

4. Metodología propuesta

Si he conseguido ver más lejos, es porque me he aupado en hombros de gigantes.

Isaac Newton



Actualmente en las normas referentes al uso y aprovechamiento del agua, se hace énfasis en el uso del agua de lluvia con fines de recarga. Sin embargo, no se cuenta con una metodología o guía para el diseño de obras civiles destinadas a la infiltración de agua de lluvia.

Con base en la bibliografía consultada, se proponen los siguientes pasos como parte de la selección y diseño de obras que permitan infiltrar el agua de lluvia con fines de recarga, o sólo como parte de un sistema de manejo de agua de lluvia, que permita evitar encharcamientos e inundaciones frecuentes en zonas urbanas y/o rurales.

4.1. Metodología

La implementación de dispositivos de infiltración en cualquier tipo de entorno, depende fundamentalmente de dos parámetros, la capacidad de infiltración del suelo y la topografía. Estos parámetros definen las trayectorias de escurrimiento del agua pluvial, siendo los elementos fundamentales para ubicar los sitios más aptos para construcción de sistemas que permitan captar e infiltrar el agua pluvial. Debido a que éste trabajo está enfocado a la infiltración en sitio en una zona urbana, si se consideran estos parámetros en algunos casos, no será necesario construir un sistema de captación y conducción, como un alcantarillado pluvial y/o conducción superficial, como sucede cotidianamente para zonas urbanas.

En este tipo de proyectos se utilizarán las condiciones naturales del sitio para favorecer la construcción de dispositivos de infiltración, que requerirán la menor cantidad de infraestructura asociada, reduciendo los costos de inversión, operación y mantenimiento.

El método descrito a continuación deberá ser evaluado en cada caso para definir los estudios necesarios a detalle, con base en el conocimiento del medio físico. En la Figura 4.1 se muestra la relación y jerarquía de actividades para este tipo de proyectos y a continuación una descripción de estas.

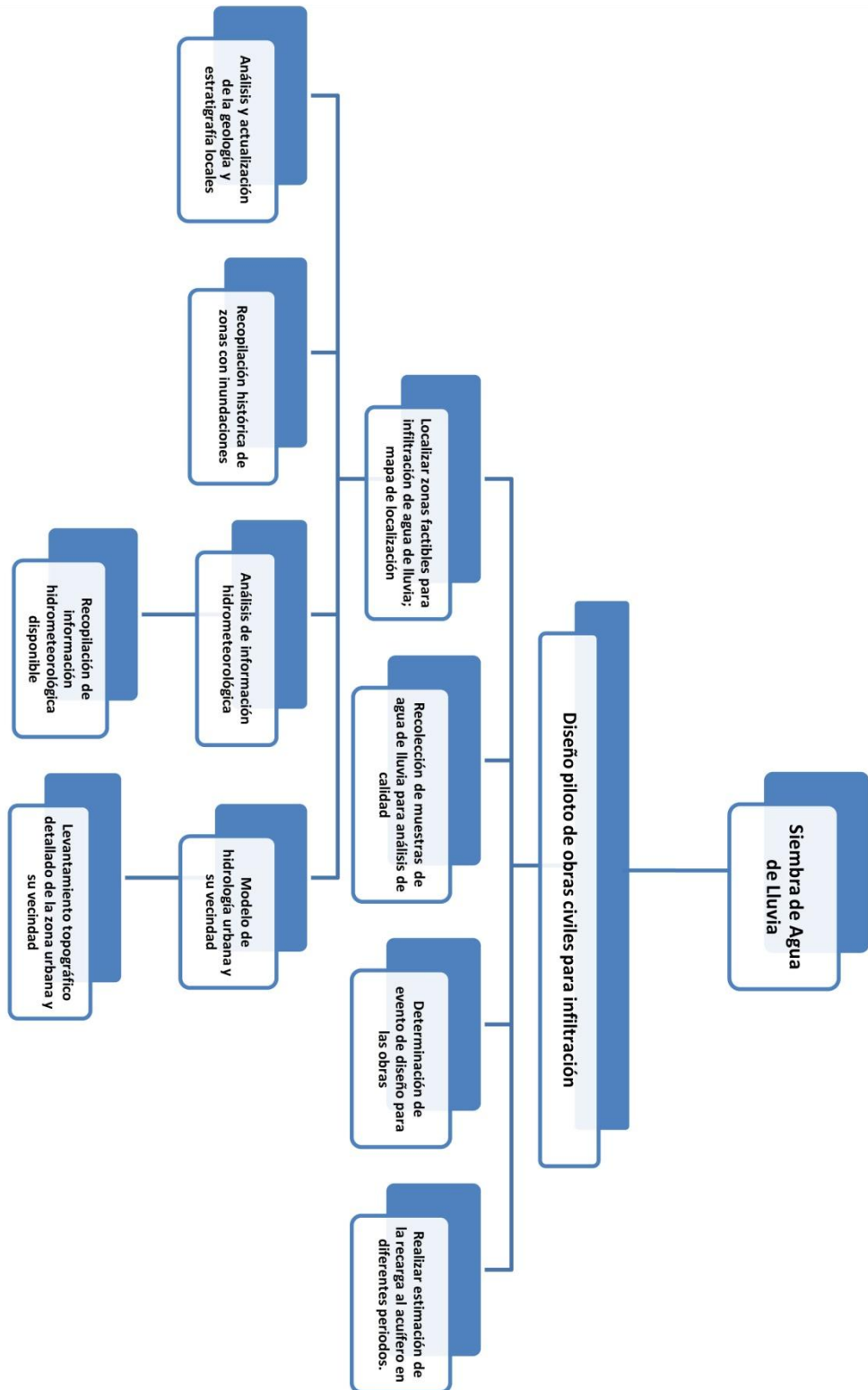
- Realizar un levantamiento topográfico a detalle de las rasantes de las vialidades. La justificación de esto se debe a que, cuando se tienen levantamientos con una resolución de 10 m, entre dos curvas pueden existir puntos con una elevación menor mayor que no están siendo considerados en el análisis. Estas mediciones a detalle son decisivas para generar las trayectorias preferenciales que seguirá el agua pluvial.



