

MINISTERIO DE AMBIENTE, ENERGIA Y TELECOMUNICACIONES

ACUERDO 60-2012 Alcance 105 del 31 de julio del 2012.

MINISTERIO DE AMBIENTE, ENERGIAY TELECOMUNICACIONES. San José, a las ocho horas del doce de junio del dos mil doce.

CONSIDERNADO:

PRIMERO: Que de conformidad con los Principios de Rio de Janeiro y Dublín, la gestión integral de los recursos hídricos (GIRH) es el medio mediante el cual se puede garantizar la sostenibilidad del agua, principio al cual Costa Rica se ha acogido, entendiendo este como el proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales (Definición de Asociación Mundial para el Agua, por sus siglas en ingles GWP).

SEGUNDO: Que la ley constitutiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AYA), N° 2726 del 14 de abril de 1961 y sus reformas, establece en el artículo 2, inciso f), que corresponde al AYA el aprovechar, utilizar, gobernar o vigilar, todas las aguas de dominio público indispensables para el debido cumplimiento de las disposiciones de esa ley.

TERCERO: Que el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), de conformidad con la Ley de creación N° 6877 del 18 de julio de 1983, de acuerdo con el artículo 3°, incisos ch) y h), tiene las siguientes funciones primordiales:

ch) Investigar, proteger y fomentar el uso de los recursos hídricos del país, tanto superficiales como

h) Vigilar el cumplimiento de las disposiciones legales en las materias de su incumbencia. Las decisiones que por este motivo tome el Servicio, referentes a la perforación de pozos y a la explotación, mantenimiento y protección de las aguas que realicen las instituciones públicas y los particulares serán definitivas y de acatamiento obligatorio. No obstante, tales decisiones podrán apelarse dentro del décimo día por razones de legalidad para ante el Tribunal Superior Contencioso Administrativo. El Tribunal resolverá en un plazo no mayor de noventa días.

CUARTO: Que conforme a la Ley de Aguas N° 276 de 27 de agosto de 1942 y su reforma mediante la Ley N° 5516 del 2 de mayo de 1974, se establece en su artículo 17 y 2 respectivamente, que corresponde al Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) el disponer y resolver sobre el dominio, aprovechamiento, utilización, gobierno o vigilancia sobre las aguas del dominio público. Asimismo, para facilitar las atribuciones de dominio, gobierno y vigilancia de las aguas de dominio público el MINAET llevará un registro para la inscripción de las personas o empresas que tengan como actividad la perforación de pozos, sin que pueda otorgarse una licencia para perforar a quienes no estén inscritos.

QUINTO: Que la reforma al Reglamento Orgánico del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, Decreto Ejecutivo N° 36437-MINAET, establece en su artículo 41, las funciones que le corresponden a la Dirección de Agua. Entre estas, las siguientes:

Artículo 41. De las funciones de la Dirección de Agua.

(...)

j). *Admitir, tramitar y resolver sobre solicitudes de permisos de perforación del subsuelo para la exploración y explotación de aguas subterráneas y asignar el número de pozo respectivo.*

(...)

n) *Control y seguimiento de las empresas perforadas y permisos de perforación”.*

(...)

r) *Ccoordinar con otras instituciones según corresponda, la elaboración de los estudios técnicos para la determinación y establecimiento de reservas hidráulicas, zonas de regulación del aprovechamiento y protección de agua subterránea y superficial, zonas de reserva de agua, zonas de recarga y descarga acuífera así como formular y proponer al Ministro el decreto ejecutivo para la declaración y políticas de gestión del recurso hídrico en estas zonas “.*

SEXTO: Que en materia de permisos de perforación-concesión, le corresponde al AYA la función de pronunciarse sobre la protección de las fuentes destinadas e identificadas para el abastecimiento de las poblaciones; además de promover, con criterio vinculante, la protección de la inversión de la infraestructura hidráulica del servicio público que garantice el abastecimiento del agua. De estos criterios, le corresponde al AYA comunicarlos oficialmente a la Dirección de Agua del MINAET.

SETIMO: Que conforme a su ley constitutiva los criterios emitidos por el SENARA son de acatamiento obligatorio, en especial los referidos a la viabilidad técnica de una perforación o su denegatoria, al diseño constructivo de un pozo y sus condiciones de perforación.

