



DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA PRESENTAR ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS A LA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA (DIGH) DEL SENARA (ENERO DE 2023)

Se presentan y detallan a continuación los términos de referencia con las respectivas especificaciones y metodologías a seguir en cada ítem; para la elaboración de los estudios hidrogeológicos a ser presentados ante la Dirección de Investigación y Gestión Hídrica (DIGH) del SENARA para diferentes trámites o requerimientos por parte de los usuarios. Los siguientes términos de referencia corresponden con los requisitos mínimos que se tienen que cumplir y desarrollar en los estudios hidrogeológicos exhaustivos, sin embargo, con base en criterio técnico el SENARA podrá solicitar la ampliación de los estudios, ya sea por la complejidad hidrogeológica de la zona a desarrollar o bien de las características del proyecto.

Si por alguna razón no es posible realizar algún ítem de los términos de referencia, el geólogo responsable del proyecto deberá indicar claramente las justificaciones por las cuales no se desarrolla el apartado debe presentar el respaldo técnico adecuado.

Los proyectos relacionados con actividad urbanística, condominios, viviendas unifamiliares, hoteles y otras actividades como actividad ganadera, agrícola, industrias, depósitos, entre otros, serán resueltos a partir de los resultados obtenidos en el estudio hidrogeológico presentado y considerando los criterios técnicos establecidos en la Matriz de Criterios de Uso de Suelo según la Vulnerabilidad a la Contaminación de Acuíferos para la Protección del Recurso Hídrico.

Los proyectos que involucran el almacenaje, manejo, uso y comercialización de hidrocarburos y sus derivados serán resueltos a partir de los resultados obtenidos en el estudio hidrogeológico presentado y se aplicará un factor de seguridad en función del tiempo de tránsito en la zona no saturada para calcular la vulnerabilidad específica a la contaminación por hidrocarburos (GOD_{t_h}).





DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

TABLA DE CONTENIDO

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	3
1) MODELO GEOLÓGICO.....	3
2) ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE.....	4
3) LEVANTAMIENTO DE POZOS EN EL CAMPO.....	5
4) LEVANTAMIENTO DE MANANTIALES EN EL CAMPO.....	6
5) LEVANTAMIENTO DE CAPTACIONES DE AGUA SUPERFICIAL PARA USO EN ABASTECIMIENTO PÚBLICO (Tomas en ríos y/o quebradas).....	6
6) DETERMINACIÓN IN SITU DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LA ZONA NO SATURADA Y SATURADA.....	7
7) AFOROS DE RÍOS Y QUEBRADAS (EFLUENCIA - INFLUENCIA).....	8
8) MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL.....	9
9) DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE TRÁNSITO EN LA ZONA NO SATURADA Y EN LA ZONA SATURADA.....	10
10) DELIMITAR LAS RESPECTIVAS ZONAS DE PROTECCIÓN DE POZOS Y MANANTIALES SEGÚN LA LEGISLACIÓN VIGENTE.....	12
11) ZONAS DE CAPTURA O TUBOS DE FLUJO DE POZOS Y MANANTIALES.....	12
12) ANÁLISIS DE RECARGA.....	13
13) ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD HIDROGEOLÓGICA.....	14
14) ANÁLISIS DE SUELOS.....	16
15) DECLARACIÓN JURADA DE LOS ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS ENTREGADOS.....	17



**senara****DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA****DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

En este apartado se presenta la información básica del proyecto, en donde se debe indicar los datos de la propiedad en donde se desarrolla el proyecto que incluye: número de plano de catastro, número de finca, coordenadas del centroide y ubicación política. Además, se debe incluir los datos del desarrollador de proyecto, ya sea persona física (nombre, cédula e información de contacto) o persona jurídica (razón social, cédula jurídica, información del representante legal: nombre, cédula e información de contacto); así como también el diseño del proyecto.

En cuanto al proyecto, se debe realizar una descripción general que incluya: ubicación geográfica (coordenadas CRTMO5 o la proyección oficial según legislación) de donde se realizará el proyecto, área de cobertura, densidad de población, tipo y cantidad de sistemas de tratamiento de aguas residuales a utilizar y en caso de proyectos que requieran el almacenamiento, manejo y/o uso de sustancias peligrosas y de alta toxicidad, indicar también las características de diseño tales como: tipo (tanques subterráneos o aéreos), área y volumen de tanques de almacenamiento, sustancias a almacenar y coordenadas centrales de la ubicación de los tanques. Otros aspectos relevantes para el conocimiento y evaluación de la actividad a desarrollar pueden ser añadidos en este apartado. Además, se debe aportar el mapa de ubicación del proyecto con la ubicación de la propiedad y el derrotero de la propiedad geo-referenciado.

