

Spanish Original

**PROYECTO
CONDominio HORIZONTAL RESIDENCIAL
THE NATURE SANCTUARY
CABO VELAS, SANTA CRUZ, GUANACASTE**

**Estudio hidrogeológico y tránsito de
contaminantes.**

Elaborado por:



hidrogeotecnia@gmail.com

Tel. 2253-68-67

Fax 2253-36-71

Profesional responsable:
Ing. Federico Arellano Hartig. M.Sc.
Hidrogeólogo

Para:
Lic. Jacques C. Frostroy

Julio 2014

Contenido

1	DECLARACIÓN JURADA DEL PROFESIONAL RESPONSABLE	1
2	INTRODUCCIÓN	3
2.1	MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
3	GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO Y ALREDEDORES.....	4
3.1	GEOLOGÍA REGIONAL.....	4
4	INFORMACIÓN DE LOS POZOS CERCANOS AL PROYECTO.	7
5	HIDROGEOLOGÍA	9
5.1	LÍNEAS ISOFREÁTICAS, DIRECCIÓN DE LAS LÍNEAS DE FLUJO Y GRADIENTE HIDRÁULICO	9
5.2	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS.....	11
5.2.1	Conductividad hidráulica vertical en la zona no saturada	11
5.2.2	Espesor de la zona no saturada	13
5.2.3	Perfiles geofísicos	14
5.2.4	Transmisividad del Acuífero	15
5.2.5	Determinación del tiempo de tránsito de los posibles contaminantes al acuífero	15
5.2.6	Zonas de protección	17
5.2.7	Potencial contaminación	17
5.2.8	Cuadros de tiempos de tránsito:.....	18
5.2.9	Vulnerabilidad a la contaminación	18
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	21
7	BIBLIOGRAFÍA	23

1 DECLARACIÓN JURADA DEL PROFESIONAL RESPONSABLE

Responsabilidad profesional en hidrogeología y dirección del proyecto

El suscrito Federico Arellano Hartig, Ingeniero Civil de la Universidad de Costa Rica y Máster en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos de la Universidad de Costa Rica, incorporado al Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, con el código IC-4047, y Consultor Independiente de SETENA CI-194-2010 manifiesta el conocimiento y aceptación de las condiciones y requisitos de la "Responsabilidad profesional por la información aportada", y por lo tanto es responsable de los contenidos y alcances del informe técnico de hidrogeología ambiental de la finca elaborado como parte del Estudio de Tránsitos de Contaminantes para el CONDOMINIO HORIZONTAL RESIDENCIAL THE NATURE SANCTUARY, el cual se desarrollará en el plano catastro G-1471270-2011, Cabo Velas, Santa Cruz, Guanacaste. Estudio contratado por Lic. Jacques C. Frostroy.

Ing. Federico Arellano Hartig, M.Sc.
CI-194-2010 SETENA
IC-4047 CFIA

Declaración jurada de Responsabilidad Profesional en Geología

El suscrito Alexander Padilla Porras, Geólogo graduado de la Universidad de Costa Rica, incorporado al Colegio de Geólogos de Costa Rica, con el código CG-319, asumo la responsabilidad profesional por la información aportada en materia de geología, y por lo tanto soy responsable de los contenidos y alcances del informe técnico de Geología elaborado para finca G-1471270-2011 donde se realizará el Condominio “The Nature Sanctuary”, Playa Grande, Guanacaste.

Geól. Alexander Padilla Porras
CG-319

2 INTRODUCCIÓN

El área de estudio se ubica en Playa Grande el distrito de Cabo Velas, cantón de Santa Cruz, provincia Guanacaste, con número de plano catastrado G-1471270-2011, cuya área es de 160789 m². En el sitio se construirá el condominio horizontal residencial “The Nature Sanctuary”, el cual contará con plantas de tratamiento individualizadas para cada unidad habitacional con reuso del agua residual. En general el uso de este sistema de tratamiento no supone amenaza al acuífero ya que no existirán desfuegos al subsuelo. Sin embargo, de todas maneras se analiza una potencial descarga de lixiviados.

El objetivo de este estudio es evaluar el sistema hidrogeológico y el riesgo de contaminación de los acuíferos de la zona por los potenciales lixiviados de aguas de las plantas de tratamiento individualizadas. Para ello se ha adoptado una metodología científica que permitirá calcular el tiempo de tránsito de los probables contaminantes en hacer contacto con las aguas del acuífero, y con ello establecer la vulnerabilidad del mismo a ser contaminado por esta actividad en la zona de estudio.

2.1 MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO

El área de estudio se ubica en el las coordenadas CRTM05 298539; 1142380; correspondientes al centroide de la propiedad, la cual a su vez está en la Hoja Villareal 3046-IV (Figura 1), escala 1:5000, del Programa de Regularización de Catastro (PRCR).

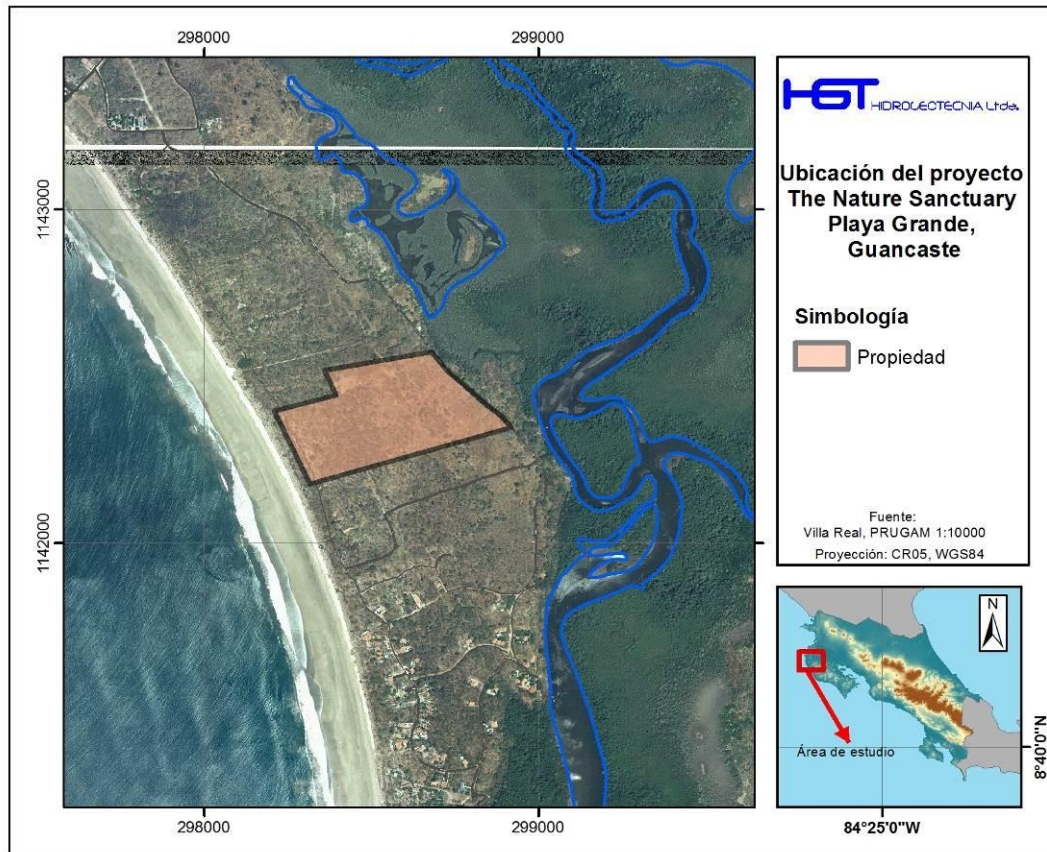


Figura 1. Mapa de ubicación del proyecto

3 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO Y ALREDEDORES

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Complejo de Nicoya

Basaltos

Generalmente son flujos de basalto masivos los cuales están cruzados por varias generaciones de fracturas y vetillas en su mayoría de zeolita y algunas silíceas. Se encuentran estructuras de almohadilla. Asociado a los basaltos se presentan brechas, estas son autobrechas o brechas de explosión de almohadillas.

Los basaltos están compuestos principalmente por plagioclasa, augita e hipersteno, su grano es fino.

Su origen corresponde a un evento magmático regional intenso, que se dio cuando la placa Farallón se fragmentó en las placas de Nazca y Cocos al pasar por un punto caliente (posiblemente el de Galápagos), produciendo intrusiones y derrames lávicos (Denyer et al., 2013).

Radiolaritas

Son rocas de grano fino a muy fino, de origen pelágico (océano profundo), estratificadas en estratos milimétricos a centimétricos, son muy duras y presentan variedad de coloraciones, que van desde rojo, verde, amarillo, blanco, gris hasta negro. Por lo general se observan replegadas con pliegues de ángulos cerrados, dando a estas rocas un aspecto caótico.