OCTAVO: Que la División de Fiscalización Operativa y Evaluativa, Área de Servicios Públicos Generales y Ambientales de la Contraloría General de la República, mediante el Informe N° DFOE-PGA- Informe sobre la evaluación de la aplicación de políticas y normativa en materia de recursos hídricos por el Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE) función rectora que realiza el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) en la aplicación de las políticas y normativa sobre el recurso hídrico, indicó lo siguiente:

“La Procuraduría General de la República, haciendo referencia a votos de la Sala Constitucional explica que de acuerdo con lo que establece el artículo 188 de la Constitución Política, la autonomía administrativa de las instituciones descentralizadas no es una garantía de autonomía constitucional irrestricta, toda vez que la ley, aparte de definir su competencia, puede someterlas a directrices derivadas de políticas de desarrollo que ésta misma encomiende al Poder Ejecutivo Central, haciendo entonces constitucionalmente posible, someter a las entidades autónomas en general a criterios de planificación nacional y en particular, a las directrices de carácter general dictadas desde el Poder

Ejecutivo central o de órganos de la Administración Central, llamados a completar o a fiscalizar esa política general.”

NOVENO: Que la División de Fiscalización Operativa y Evaluativa de la Contraloría General de la República, emitió el Informe DFOE-PGAA-11-2009, con base en el estudio de auditoría que se realizó entre el 1º de enero de 2004 y el 31 de diciembre de 2008 que evaluó la gestión del MINAET, el SENARA y el AYA en el otorgamiento, control y seguimiento de los permisos para la perforación de pozos, las concesiones de aprovechamiento de aguas y el cobro del canon en las zonas costeras. Producto de esta auditoría se contemplaron diferentes disposiciones al MINAET, al AYA y al SENARA, entre ellas, la siguiente: “a) Diseñar en forma conjunta, una metodología de investigación para llevar a cabo los estudios hidrogeológicos a utilizar como fundamento para emitir regulaciones en la perforación de pozos y como requisito fundamental de las solicitudes de permisos para la perforación de pozos (...)”

DECIMO: Que en acatamiento de las disposiciones citadas y en procura de una mejor gestión integrada de los recursos hídricos se conformó Comité Técnico, integrado por las instituciones que comparten competencias en materia de aguas subterráneas, el MINAET, el AYA y el SENARA.

DECIMO PRIMERO: Que el MINAET, a través de la Dirección de Aguas, coordinó el equipo de especialistas de AYA y el SENARA para la elaboración de la metodología dispuesta por el ente Contralor; realizando un trabajo sistemático y transparente con profesionales en gestión de agua provenientes del sector privado y público conforme se desprende del informe SUB-G-AID-UEN-GA-2010-614, cuya propuesta de documento fue remitido en consulta al Colegio de Geólogos de Costa Rica mediante oficio DA-3058-2010 de fecha 2 de septiembre de 2010.

DECIMO SEGUNDO: Que el Comité Técnico Interinstitucional ha consensado y definido las metodologías científicas que se deben aplicar para la evaluación de las aguas y que se deben observar en los estudios de permisos de perforación y de concesión de aprovechamiento de aguas y para las investigaciones sobre los recursos hídricos.

DECIMO TERCERO: Que el Ministro de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, en su doble carácter de Jefe de Ambiente y como rector del Sector Ambiente/Recursos Hídricos, le corresponde coordinar la temática hídrica, por ello, y debido a la importancia y vulnerabilidad de las aguas subterráneas, debe establecer las regulaciones técnico científicas que sirvan como guía de regulación de las metodologías hidrogeológicas que evalúan los recursos hídricos subterráneos para la perforación de pozos de exploración y aprovechamiento de aguas subterráneas, con base en metodologías acordadas por el Comité Técnico Interinstitucional, y en acatamiento de las disposiciones emitidas por la Contraloría General de la República.

POR TANTO

EL MINISTRO DE AMBIENTE, ENERGIA Y TELECOMUNICACIONES

ACUERDA:

Artículo 1º. Se oficializa el documento técnico “Metodologías Hidrogeológicas para la Evaluación del Recurso Hídrico”, que se describe a continuación:

“Metodologías Hidrogeológicas para la Evaluación del Recurso Hídrico”

CAPÍTULO 1

Generalidades

Artículo 1. Objetivo. Las “Metodologías Hidrogeológicas para la Evaluación del Recurso Hídrico”, en adelante “Metodologías Hidrogeológicas”, son una guía de metodologías para la evaluación de los recursos hídricos subterráneos.

Artículo 2. Ámbito de aplicación. Las Metodologías Hidrogeológicas serán aplicadas por las personas físicas o jurídicas, públicas o privadas, que deban utilizar metodologías hidrogeológicas para la evaluación de los recursos hídricos.

CAPÍTULO 2 Definiciones

Artículo 3. Definiciones. Para efectos de la aplicación de las Metodologías Hidrogeológicas, se definen los términos de la siguiente forma:

Acuífero: Formación o formaciones geológicas que son capaces de almacenar y transmitir agua en cantidades aprovechables bajo la acción de gradientes hidráulicos.

Acuífero artesiano o surgente: Acuífero confinado cuyo nivel piezométrico se encuentra sobre la superficie del terreno de forma que cuando se perfora el agua fluye en la superficie.