1) MODELO GEOLÓGICO**GEOLOGÍA REGIONAL**

- Descripción de las unidades geológicas regionales y Mapa Geológico Regional a escala 1:50 000 para la zona de estudio y sus alrededores, debe incluir las estructuras tectónicas que se encuentren definidas.

MAPA DE AFLORAMIENTOS

- Realizar el Mapa de Afloramientos a escala 1:10 000 de un kilómetro cuadrado alrededor del proyecto. Cada afloramiento representado debe mostrar la litología identificada.





DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

GEOLOGÍA LOCAL

- Realizar el Mapa Geológico Local a escala 1:10 000 de un kilómetro alrededor del proyecto. Dicho mapa debe mostrar las estructuras tectónicas regionales y las que se hayan identificado en campo.
- Describir los materiales o unidades geológicas identificadas en el campo, a su vez estas se deben estar debidamente correlacionadas con la sección de geología regional.
- La escala de las curvas de nivel debe ser a 1:10 000 en las zonas donde la información oficial está disponible y a 1:25 000 cuando en el sitio de estudio no exista información a escala 1:10 000; la misma tiene que ser indicada en los mapas generados.
- En todos los casos, el mapa debe mostrar la fuente de información de donde se obtuvieron las curvas de nivel.
- Utilizar la proyección geográfica Costa Rica CRTM 05 o la proyección oficial según legislación.
- Elaborar un mínimo de dos perfiles geológicos locales que atraviesen el área de proyecto, con sus respectivas escalas horizontal y vertical, orientación, identificación y simbología. Utilizar la información geológica de superficie, perforaciones exploratorias, pozos e información geofísica para su elaboración, los cuales serán la base para la construcción de los perfiles hidrogeológicos.
- El mapa geológico local y el mapa de afloramientos pueden ser unificados, en tanto la simbología utilizada muestre claramente los distintos elementos y no haya confusión en la visualización.

2) ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

Este apartado consiste en la recopilación de la información existente sobre pozos, manantiales, captaciones superficiales de abastecimiento público y concesiones, que se encuentra disponible en las bases de datos de las Instituciones (SENARA, la Dirección de Agua del MINAE en el SINIGIRH y el AyA).

- Procesar la información de las bases de datos consultadas en las diferentes instituciones, a una distancia de 1000 metros como mínimo con respecto a los linderos del proyecto. Se debe confeccionar las bases de datos y el mapa de pozos registrados en las bases de datos del MINAE (Dirección de Agua), SENARA y el AyA.
- El contenido de la tabla de datos es el siguiente: código, expediente de concesión, coordenadas CRTM05 o la proyección oficial según legislación ((longitud-(x), latitud-(y) y altitud-(z)), propietario, profundidad total, litología, profundidad del nivel estático, profundidad del nivel dinámico, armado, medición de niveles, acuífero captado, parámetros hidráulicos calculados en la prueba de bombeo, número de expediente de la concesión de la Dirección de





DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

Agua en el MINAE y caudal otorgado. En el caso de que la información lo permita, deberá presentar una tabla de datos generales y una tabla de parámetros técnicos como se indica a continuación:

Tabla de datos generales

Código	Expediente de concesión	Latitud	Longitud	Propietario	Altitud (m s.n.m)	Profundidad total (m)	Profundidad nivel estático (m)	Profundidad nivel dinámico (m)

Tabla de parámetros técnicos

Código	Litología	Armado	Medición de niveles	Acuífero captado	Caudal otorgado (l/s)	Parámetros hidráulicos (T, k, coeficiente almacenamiento, etc)	Otros

- Realizar el mapa de pozos, manantiales, tomas superficiales de abastecimiento público y concesiones.

3) LEVANTAMIENTO DE POZOS EN EL CAMPO

Este apartado se relaciona principalmente con la presencia de pozos que no se encuentran reportados en las bases de datos institucionales, pero que, durante las inspecciones de campo fueron ubicados en la zona de proyecto o en sus alrededores.