En los afloramientos más típicos se presentan en estratos delgados, con capas rojas centimétricas, generalmente plegadas y replegadas.

Se considera que las radiolaritas se depositaron sobre un fondo oceánico antiguo, del cual fueron despegadas por los eventos magmáticos originados por el punto caliente, llegando a incorporarse dentro de la masa ígnea, lo que explica las relaciones magmático-sedimentarias encontradas en la Península de Nicoya (Denyer et al., 2013)

Depósito de playa arenosa

Corresponde a los sedimentos marinos de fracción arena inconsolidados localizados en la costa del área de estudio.

Depósitos de arcilla y limo (humedales)

Estos depósitos se localizan en el estero de Tamarindo y están influenciados por la acción de las mareas, en su mayoría son terrenos pantanosos constituidos por fracciones muy finas.



Figura 2. Materiales de suelo sedimentarios, cerca del manglar.

Deposito aluvial

Son depósitos antiguos y recientes producto de la sedimentación de la carga acarreada por la red hidrológica local, dependiendo de su edad podrían presentar diversos grados de compactación, siendo los depósitos más antiguos los más consolidados.

La granulometría de estos depósitos es variada, comprendiendo arcillas, limos, arenas y cantos rodados, por lo general su espesor es muy reducido, apenas cubriendo las superficies de erosión del resto de las litologías.

GEOLOGÍA LOCAL

En los alrededores del proyecto se encuentra una topografía plana asociada a depósitos aluviales antiguos, los cuales deben su origen a los procesos de erosión transporte y deposición de las rocas del Complejo de Nicoya. Estos depósitos se caracterizan por ser heterogéneos, conteniendo bloques centimétricos (cantos rodados), arenas, limos y arcillas.

Se utiliza el término depósitos aluviales antiguos para designar que estos materiales fueron depositados en algún momento del Holoceno anterior al presente, pero no se tiene certeza de la edad, ya que son parte de las llanuras del Playa Grande las cuales están recibiendo constantemente el influjo de sedimentos producto de los procesos erosivos las montañas circunvecinas.

Los depósitos aluviales recientes se asocian con la red fluvial actual y están conformados por playones y otros depósitos en las riveras de los ríos, en la zona de estudio estos depósitos están relacionados al Estero de Tamarindo. Su constitución son, arenas, limos y arcillas.

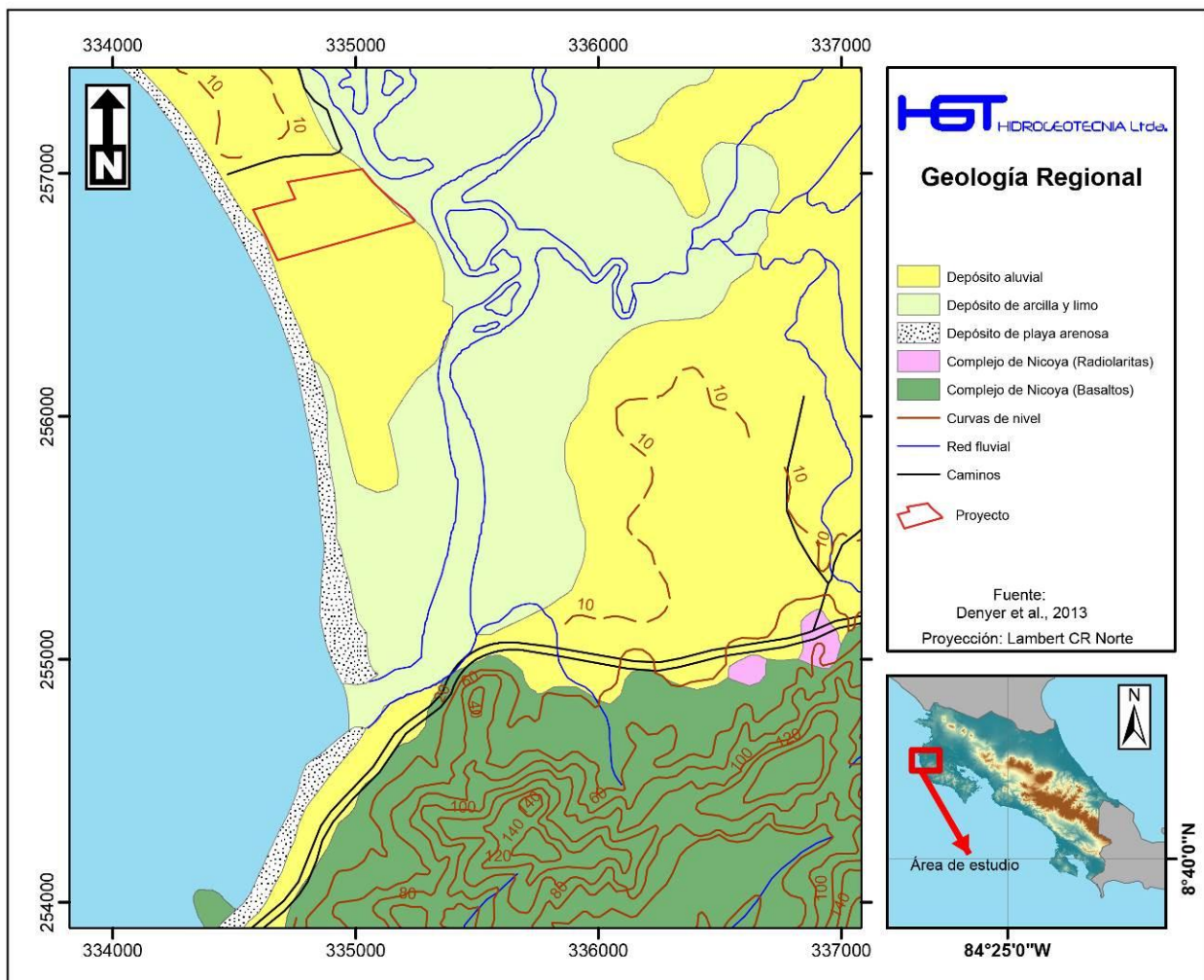


Figura 3. Geología Local del proyecto

4 INFORMACIÓN DE LOS POZOS CERCANOS AL PROYECTO.

Se investigó en los archivos de SENARA sobre los pozos existentes registrados en la zona los cuales tienen información de Nivel Estático (en un radio de 2 km). El Cuadro 1 muestra un resumen con sus principales características y en la prox. Figura se observa la ubicación de los pozos en un radio de 2 km al proyecto.

Cuadro 1: Registro de pozos

No. Pozo	Coordenadas		Profundidad (m)	Nivel estático (m)	Elevación (m.s.n.m)	Nivel dinámico (m)	Caudal (l/s)	Transm. (m ² /d)	Litología
	Lamb. Norte	Lamb. Este							
ILG-776	255200	336555			10		6		
ILG-777	255100	336555			10		10		
ILG-778	255350	336350			10		4		
ILG-779	255150	336650			10		3		
VI-20	255100	336300	32.55	5.3	10	5.91	6	983	Sí
VI-54	255950	334950	4.50	3.21	5		0.5		
VI-55	255850	335000	4.50	3.58	5		0.5		
VI-62	255540	336550	15	3	10				Sí
VI-63	255300	336600	15	3.1	10		3		Sí
VI-64	255450	336700	15		4		3		Sí
VI-72	256240	335130			4		0.5		
VI-73	256230	335060			4		0.5		
VI-74	256110	335080			4		0.5		
VI-75	256070	335050			4		0.5		
VI-76	256270	335090			4		0.5		
VI-77	256015	335050			4		0.5		
VI-78	255950	335060			4		0.5		
VI-79	256190	334970			4		0.5		
VI-92	256250	336550	25	2	8	4	8	400	Sí
04-16	259050	335575	20	5.06	10	8.75	9	244	Sí