Acuífero colgado: Acuífero que contiene un volumen de agua subterránea de dimensiones pequeñas, soportada por un estrato de una conductibilidad hidráulica menor.

Acuífero confinado: Acuífero limitado por formaciones de bajas conductibilidades hidráulicas y tiene una presión mayor que la atmosférica. De acuerdo con el coeficiente de almacenamiento estos acuíferos tienen valores de 1×10^{-4} o menores.

Acuífero libre o no confinado: Aquel en el que su límite superior se encuentra a presión atmosférica. Los coeficientes de almacenamiento tienen valores de 1×10^{-2} .

Acuífero semiconfinado: Acuífero cubierto por un estrato de una conductibilidad hidráulica menor, por la cual se puede drenar agua dependiendo de los niveles piezométricos. Los coeficientes de almacenamiento tienen valores de 1×10^{-2} y 1×10^{-4} .

Aforos diferenciales: Metodología que establece la medición de caudales de un cauce en secciones contiguas, utilizada para estimar la relación de intercambio de agua entre un cauce y un acuífero.

Área de recarga: Corresponde con el área de un acuífero, donde el agua infiltra y lo recarga.

Área de descarga: Pueden ser de dos tipos: natural y artificial. La descarga natural es cuando el nivel de agua subterránea intercepta la superficie en forma de humedales, manantiales, flujo base y otros ecosistemas que dependen de agua subterráneas. La descarga artificial se da por medio de pozos o cualquier otro método mecánico.

Balance hídrico: Sistema hidrológico donde se determina las entradas (precipitación, flujos laterales y retornos) y salidas (flujo subterráneo, flujo base y extracciones).

Balance hídrico de suelos: Cantidad de agua que cede el suelo saturado, como recarga a un acuífero.

Capacidad de campo: Grado de humedad de una muestra que ha perdido toda su agua gravitativa. Corresponde aproximadamente al contenido de agua que retiene una muestra de suelo saturada y luego sometida a una tensión de $-0,33$ bares.

Coefficiente de almacenamiento (S): Agua que puede ser liberada por un prisma vertical del acuífero de sección igual a la unidad y altura equivalente al espesor saturado del mismo cuando se produce un descenso unidad del nivel piezométrico. Es un valor adimensional. En acuíferos libres su valor coincide con la porosidad drenable (0,1-0,001). En acuíferos cautivos está ligado a la compresibilidad del agua y del medio acuífero, y su valor suele oscilar entre 10^{-5} y 10^{-3} .

Conductividad hidráulica (k): Volumen de agua que deja pasar una formación geológica a través de una sección en un tiempo determinado, es decir tiene unidades de velocidad. La conductividad hidráulica depende de la geometría del medio (tamaño de los granos, coeficiente de uniformidad y porosidad) y de las propiedades del fluido (peso específico y viscosidad dinámica).

Cuenca hidrográfica: Área de superficie delimitada por una divisoria topográfica de aguas, donde todas las aguas drenan a un mismo punto (río, lago, mar). La cuenca como sistema integra diferentes subsistemas (político, económico, biológico, cultural, entre otros) y el agua es el agente integrador de todos los procesos en la misma.

Cuenca hidrogeológica: Se refiere a la cuenca de aguas subterráneas, que puede o no coincidir con la cuenca hidrográfica. Queda definida por la divisoria de los sistemas de flujo subterráneo.

Densidad aparente: Masa por unidad de volumen (kg/m^3), incluyendo los vacíos de una muestra de suelo seco.

Efluencia: Acuífero alimenta un drenaje o cuerpo de agua.

Escorrentía superficial directa: Parte del agua de lluvia que circula por la superficie del terreno y confluye a los ríos, arroyos y otras masas de agua.

Evapotranspiración Potencial (ETP): Resultado del proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso y directamente o a través de las plantas vuelve a la atmósfera en estado de vapor. Es la suma de la evaporación y transpiración.

Flujo base: Flujo de agua que vuelve al sistema superficial. En algunos casos si la cuenca es cerrada es el drenaje del agua subterránea.

Flujo de retorno: Flujo de agua que vuelve al sistema (cauce fluvial o al agua subterránea) después de ser utilizada en los diferentes usos.

Flujo subterráneo: Caudal que pasa por una sección de acuífero delimitada por dos líneas de flujo.

Flujo subsuperficial: Porcentaje de precipitación-infiltración que no se incorpora a la recarga del acuífero y más bien fluye horizontalmente hacia sitios o zonas preferenciales (ríos o quebradas). No se considera acuífero.

Gradiente hidráulico: En un medio poroso. Es la disminución de la altura piezométrica por unidad de distancia en la dirección del flujo del agua subterránea. Representa la pérdida de energía por unidad de longitud recorrida.

