

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-014-CNA-2003, Requisitos para la recarga artificial de acuíferos.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

JUAN RAFAEL ELVIRA QUESADA, Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en lo dispuesto por el artículo 32 bis fracciones IV, V, XLI de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 3o. fracción XXXVIII, 4o., 8o. fracción V de la Ley de Aguas Nacionales; 40 fracciones I, X y XIII, 41, 43, 44, 47, 51 y 52 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y

CONSIDERANDO

Que el presente Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-014-CNA-2003, Requisitos para la Recarga Artificial de Acuíferos, fue sometido y aprobado por el Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua, en su Primera Sesión Ordinaria de 2003 celebrada el 19 de junio de ese año. Por lo que se publica para consulta pública, de conformidad con el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, a efecto que dentro de los siguientes 60 días naturales, contados a partir de la fecha de su publicación en el Diario Oficial de la Federación, los interesados presenten sus comentarios en la Comisión Nacional del Agua, sita en avenida Insurgentes Sur número 2416, 3er. piso, colonia Copilco El Bajo, Delegación Coyoacán, código postal 04340, México, D.F., teléfono (55) 5174 4000 extensión 1412 o 1413 fax (55) 5174 4217 o a la dirección de correo electrónico alberto.esteban@cna.gob.mx.

Durante el mencionado plazo, la Manifestación de Impacto Regulatorio está a disposición de los interesados en la dirección electrónica www.cofemermir.gob.mx.

CONTENIDO

0. Introducción
1. Objetivo
2. Campo de aplicación
3. Referencias
4. Definiciones
5. Clasificación
6. Requisitos
7. Operación del Sistema de Recarga
8. Verificación
9. Observancia
10. Concordancia con normas internacionales
11. Bibliografía
12. Vigencia

Apéndice Normativo "A", Protocolo para la Elaboración de un Modelo de Flujo Subterráneo

0. Introducción

En México, el agua subterránea es un recurso vital para el desarrollo de todos los sectores, debido a que en más del 50% de su territorio prevalecen los climas seco y semiseco. Actualmente, el subsuelo es la fuente que sostiene el riego de unos dos millones de hectáreas, la tercera parte de la superficie total bajo riego; suministra cerca del 70% del volumen de agua que requieren las ciudades para uso público-urbano, en donde se concentran unos 60 millones de habitantes; abastece a la mayoría de las instalaciones industriales, y satisface casi la totalidad de las demandas de agua de la población rural. La cuantiosa reserva de agua almacenada en los acuíferos regionales, es un recurso valioso que ha propiciado el desarrollo de las zonas áridas y que permite compensar las variaciones estacionales de la precipitación pluvial y del escurrimiento superficial, especialmente durante las sequías cíclicas naturales que afectan algunas regiones de nuestro país.

Debido a la creciente demanda de agua subterránea y a su lenta renovación, en los últimos 40 años la reserva de cerca de 100 acuíferos fue minada por sobreexplotación y se sigue mermando al ritmo actual de unos 5,400 millones de metros cúbicos por año ($Mm^3/año$). Un grave impacto ecológico fue generado en las primeras décadas de sobreexplotación (1960-80), mediante: agotamiento de manantiales, desaparición de lagos y humedales, merma del gasto base de ríos, eliminación de vegetación nativa y pérdida de ecosistemas. Otros efectos de la sobreexplotación fueron: disminución del rendimiento de los pozos, incremento de los costos de extracción, asentamiento y agrietamiento del terreno, contaminación del agua subterránea, intrusión salina en acuíferos costeros, fuerte competencia entre sectores. Muchas de las ciudades más importantes son abastecidas a costa del minado de los acuíferos subyacentes; conforme éstos han resultado insuficientes, se ha incrementado gradualmente la importación de agua de áreas o de cuencas adyacentes para complementar su abasto. Sin embargo, esta solución es cada vez menos viable conforme disminuye la disponibilidad de agua y aumentan tanto los costos asociados a su importación como la oposición de la población rural a que sea transferida a las ciudades a costa del desarrollo local.

La mayor parte de la reserva aprovechable está –o estaba– almacenada en los primeros cientos de metros a partir de la superficie del terreno, en los acuíferos más permeables, de renovación más dinámica, económicamente más accesibles y que contienen agua de mejor calidad. A profundidades mayores de varios cientos de metros la reserva de agua almacenada en los acuíferos regionales puede ser cuantiosa; pero su disponibilidad es incierta a causa de varios factores: en gran parte, no es renovable; la inevitable imprecisión con que se pueden determinar las características de acuíferos profundos; conforme aumenta la profundidad, la permeabilidad y la porosidad de las rocas acuíferas decrece debido a la compactación por peso propio; la renovación y el flujo del agua suelen ser tan lentos que, para fines prácticos, puede considerarse como “fósil” y, por lo mismo, su salinidad total o su contenido de algunos elementos químicos suelen ser elevados. En todo caso, por alto costo de extracción, su captación sólo estaría al alcance de los usos más productivos y menos consumidores de agua.

En las zonas de acuíferos sobreexplotados, tal situación compromete el desarrollo sostenible de todos los sectores, con serias repercusiones sobre la economía nacional. Por otra parte, a futuro se espera un importante incremento de la demanda de agua, principalmente para usos público-urbano e industrial, y a causa de los cambios climáticos globales, cabe la posibilidad de que ocurran sequías más severas, prolongadas y frecuentes. Lo anterior reclama una administración más racional de la reserva de agua subterránea, que considere las limitaciones impuestas por su lenta renovación y otras restricciones físicas, económicas y ambientales, para propiciar su aprovechamiento flexible y prevenir su sobreexplotación destructiva. Por ello, el enfoque actual en la gestión de las aguas subterráneas tiende a una estrategia integral que incluye, entre otros aspectos: el manejo de la demanda en todos los sectores (conservación y uso eficiente), el reuso, la participación más activa de los usuarios en la gestión del agua, el diseño de estrategias para la estabilización de acuíferos sobreexplotados y la aplicación de la tecnología de la recarga artificial para preservar e incrementar la reserva de agua subterránea.