*Fuente. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (SENARA) Junio 2014

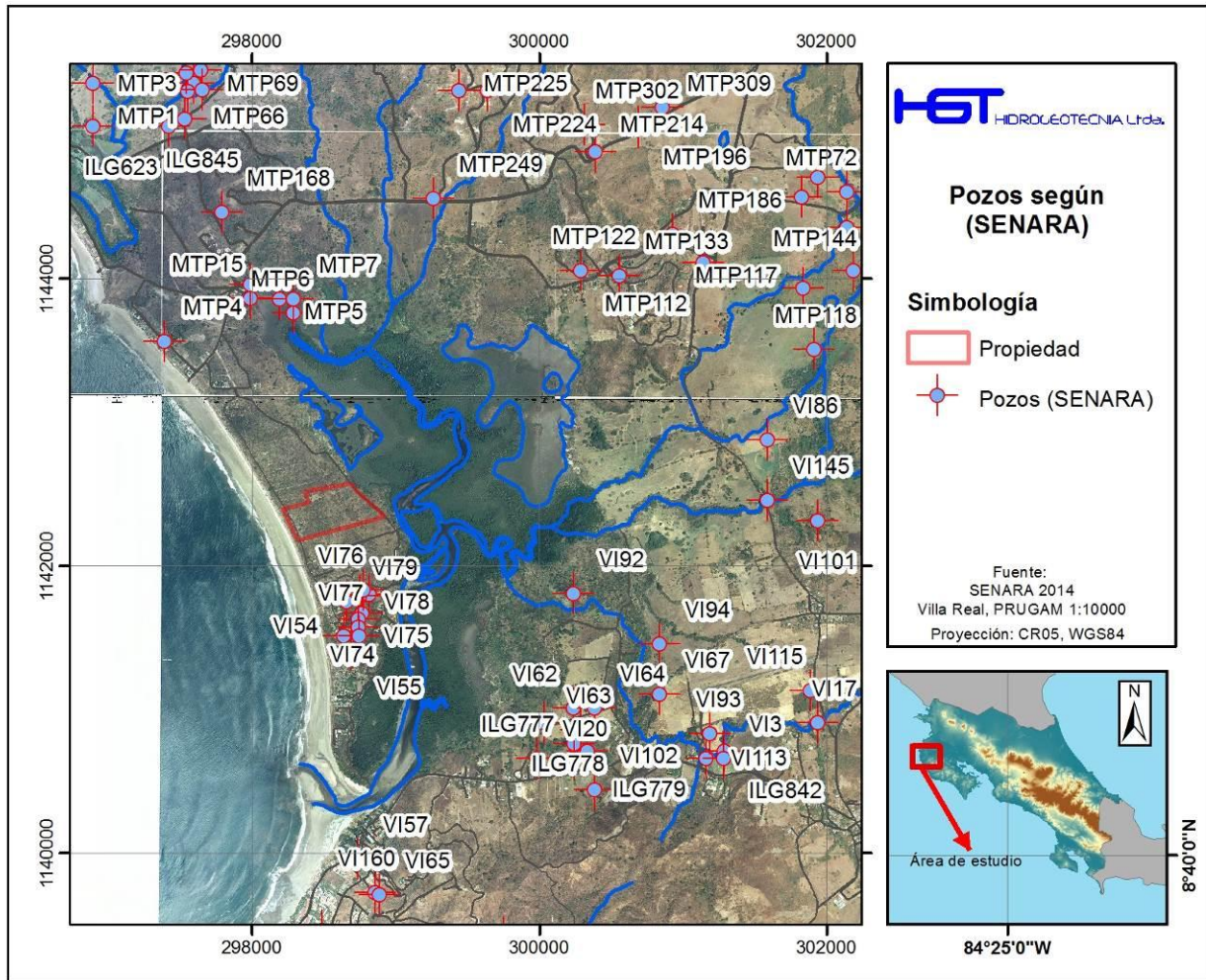


Figura 4. Ubicación de pozos cercanos.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Líneas isofreáticas, dirección de las líneas de flujo y gradiente hidráulico

Con base en la información de los niveles estáticos en los pozos ubicados en la zona, se elaboró un mapa de líneas isofreáticas.

La metodología empleada se puede observar en la Figura 5 donde se muestra el flujograma a seguir.

En primera instancia, con la información de la base de datos de se le debe agregar la información del nivel del terreno. Esto se logra gracias a la extracción de elevaciones del modelo de elevación digital que se realizó gracias a los insumos de las curvas de nivel 1:5 000 Villareal y Matapalo del PRCR 2008 a del cual se construyó una red de triángulos irregulares (TIN) y posteriormente se convirtió este TIN en un grid de formato raster. El proyecto se ubica a 4 msnm en promedio.

Debido a que la información suministrada por SENARA de la profundidad del nivel freático está en metros bajo nivel de la superficie (mbns), estos deben convertirse en metros sobre el nivel del mar. Esto se logra restándole a la elevación del terreno la distancia profundidad del nivel freático en metros bajo el nivel de la superficie. Ver sig. Figura.

Una vez obtenidos los niveles freáticos en metros sobre el nivel del mar de cada pozo, se procede a realizar una interpolación con el método **TIN** para así obtener información continua en los sitios donde no existe información. De esta forma se obtiene la grilla del modelo del nivel de agua subterránea.

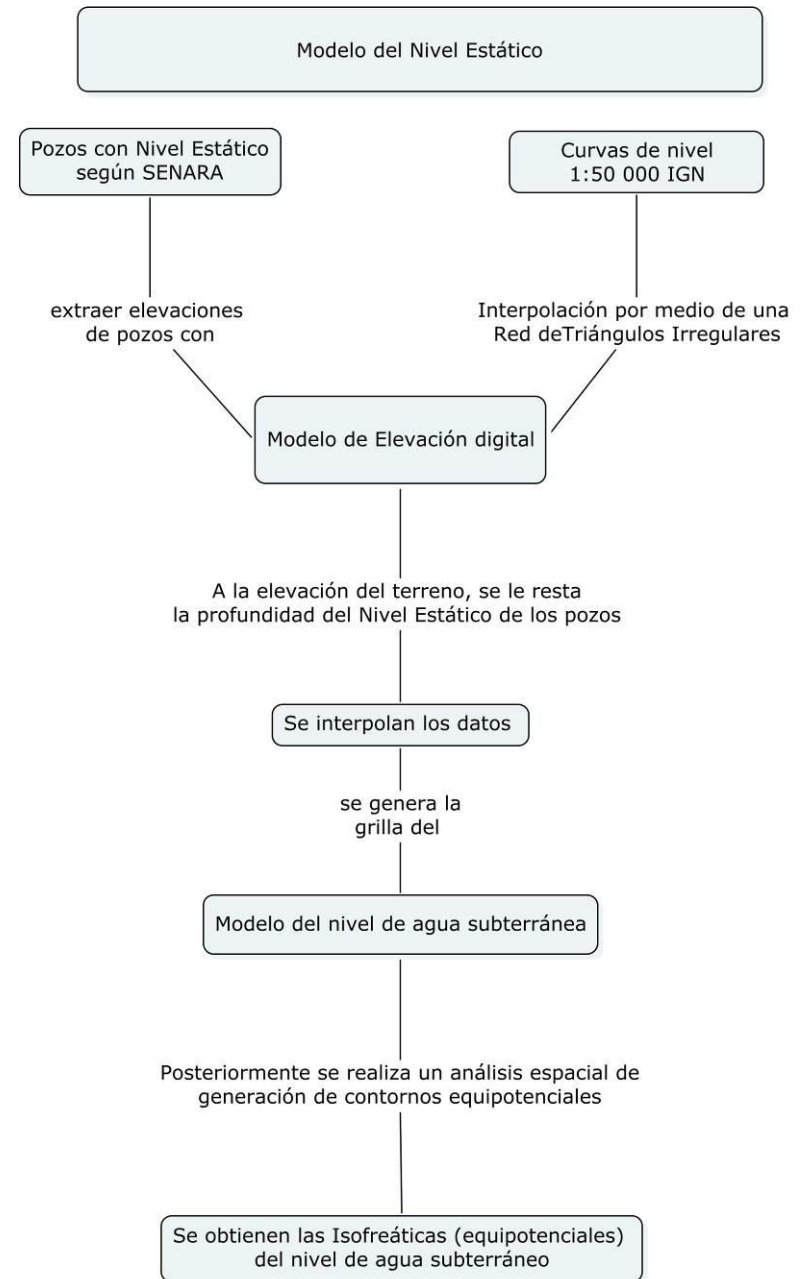


Figura 5. Flujograma conceptual para la elaboración del modelo del nivel estático.

Para obtener los contornos de las isofreáticas, se realiza un análisis espacial de la superficie raster generada del nivel estático, esto por medio del Sistema de Información Geográfica para donde se extrae del modelo del nivel de agua subterránea la información vectorial en formato de polilínea.

Una vez generados los vectores equipotenciales, se revisan y se mejoran según la experiencia profesional.

Como puede notarse en la Figura 6, la dirección de las líneas de flujo va hacia el NorEste y SurOste. Se puede notar que la recarga al acuífero ocurre desde el noreste. Se estima que en el sitio del proyecto el nivel freático se ubica a una altitud de 0 msnm.

A partir de los registros de perforación y la información consignada en el mapa de la Figura 6. Mapa de líneas isofreáticas, dirección de flujo y ubicación del perfil. Los mismos muestran la variación lateral y la distribución espacial de los distintos materiales que se encuentran bajo el nivel del suelo.