Infiltración: Movimiento lento (gravedad) del agua a través del suelo-roca (zona no saturada) hasta el nivel de aguas subterráneas.

Influencia: Drenaje o cuerpo de agua que recarga el acuífero.

Línea isofreática, piezométrica o equipotencial: Líneas que unen puntos que tienen el mismo potencial hidráulico.

Manantial: Flujo de agua subterránea que aflora en la superficie debido a cambios topográficos, zonas preferenciales, rasgos geológicos-estructurales como fallas, o cambios en la conductividad hidráulica, fracturas o discontinuidades. Algunos manantiales tienen una relación muy importante con los procesos de precipitación-infiltración y por lo tanto, disminuyen su caudal en épocas de poca precipitación.

Microcuenca: Área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una subcuenca. Varias microcuencas pueden conformar una subcuenca.

Modelo hidrogeológico conceptual: Esquema lógico, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo, que describe las propiedades, condiciones, procesos y potencialidades de los acuíferos, permite entender el funcionamiento de los acuíferos, para predecir su comportamiento y determinar sus recursos explotables.

Nivel dinámico: También llamado nivel de bombeo. Es producido cuando comienza la descarga del acuífero por un pozo. Este nivel depende del caudal de bombeo, del tiempo de bombeo y de las características hidrogeológicas del acuífero.

Nivel estático: Es la profundidad del nivel de agua subterránea en la formación acuífera.

Permeabilidad intrínseca: Característica propia de los materiales dependiente de la sección por donde circule el fluido. Esta característica depende de las propiedades del medio y es independiente del fluido.

Piezómetro: Corresponde con un pozo cuyo uso exclusivo es para monitoreo de niveles y toma de muestras de calidad del agua.

Porosidad eficaz: Porcentaje de poros interconectados que permiten la circulación de fluidos.

Punto de marchitez: Grado de humedad de un suelo que rodea la zona radicular de la vegetación, tal que la fuerza de succión de las raíces es menor que la de retención del agua por el terreno y en consecuencia, las plantas no pueden extraerla.

Quebrada: Área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca. Varias quebradas pueden formar una microcuenca.

Rendimiento sostenible de un acuífero: Balance hídrico donde se contempla el agua recargada, el flujo subterráneo, el agua extraída, retornos y la descarga que alimenta a los ecosistemas naturales.

Subcuenca: Área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca. Varias subcuencas pueden conformar una cuenca.

Transmisividad (T) de un sistema acuífero: Aquella que mide la cantidad de agua, por unidad de ancho, que puede ser transmitida horizontalmente a través del espesor saturado de un acuífero con un gradiente hidráulico igual a 1 (unitario). Comúnmente es definida como el producto de la conductividad hidráulica y el espesor saturado del acuífero, sin embargo los valores de transmisividad varían mucho en el espacio.

Vulnerabilidad de acuíferos: Nivel de penetración con que un contaminante alcanza una posición específica en un sistema acuífero, después de su introducción en alguna posición sobre la zona no saturada. También se define como la susceptibilidad natural que presenta un acuífero a la contaminación y está determinada por las características intrínsecas del mismo.

Zona No Saturada: Aquella parte del subsuelo donde los poros no se encuentran ocupados completamente con agua.

Zona saturada: Aquella parte del subsuelo que se encuentra con sus poros ocupados completamente por agua. Esta parte del subsuelo se denomina acuífero.

Zona de captura: Corresponde con el área que contribuya o cede agua de forma directa a un pozo o manantial.

CAPÍTULO 3

Balance Hídrico de Aguas Subterráneas y Rendimiento Seguro

Artículo 4. Para la elaboración del balance hídrico de aguas subterráneas se debe utilizar la metodología de balance de humedad de suelos desarrollado por Schosinsky (2006)(12), que es una combinación del método de precipitación que infiltra y balance de humedad de suelos.

Para realizar el balance hídrico se debe contemplar los siguientes componentes:

1. Delimitación de la cuenca hidrogeológica o en casos demostrados de coincidencia de la cuenca hidrográfica con la hidrogeológica, se podrá utilizar la hidrológica (cuenca, subcuenca o microcuenca).
2. Climatología, con la precipitación promedio mensual.
3. Evapotranspiración, se recomienda la metodología de Hargreaves (10).
4. Tipos de suelo, pendiente, capacidad de campo, punto de marchitez a partir de la clasificación de suelos (laboratorio: capacidad de campo, punto de marchitez, granulometrías, densidades, contenidos de humedad, límites, densidad aparente y profundidad de raíces).
5. El balance hídrico (recarga potencial), debe contener al menos:
 - a) Flujo base (medición por aforos o estación fluviográfica).
 - b) Flujo subterráneo.
 - c) Extracción de agua de pozos y/o manantiales, se utilizarán los datos de caudal de los expedientes de concesiones de aprovechamiento den ente encargado y en el caso de que no esté concesionado se utilizará el caudal indicado en el permiso de perforación.
 - d) Agua de retorno.
 - e) Rendimiento sostenible de un acuífero.

