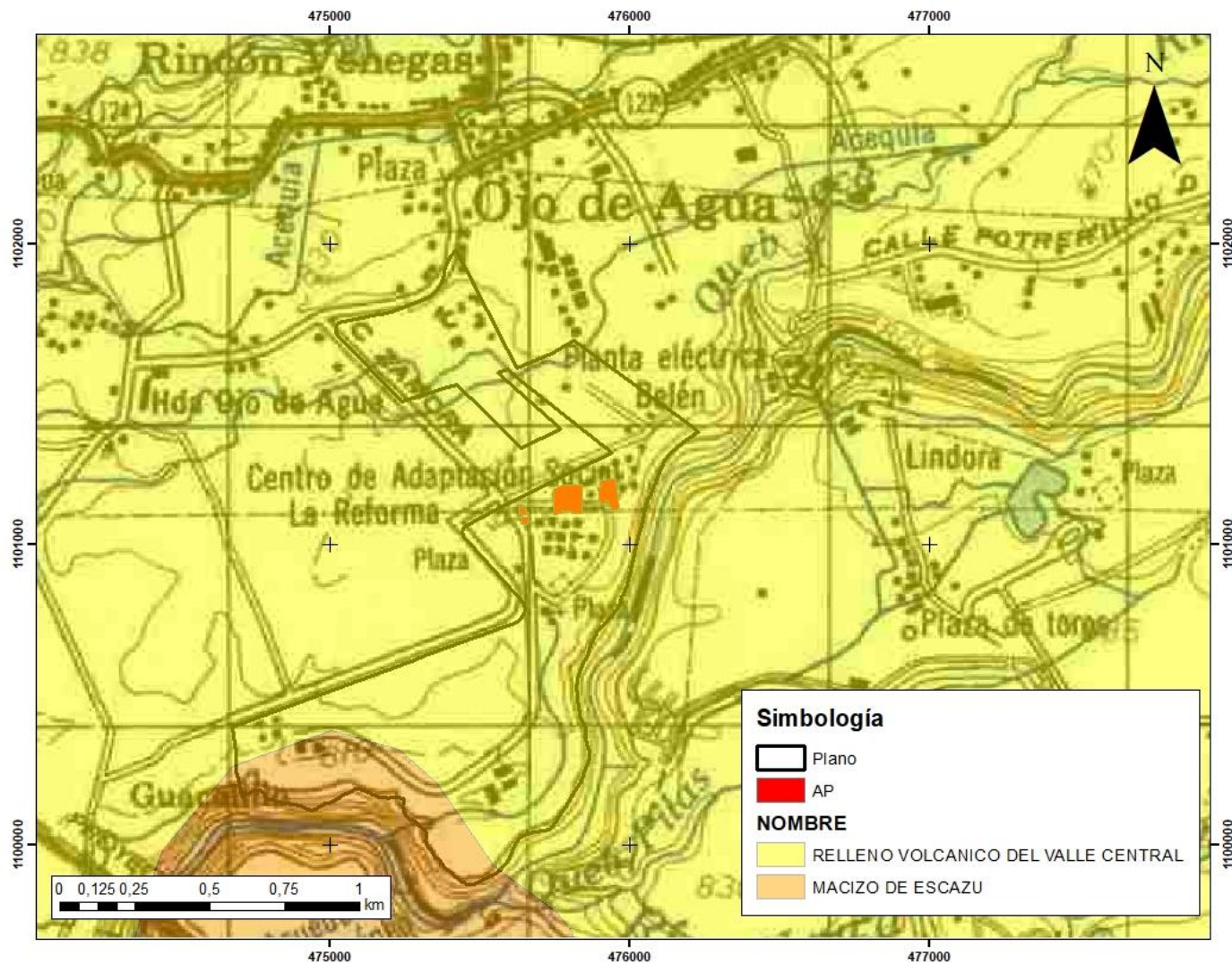
Anexos.