La recarga artificial es una tecnología que se aplica con diferentes objetivos; los más comunes son: atenuar efectos de sobreexplotación, tales como abatimiento de los niveles del agua, asentamientos del terreno o intrusión salina; dar tratamiento natural al agua en el subsuelo; manejar los acuíferos como vasos de almacenamiento y regulación, y utilizar el subsuelo como una red natural de acueductos. Desde el punto de vista técnico, la factibilidad de la recarga artificial depende, entre otros factores, de que exista agua disponible para tal fin y de que ésta sea de calidad tal que no deteriore la calidad del agua subterránea nativa o que sea factible su tratamiento para prevenir riesgo de contaminación. Las fuentes de recarga a considerar son: las aguas meteóricas colectadas en instalaciones urbanas, los escurrimientos extraordinarios generados por lluvias torrenciales, el agua superficial regulada en presas de almacenamiento y las aguas residuales de las zonas urbanas-industriales. Estas últimas constituyen un cuantioso recurso potencial para recarga, por su permanencia y magnitud creciente, aunque en gran parte ya es utilizado con fines agrícolas, en la mayoría de los casos sin tratamiento alguno. El volumen de aguas residuales no municipal generado en el país asciende a ($171 m^3/s$) de éstas son tratadas $26 m^3/s$, $6.3 m^3/s$ reciben un reuso directo, 156.3 tienen un reuso indirecto y 9.1 descargan a cuerpos receptores. Las aguas residuales municipales ascienden a $50 m^3/s$ mediante un total de 1,132 plantas (Estadísticas del Agua en México, 2003, CNA). A la fecha existen cinco distritos de riego (Hidalgo (3), Chihuahua (1), Puebla, y Edo. de México; que aprovechan las aguas residuales para irrigar campos de cultivo. Se han identificado alrededor de 11 distritos de riego, distribuidos en 10 estados de la República (Sinaloa, Guanajuato, Baja California Norte, Morelos, Coahuila, Michoacán, Tamaulipas, Sonora, Sinaloa, y Veracruz), con capacidad de reutilizar aguas residuales para fines agrícolas.

En general, el agua meteórica, y la superficial que no han transitado por focos potenciales de contaminación pueden ser aplicadas a la recarga artificial sin restricciones en cuanto a su calidad. Por el contrario, la recarga artificial con aguas residuales puede provocar deterioro de la calidad del agua subterránea y daños a la salud pública, especialmente cuando se pretende recuperar el agua de recarga para consumo humano o cuando cabe la posibilidad de que ésta migre incidentalmente hasta captaciones que suministran agua para ese uso.

En vista de la situación expuesta y del creciente interés en aplicar la tecnología de la recarga artificial, manifestado tanto por instituciones públicas como por particulares, resulta de utilidad pública emitir un ordenamiento normativo al respecto. La presente Norma Oficial Mexicana regula el uso de las aguas residuales en la recarga artificial de acuíferos. Está formulada con un criterio de que no ser tan estricta que resulte inviable o desaliente la aplicación de esa tecnología ni tan laxa que comprometa la salud pública, y considera al subsuelo como una planta de tratamiento natural que puede ser aprovechada con una combinación adecuada de pretratamiento-tratamiento natural-postratamiento, compatible con el método de recarga y con el uso que se le pretenda dar al agua recuperada.

1. Objetivo

La presente Norma Oficial Mexicana establece los requisitos que deben cumplir: la calidad del agua, la operación y el monitoreo utilizados en los sistemas de recarga artificial de acuíferos.

2. Campo de aplicación

La presente Norma Oficial Mexicana es aplicable a obras planeadas de recarga artificial tanto nuevas como existentes, que aprovechen aguas residuales para este propósito y cuya función sea almacenar e incrementar el volumen de agua en los acuíferos para su posterior recuperación y reuso. Corresponde a los permisionarios del proyecto su cabal cumplimiento.

3. Referencias

La presente Norma Oficial Mexicana tiene relación con las normas oficiales mexicanas siguientes:

- NOM-127-SSA1-1994 Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- NOM-003-CNA-1996 Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de febrero de 1997.
- NOM-004-CNA-1996 Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento, rehabilitación y cierre de pozos de agua y para el cierre de pozos en general. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de agosto de 1997.

4. Definiciones

Para fines de la presente Norma Oficial Mexicana las siguientes definiciones son aplicables:

4.1 Acuífero: Cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.

4.2 Agua subterránea nativa: el agua almacenada en un acuífero antes de que se inicie su recarga artificial.

4.3 Agua residual: el agua de composición variada proveniente de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos; y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

4.4 Clásticos de grano grueso: Gravas o conglomerados compuestos por grandes fragmentos de roca de cualquier tipo, que son transportados por corrientes de aguas superficiales y acumulados en cauces, pie de monte y periferia de cuerpos de agua continentales.

4.5 Carbono orgánico total (COT): Concentración de carbono orgánico oxidable presente en el agua.

4.6 Domo de recarga. Configuración de los niveles freáticos generada por la influencia de las obras de recarga desde la superficie o a la zona no saturada.