- Elaborar, como producto del análisis de los levantamientos topográficos, un modelo digital de elevación de la zona y su vecindad, para delimitar microcuencas urbanas y ubicar zonas potenciales de inundación, y como consecuencia definir zonas probables para la instalación de dispositivos para infiltración y/o conducción de agua pluvial, como parte de una primera aproximación.
- Analizar y comparar la base de datos histórica, de los puntos con inundaciones frecuentes, con los resultados del modelo digital de elevación.
- Recopilar y analizar la información hidrometeorológica para la determinación del evento de diseño.
- Actualizar y verificar a detalle la información geológica y estratigráfica de la zona de estudio.
- Recolectar y analizar muestras del agua a infiltrar para determinar su calidad, siguiendo los parámetros establecidos en la NOM-015-CONAGUA-2007, y algunos sugeridos por el equipo de trabajo.
- Seleccionar los sitios más aptos para construir un dispositivo para infiltración de agua pluvial, con base en los resultados del análisis del modelo digital de elevación y criterios como capacidad de infiltración, distancia a fuentes de contaminación, separación de fuentes de aprovechamientos subterráneos, etc. El producto de ésta actividad estará plasmado en un mapa.
- Diseñar y costear la obra civil para infiltración de agua pluvial, así como las obras auxiliares necesarias para su correcto funcionamiento.
- Implementar un sistema de monitoreo a través de piezómetros⁹. Estos instrumentos tendrán dos funciones, la verificación estratigráfica y la medición del comportamiento piezométrico.
- Realizar la estimación de la recarga inducida al acuífero a través de las obras de infiltración. Esta actividad se basa en el modelo matemático de predicción desarrollado para el acuífero en cuestión.

⁹ Un piezómetro o pozo de observación es un pozo especialmente perforado para medir los niveles de agua en el acuífero y/o muestrear agua con fines de análisis.

Figura 4.1 Diagrama de flujo para la implementación de dispositivos de infiltración artificial.



Fuente: Elaboración propia



Debido a que no en todos los casos se cuenta con la información topográfica necesaria para elaborar un modelo digital de elevación, será posible utilizar información histórica disponible de los organismos operadores o agencias de protección civil locales, donde se verifique cuáles son los lugares con más propensión a inundarse.

4.2. Criterios de selección

Para llevar a cabo la selección de un sitio donde sea posible implementar un dispositivo de infiltración de agua, se deben tomar en cuenta diversos criterios de ubicación, algunos de ellos descritos en la NOM-015-CNA-2007, y otros tomados de la bibliografía consultada.

4.2.1. Capacidad de Infiltración

La capacidad de infiltración o caudal por unidad de superficie es una de las variables principales que deben tomarse en cuenta al desarrollar un proyecto de recarga. Este parámetro varía en función del gradiente hidráulico¹⁰ en la obra de infiltración, calidad del agua, temperatura y permeabilidad natural del terreno. En función del tipo de obra para llevar a cabo la infiltración tendrá más importancia la permeabilidad¹¹ vertical que la horizontal y viceversa¹².