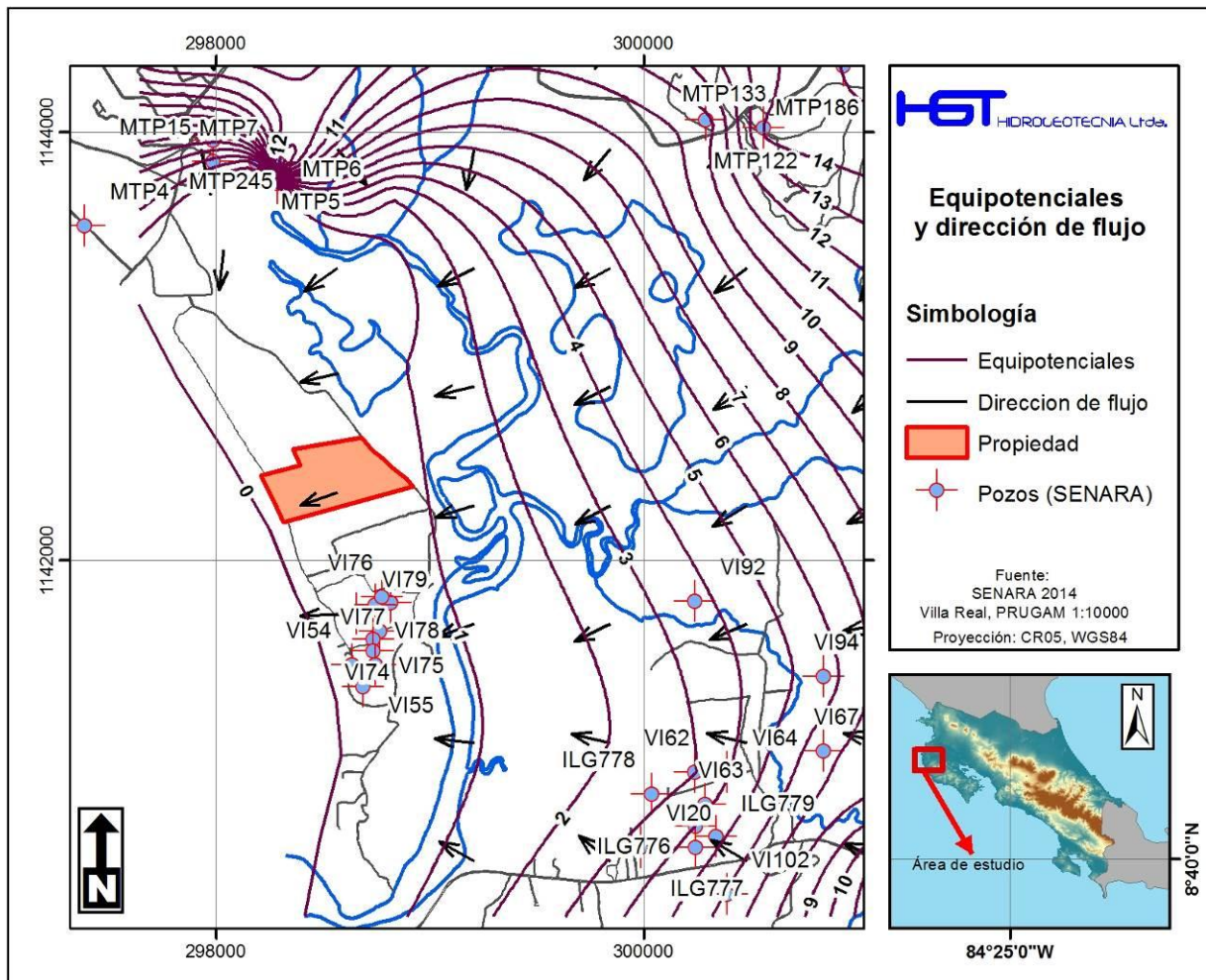


Figura 6. Mapa de líneas isofreáticas, dirección de flujo y ubicación del perfil.

Se puede determinar el gradiente hidráulico del acuífero bajo el área de estudio, midiendo la diferencia de carga entre dos líneas equipotenciales y la distancia entre ambas. En el caso de la zona del proyecto, correspondería a la distancia entre las equipotenciales 1 y 2 m.s.n.m., y a una distancia de 410 m entre ambas curvas.

- $i = \Delta h/L$
- i = gradiente hidráulico
- Δh = Diferencia de carga hidráulica entre dos líneas equipotenciales
- L = Distancia entre las dos líneas equipotenciales

Entonces:

- $\Delta h = h_1 - h_2 = 2 - 1 = 1 \text{ m}$
- $L = 410 \text{ m}$
- $i = 0,00243 \text{ m/m}$

5.2 Características hidrogeológicas

5.2.1 Conductividad hidráulica vertical en la zona no saturada

Este es uno de los parámetros más importantes cuando se piensa en disponer aguas residuales en el subsuelo. Cuando el suelo se encuentra totalmente saturado todos los poros presentes pueden conducir el líquido, pero si el suelo no está saturado, entra a jugar un papel importante la tensión de humedad del mismo.

Una característica básica de los suelos es la relación entre la conductividad hidráulica y la tensión de humedad del suelo; así pues, en suelos donde predominan los poros grandes éstos presentan una conductividad hidráulica saturada relativamente elevada, la cual se reduce rápidamente al aumentar la tensión del suelo. En contraparte, los suelos finos en los que predominan los poros pequeños tienen una conductividad hidráulica saturada más bien baja, la cual se reduce más lentamente al aumentar la tensión.

Se realizaron 5 análisis de laboratorio con muestras de suelo recolectadas en campo para determinar la conductividad hidráulica vertical. Estos datos fueron analizados en el laboratorio certificado INTA del MAG.

Además, se realizaron 3 pruebas de infiltración con el método Porchet.

Los resultados de las pruebas realizadas se presentan en el siguiente cuadro y en el mapa Figura 8

Para el cálculo de la zona no saturada, se utilizará el valor de mayor velocidad de flujo mm/d vertical de infiltración, por lo tanto el dato será de 17587 mm/d (17,5 m/d). Esto a pesar de que el promedio de las infiltraciones es de 4873.

Cuadro 2: Conductividad hidráulica de la zona no saturada.

Sitio	Velocidad de infiltración (mm/día)	Densidad aparente	Tipo de prueba
1	1584	1, 14	Conductividad hidráulica Laboratorio INTA, MAG.
2	1656	1, 09	Conductividad hidráulica Laboratorio INTA, MAG.
3	3384	1, 13	Conductividad hidráulica Laboratorio INTA, MAG.
4	1704	1, 11	Conductividad hidráulica Laboratorio INTA, MAG.
5	3336	1, 14	Conductividad hidráulica Laboratorio INTA, MAG.
Porchet 1	17587	-	Porchet
Porchet 2	2266	-	Porchet)
Porchet 3	7474	-	Porchet

Fuente: INTA y trabajo de campo 2014.