4.7 DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno): Cantidad de oxígeno consumido por la actividad metabólica de microorganismos, en un periodo de cinco días, a 20 °C considerando la suma de las concentraciones solubles y en suspensión.

4.8 El Solicitante: persona física o moral interesada en construir obras para recargar un acuífero artificialmente con aguas residuales.

4.9 El Permisionario: Persona física o moral que construye y opera un sistema de recarga artificial de acuíferos mediante el permiso otorgado por "La Comisión".

4.10 Estanque profundo: Excavación o depósito amplio y profundo que sirve para almacenar agua.

4.11 Fuente de contaminación: Conjunto de elementos o sustancias que alteran en forma nociva las condiciones normales de cualquier medio incluyendo las propiedades físicas, químicas o biológicas del agua.

4.12 INEGI: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

4.13 La Comisión: Comisión Nacional del Agua.

- 4.14 Límite permisible:** Concentración o contenido máximo o intervalo de valores de un componente, que no causará efectos nocivos a la salud del consumidor o un impacto negativo en el uso inmediato posterior de las aguas de recarga.
- 4.15 Nivel freático:** Límite superior de la zona saturada en el cual el agua contenida en los poros se encuentra sometida a la presión atmosférica.
- 4.16 Pozo de inyección:** obra de ingeniería que permite la recarga artificial del acuífero. Incluye a los pozos secos.
- 4.17 Pozo de monitoreo:** Pozo diseñado y construido expresamente para medir periódicamente de forma automática o manual, las variaciones del nivel estático y la calidad del agua subterránea.
- 4.18 Pozo de extracción:** Obra de ingeniería construida para extraer agua del subsuelo.
- 4.19 Pozo seco:** Obra de Ingeniería construida para introducir agua en la zona no saturada, comprendida entre la superficie del terreno y el nivel freático.
- 4.20 Promedio mensual:** Valor que resulta de calcular el promedio ponderado, en función del caudal, de los valores que resulten del análisis de al menos dos muestras compuestas.
- 4.21 Proyecto de recarga artificial (PRA):** proyecto planeado con objeto de recargar artificialmente a un acuífero con agua residual.
- 4.22 Proyecto "piloto" de recarga artificial;** Proyecto construido expresamente para operar temporalmente un sistema de recarga artificial para evaluar su factibilidad técnica; monitorear y evaluar el comportamiento las variables hidráulicas y de calidad del agua relacionadas con la recarga artificial, así como su posible impacto al acuífero o medio ambiente.
- 4.23 Punto de extracción:** sitio donde se recupera el agua introducida en las obras de recarga artificial.
- 4.24 Recarga total:** Volumen de agua que recibe una unidad hidrogeológica, en un intervalo de tiempo específico.
- 4.25 Recarga artificial:** Conjunto de técnicas hidrogeológicas aplicadas para introducir agua a un acuífero, a través de obras construidas con ese fin.
- 4.26 Recarga incidental:** aquella que es consecuencia de alguna actividad humana, como riego de jardines, fugas de agua en redes de distribución y alcantarillado, descargas de fosas sépticas e infiltraciones en canales de tierra y otros; que no cuenta con la infraestructura específica para la recarga artificial.
- 4.27 Recarga natural:** la generada por infiltración directa de la precipitación pluvial, de escurrimientos superficiales en cauces o del agua almacenada en cuerpos de agua.
- 4.28 Reuso:** El uso del agua residual que ha sido sometida a sistema de recarga artificial de acuíferos y que cumple con la calidad de un uso subsecuente conforme a la normatividad.
- 4.29 Rocas cársticas:** Rocas carbonatadas y sulfatadas (calizas, dolomías y yesos) con oquedades o conductos de disolución producidos por el agua subterránea al circular a través de ellas.
- 4.30 Rocas fracturadas:** Rocas de cualquier origen compuestas por grandes bloques irregulares producto de esfuerzos de tensión o compresión a los que fueron sometidas.
- 4.31 Sólidos totales disueltos (STD):** Cantidad total de sólidos expresada en mg/L o ppm, que permanecen en una muestra de agua cuando ésta se evapora totalmente.
- 4.32 Sólidos suspendidos totales (SST):** Concentración de partículas que son retenidas en un medio filtrante de microfibras de vidrio, con un diámetro de poro de 1.5 micrómetros o su equivalente.
- 4.33 Sistema de recarga artificial (SRA):** Obra o conjunto de obras construidas con el fin específico de recargar un acuífero.
- 4.34 Sobrerriego:** Inundación del terreno agrícola por volúmenes de agua que exceden el volumen consuntivo de las plantas.
- 4.35 Tiempo de residencia:** Tiempo que el agua recargada artificialmente permanece en el acuífero antes de ser extraída a la superficie.
- 4.36 Unidad hidrogeológica:** Conjunto de estratos geológicos hidráulicamente conectados entre sí, cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales subterráneas.
- 4.37 Uso público urbano:** La utilización del agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, a través de la red municipal.

4.38 Uso doméstico: Utilización del agua nacional, destinada al uso particular de las personas y del hogar, riego de sus jardines y de sus árboles de ornato, incluyendo el abrevadero de sus animales domésticos que no constituya una actividad lucrativa.

4.39 Zona no saturada: zona comprendida entre la superficie del terreno y la superficie freática en donde los poros están parcialmente ocupados por agua bajo presión menor a la atmosférica.