Para casos particulares en donde se cuente con redes de monitoreo, se podrá definir la recarga a partir de los cambios de los niveles de aguas subterráneas.

Se debe acompañar de un modelo hidrogeológico que debe contemplar: mapas, perfiles geológicos-hidrogeológicos, red de flujo (elaborada con manantiales y pozos), tipos de acuíferos, parámetros (coeficiente de almacenamiento, transmisividad, conductividad hidráulica) y se recomienda el uso de trazadores e isótopos.

Se recomienda incluir dentro del cálculo de balance hídrico el caudal de retorno. En caso de que no haya estaciones fluviográficas en la salida de la cuenca, que permitan calcular el flujo base, se podrán utilizar aforos puntuales medidos o históricos cada mes para establecer la curva de recesión y determinar un flujo base aproximado.

Para la determinación de efluencia e influencia de los cuerpos de agua respecto al acuífero evaluado, se deberán realizar aforos diferenciales en rangos conforme al siguiente detalle: microcuencas se deberán realizar entre de 50 y 100 metros espaciados longitudinalmente, en subcuencas entre 100 y 500 metros y en cuencas entre 500 a 1000 metros.

El rendimiento sostenible puede considerarse como un balance hídrico donde se contempla el agua recargada, el flujo subterráneo, el agua extraída, retornos y la descarga que alimenta a los ecosistemas naturales. Se ha considerado que se puede dejar el flujo base y la descarga subterráneas como rendimiento sostenible, o también podría ser una fracción de la recarga. Sin embargo a partir del monitoreo se puede obtener un caudal de explotación mayor que provenga del flujo base o descarga del acuífero. Estos análisis serán definidos por parte de las instituciones que intervienen en la gestión de los recursos hídricos.

CAPÍTULO 4

Intrusión Salina

Artículo 5. Para los pozos localizados a menos de un kilómetro de la pleamar conforme el Decreto 17390-MAG-S, se puede usar el valor de conductividad eléctrica del agua como indicador de la posibilidad de intrusión salina, para ello se utilizará el valor de referencia de 400 uS/cm (según Decreto 32327-S del 03 de mayo de 2005) y para valores superiores deberá analizarse el tipo de roca y el proceso de intrusión salina. Para tener mayor certeza a la hora de caracterizar zonas con intrusión salina, se recomienda utilizar relaciones físicoquímicas como también utilizar el bromuro como elemento conservativo del agua de mar. En caso de existir otros agentes de contaminación debe ser considerados en los análisis, por ejemplo: excretas animales, aplicación de agroquímicos, rellenos sanitarios y basureros.

Para los estudios de intrusión salina se recomienda utilizar el método de Glover (6). En los casos, en donde el fondo de la perforación este por encima del nivel del mar, no es necesario aplicar las metodologías para el cálculo de intrusión salina, para ello se debe justificar mediante el modelo hidrogeológico conceptual y adjuntar perfil topográfico hidrogeológico, que permita concluir que conforme el nivel del agua subterránea no existe posibilidad de contaminación por intrusión salina.

En caso de no contar con información básica para la elaboración de los estudios de intrusión salina se podrán utilizar métodos indirectos como la geofísica o se deberán realizar pozos exploratorios.

CAPÍTULO 5

Pruebas de Bombeo

Artículo 6. Conforme al Reglamento de Perforación del Subsuelo para la Exploración y Aprovechamiento de Aguas Subterráneas, Decreto Ejecutivo 35884-MINAET, todos los aprovechamientos de agua subterránea deberán realizar pruebas de bombeo, de acuerdo a los siguientes lineamientos:

- a) Todos los informes finales de los pozos, deberán adjuntar la interpretación de las pruebas de bombeo. Dichas pruebas deberán tener una duración mínima de 24 horas; sin embargo, para uso urbanístico (poblacional) la prueba deberá ser de 72 horas.
- b) En casos particulares, en los que se demuestre claramente con criterios técnicos hidrogeológicos, la duración de las pruebas podría ser de menor duración. Esto podría aplicar en áreas en donde no resulta conveniente extender el radio de influencia a una determinada distancia, como ejemplo en zonas costeras con riesgo de intrusión salina por largos bombeos, o por afectaciones a otras captaciones cercanas.
- c) Para acuíferos libres, se utilizará la metodología de Neuman (6), para acuíferos confinados Thies y Jacob (6) y para los semiconfinados se usará la metodología de Hantush (6).
- d) A partir de los datos de las pruebas de bombeo se determinaran los parámetros del acuífero, particularmente la transmisividad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento (siempre y cuando exista un pozo testigo o de observación). En caso de que requiera el pozo de observación será definido por las instituciones públicas competentes.
- e) Se deberá presentar la curva de recuperación con un mínimo de 80%. Las pruebas de bombeo deberán entregarse a las instituciones públicas competentes en formato digital de hoja electrónica e impresa. También se adjuntarán: los datos de campo e interpretación de las pruebas.