Para los sistemas de recarga en superficie cuanto menor es la capacidad de infiltración, más superficie deben ocupar las obras. Por otro lado, cuando se tienen terrenos muy permeables se corre el riesgo de colmatarse¹³ el suelo si no se toman las medidas necesarias durante el desarrollo de la obra, como puede ser mediante la instalación de filtros de gravas y arenas. El costo de estas obras debe considerar un presupuesto a largo plazo para su mantenimiento.

En Estados Unidos, Alemania y Holanda se han implementado sistemas de recarga en superficie y se ha observado que la permeabilidad en función del tipo de suelo varía desde unos pocos centímetros al día (0.12 m/día - La Haya) hasta el orden de metros (2.9 metros/día - Santa Ana, California)¹⁴. Por otro

¹⁰ Gradiente es el incremento de una variable entre dos puntos del espacio en relación a la distancia entre esos dos puntos. En el caso del gradiente hidráulico, se hace referencia a la variación en la energía que tiene el agua o flujo en dos puntos. Estando compuesta por la energía correspondiente a su posición con respecto a un eje horizontal de referencia (energía potencial), presión del fluido y a la energía debida a la velocidad del flujo.

¹¹ La permeabilidad está definida como la capacidad de un material para que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna.

¹² Custodio, p. 2008.

¹³ La colmatación se relaciona con la acumulación de sedimentos. En el caso de los suelos se dice que están colmatados cuando su permeabilidad se ha visto reducida debido a la acumulación de partículas entre sus poros.

¹⁴ Custodio, p. 2010.



lado, diversos autores¹⁵ han reportado valores de capacidad de infiltración para distintos tipos de suelo, mostrados en la Tabla 4.1. Cabe destacar que en estos sitios, los acuíferos son de tipo somero y el nivel freático se encuentra a pocos metros de la superficie del terreno.

Tabla 4.1 Capacidad de Infiltración para diversos tipos de suelo.

Capacidad de infiltración	Tipo de terreno
> 1.2 m/día	Gravas, arenas y cantos, arena fina.
0.6 a 1.2 m/día	Limos arenosos (con o sin cantos y/o gravas), limos.
< 0.6 m/día	Limos arcillosos, limos arenosos, arcillas limosas.

Fuente: ASCE, 1972

La capacidad del suelo para disponer agua residual o pluvial debe ser determinada por un estudio que defina sus características y la capacidad de infiltración o percolación. Este tipo de pruebas pueden llevarse a cabo de forma manual, mediante pequeñas excavaciones a cielo abierto (pozos de prueba), como las realizadas para extraer material destinado a pruebas geotécnicas, o bien con ayuda de equipo como son los permeámetros de aros concéntricos o permeámetros de carga constante, como el permeámetro de Guelph¹⁶.

4.2.1.1. Prueba Manual

A continuación se describe un método manual para determinar la permeabilidad del suelo donde se planea construir un dispositivo para infiltración de agua, ya sea pluvial o residual¹⁷.

Henry Ryon desarrolló este método a principios del siglo XX, con base en investigaciones que desarrolló en sistemas de infiltración de agua, en el estado de Nueva York. Este método ha sido utilizado en todo el mundo, y ha sufrido pocos cambios de un sitio a otro¹⁸, permaneciendo su concepto fundamental.

Al llevar a cabo una prueba con este método se debe tener especial cuidado en saturar el suelo. Ya que la saturación es esencial para compensar la expansión del suelo, simulando así las condiciones desfavorables de operación de la obra

¹⁵ ASCE: Ground water management: capability of extraction and recharge facilities: alternatives plans for groundwater management. Am. Soc. Civil Engineers: Manuals and Reports on Engineering Practice no. 40, 1972, Washington.

¹⁶ Ver anexo A.4

¹⁷ Environmental Engineering and Sanitation. Joseph A. Salvato.

¹⁸ Ídem.



civil a diseñar y para obtener resultados reproducibles y una razón de infiltración relativamente constante para el pozo de prueba.

La confiabilidad de la prueba de infiltración se incrementa en función de una evaluación detallada de la información disponible por personal calificado (las características del suelo en general, la investigación del sitio y perfil estratigráfico). La capacitación y experiencia en geotecnia y/o geología son muy útiles para la interpretación de los resultados de la prueba.