4.40 Zanja: Excavación larga y angosta sobre la superficie del terreno.

5. Clasificación

Para los fines de la presente Norma Oficial Mexicana, los tipos de recarga artificial se clasifican como sigue:

- a).- Superficial: consiste en la recarga desde la superficie por infiltración en obras como: estanques o piletas de infiltración, inundación del terreno, cauces acondicionados, zanjas, sobrerriego o una combinación de ellas.
- b).- Subsuperficial: consiste en la introducción del agua en la zona no saturada mediante pozos secos, zanjas o estanques profundos.
- c).- Directo: consiste en la introducción directa del agua al acuífero por medio de pozos cuya sección abierta lo penetran parcial o totalmente.

Cada tipo o método es aplicable a una combinación de factores físicos, hidrogeológicos, ambientales y económicos, que deben ser evaluados en un proyecto dado.

6. Requisitos

6.1 Información y Estudios Básicos.

La información requerida para evaluar un sitio destinado a la recarga artificial de acuíferos, debe incluir lo siguiente:

6.1.1 Localización.

Un mapa georeferenciado (INEGI o análogo) con la ubicación geográfica de la(s) obra(s) de recarga que se proyectan construir, así como de las captaciones subterráneas y de las fuentes de contaminación de agua subterránea (actuales o potenciales), en una zona circular cuyo radio, medido a partir del centro de las obras proyectadas, se fija en cada PRA, de común acuerdo con "La Comisión", considerando: la dimensión y tipo de obras, el volumen de agua a recargar y las propiedades hidráulicas del acuífero en estudio. En todo caso, el radio mínimo de esta zona será de un kilómetro. La ubicación de las obras y fuentes se debe determinar con geoposicionador o con otro método equivalente de igual o mayor precisión a la obtenida con éste, acorde a la escala del estudio.

6.1.2 Fuente del Agua de Recarga.

Ubicación y características de la fuente de agua residual que se pretende utilizar para el SRA en términos de su: origen, régimen de descarga, tipo y nivel de tratamiento, volumen de agua disponible, uso o destino actual, características físico-químicas y microbiológicas del agua de recarga en términos del requisito 6.4.6 de esta Norma Oficial Mexicana.

6.1.3 Hidrogeología de la Zona del Proyecto de Recarga Artificial.

- a).- Mapas de configuración y de profundidad de niveles piezométricos del (los) acuífero (s) que subyacen en la zona del PRA;
- b).- Perfil estratigráfico, obtenido mediante perforaciones exploratorias y sondeos geofísicos, que muestre la posición, geometría y continuidad de las principales unidades estratigráficas;
- c).- Características hidráulicas del acuífero que se pretende recargar: conductividad hidráulica, transmisividad, porosidad y coeficiente de almacenamiento. En los casos de PRA de tipo superficial o subsuperficial, se debe considerar la caracterización de un mínimo de un 1.0 m del perfil del suelo;
- d).- Características fisicoquímicas y microbiológicas del agua subterránea nativa, en términos del requisito 6.4.6 de esta Norma Oficial Mexicana;
- e).- Captaciones de agua subterránea: características constructivas, registros (geológico y geofísico), uso y calidad del agua extraída, nivel estático y dinámico, régimen de operación, y caudal específico;
- f).- Determinación de la posible conexión hidráulica entre acuíferos;

g).- Fuentes de contaminación aledañas al área de recarga: tipo de fuente, ubicación, régimen de descarga, características físico-químicas del efluente o lixiviados, en términos del requisito 6.4.6 de esta Norma.

6.2 No se permite la construcción de SRA en los casos siguientes:

a).- En terrenos donde las características físico-químicas del suelo o del agua subterránea, hayan sido degradadas a causa de un evento previo de contaminación, aun cuando se hayan aplicado medidas de saneamiento.

b).- En terrenos que, por carecer de una cobertura edáfica y por predominar en el subsuelo rocas cársticas, fracturadas, o clásticos de grano grueso, no tengan capacidad para eliminar o atenuar los contaminantes presentes en el agua de recarga. Esta condición aplica únicamente a SRA de tipo Superficial y Subsuperficial.

6.3 Calidad del Agua de Recarga

6.3.1 El agua residual utilizada en la recarga debe cumplir los requisitos indicados en la Tabla 1.

Tabla 1. Calidad del Agua Residual para Recarga Artificial

Tipo de Contaminante	Tipos de Sistemas de Recarga	
	Superficial / Subsuperficial	Directo
Microorganismos Patógenos	Remoción o inactivación de microorganismos entero patógenos.	Remoción o inactivación total de microorganismos entero patógenos.
Contaminantes Regulados por Norma	Límites permisibles NOM-127-SSA1-1994.	Límites permisibles NOM-127-SSA1-1994.
Contaminantes no Regulados por Norma	$DBO_5 \leq 30 \text{ mg/l}$, $COT \leq 16 \text{ mg/l}$	$COT \leq 1 \text{ mg/l}$

6.3.2 Cuando a distancias menores de 1.0 km del límite exterior del SRA existan captaciones que suministran agua para usos público-urbano o doméstico, se debe cumplir, además de los requisitos establecidos en la Tabla No. 1, los enumerados a continuación:

a).- Realizar un proyecto "piloto" de recarga *in situ*, cuya operación tenga la duración suficiente para determinar: la calidad del agua resultante de la mezcla del agua de recarga con el agua subterránea nativa, la interacción del agua de recarga con el subsuelo, la respuesta de los niveles de agua a la recarga y las variaciones de la tasa de infiltración en el tiempo.

b).- Efectuar un análisis hidrogeoquímico, basado en un modelo numérico, de las probables reacciones físico-químicas del agua de recarga con el agua subterránea nativa y con los materiales que conforman el acuífero y la zona no saturada. El análisis debe concluir: si el agua de recarga es compatible con el agua subterránea nativa o si existen condiciones para generar alguna reacción físico-química que altere la calidad del agua nativa o las propiedades hidráulicas del acuífero.