CAPÍTULO 6

Radios de influencia entre pozos y cuerpos de agua

Artículo 7. Para la determinación del radio de influencia entre pozos y cuerpo de agua se deberán utilizar la siguiente metodología:

- a) Acuíferos libres: utilizar la ecuación de flujo de Jacob (6).
- b) Acuíferos confinados: para estos casos aplicar los siguientes pasos: i) definir la red de flujo (modelo conceptual), ii) calcular la zona de captura del pozo ($Q=T*i*L$) y iii) calcular el descenso del pozo de bombeo a partir de la siguiente fórmula:

$$\Delta s = 2,3Q/4rT \log 2,25 Tt/r^2s$$

donde:

- Δ = abatimiento (m)
- r= radio del pozo a perforar
- Q= futuro caudal de bombeo m³/d
- T= Transmisividad m²/d
- t=tiempo de bombeo (días)
- s=coeficiente de almacenamiento

Para el caso de acuíferos confinados se aceptará la interferencia con otro pozo siempre que no supere un 25% del abatimiento del pozo de bombeo.

- c) Acuíferos semiconfinados: se deberá calcular la interferencia con los acuíferos superiores Hantush (6).

CAPÍTULO 7

Zonas de recarga

Artículo 8. Para definir las zonas de recarga se debe elaborar el modelo hidrogeológico, el cual debe incluir: mapas y perfiles geológicos-hidrogeológicos, red de flujo (elaborada con manantiales y pozos), tipos de acuíferos, parámetros (coeficiente de almacenamiento, transmisividad, conductividad hidráulica) y se recomienda el uso de trazadores e isótopos.

Los métodos que serán aceptados para determinación de la infiltración de los suelos serán los siguientes:

- a) Método de anillos (Método de Kostiakov (13)): está diseñado para medir velocidad de infiltración, sin embargo cuando la velocidad está estabilizada se asume como la conductividad hidráulica del medio. Este método se utilizará básicamente estudios de balance hídrico (recarga acuífera) y además para el cálculo de tiempos de tránsito se deben realizar a una profundidad representativa del estrato geológico.
- b) Método de Porchet, Lefranc y Guelph (5-8-9): están diseñados para medir conductividad hidráulica y se emplea básicamente para estudios de cálculo de tiempos de tránsito. El método de Lefranc debe aplicarse dependiendo de la configuración del agujero y del factor de forma (ver tabla número 1).

Tabla 1
Pruebas de Conductividad Hidráulica

Formas de factores para el cálculo de permeabilidades mediante la variable de prueba principal					
	CONDICION	DIAGRAMA	FORMA FACTOR F	PERMEABILIDAD K, MEDIANTE LA VARIABLE DE PRUEBA PRINCIPAL	APLICABILIDADES
OBSERVACION, POZO O PIEZOMETRO ZONA SATURADA EN UN ESTRATO ISOTROPICO DE PROFUNDIDAD INFINITA	Agujero entubado, suelo a nivel del fondo.		$F = \frac{11R}{L}$	$K = \frac{2\pi R}{11(h_2-1)} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$ FOR "L DÓ NO"	Usado para determinación de permeabilidades en profundidades bajas por debajo de la tabla de agua. Puede dar resultados poco fiables en la prueba de caída de carga por la sedimentación en el fondo del agujero.
	Agujero entubado, embalado a la longitud "L" de la extensión perforada		$F = \frac{2\pi L}{11 \left(\frac{L}{R} \right)}$	$K = \frac{R^2}{2L(h_2-1)} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$ FOR $\frac{L}{R} > 8$	Usado para determinación de permeabilidades a profundidades mayores por debajo de la capa freática
	Agujero entubado, columna de suelo dentro de la cubierta a la altura de "L"		$F = \frac{11\pi R^2}{2\pi R + 11L}$	$K = \frac{2\pi R + 11L}{11(h_2-1)} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$	El uso principal es para permeabilidades en dirección vertical en suelos anisotrópicos.

Para todos los métodos anteriores (doble anillo, de Porchet y Lefranc) deberá considerarse el estado de saturación del suelo.

El método de pruebas de infiltración establecido en las normas de diseño de tanques sépticos para urbanizaciones y fraccionamientos del A y A: serán empleadas únicamente para esos fines (diseño del campo de drenajes de los tanques séptico).

Se debe presentar la memoria de cálculo impresa de cada prueba con sus respectivos datos de campo.