El período de tiempo requerido para llevar a cabo la prueba de infiltración varía en función del tipo de suelo, siendo el método más confiable aquel donde se realiza la prueba en excavaciones a cielo abierto que han permanecido con agua al menos 4 horas, preferentemente la noche anterior, excepto donde se tienen suelos con arena y grava.

Los coeficientes de infiltración deben estimarse preferentemente con los datos de una prueba realizada en pozos que han permanecido con agua durante la noche anterior y se debe realizar un número de pruebas adecuado para hacer válido el resultado. Algunas dependencias gubernamentales en Estados Unidos de América solicitan que el estudio se lleve a cabo en la época de lluvias o después de esta para minimizar los errores en las pruebas.

La prueba de infiltración se lleva a cabo como se describe a continuación.

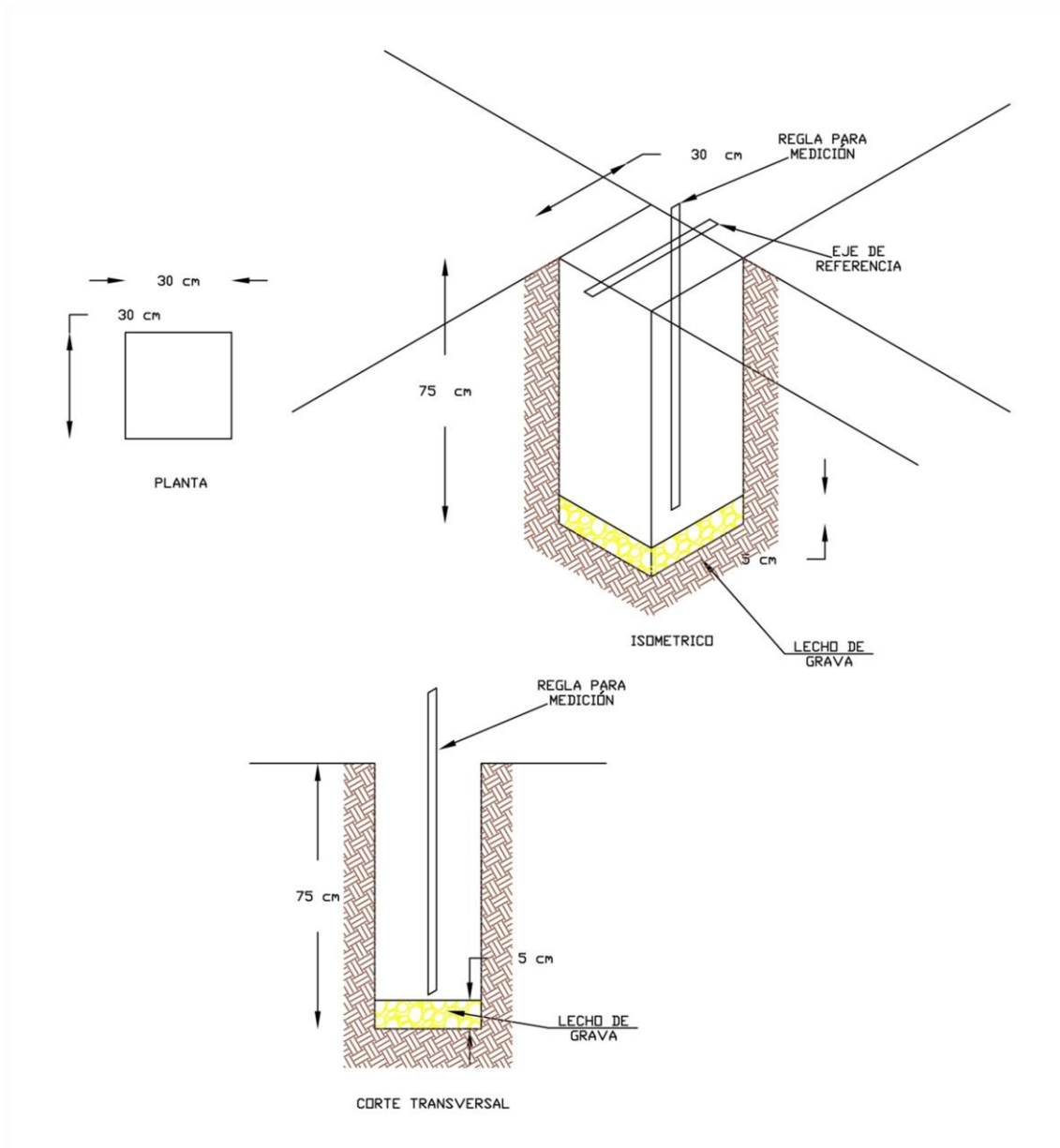
1. Excavar uno o varios pozos de prueba (excavación a cielo abierto) de 30 cm por lado¹⁹, dependiendo del área de proyecto, y de preferencia a la profundidad que tendrá el lecho del dispositivo de infiltración superficial propuesto. Limpiar el interior del pozo para eliminar todo el material cementado durante la excavación. Una profundidad promedio para el pozo son 75 cm y de preferencia deberá colocarse una cama de 5 cm de grava en el fondo del pozo.
2. Verter lentamente alrededor de 30 cm de agua sobre la grava colocada, para evitar socavación. Dejar el agua en reposo durante unas 4 horas, agregando más agua según sea necesario, y proceder como se explica en el paso 3. Si el suelo es muy absorbente, permita que el agua se infiltre. Si el suelo contiene arcilla y limo fino, se deberá saturar toda la noche. Añadir otra lámina de 25 cm de agua en el pozo y proceder como en el paso 3. El tiempo de ejecución de la prueba puede disminuirse si