c).- Aplicar un modelo numérico de flujo y transporte de solutos, para simular el impacto del SRA en la calidad del agua nativa en las captaciones subterráneas y en los niveles del acuífero a recargar. La elaboración de este modelo deberá seguir el protocolo establecido por Anderson y Woessner (Apéndice Normativo A).

d).- Cumplir con los límites máximos permisibles en la calidad del agua de recarga que determine "La Comisión", para aquellos parámetros no regulados por la NOM-127-SSA1-1994, cuya presencia se suponga atendiendo al origen del agua residual. (Tabla 3).

e).- Realizar, en su caso, los estudios toxicológicos que determine "La Comisión" en el agua de recarga.

f).- Respetar las distancias mínimas y el tiempo de residencia que se especifican en la Tabla 2.

Tabla 2. Requisitos Relativos a la Distancia Mínima a las Captaciones y al Tiempo de Residencia en el Subsuelo del Agua de Recarga

Variable	Tipos de Sistemas de Recarga	
	Superficial / Subsuperficial	Directo
Distancia horizontal mínima entre el límite exterior del SRA y las captaciones para uso público-urbano o doméstico.	150 m	600 m
Tiempo de residencia del agua de recarga antes de su extracción.	6 meses	12 meses

6.3.3 Con base en los resultados del inciso 6.1., proyecto "piloto", de los análisis de los estudios y del modelo de simulación a que se refieren los incisos anteriores, se determina si es procedente autorizar la construcción del SRA y, en su caso, se fija el volumen máximo de recarga considerando la extracción y las características constructivas de las captaciones de agua para usos doméstico y público-urbano.

6.3.4 Se podrá aplicar agua de recarga con una calidad menor a la establecida en la Tabla 1, sujeto al cumplimiento de las condiciones siguientes:

- a).- Que se construyan SRA únicamente de tipo superficial / subsuperficial.
- b).- Que a distancias menores de 1.0 km del límite exterior de las obras de recarga, no existan captaciones que suministren agua subterránea para usos público-urbano o doméstico, y existan captaciones que recuperen el agua de recarga para otros usos distintos a los mencionados.
- c).- Que se compruebe mediante estudios técnicos, que el suelo y el subsuelo tienen capacidad para remover o reducir la concentración de aquellos elementos del agua de recarga que excedan los límites establecidos en la NOM-127-SSA1-1994.

6.4 Monitoreo.

6.4.1 Todo PRA debe incluir un programa de monitoreo que, en forma periódica, antes y durante la operación de las obras de recarga, registre: i) la calidad del agua utilizada en la recarga, ii) la calidad del agua derivada de la mezcla del agua de recarga y el agua subterránea nativa, y iii) las variaciones de los niveles piezométricos.

6.4.2 En los SRA de tipo directo, se deben construir pozos de monitoreo ubicados a distancias equivalentes a 1/4, 1/2 y 3/4 de la distancia total entre el pozo de inyección y el punto de extracción más cercano. Los pozos de monitoreo se deben diseñar considerando las oscilaciones estacionales del nivel freático y las originadas por la operación del SRA.

6.4.3 En los SRA de tipo superficial/subsuperficial, se debe contar con un sistema de monitoreo de agua residual en las obras de recarga, y una red de pozos de monitoreo. Las características constructivas de los pozos de monitoreo y su ubicación se determinan, en cada caso, en función de las características del SRA y de las propiedades hidráulicas del subsuelo reportadas en el requisito 6.1 de esta Norma. En todos los casos, la red de monitoreo debe contar con un mínimo de tres (3) pozos de monitoreo y garantizar:

- a).- El muestreo representativo del agua de recarga y del agua resultante del SRA;
- b).- El monitoreo periódico de las fluctuaciones piezométricas en el domo de recarga y sus inmediaciones.

6.4.4 Cada pozo o estación de monitoreo debe contar con:

- a).- Número y clave de identificación del pozo en un área visible;
- b).- Ubicación geográfica (x, y, z) determinada con geoposicionador u con otro método equivalente de igual o mayor precisión a la obtenida con éste, acorde a la escala del estudio;
- c).- Corte litológico de las formaciones atravesadas y registros geofísicos;
- d).- Croquis de terminación;
- e).- Relación de parámetros fisicoquímicos medidos en el pozo;
- f).- Frecuencia y protocolo de monitoreo;
- g).- En su caso, características y diagrama de instalación de los dispositivos automáticos de medición instalados en éste.

6.4.5 El agua de recarga se muestrea con frecuencia quincenal y el agua de los pozos de monitoreo, mediante promedio mensual.

6.4.6 Las muestras deben ser analizadas en los parámetros que establece la NOM-127-SSA1-1994, concentración de Carbono Orgánico Total (COT), DBO5, y *Giardia lamblia*.

6.4.7 Los análisis del agua se deben realizar en un laboratorio de prueba acreditado por una entidad de acreditación para los parámetros que se solicitan en la presente Norma.

6.4.8 La construcción y cierre de pozos a que se refiere esta Norma se llevarán a cabo de acuerdo con las normas NOM-003-CNA-1996 y NOM-004-CNA-1996, respectivamente.