- La búsqueda debe realizarse para un radio de 500 metros con respecto a los linderos de la propiedad y con énfasis en la finca, incluyendo tanto pozos de tipo perforado como excavados.
- Medir los niveles estáticos o dinámicos y recolectar otra información accesible de los pozos levantados en el campo (profundidad del pozo, caudal de explotación, propietario, uso, entre otros).
- Los pozos levantados en el campo se tienen que geo-referenciar con el instrumento de posicionamiento global (GPS).





DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

- Si se ubica en el campo un pozo reportado en las bases de datos institucionales, incluirlo en este apartado, así como la verificación de información en cuanto a coordenadas o niveles medidos.
- En el caso de aquellos pozos que se ubican dentro del área del proyecto, se debe reportar todas las características del pozo en campo (coordenadas, profundidad del pozo, nivel estático, nivel dinámico, uso, caudal de explotación, entre otros).
- Se debe incluir evidencia fotográfica de los puntos levantados.

4) LEVANTAMIENTO DE MANANTIALES EN EL CAMPO

Este apartado se relaciona principalmente con la presencia de manantiales que no se encuentran reportados en las bases de datos institucionales, pero que, durante las inspecciones de campo fueron ubicados en la zona de proyecto o en sus alrededores.

- La búsqueda debe realizarse para un radio de 500 metros con respecto al área de estudio, levantando los manantiales en el campo y geo-referenciando con algún sistema de posicionamiento global (GPS).
- Establecer si están captados o no; medición del caudal, uso del agua y litología de la cual aflora el agua subterránea.
- Si se ubica en el campo un manantial reportado en las bases de datos institucionales, incluirlo en este apartado, así como la verificación de información en cuanto a coordenadas o caudales medidos.
- Se debe incluir evidencia fotográfica de los puntos levantados.

5) LEVANTAMIENTO DE CAPTACIONES DE AGUA SUPERFICIAL PARA USO EN ABASTECIMIENTO PÚBLICO (Tomas en ríos y/o quebradas)

- Levantamiento de captaciones para uso de abastecimiento público de agua superficial (tomas de ríos y/o quebradas), esto para un radio de 200 metros con respecto al sitio al área de estudio.





DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

6) DETERMINACIÓN IN SITU DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LA ZONA NO SATURADA Y SATURADA

A continuación, se presentan los distintos parámetros hidráulicos, geológicos y geotécnicos que se deben realizar en la zona no saturada según los análisis de los ensayos de campo y los resultados del laboratorio:

- Conductividad hidráulica, indicando la profundidad de las pruebas y el material que se está ensayando, se pueden utilizar los métodos de Doble Anillo, Porchet y Guelph para la superficie; todos los ensayos deben ser supervisados por el profesional en geología.
- Clasificación del suelo/roca meteorizada/material no consolidado con la norma del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Incluir la curva granulométrica para cada capa de suelos o rocas meteorizadas.
- Porosidad del suelo/roca meteorizada/material no consolidado. En caso de medios fracturados, los datos de porosidad pueden ser obtenidos de referencias bibliográficas, indicando el (los) autor (es), nombre del libro o artículo y número de página de donde se obtuvo el dato.
- Cada uno de los análisis de laboratorio deben ser suscritos por los profesionales responsables del laboratorio y de geología.

A continuación, se presentan algunas especificaciones técnicas a cumplir en los ensayos de conductividad hidráulica:

- Doble anillo duración mínima de 120 minutos y dos horas de saturación previa.
- Pruebas de Porchet: dimensiones del agujero de 40 cm profundidad x 20 cm diámetro y la duración mínima de la prueba 60 minutos. Se deben realizar con saturación del suelo de al menos de 1 hora previa al ensayo.
- Prueba Guelph: ensayos a nivel de terreno, duración mínima de 60 minutos.
- Prueba Le Franc: duración mínima de 60 minutos, además especificar detalladamente la configuración a utilizar y profundidad ensayada.
- Los tiempos de medición para cada uno de los ensayos anteriores deben ser los siguientes:

• 0 min	• 6 min	• 20 min
• 1 min	• 7 min	• 25 min
• 2 min	• 8 min	• 30 min
• 3 min	• 9 min	• 40 min
• 4 min	• 10 min	• 50 min
• 5 min	• 15 min	• 60 min





DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

Se tiene que aportar como un anexo al estudio hidrogeológico, los reportes de laboratorio, el informe de las pruebas realizadas, con la respectiva metodología, fotografías, la memoria de cálculo, gráfica de análisis (según lo amerite la metodología) y los resultados obtenidos del procesamiento de la información.