Figura 7. Elaboración de pruebas de infiltración

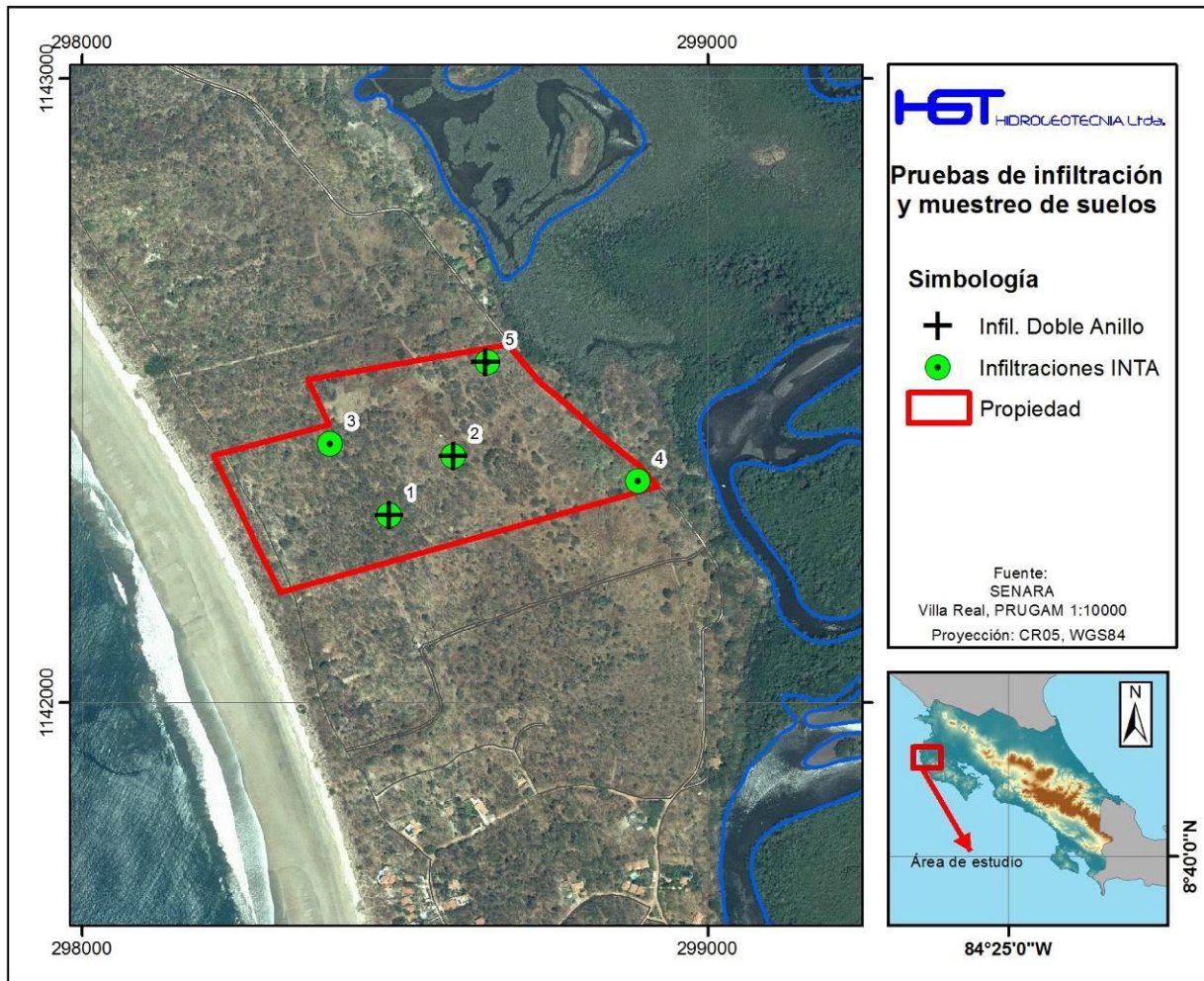


Figura 8. Ubicación de sitios donde se calcularon las conductividades hidráulicas en la zona no saturada.

5.2.2 Espesor de la zona no saturada

El nivel estático se define como el nivel superior de la zona de saturación del terreno en la cual la superficie freática está sometida a presión atmosférica.

Para obtener el valor de la zona no saturada se realizó una resta entre los valores de elevación del terreno (según el modelo de elevación digital, basado en las curvas topográficas PRCR 1:5000) en el sitio del proyecto es de (4,5 msnm) y los valores del nivel de agua subterránea según el modelo de isofreáticas están en 0,5 msnm en promedio. De esta forma, se obtiene un valor de 4 m de espesor de zona no saturada. Sin embargo, la base de datos de SENARA (2014) en los pozos VI-54 y VI55 reporta espesores de 3,2 y 3,5 m. Por lo tanto se toma el dato más crítico para estar del lado de la seguridad del acuífero, siendo la zona no saturada de 3.2 m.

5.2.3 Perfiles geofísicos

Para caracterizar el modelo hidrogeológico, Saenz (2013) presenta un modelo geofísico elaborado por el Geólogo Francisco Sánchez .

La zona no saturada está compuesta por una capa superficial (A) de 0,4 m a 0,6 m de espesor de arena limosa café claro con raíces finas, clasificada como un suelo de baja calidad geotécnica, clasificado (ASTMD 3282) como suelo SM A-2. La capa subyacente corresponde con arena limosa de color café con pintas blancas y piedras, de compactadad relativa media, compacta y muy compacta; no plástica hasta los 5 mbns.

En los pozos más cercanos al proyecto no existe reporte litológico, por lo que la geología se tomó de un proyecto cercano al existente donde la geofísica elaborada llena ese vacío de información. Ver Cuadro 3. Litología según sondeo geofísica realizado por el Geól. Francisco Sanchez.

Cuadro 3. Litología según sondeo geofísica realizado por el Geól. Francisco Sanchez

Capa	Resistividad (Ohm-m)	Espesor (m)	Litología
1	155	1.1	Suelo con Arenas
2	846	5.3	Capas de Arenas
3	375	2	Transición aluviones a Complejo Nicoya fracturado
4	800	1	Complejo Nicoya sano
5	12		Complejo Nicoya muy meteorizado, fracturado

Fuente: Sáenz (2013)

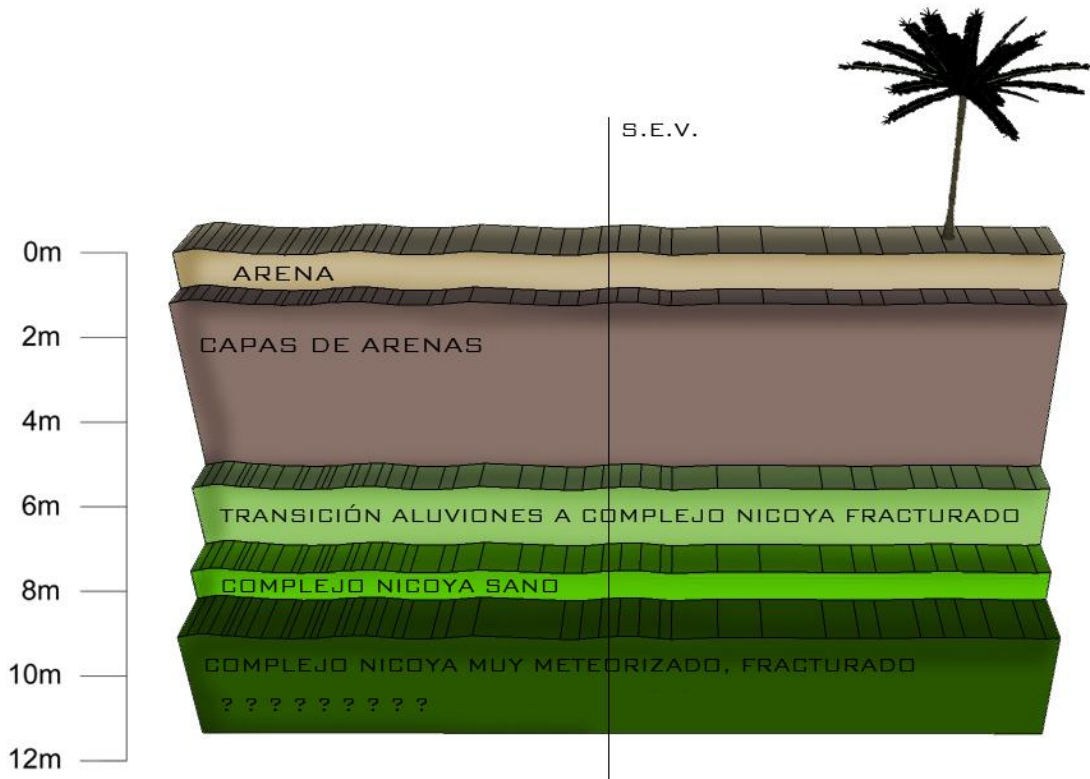


Figura 9. Perfil Geofísico

5.2.4 Transmisividad del Acuífero

Este parámetro se define como el caudal que se filtra a través de una franja vertical de terreno de ancho unitario y de altura igual a la del manto permeable saturado bajo un gradiente unitario.

La mejor manera de obtener la transmisividad es a través de pruebas de bombeo en los pozos, por ello se tomó el valor del pozo VI-54 en el cual calcularon la transmisividad en 230 m²/d y también calcularon el coeficiente de almacenamiento en s= 0.065 utilizando como pozo de observación el VI-55.

5.2.5 Determinación del tiempo de tránsito de los posibles contaminantes al acuífero

Para realizar un análisis del riesgo de contaminación de un acuífero es importante conocer cuánto tiempo demorará el contaminante en ingresar al acuífero, dado que si éste es relativamente grande dará oportunidad a que los contaminantes se puedan degradar en el camino o bien en el caso de contaminación bacteriológica, las bacterias mueran en su trayecto.

Para este proyecto se utilizarán planta de tratamiento individualizadas con reuso de agua residual, por lo que no supone amenaza al acuífero ya que no existirán defogues al subsuelo. Sin embargo, de todas maneras se analiza una potencial descarga de lixiviados al subsuelo.

Tránsito en la ZONA NO SATURADA:

La velocidad a la que viaja una pluma de contaminación, en este caso los efluentes de una planta de tratamiento, puede ser determinada por la ecuación de Darcy, la cual se define de la siguiente manera:

$$V_y = \frac{K dh}{n_e dl}$$

Donde:

- V_y = Promedio de la velocidad lineal
- K = Conductividad hidráulica vertical
- n_e = Porosidad efectiva
- dh/dl = Gradiente hidráulico

Aunque el movimiento de un contaminante tanto en la zona saturada como en la zona no saturada depende de varios factores, tales como difusión, advección y dispersión hidrodinámica. En este caso solo se considerará el mecanismo de advección para ser conservadores en la determinación del riesgo de contaminación.