Los métodos que se recomiendan para determinar la conductividad hidráulica (acuífero) y que se utilizaran en la definición del modelo conceptual son:

- a. Método de Lugeon (3)
- b. Slug Test (6)
- c. Pruebas de Bombeo

CAPÍTULO 8

Cálculo de Tiempo de Tránsito de Contaminantes Orgánicos, Inorgánicos y Bacterias

Artículo 9. Para el cálculo de tiempos de tránsito de contaminantes orgánicos se podrá utilizar la ecuación de retardación:

$$\frac{R+v}{v_c} = 1 + \frac{p_b K_d}{n}$$

R = retardación

v = velocidad del agua

v_c = velocidad del contaminante

n = porosidad %

k = conductividad hidráulica (m/día)

p_b = densidad del suelo (Kg/m³)

K_d = parámetro de retardación del suelo en función de su textura

Sin embargo para utilizar la ecuación anterior, se deberá realizar la determinación en el laboratorio del K_d (coeficiente de partición), en caso contrario deberá utilizar las ecuaciones de flujo de Darcy. Las ecuaciones de movimiento de contaminantes además de tomar en cuenta la heterogeneidad del medio, como las fracturas, macroporos, diaclasas y discontinuidades, también deberán considerar las propiedades intrínsecas de los compuestos, sean estas bacterias, compuestos orgánicos, químicos y pesticidas.

CAPÍTULO 9

Métodos de Vulnerabilidad Hidrogeológica

Artículo 10. Se recomienda el uso de los siguientes métodos de vulnerabilidad, según las condiciones hidrogeológicas del medio y de la información existente en la zona: Drastic, Sintacs, Epik, GOD, BGR (2).

Para determinar el análisis de peligro de contaminación por hidrocarburos, se utilizará la metodología combinada de tiempos de tránsito en la zona no saturada y el cálculo de la vulnerabilidad intrínseca por el método del GOD. Con el valor de los tiempos de tránsito calculados anteriormente, buscar en la tabla 2 el factor de seguridad y multiplicarlo por la vulnerabilidad intrínseca y finalmente obtenemos la vulnerabilidad específica final o peligro de contaminación.

Tabla 2

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	th (días) Tiempo de transito
1,025	1,05	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7	Factor Seguridad

SENARA (2005) (11).

En este tipo de estudios también deberá calcularse el desplazamiento y extensión de la posible pluma de contaminación:

$$D = 100 * V / A * R * K$$

D = profundidad m

V = volumen del hidrocarburo (m³)

A = área de infiltración (m²)

R = capacidad de retención (l/m³)

K = factor de protección de la viscosidad

El factor k corresponde a 0,5 para gasolinas (hidrocarburos viscosas), 1,0 para gasóleos y 2,0 para hidrocarburos muy viscosos. R tiene valores, bloques y grava gruesa 5, grava y arena gruesa 8, arena gruesa-media 15, arena media a fina 25 y arena fina y limo 40.

También se propone la ecuación (Auge, 2004 (1)):

$$S = (1000 * V * A * R * b * k) / F$$

S = máxima extensión del hidrocarburo sobre la superficie freática

V = volumen de hidrocarburo infiltrado (m³)

A = área de infiltración en la superficie (m²)

R = capacidad de retención (l/m³) b =

espesor saturado del acuífero (m)

F = cantidad de hidrocarburo retenido por encima de franja capilar (l/m² o mm) F para gravas 5, arenas medias 12, arenas finas 20 y limos 40.

Para los diseños constructivos de las estaciones de servicio, se deberá acatar la legislación vigente.

Para determinar, el espesor de la zona no saturada “b”, utilizada en los cálculos de los tiempos de tránsito, se deberá emplear el nivel de piso de la excavación donde se instalarán los tanques de almacenamiento de hidrocarburos hasta el nivel de agua subterránea.

Se deberán de construir piezómetros exploratorios para los casos de instalación de estaciones de servicios de hidrocarburos u otros compuestos orgánicos, rellenos sanitarios, cementerios, bodegas de almacenaje de sustancias contaminantes y otros. Los diámetros de armado será de 75 milímetros (tubería plástica) como máximo y la profundidad de la perforación deberá estar 5 metros por debajo del nivel de agua subterránea (acuíferos más importante de la zona), utilizando el nivel de agua subterránea mínimo del período más seco. En cada caso se evaluará el método de perforación (sacanúcleos, rotación, percusión y otros), donde la ubicación estará en función de las características hidrogeológicas del medio. Se deberá colocar como mínimo 1 piezómetro aguas abajo y otros aguas arriba de la estación de servicio u otras actividades mencionadas anteriormente.