La cantidad de pruebas a realizar para proyectos específicos son las siguientes:

ÁREA DE PROYECTO (m ²)	CANTIDAD DE PRUEBAS Y ENSAYOS
0 - 10 000	2
10 001 - 50 000	4
50 001 - 100 000	8
100 001 - 500 000	12

7) AFOROS DE RÍOS Y QUEBRADAS (EFLUENCIA - INFLUENCIA)

Este apartado se realiza como insumo para completar el modelo hidrogeológico de sitio y se enfoca en la ejecución de aforos diferenciales en aquellos ríos o quebradas localizados en un radio de 500 metros del proyecto, que el consultor estime adecuados para caracterizar el comportamiento de efluencia o influencia en la zona. Una vez realizados los ensayos, el consultor deberá indicar claramente si el comportamiento en el cauce es de tipo efluente, influente u otro resultado.

Se tiene que describir la metodología de aforo utilizada y aportar en el estudio hidrogeológico la memoria de cálculo (instrumentos utilizados, ancho de la sección, áreas, velocidades, caudales, software utilizado en el análisis de los datos, respaldo fotográfico y perfil del cauce); esta información se aporta como anexo al estudio hidrogeológico. Se pueden utilizar los métodos de: trazadores, volumétrico, molinetes, químicos, vertederos. Todas las pruebas deberán ser realizadas o supervisadas en campo por el geólogo responsable.

La selección del cauce o cauces a aforar en el radio de 500 metros queda a criterio del profesional responsable, así como la separación entre secciones en el río o quebrada, la cual evidentemente estará condicionada por factores tales como el caudal o la existencia de ingresos al cauce, sin embargo, se recomienda que, como mínimo la separación entre secciones sea de 100 metros.





DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

Si en el tramo a aforar se encuentran canales, desagües o cursos de agua menores que de alguna forma estén aportando agua a la sección, deberá reportarse su naturaleza y en la medida de lo posible cuantificar su caudal, de tal manera que estos aportes no incorporen errores en la cuantificación de los aforos principales realizados en la sección de interés.

8) MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

El modelo hidrogeológico conceptual debe desarrollar los siguientes puntos para los acuíferos en el área en estudio:

- Tipo de litología que alberga el acuífero.
- Tipo de acuífero según grado de confinamiento hidráulico.
- Tipo de litología que compone la zona no saturada y parámetros hidráulicos que la caracterizan (porosidad, conductividad hidráulica, espesor).
- Espesor del acuífero.
- Parámetros hidráulicos del acuífero (porosidad de la zona saturada, porosidad eficaz de la zona saturada, conductividad hidráulica, transmisividad, coeficiente de almacenamiento).
- Nivel freático o piezométrico.
- Dirección del flujo del agua subterránea.
- Gradiente hidráulico entre las curvas equipotenciales donde se ubica el proyecto, las mismas deben reflejar los aspectos de efluencia e influencia de ríos, además debe contar con suficientes datos de pozos para la interpolación y tener congruencia con los datos topográficos y las unidades hidrogeológicas.
- El mapa de curvas equipotenciales del agua subterránea debe estar acompañado de un cuadro con el detalle de los puntos utilizados para su construcción: pozo o naciente utilizada, coordenadas, acuífero captado, elevación, profundidad del agua subterránea (en caso de pozos) y nivel estático utilizado para la interpolación (en caso de pozos).
- Al menos dos perfiles hidrogeológicos que atraviesen el área donde se ubica el proyecto con sus respectivas líneas de perfil indicadas en el mapa hidrogeológico. La correlación entre la información para elaborar perfiles tiene que ser a una distancia menor de 1000 m y cada perfil debe presentar al menos dos puntos de correlación.
- Mapa hidrogeológico del sitio, donde se incluyan los pozos y nacientes cercanos al proyecto, el trazo de las curvas equipotenciales (isofreáticas o piezométricas), líneas de flujo para el acuífero más superficial y unidades hidrogeológicas presentes. Dicho mapa debe indicar explícitamente los números de pozos o nacientes, y la elevación del nivel de





DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

agua subterránea en los puntos utilizados para la construcción de las curvas equipotenciales.