La porosidad efectiva varía según el tipo de roca entre 0,5 a 35 % (Custodio & Llamas, 1983). Con el fin de realizar un cálculo conservador, se recomienda tomar una porosidad efectiva del 35% para el cálculo de tiempos de tránsito.

Tomando el valor de permeabilidad del suelo de (17,5 m/día) se tiene:

$$K = 0.1049 \text{ m/día}$$

- $n_e = 35,0 \%$ (valor conservador según Custodio & Llamas, 1983)
- $dh/dl = 1$ (por tratarse de flujo vertical)

$$V_x = \frac{17,5 \text{ m/día}}{0,35} = 50 \text{ m/día}$$

5.2.5. Tiempo de tránsito en la zona no saturada

El espesor de la zona no saturada (d) es de 3.2 m, por lo tanto el tiempo que tardará el contaminante en llegar al acuífero será de $t_x = d/v_x$

$$t_x = \frac{3.2 \text{ m}}{50 \text{ m/día}} = 0.067 \text{ días}$$

Este resultado indica que los efluentes de las plantas de tratamiento individualizadas del proyecto tardarían 0,067 días en alcanzar el nivel freático del acuífero local.

5.2.6 Zonas de protección

La zona de protección se determina en función de la distancia equivalente a un tiempo de flujo horizontal promedio en la zona saturada del acuífero. La curva isócrona correspondiente a los 50 días es una base razonable para definir la zona de protección coincidiendo con la práctica usual en muchos países (Foster, 1988). No obstante, en nuestro país ha sido práctica usual utilizar 70 días, de modo que en este caso se usará ese valor.

La transmisividad del pozo VI-54 168 es de 230 m²/día. Por tanto, la conductividad hidráulica del acuífero se calcula en 57.5 m/d (Transmisividad (230 m²/día)/espesor del acuífero (5m)).

Aplicando lo anterior se tiene que la velocidad del agua subterránea en esa zona es

$$v_h = \frac{K * i}{n_e}$$

Donde:

- v_h : velocidad del agua subterránea en el sentido horizontal
- K: conductividad hidráulica del acuífero (46 m/d)
- i: gradiente hidráulico (0,0024m/m)
- n_e : Porosidad efectiva del acuífero (0,35)

$$V_h = 46 * 0,0024 / 0.35 = 0,315 \text{m/d}$$

5.2.6. Distancia de potencial contaminación

Distancia horizontal que debería de existir entre el drenaje y cualquier fuente de abastecimiento para evitar la contaminación corresponde al tiempo de tránsito de 70 días; dado que se tienen 0.067 días de tránsito por la zona no saturada; faltarían 69,93 días para que el contaminante se degrade completamente.

De acuerdo con la fórmula de Darcy se obtiene: $v_h = 0,315 \text{m/d}$; por tanto la distancia horizontal sobre las líneas de flujo a partir de la cual no habría problema de contaminación por bacterias provenientes de los potenciales lixiviados del efluente por las plantas de tratamiento individualizadas es de $0.394 \text{ m/d} * 69,9 \text{ d} = 22 \text{ m}$.

5.2.7 Potencial contaminación

Según la base de datos de SENARA en gradiente abajo, no existe una captación de agua de según las líneas de flujo. Por lo tanto, no existirá contaminación con los lixiviados de las plantas de tratamiento individualizadas del proyecto a ninguna fuente de agua de consumo humano.

El cuerpo de agua más cercano es el Océano Pacífico, el cual se ubica a 50m gradiente abajo de la propiedad, por lo tanto no podría verse afectado por los flujos de lixiviados, ya que estos mueren a los 22m desde el proyecto.

Los pozos más cercanos al proyecto son VI-72, VI-73, VI-76 y VI-79 que se ubican a 460 m de distancia paralelo a la dirección de flujo, por lo que debido a la dirección de flujo y gradiente hidráulico, estos pozos no se verán afectados por el proyecto propuesto.

5.2.8 Cuadros de tiempos de tránsito:

En resumen, se presenta el cuadro 4, Tiempos y distancias para cada zona hidrogeológica.

Cuadro 4. Tiempos de tránsito y distancias para cada zona hidrogeológica.

	Zona	Tiempo de tránsito (días)	Distancia (m)
Condición según pozos de SENARA	Zona No Saturada	0,067	3.5 m verticales
	Zona Saturada	69,93	22 m horizontales

5.2.9 Vulnerabilidad a la contaminación

Para evaluar la posibilidad de contaminación en una zona determinada se deben considerar los principios del transporte de contaminantes en los sistemas acuíferos subterráneos. Para ello es indispensable contar con los siguientes parámetros claves para determinar la vulnerabilidad a la contaminación microbiológica.

- a) El grado de confinamiento y el carácter de los acuíferos de donde se obtiene el agua subterránea. En este caso se trata del acuífero libre.
- b) El espesor de la zona permanentemente no saturada debajo de la base de instalación sanitaria y la naturaleza de los materiales que componen los suelos. En este caso, son materiales heterogéneos, los cuales podrían ser de arenas, arcillas y gravas.
- c) Profundidad del nivel estático (3,2 m)

Tomando en cuenta los parámetros mencionados es posible establecer un criterio de vulnerabilidad para el caso en estudio; éste se refiere al sistema GOD para la evaluación del índice de vulnerabilidad del acuífero (Foster, 1988) Ver Figura 10. La escala de vulnerabilidad indica las siguientes posibilidades: ninguna, baja, moderada, alta y extrema.

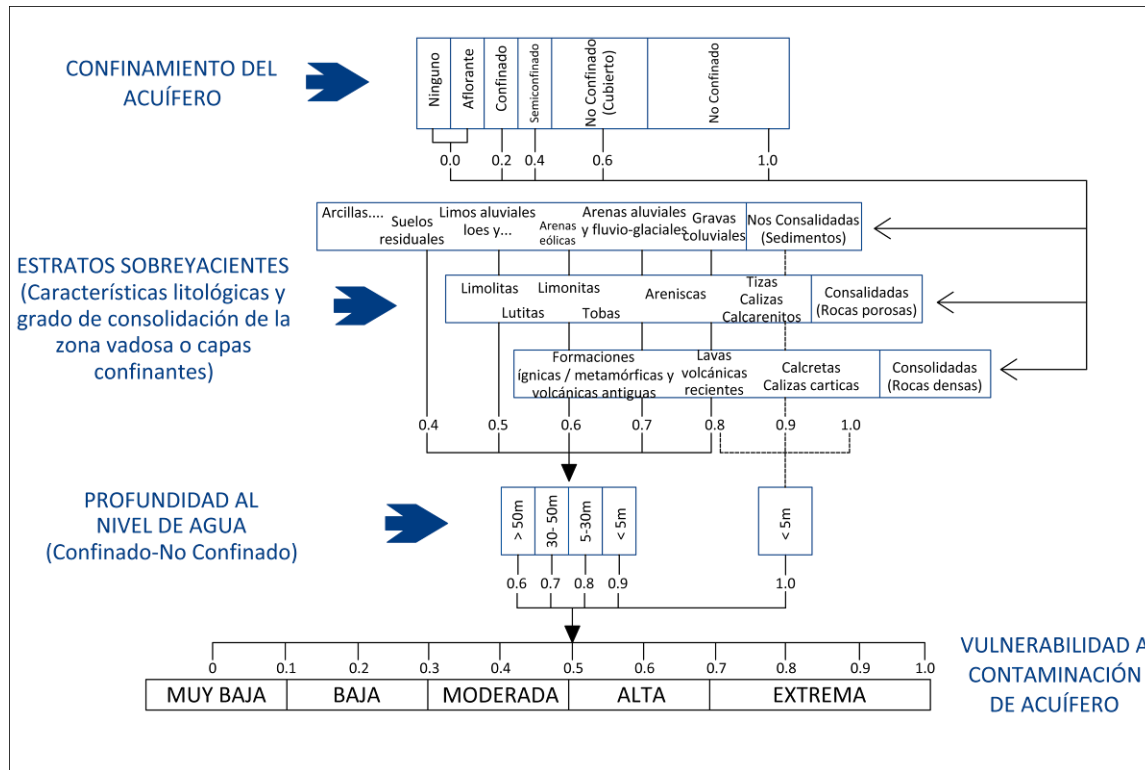


Figura 10 Metodología GOD, Foster 1988.