CAPÍTULO 10

Zonas de protección de pozos

Artículo 11. Las zonas de protección de pozos debe ser una herramienta básica de protección de los acuíferos. Se debe definir la zona de captura del pozo utilizando la ecuación analítica

de Darcy (ancho y punto de no retorno) y una zona de protección bacteriológica (70 días en medios porosos y 100 días en medios fracturados) definida con la metodología de radio fijo:

$$r = (Q t / 3,1415 * n * b)^{0,5} \quad (4)$$

r = radio m

Q = caudal m³/día

n = porosidad del acuífero

b = espesor del acuífero(m)

t= tiempo (días de bombeo, 70 o 100 días)

En la zona de captura delimitada se pueden permitir las actividades que dependiendo de la vulnerabilidad, amenaza y peligro no causen contaminación de los acuíferos.

El diseño de pozos debe contemplar todas las características definidas en el Reglamento de Perforación de Pozos para la Exploración y Aprovechamiento de Aguas Subterráneas vigente.

Los piezómetros de investigación para monitoreo de aguas subterráneas deben solicitar permiso según el Reglamento de Perforación vigente. En las zonas especiales de protección las instituciones solicitantes de los piezómetros deberán supervisar el diseño de los mismos.

En toda perforación para la extracción de agua subterráneas debe colocar una tubería de un diámetro de 3,81 centímetros con el objeto de medir los niveles de agua subterránea, éste debe ser instalado desde la superficie del terreno hasta dos metros debajo del nivel dinámico, así mismo debe dejar previsto un sistema de tubería que permita la medición de caudal, desde la superficie del terreno.

Bibliografía

- (1) Auge, M.; (2004): Hidrogeología Ambiental. Universidad de Buenos Aires, Argentina. 13-15 pág.
- (2) Auge, M.; (2004): Vulnerabilidad de Acuíferos. Revista Latinoamericana de Hidrogeología, Buenos Aires Argentina. n.4 85-103 pág.
- (3) Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas Y Mitigación de Desastres, (1992): Seminario Taller de Mecánica de Suelos y Exploración Geotécnica. Lima Perú. 27-37 pág.
- (4) Chin, D.A.; (2000): Water-Resources Engineering. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 562-563 pág.
- (5) Custodio, E. & Llamas, M.R.; (2001): Hidrología Subterránea, Segunda Edición. Editorial Omega. España. 345-346 pág.
- (6) Fetter, C.W.; (1988): Applied Hydrogeology. Fourth Edition. Prentice Hill. Upper Saddle River, new Jersey. 150-218 y 327-337 pág.
- (7) Gary, P. Curtis, Paul V. Roberts & Martin Reinhard; (1986): A natural gradient experiment on solute transport in a Sand aquifer 4. Sorption of organic solutes and its influence on mobility. Water Resources Research Vol. 22 N° 13, 2059-2067 pág.
- (8) J. Dafonte Dafonte, M. Valcárcel Armesto, X.X. Neira Seijo & A. Paz Gonzales; (1999): Análisis de los métodos de cálculo de la conductividad hidráulica saturada de campo medida con permeatro de Guelph. Estudios de la zona no saturada del suelo. Tenerife España. ISBN 84.
- (9) Lambe, W.T., Whitman, R.V.; (1972): Mecánica de Suelos. Editorial Noriega Limusa. México D.F. 303-304 pág.
- (10) Monsalve, G.; (1999): Hidrología en la Ingeniería. 2ª. Edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. ALFAOMEGA. 182 pág (11) SENARA (2009): Procedimiento técnico para el análisis de los trámites de hidrocarburos (tanques de autoconsumo y estaciones de servicio). Documento Interno de la Dirección de Investigación y Gestión Hídrica DIGH.
- (12) Shosinsky, G.; (2006): Cálculo de la Recarga Potencial de los Acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. Revista Geológica de América Central 34-35:13-30 pág.
- (13) Warren F. (1980): Manual de Laboratorio Física de Suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 158-169 pág.

Artículo 2º. Se deja sin efecto el acto administrativo emitido por el Director de Agua sobre publicación de el Diario Oficial La Gaceta N° 243 del 15 de diciembre de 2010 y su Fe de Erratas publicada en el Diario Oficial La Gaceta N° 4 del 6 de enero de 2011.

Artículo 3º- La firma del presente acto ha sido delegada por el Doctor René Castro Salazar, Ministro de Ambiente Energía y Telecomunicaciones, en la señora María Guzmán Ortiz, Viceministra del Sector Energía, del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones mediante resolución R-D-046-2012-MINAET de las nueve horas del primero de febrero del dos mil doce, publicado en La Gaceta N° 31 del trece de febrero del dos mil doce.

Artículo 4º. Rige a partir de su publicación.

P / Dr. Rene Castro Salazar Ministro

JMZ/ALL

1 vez.—O. C. N° 06-12.—Solicitud N° 45114.—C-220370.—(IN2012077645).