El texto debe ser acompañado por un cuadro resumen en el que se indiquen las características principales de la zona saturada y no saturada. Este cuadro debe contener como mínimo los siguientes aspectos:

Zona no saturada				
Litología / clasificación	Espesor	Conductividad hidráulica (m/d)	Porosidad	

Zona Saturada						
Acuífero/litología	Espesor	Conductividad hidráulica (m/d)	Transmisividad (m ² /d)	Dirección de flujo y gradiente	Porosidad	Grado de confinamiento

Se tiene que indicar de dónde se toman los parámetros hidráulicos del acuífero. Las pruebas de bombeo de pozos cercanos en un radio de 1000 metros pueden ser utilizadas para caracterización en cuanto a la conductividad hidráulica y transmisividad, siempre y cuando se tenga certeza de que se capta el mismo acuífero localizado en el subsuelo del área del proyecto y que estas pruebas reflejan una curva de abatimiento para la evaluación de los parámetros del acuífero. Para la caracterización de la zona saturada se debe utilizar la información de las pruebas de bombeo analizadas mediante Jacob, Newman, Theis.

Así mismo, si no se cuenta con suficiente información en un radio de 1000 m, se puede complementar la información geológica en profundidad con Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's) u otra metodología de geofísica que permita determinar la estratigrafía de la zona y ubicación de posibles niveles de agua subterránea.

9) DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE TRÁNSITO EN LA ZONA NO SATURADA Y EN LA ZONA SATURADA

El tiempo de tránsito en la zona no saturada se debe realizar con respecto al nivel de desplante del proyecto, considerando la disminución de la zona no saturada por efecto de excavación y remoción de tierra.





DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

La porosidad total para utilizar debe ser la obtenida por análisis de laboratorio para la zona no saturada.

Para la conductividad hidráulica de la zona no saturada y saturada a definir en el modelo hidrogeológico, se tienen que utilizar los datos obtenidos en los ensayos de campo mediante las metodologías y los ensayos indicados en el ITEM 6 y el análisis de la información de las pruebas de bombeo mencionadas en el ITEM 8.

En el caso de encontrar dos o más capas de materiales, debe calcularse el tiempo de tránsito para cada capa y realizar la sumatoria de tiempos para obtener el total en la zona no saturada.

El tiempo de tránsito en la zona saturada se debe realizar en función del gradiente hidráulico y la dirección de flujo, hacia un punto de control que puede ser un pozo, manantial, río o quebrada.

Para la zona saturada se debe utilizar el dato de porosidad efectiva. Se pueden realizar análisis de laboratorio o tomar valores de referencia según la litología encontrada.

Para el cálculo de tiempo de tránsito de sustancias bacteriológicas debe aplicarse la metodología de Rodríguez (1994) "Normas para el cálculo de tiempo de tránsito entre los drenajes de tanques sépticos y las fuentes de agua subterránea", la cual se detalla a continuación:

1.) GENERAL

El método se basa que el tiempo de residencia máxima de las bacterias en el subsuelo es de 70 días en acuíferos porosos y 100 días en acuíferos fracturados.

2.) ZONA NO SATURADA

El tiempo de tránsito (distancia/velocidad) estará dada por:

$$t = mn/k$$

Donde:

t = tiempo de tránsito.

m = Espesor no saturado, que debe ser obtenido del modelo hidrogeológico o de mapeo geológico con representatividad válida.

n = Porosidad.

k = Conductividad hidráulica.