5.2.8 Condiciones según datos de niveles de SENARA (3,2m de zona no saturada)

Aplicando las condiciones mencionadas a la escala de clasificación del sistema GOD se tiene para este caso:

- Grado de confinamiento: libre = 0,1
- Ocurrencia del estrato sobreyacente:
Arenas limosas= 0,7
- Distancia al nivel del agua subterránea: Menor a 5m = 0,9

La multiplicación de estos factores genera un valor de 0,63, lo que implica que el acuífero tendría una vulnerabilidad **Alta** a la contaminación.

SENARA (2009) en su mapa de Vulnerabilidad acuífero Huacas-Tamarindo, Cuenca de los Ríos Matapalo y San Andrés, clasifica el sitio del proyecto como de **Alta** Vulnerabilidad Hidrogeológica,. Ver Figura 11



SERVICIO NACIONAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, RIEGO Y AVENAMIENTO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA
Tel. 257-9733 / Fax. 222-87-85

MAPA DE VULNERABILIDAD ACUÍFERO HUACAS - TAMARINDO CUENCA DE LOS RÍO MATAPALO Y SAN ANDRÉS

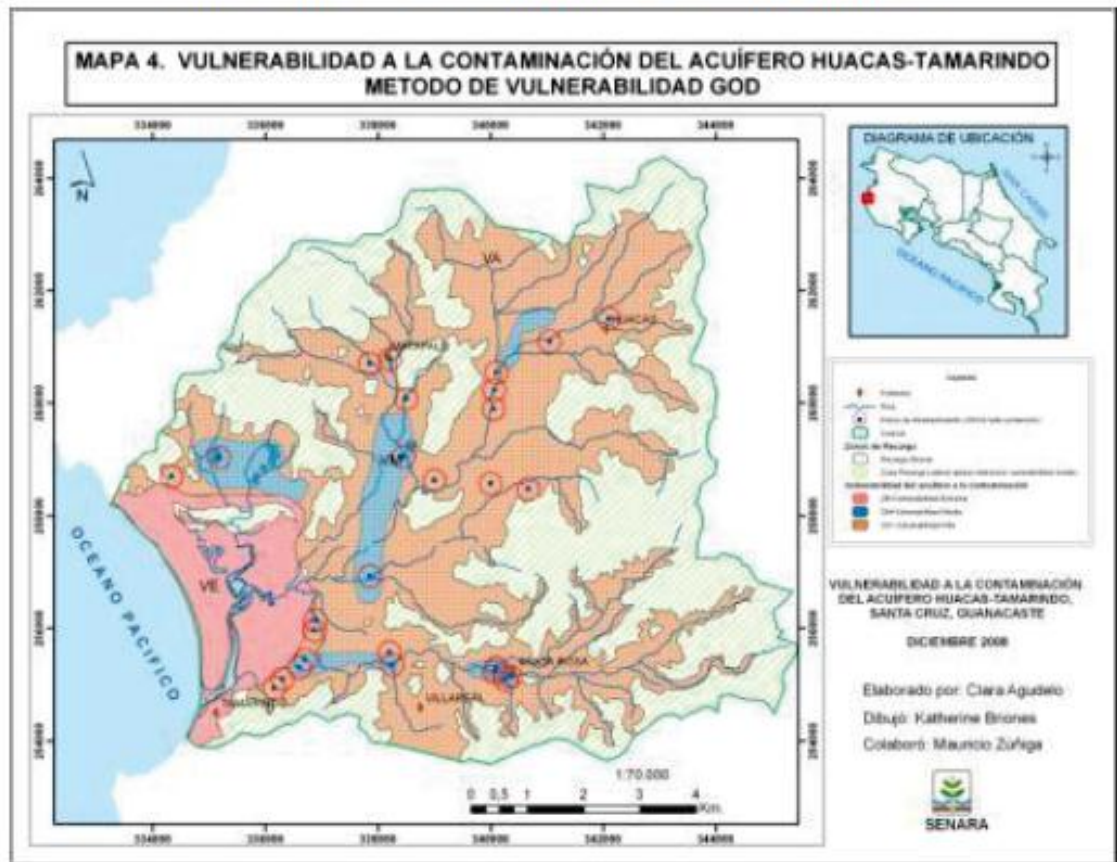


Figura 11. Mapa de vulnerabilidad acuífero Huacas-Tamarindo Cuenca Río Matapalo y San Andrés. Fuente: SENARA (2009)

Sin embargo, el mapa de vulnerabilidad intrínseca elaborado por Arias (2007), evidencia que el sector más vulnerable se encuentra en el Estero Tamarindo, Estero Ventanas, Playa Grande y Tamarindo; además indica que es necesario tomar medidas de protección y definir políticas que promuevan un ordenamiento sostenible del uso de la tierra y que estén acordes con la protección del recurso hídrico.

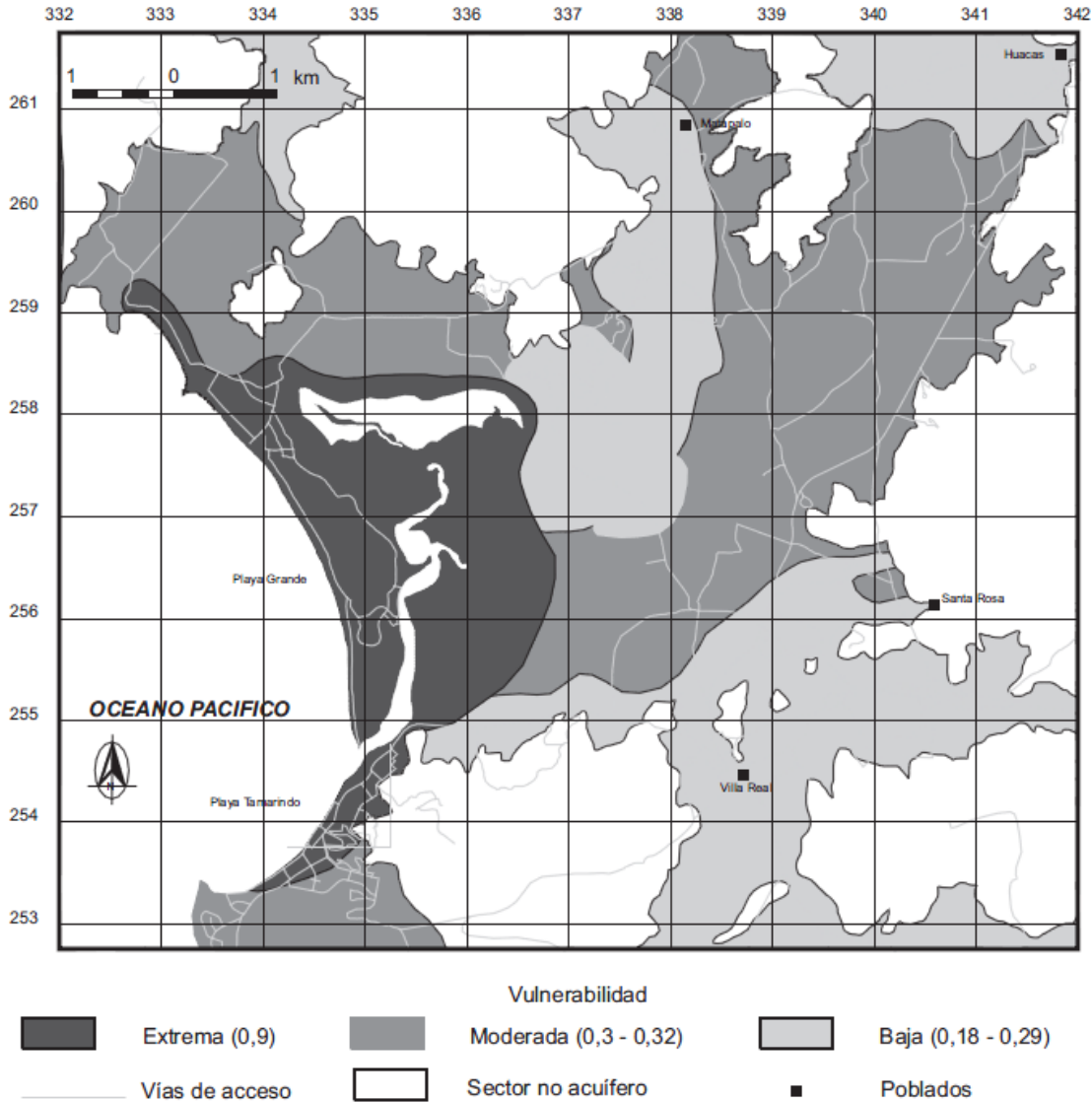


Figura 12. Mapa de Vulnerabilidad intrínseca según Arias (2007).

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El peligro potencial de contaminación de un acuífero depende fundamentalmente de dos factores: 1. La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación y 2. Las características de la carga contaminante. En este caso se tiene que el acuífero presenta una vulnerabilidad Alta (según SENARA y este estudio) a la contaminación, dadas sus características físicas. En relación con la carga contaminante se trata de lixiviados domésticos que se infiltran al subsuelo a través de zanjas de potenciales drenaje provenientes de plantas de tratamiento individualizadas.