7. Operación del Sistema de Recarga

7.1 "El Permisionario" del SRA debe mantener un historial del comportamiento del sistema incluyendo:

a).- La variación de la calidad del agua de recarga y del agua derivada de la recarga al acuífero, en términos establecidos en el requisito 6.3.1 (Tabla 1);

b).- Los gastos de infiltración vs. tiempo, para cada obra de recarga y volúmenes totales. En su caso, para los pozos, los volúmenes de extracción y calidad del agua v.s. tiempo, a partir del inicio de las operaciones de recarga;

c).- El balance de agua en el SRA según su tipo (superficial / subsuperficial o directas);

d).- La variación de la profundidad y elevación del nivel freático en tiempo y espacio;

e).- La precipitación y evaporación en la zona;

f).- Impacto de el SRA en las fuentes de abastecimiento de agua potable, en términos de los requisitos establecidos en 6.3.1 (Tabla 1), de acuerdo al tipo de SRA.

7.2 Cuando los criterios de calidad del agua de recarga no cumplan con las especificaciones establecidas en el requisito 6.3.1 (Tabla 1) según corresponda al tipo de obras, o el 6.3.4 (c), "El Permisionario" debe suspender la operación del sistema hasta alcanzar los criterios de calidad establecidos.

8. Verificación

8.1 "La Comisión" verifica el cumplimiento de los requisitos establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana, en forma periódica o cuando lo estime necesario. Dicha verificación es realizada por personal de "La Comisión" o por las Unidades de Verificación, debidamente acreditadas, que designe para tal efecto.

8.2 "El Permisionario" puede realizar su autoverificación, mediante auditoría voluntaria, reservándose "La Comisión" el derecho de efectuar la verificación en el momento que lo considere necesario.

8.2.1 Para realizar la autoverificación, "El Permisionario" debe acreditar al personal seleccionado como Unidad de Verificación.

8.3 La falta de cumplimiento de la entrega de información, motivará la realización de una verificación por "La Comisión", cuyos costos estarán a cargo de "El Permisionario", del sistema.

9. Observancia

9.1 "La Comisión" es la responsable de coordinar la participación de los gobiernos estatales y municipales, de entidades e instituciones o de personas físicas y morales, involucradas en la aplicación de la presente Norma Oficial Mexicana.

9.2 La vigilancia del cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por conducto de "La Comisión". Las violaciones a la misma, se sancionarán en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, su Reglamento, la Ley de Aguas Nacionales, su Reglamento y demás disposiciones legales aplicables.

10. Concordancia con normas internacionales

10.1 Esta Norma Oficial Mexicana no es equivalente con ninguna norma internacional, por no existir norma internacional sobre el tema tratado.

11. Bibliografía

Anderson, M.P., and Woessner, W, W., 1992 Applied Groundwater Modeling. Simulation of Flow and Advective Transport. Academic Press. San Diego Calif. ISBN 0-12-059-485-4

American Society of Civil Engineers, 2001, Standard Guidelines for Artificial Recharge of Ground Water. ASCE Standard. EWRI / ASCE 34-01. ISBN 0-7844-0548-4.

Asano, T., 1992. Artificial Recharge of Groundwater with Reclaimed Municipal Wastewater: Current Status and Proposed Criteria. *Water Science Technology*, Vol. 25, No.12, pp. 87-92.

Bouwer, H., and Rice, R.C., 1984. Organic Contaminant Behavior during Rapid Infiltration of Secondary Wastewater at the Phonex 23 rd Avenue Project, *Water Research*, 18: 463-472.

Bouwer, H., And Rice, R.C., 1984. Soil-aquifer treatment using primary effluent. *Journal WPCF*, Vol. 56, No. 1, PP-84-88.

Bouwer, H., And Rice, R.C., 1991. Ground Water Recharge with Sewage Effluent. *Water Science Technology*, Vol. 23, Kyoto, pp. 2099-2108.

California State Department of Health Services (2001). *Water Recycling Criteria*, Title 22. Sacramento, California. Draft Regulations 4-23-01.

California State Department of Health Services (2002). *Water Recycling Criteria*, Title 22. Sacramento, California. Draft Regulations 8-02-02.

Crook, J., Hultquist, H., R., Sakaji, R., R., Wehner, M., P., 2002. Evolution and Status of California's Proposed Criteria for Groundwater Recharge With Reclaimed Water. *American Water Work Association, Annual Conference Proceedings*.

Foster, S., S., Gale, I.n., and Hespanhol., 1994, Impacts of wastewater use and disposal on groundwater. *British Geological Survey(BGS). Technical Report WD/94/55*.

Pettyjohn, W., A., 1981. *Introduction to Artificial Groundwater Recharge*. National Water Well Association/ EPA series.

Roscoe Moss Co. 1990, *Handbook of Groundwater Development*, John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y.

Schroeder, R.A., and Anders, R., 2002. Transport and Fate of Water Quality indicators after 40 years of Artificial Recharge with Treated Municipal Wastewater to the Central Ground Water Basin in Los Angeles County. *U.S.G.S. Geological Survey. Artificial Recharge Workshop Proceedings, 2002*.

U.S.G.S. Geological Survey. *Artificial Recharge Workshop Proceedings, 2002*. U.S.G.S. Open-File Report 02- 89. Sacramento, California.

Wilson, L.G., Amy, G.,L., Gerba, C.P., Gordon., H., Johnson, B., Miller, J., 1995. Water quality changes during soil aquifer treatment of terciary effluent. *Water Environment Research*, Vol. 63, No. 3. pp 371-376.

12. Vigencia

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor 60 días naturales después de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Transitorios

Primero.- Los SRA que se estén operando en fechas anteriores a la del inicio de la vigencia de la presente Norma Oficial Mexicana, deben ser adecuados para que cumplan las disposiciones de la misma, dentro de un plazo no mayor de dos años.