3.) ZONA SATURADA

Si el tiempo de infiltración en la zona no saturada no alcanza los 70 o 100 días según el tipo de acuífero, entonces debe calcularse también el tiempo de tránsito del contaminante dentro del





DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

acuífero. La distancia horizontal por considerarse es aquella comprendida entre el punto en donde el contaminante alcanza el nivel de saturación y el pozo o manantial más cercano. La dirección de flujo debe ser aquella definida por la gradiente natural o la gradiente inducida por bombeo, en la zona saturada la velocidad del contaminante se calculará por la ecuación:

$$v = ki/n$$

Y el tiempo de tránsito se deducirá de esa ecuación para resultar en:

$$t = dn/ki$$

Donde:

t = tiempo de tránsito.

d = distancia en el gradiente hidráulico.

n = porosidad del acuífero.

k = permeabilidad, deducida de una prueba de bombeo en un pozo cercano y representativo.

i = Gradiente, tomado de líneas equipotenciales, o en su defecto, igual a la topografía general del terreno, o a la gradiente inducida por bombeo según proceda.

El tiempo de tránsito total será la suma del correspondiente a la distancia vertical más el correspondiente a la distancia en la zona saturada.

10) DELIMITAR LAS RESPECTIVAS ZONAS DE PROTECCIÓN DE POZOS Y MANANTIALES SEGÚN LA LEGISLACIÓN VIGENTE

Delimitar para una distancia de 200 metros a partir de los linderos de la propiedad, las respectivas zonas de protección establecidas en la legislación (Ley de Aguas N°276 y Ley Forestal N°7575) para los pozos y manantiales reportados y levantados en el campo, así como los ubicados en la propiedad a desarrollar.

Realizar el mapa de zonas de protección establecidas por ley para pozos y manantiales ubicados a una distancia de 200 metros de los linderos, en el que se muestre su relación con respecto al área de proyecto.

11) ZONAS DE CAPTURA O TUBOS DE FLUJO DE POZOS Y MANANTIALES

- a) Manantiales y pozos que no están declarados para abastecimiento público





DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

En caso de que el área del proyecto se encuentre afectando la zona de protección establecida por ley para un pozo o manantial cercano definidos en el punto anterior (ITEM 10); se puede realizar los cálculos para determinar las dimensiones de las zonas de captura para la fuente existente. El pozo o manantial debe contar con los datos hidrogeológicos pertinentes para llevar a cabo el cálculo de las dimensiones de la zona de protección.

La metodología de cálculo de zonas de protección está en el Apéndice 1: “Metodología para la definición de las zonas de captura de pozos y manantiales para proyectos de protección del recurso hídrico según la metodología tarifaria de ARESEP”.

b) Pozos y manantiales captados para abastecimiento público

Para el caso de pozos o manantiales captados para abastecimiento público (AyA, ASADAS, Municipalidades y otros entes operadores) debe incluir dentro del estudio a presentar en el SENARA, las zona captura establecida que tienen que estar aprobado por el ente competente según la legislación vigente.

12) ANÁLISIS DE RECARGA

Para realizar el balance hídrico en superficie se deben aportar: la conductividad hidráulica con ensayos utilizando la metodología del ensayo de doble anillo, la clasificación del suelo/roca meteorizada con la norma del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), los análisis de Capacidad de Campo, Punto de Marchitez y Densidad aparente (muestra sin raíces), debidamente suscritos por los profesionales responsables del laboratorio y de geología.

Debe aplicarse la metodología de cálculo de Balance Hídrico de Suelos de Schosinsky, G. (2006), “Cálculo de la Recarga Potencial de los Acuíferos mediante un balance hídrico de suelos”, publicada en la Revista Geológica de América Central 34-35:13-30 pág. Se hace la salvedad, de que para el trámite en el SENARA las pruebas de infiltración en superficie, que se tienen que utilizar para el cálculo de recarga, deben ejecutarse mediante la metodología de doble anillo, con una duración mínima 120 minutos en cada prueba.

La definición de nivel de recarga acuífera para un sitio específico se calculará según los siguientes parámetros establecidos por SENARA:

- Alta recarga: Cuando el valor de la recarga potencial en el sitio del proyecto corresponde a un valor $>$ de 25 % de la precipitación media anual de la zona.





DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

- Media recarga: Cuando el valor de la recarga potencial para el sitio corresponde a valores entre 10 % y 25 % de la precipitación media anual de la zona.
- Baja recarga: Cuando el valor de la recarga potencial para el sitio corresponde a valores < a 10% de la precipitación media anual de la zona.

13) ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD HIDROGEOLÓGICA

- Para valorar la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de los acuíferos, se utilizará como base el mapa hidrogeológico local y el modelo hidrogeológico conceptual local.
- Realizar la valoración de la vulnerabilidad intrínseca por medio de la metodología GOD (Foster e Hirata, 2002), u otro método, el cual se tiene que justificar según las características de la zona no saturada y el tipo de acuífero modelado a nivel local.
- El análisis debe realizarse a nivel de desplante donde se ubicarán las posibles fuentes potenciales de contaminación. En caso de realizarse excavaciones, se deberá restar la profundidad de las excavaciones al espesor de la zona no saturada.
- Si se utiliza la metodología GOD, es necesario que el consultor tome en cuenta las siguientes consideraciones con respecto a la asignación del parámetro G (grado de confinamiento hidráulico):

Uno de los parámetros más subjetivos del método de vulnerabilidad GOD en Costa Rica es el Grado de Confinamiento Hidráulico, debido a que no se aporta ningún dato adicional que sustente el grado de confinamiento o si el acuífero es cubierto o no. Los casos más particulares que se tienen son cuando se considera un acuífero libre cubierto, que en la mayoría de los casos la capa que cubre el acuífero es de poco espesor y la conductividad hidráulica de esa capa es casi igual a la del acuífero. Además, no se aporta datos adicionales como pruebas de conductividad hidráulica, de bombeo, coeficientes de almacenamiento u otros parámetros.

Lo anterior, se resume en que la valoración del grado de confinamiento hidráulico es muy subjetivo, de tal manera que, para reducir esta interpretación y hacerla más objetiva, se plantea la incorporación de datos adicionales, que ya de por sí son solicitados en los protocolos del SENARA para evaluación del modelo hidrogeológico, como lo es la determinación de la conductividad hidráulica de los materiales en la zona no saturada, con sus respectivos valores del espesor. Con estos datos podemos entrar al detalle del parámetro



DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

“grado de confinamiento” y definir con mayor objetividad su categoría, tal y como se muestra en el siguiente esquema (Figura 1):