Anexo 1 Mapa geológico del AP

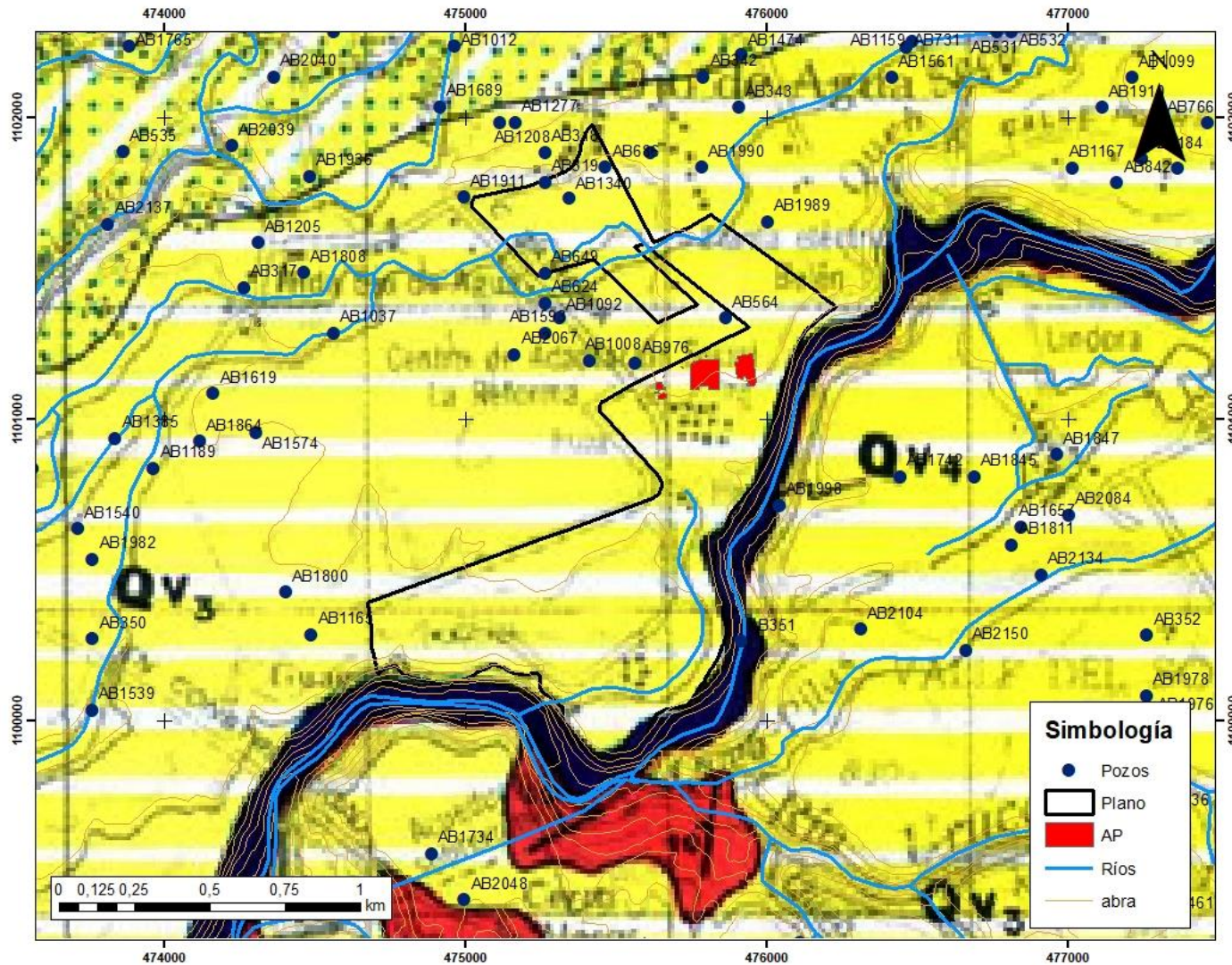


Anexo 2 Mapa geomorfológico del AP

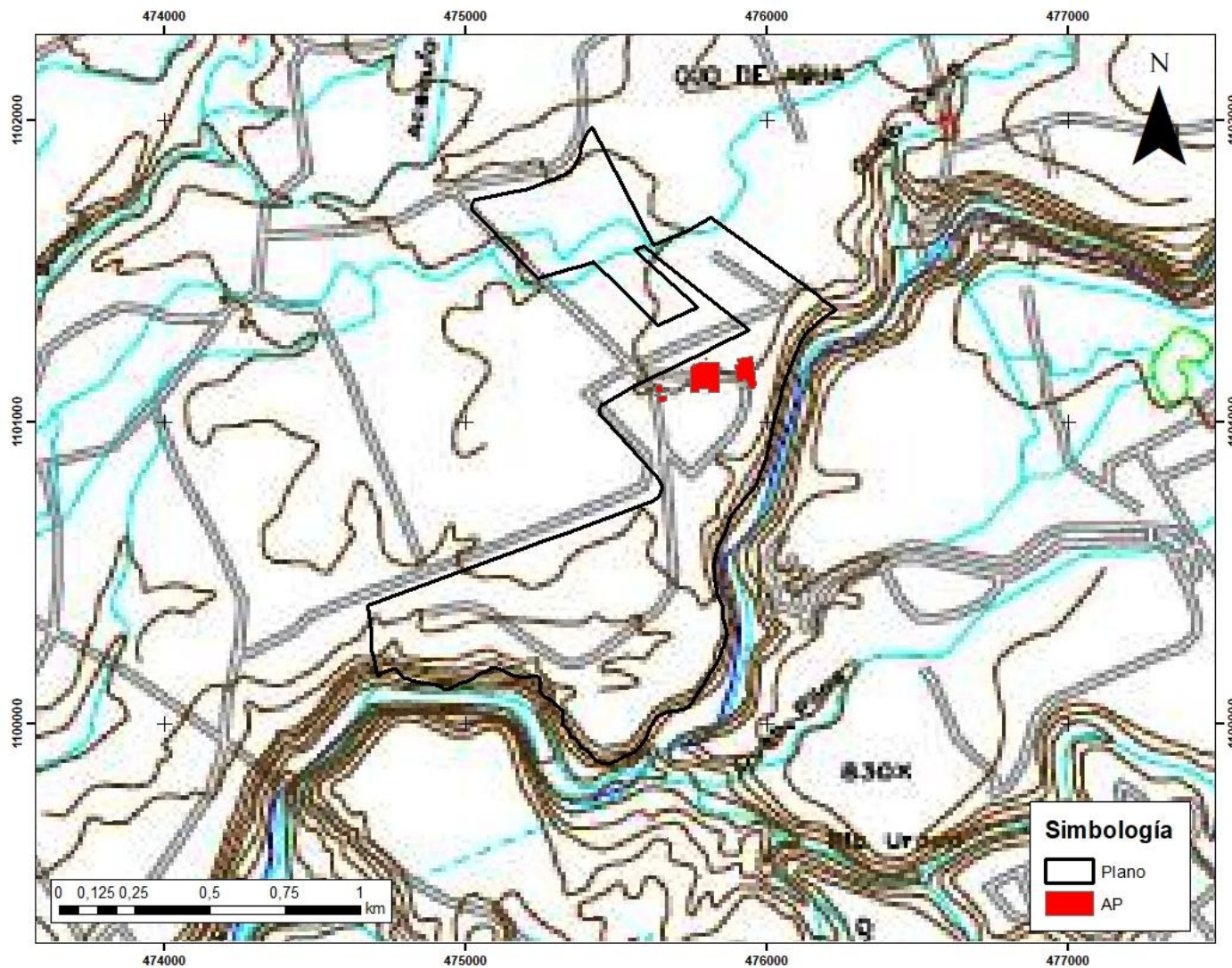




Anexo 3 Mapa hidrogeológico del AP



Anexo 4 Mapa amenazas naturales del AP



Planificación y Diseño Ambiental DLS Ltda.
Trejos Montealegre, calle 118b.
Tel.: 2288-9389 Correo electrónico: info@avicennia.co.cr



Anexo 5 Certificación aspectos geológicos del movimiento de tierra

7 de octubre del 2021

Señores
Secretaría Técnica Nacional Ambiental
SETENA-MINAE

PROYECTO: Construcción de espacios de alojamiento en CAI Jorge Arturo Montero Castro (Mínimas)

Asunto: CERTIFICACIÓN ASPECTOS GEOLÓGICOS DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS

Por medio de la presente, Marco Araya Oviedo, geólogo, mayor, cédula de identidad número 4-0205-0507, número de colegiado 387 del Colegio de Geólogos de Costa Rica (C.G.C.R.), consultor ambiental debidamente inscrito ante la SETENA CI-0252-2015, certifico que de acuerdo con el dato proporcionado por el encargado del diseño del proyecto **Construcción de espacios de alojamiento en CAI Jorge Arturo Montero Castro (Mínimas)**, el volumen de material de movimiento de tierras corresponde con 10 000 m³.

El proyecto se desarrollará en el terreno con los planos catastros **A-151437-1993**, finca número: **2-38105-000**, ubicado en la provincia de Alajuela, cantón de Alajuela, distrito de San Rafael. El proyecto en cuestión será desarrollado por Ministerio de justicia y paz., con cedula jurídica 2-100-1042006.

La presente certificación se expide al ser las 15 horas y 15 minutos del día 7 de octubre del 2021.

Geól. Marco Araya Oviedo
387-CGCR
CI-0252-2015-SETENA
maraya@avicennia.co.cr