Segundo.- Para aquellos parámetros fisicoquímicos requeridos en esta Norma Oficial Mexicana que no cuenten con laboratorios acreditados para su análisis, éstos se podrán realizar, previo acuerdo con "La Comisión", en laboratorios especializados en tanto se acreditan los servicios que ofrezcan dichos laboratorios.

Ciudad de México, a los veintidós días del mes de mayo de dos mil ocho.- El Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales, **Juan Rafael Elvira Quesada**.- Rúbrica.

Apéndice Normativo "A"

Protocolo para la Elaboración de un Modelo de Flujo Subterráneo

El protocolo de modelación necesario para la validación de un modelo constará de las etapas siguientes:

- 1.- **Propósito del modelo.** Determinará el objetivo de la modelación y las ecuaciones gobernantes que serán resueltas, así como el código a utilizar para este propósito.
- 2.- **Modelo conceptual del sistema.** Definir las unidades hidroestratigráficas y las fronteras del sistema. Los datos de campo serán ordenados y sistematizados junto con información del balance de agua y los datos necesarios para asignar valores a los parámetros hidráulicos y a los periodos de la modelación. Se recomienda realizar visitas de campo a la zona de estudio.
- 3.- **Selección de las ecuaciones gobernantes y de un código numérico.** Verificar las ecuaciones gobernantes como el código seleccionado. La verificación de las ecuaciones gobernantes demuestra que el modelo describe con exactitud los procesos físicos que se presentan en el medio. La verificación del código consiste en la comparación de la solución numérica generada por el modelo con una o más soluciones analíticas. Con la verificación del código se asegura que el programa de cómputo resuelve correctamente las ecuaciones que constituyen el modelo matemático.
- 4.- **Diseño del modelo.** Elaborar un modelo conceptual, a través de la discretización (diseño de la malla), definición de las condiciones iniciales y de frontera, intervalos de tiempo y selección preliminar de los valores de los parámetros hidráulicos del acuífero y de los esfuerzos hidrológicos.
- 5.- **Calibración.** Demostrar que el modelo es capaz de reproducir las cargas y los flujos observados en campo. Durante la calibración se define un conjunto de parámetros del acuífero y de esfuerzos con el que mejor se reproduce el comportamiento hidráulico observado en el campo. La calibración puede llevarse a cabo mediante métodos de ensayo y error, o bien a través de códigos numéricos para la estimación de parámetros.
- 6.- **Análisis de sensibilidad de la calibración.** Realizar un análisis de sensibilidad para establecer el efecto de la incertidumbre en el modelo calibrado.
- 7.- **Verificación del modelo.** Aplicar los parámetros y esfuerzos ya calibrados para un segundo conjunto de datos de campo no utilizados previamente.
- 8.- **La predicción.** Cuantificar la respuesta del sistema a eventos futuros. Se corre el modelo con los valores calibrados de los parámetros y esfuerzos, con excepción de aquellos esfuerzos que se considera cambian en el futuro. Se requieren estimaciones de los esfuerzos futuros para realizar la simulación.
- 9.- **El análisis de sensibilidad de la predicción.** Cuantificar el efecto de la incertidumbre en los valores de los parámetros hidráulicos del acuífero durante la predicción. Se simulan ciertos intervalos de esfuerzos estimados a futuro para examinar su impacto en las predicciones del modelo.
- 10.- **Presentación del modelo diseñado y de los resultados.** Realizar una presentación clara y concisa del diseño del modelo y de sus parámetros. Esta incluye un informe detallado de la información básica considerada en el modelo así como una descripción de los resultados, conclusiones y recomendaciones derivadas del modelo aplicado
- 11.- **Validación.** Realizar una auditoría del modelo cinco años después de haberse terminado. Se recopilan nuevos datos de campo para determinar si la predicción fue correcta.
- 12.- **Rediseño del modelo.** La validación trae nuevas respuestas sobre el comportamiento del sistema modelado, lo que puede implicar cambios en el modelo conceptual o en sus parámetros.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROTOCOLO DE MODELACION