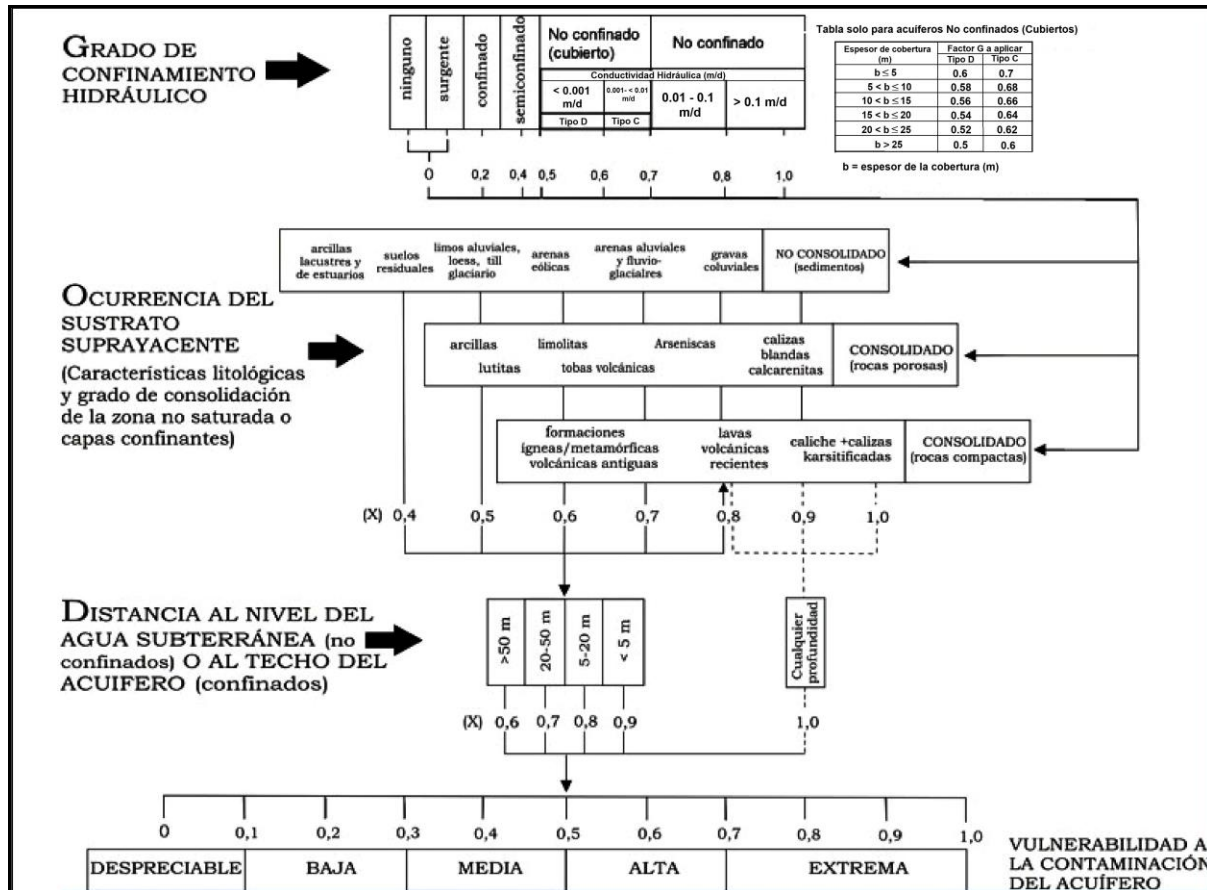


Figura 1: Esquema de metodología GOD a aplicar en SENARA. Modificado de Foster e Hirata (2002)

• **Vulnerabilidad específica a hidrocarburos (GOD-th)**

En el caso de proyectos que involucran el almacenaje, manejo, y comercialización de hidrocarburos, la Dirección de Investigación y Gestión Hídrica aplica una modificación de la Metodología de Vulnerabilidad GOD, que consisten en la multiplicación del parámetro obtenido por un Factor de Seguridad en función del tiempo de tránsito en la zona no saturada, obteniendo de esta forma la vulnerabilidad específica a la contaminación por hidrocarburos (GOD-th).

Este factor de corrección se utiliza debido a la toxicidad del contaminante y su posible persistencia en el subsuelo relacionada con el tiempo de tránsito, aspectos que no son considerados en el análisis regular mediante la metodología de vulnerabilidad GOD.





DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

Una vez calculada la Vulnerabilidad Intrínseca del acuífero a la contaminación, este valor se tiene que multiplicar por el Factor de Seguridad dependiendo del tiempo de tránsito calculado para la zona no saturada y según se observa en el siguiente cuadro:

VALORES DEL FACTOR DE SEGURIDAD PARA EL CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD INTRÍNSECA DEL ACUÍFERO PARA HIDROCARBUROS

> 7500	7500-5250	5250-2000	2000 - 750	750-365	750-182	182-0	t _h (días)
1,025	1,05	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7	Factor Seguridad

En el mismo gráfico de GOD se obtiene el nuevo valor, pero ahora de la Vulnerabilidad Específica (GOD-t_h) a la contaminación potencial por hidrocarburos.

14) ANÁLISIS DE SUELOS

Para proyectos que almacenen y manejen sustancias de compuestos orgánicos se tienen que realizar análisis de la siguiente manera:

- La muestra tiene que ser referenciada, ubicada espacialmente en el proyecto y recolectada a nivel de desplante del proyecto en donde se almacenarán y manejarán las sustancias de compuestos orgánicos.
- La recolección de la muestra tiene que ser realizada por el personal capacitado del laboratorio en donde se realizarán los análisis y supervisada por el geólogo responsable del estudio hidrogeológico.
- En el caso de estaciones de servicio de combustible o tanques de almacenamiento de hidrocarburos, se tienen que realizar análisis de laboratorio para determinación de benceno, tolueno, xileno, etilbenceno, benzo-alfa-pireno e hidrocarburos policíclicos aromáticos; todos los ensayos tienen que estar acreditados y con sus respectivos límites de detección y cuantificación.
- El reporte de los resultados del laboratorio debe ser original y venir debidamente suscrito por el profesional responsable del laboratorio que realizó los ensayos y se tiene que indicar límites de cuantificación y detección, esto como anexo al estudio hidrogeológico.





senara

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

15) DECLARACIÓN JURADA DE LOS ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS ENTREGADOS

El profesional en geología deberá redactar un documento en donde acepta la responsabilidad profesional por la información técnica-científica que aporta en el mismo y los respectivos anexos, así como por las conclusiones y recomendaciones obtenidas en los análisis de la información.