El tiempo de tránsito de los lixiviados hacia el acuífero se ha estimado en 0,067 días, lo cual significa que los contaminantes deberán viajar por la zona no saturada durante ese tiempo hasta alcanzar el acuífero. La zona no saturada generalmente representa

una barrera contra la contaminación, puesto que en esa zona se degradan la mayoría de sustancias indeseables.

No obstante, según los resultados obtenidos, una vez que la pluma de lixiviados alcanzara el acuífero, las misma tardará 69,93 días en avanzar 22 m, completándose en este tramo los 70 días respectivamente que se requieren como mínimo para lograr la mortalidad de las bacterias. Esto será siempre dentro de la misma propiedad.

Al no encontrarse pozos ni nacientes gradiente abajo, no existirá contaminación alguna. Tampoco del Océano Pacífico, puesto que se encuentran a 50 m del sitio de proyecto. En cuanto a los pozos cercanos al sitio del proyecto, éstos se encuentran ubicados de forma paralela a las líneas de flujo a una distancia de 450m y por lo tanto, no existe posibilidad de contaminación.

Por lo tanto, los resultados del estudio determinan que el subsuelo permitirá una rápida y completa degradación de la contaminación bacteriana, esto a pesar de la condición de la ALTA vulnerabilidad intrínseca del acuífero.

Considerando todo lo anterior se considera que es factible la utilización del sistema plantas de tratamiento de aguas residuales individualizadas para cada unidad habitacional.

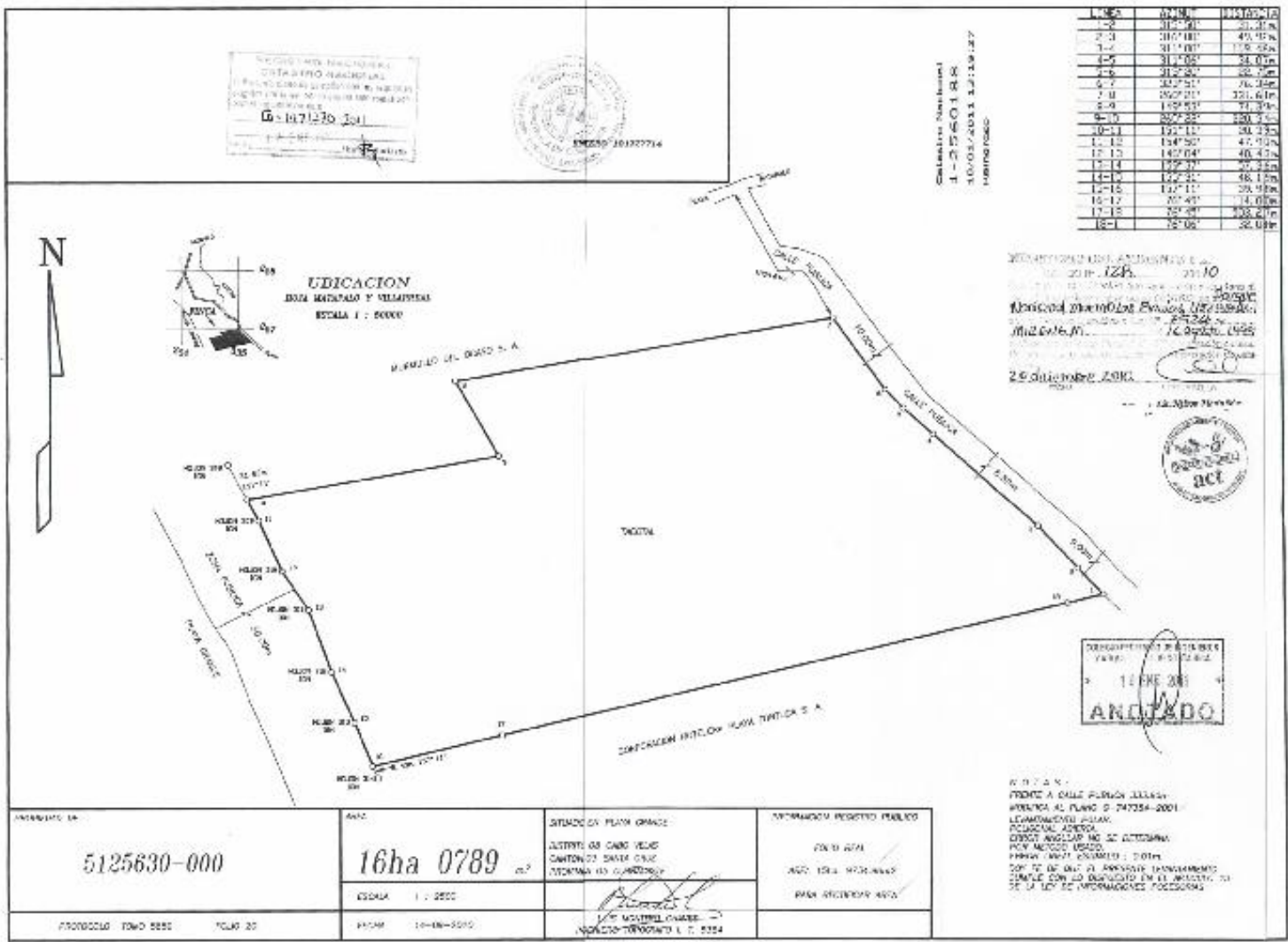
Fin del informe.

Profesional responsable: Ing. Federico Arellano Hartig, M.Sc.
CI-194-2010 SETENA
IC-4047-CFIA

7 BIBLIOGRAFÍA



- ARIAS, M. 2007: La primera experiencia en la aplicación de los Métodos electromagnéticos en acuíferos costeros de Costa Rica: El caso de Tamarindo, Guanacaste. Boletín Geológico y Minero, 118 (1): 51-62.
- CASTRO Y DE LA TORRE, 2013: Estudio geotécnico mecánica de Suelos.#6-0108, Proyecto Condominio Horizontal Residencial The Nature Sanctuary.” Playa Grande, Santa Cruz Guanacaste, Costa Rica.
- CUSTODIO, E. Y LLAMAS, M.R., 1983: “Hidrología Subterránea. Tomo 1 y 2”. – Segunda Edición. Ediciones Omega. Barcelona, España.
- FETER, C.W., 1988: “Applied Hydrogeology”. – 592 págs. Second Edition. University of Wisconsin, Oshkosh.
- FOSTER ET AL, 2003: “Protección de la calidad del agua subterránea”. – Banco Mundial, Washington, D.C. Estados Unidos.
- FOSTER, S.S.D., 1988: “Análisis de la Contaminación de las Aguas Subterráneas por Sistemas de Saneamiento Básico”. Centro Panamericano de Ingeniería del Ambiente (CEPIS). Lima, Perú.
- FOSTER, S.S.D. & HIRATA, R., 1991: “Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas: Una metodología basada en datos existentes”. Centro Panamericano de Ingeniería del Ambiente (CEPIS). Lima, Perú.
- MORERA, S. & MATAMOROS, G., 2003: Evaluación del potencial y demanda hídrica subterránea en el acuífero costero Huacas-Tamarindo, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.-Área de Aguas Subterráneas, Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento, SENARA. 36 págs.
- SENARA, 2014: “Base de Datos de la Dirección de Investigación y Gestión Hídrica”. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento. San José, Costa Rica.
- SÁENZ, L. 2013: “Estudio Geofísico – Geológico e Hidrogeológico Para la Vulnerabilidad Acuifera”. Lote Marion Edith Unglaube. Playa Grande, Cabo Velas, Guanacaste.

ANEXO
PLANO CATASTRADO



ANEXO 2

PRUEBAS DE INFILTRACIÓN Y ANÁLISIS DE SUELOS EN EL LABORATORIO INTA, MAG

 <small>Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria</small>	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS Laboratorio de Suelos Tel-Fax: 2279-7052 e-mail: labsuelos@inta.go.cr	LDS F 17 
---	---	---

NOMBRE: HIDROGEOTECNIA(F.ARELLANOS)

FECHA: 8/6/2014

UBICACIÓN:

FAX:

INFORME #:

		Cond-Hidrauli			
		cm/hora	Rango	D.a	
1754	1	6.60	Mod.Rapida	1, 14	Playa Grande-298490/1142302
1755	2	6.90	Mod.Rapida	1, 09	!!--298635/1142350
1756	3	14.10	Rapida	1, 13	!!---298395/1142414
1757	4	7.10	Mod.Rapida	1, 11	!!---298880/1142357
1758	5	13.90	Rapida	1, 14	!!-298648/1142546

Ing. Alexis Vargas Villagra