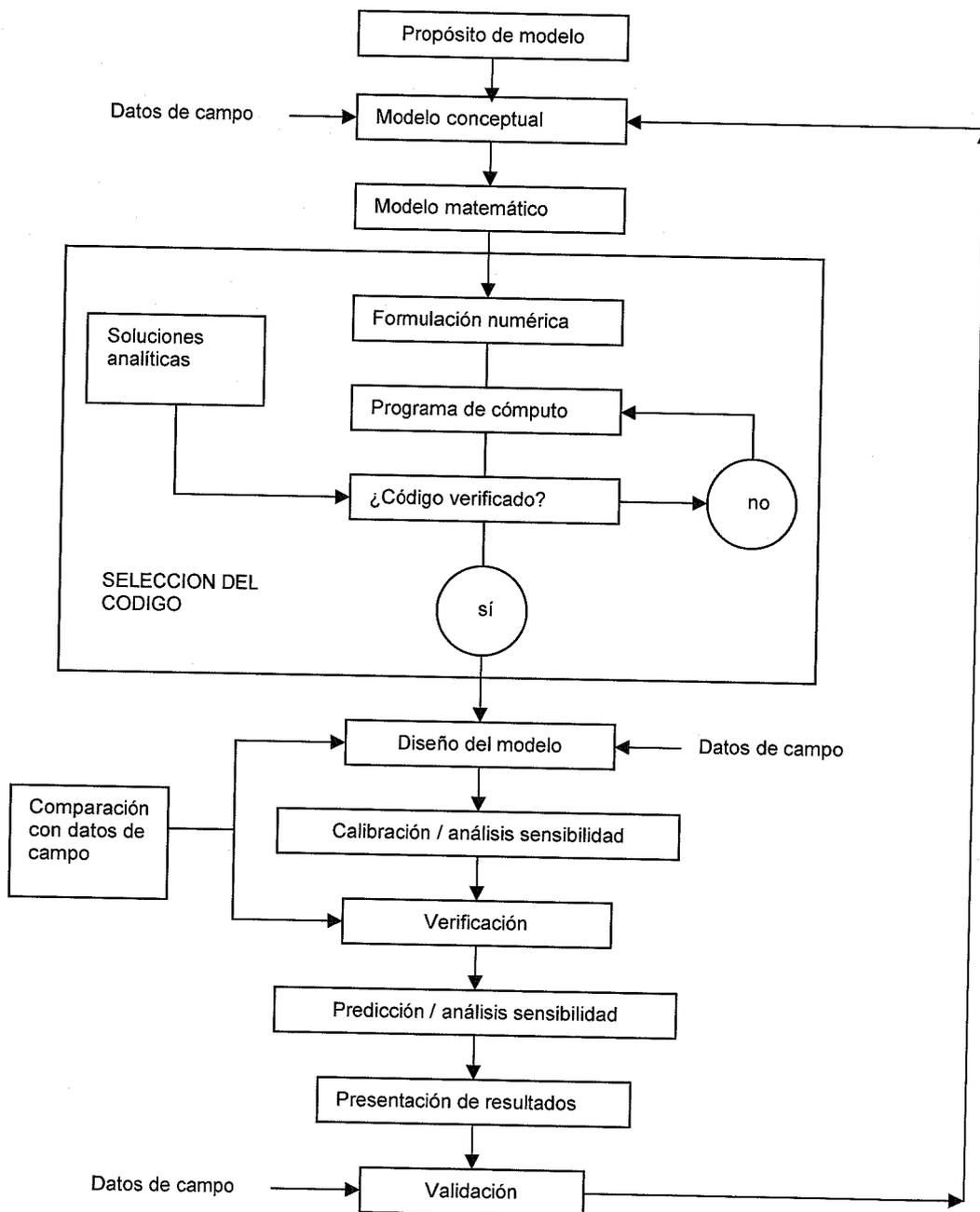


TABLA 3

NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES NO REGULADOS POR NORMA, EN AGUAS RESIDUALES DESTINADAS A LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUIFEROS

Característica	Máximo nivel (mg/l)
Microbiológicos	
<i>Cryptosporidium</i>	Ausencia o no detectable
<i>Vibrio cholerae</i>	Ausencia o no detectable
<i>Giardia lamblia</i>	Ausencia o no detectable
Conteo de Bacterias Heterotróficas (HPC)	Ausencia o no detectable
<i>Legionella</i>	Ausencia o no detectable
Enterovirus	Ausencia o no detectable
Productos de desinfección	
Bromatos	0.010
Cloritos	1.0
Ácidos haloacéticos (HAA5)	0.060
Desinfectantes	
Cloraminas (como Cl ₂)	Ausencia o no detectable
Bióxido de cloro (como ClO ₂)	Ausencia o no detectable

Contaminante	Máximo nivel (mg/l)
Químicos inorgánicos	
Antimonio	0.006
Asbesto (fibra >10 µm)	7 millones de fibras por litro
Berilio	0.004
Boro	0.3
Hierro	0.3
Plata	0.1
Selenio	0.05
Químicos orgánicos	
Acrilamida	0.0005
Alacloro	0.02
Aldicarb	0.01
Atrazina	0.002
Benzo(a)pireno (PAHs)	0.0002
Bifenilos policlorados (PCBs)	0.0005
Carbofurano	0.005
Clorobenceno	0.1
Cloruro de vinil	0.002
Dalapon	0.2
Dibromoetileno	0.00005

1,2-Dibromo-3-cloropropano (DBCP)	0.001
o-Diclorobenceno	0.6
p-Diclorobenceno	0.075
1,2-Dicloroetano	0.005
1,1-Dicloroetileno	0.007
cis-1,2-Dicloroetileno	0.07
Trans-1,2-Dicloroetileno	0.1
Diclorometano	0.005
1,2-Dichloropropano	0.005
Di(2-ethylhexyl) adipato	0.4
Di(2-ethylhexyl) ftalato	0.006
Dinoseb	0.007
Dioxina (2,3,7,8-TCDD)	0.00000003
Diquat	0.02

Contaminante	Máximo nivel (mg/l)
Químicos orgánicos	
Endothall	0.1
Endrin	0.002
Epiclorohidrina	0.002
Epóxido de heptacloro	0.0002
Estireno	0.02
Fenoles o compuestos fenólicos	0.3
Glifosato	0.7
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.001
Hexaclorobenceno	0.001
Hexaclorociclopentadieno	0.05
Metil-terbutil-éter	0.03
Metoxicloro	0.02
Oxamil (Vidato)	0.2
Pentaclorofenol	0.001
Picloram	0.5
Simazina	0.004
Tetracloroetileno	0.005
Tetracloruro de carbono	0.005
Toxafeno	0.003
2,4,5-TP (Silvex)	0.05
1,2,4-Triclorobenceno	0.07
1,1,1-Tricloroetano	0.2
1,1,2-Tricloroetano	0.005
Tricloroetileno	0.005

Contaminante	Máximo nivel
Radiactivos	
Radio 226 and Radio 228 (combinados)	5 pCi/L
Uranio	30 µg/L