¹⁹ Área equivalente a 1 ft².



se tienen varios pozos de prueba llenos con agua desde la noche anterior, en el sitio elegido.

Figura 4.2 Esquema de un pozo para la prueba de infiltración.



Fuente: Modificado de Salvato, 2003.

3. Medir la velocidad de infiltración del agua. Esto se puede hacer mediante la colocación de una pieza de madera horizontal sobre la boca del pozo, Figura 4.2, (se debe tener cuidado para fijarla en una posición firme), este marco improvisado permitirá tener un valor de referencia para medir la altura de la superficie del agua, con respecto al fondo del pozo; para ello se utilizará una pieza de madera en posición vertical o



bien un flexómetro. La prueba se deberá repetir en intervalos de 1 minuto, si el nivel del agua baja rápidamente, o en intervalos de 5 a 10 minutos si el nivel de agua baja lentamente. La altura del agua deberá estar por lo menos 10 cm sobre la cama de grava. Cuando al menos tres mediciones muestren un descenso similar en el nivel del agua se considera que la prueba se ha completado, ya que para efectos prácticos se ha alcanzado una condición de equilibrio.

4. Se debe repetir el paso anterior al menos tres veces, siendo preferible contar con seis ensayos. Será necesario excavar de 1 a 1.5 metros más, al menos, para garantizar que en las capas subyacentes no se encuentre el nivel freático, una capa de roca o bien capas de suelo más compactas, ya que esto será fundamental en el funcionamiento del dispositivo de infiltración.

Cuando a juicio del personal que lleva a cabo la prueba, con asesoría de un experto, no se obtengan resultados satisfactorios en las dos primeras pruebas deberá buscarse otro sitio para llevar a cabo estos trabajos.

Los resultados de la prueba de infiltración deberán expresarse como un descenso del nivel de agua en un período de tiempo dado, siendo los más comunes: mm/h y m/día.

4.2.2. Distancia Mínima a Fuentes de Abastecimiento

El agua subterránea es un recurso que en algunas zonas es la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo humano. Por su ubicación es difícil que se contamine, sin embargo una vez que su calidad se ha visto afectada, su recuperación se vuelve costosa, inhabilitando en muchos casos el recurso para consumo humano.

En la normatividad vigente no se establece de manera directa la distancia que deben guardar estos dispositivos con respecto a los aprovechamientos de agua subterránea, pozos profundos, sin embargo refiere a la NOM-003-CNA-1996, donde se dan los criterios de ubicación de pozos de extracción. En esta norma se propone una distancia mínima de 30 metros entre pozos y fuentes potenciales de contaminación. En la bibliografía revisada sobre el tema, recomiendan separaciones que llegan a 150 metros²⁰.

²⁰ Underground Injection Wells for Stormwater. Best Management Practices Manual. Oregon Association of Clean Water Agencies.



Para verificar este punto se recomienda realizar un mapeo de los aprovechamientos subterráneos más cercanos a la zona donde se pretende implementar dispositivos de infiltración.

4.2.3. Fuentes Potenciales de Contaminación - HOTSPOTS

Un Hotspot se define como un uso de suelo con actividad que genera altas concentraciones de hidrocarburos, metales traza o tóxicos que han sido encontrados en la composición típica de los escurrimientos de agua pluvial.

El agua pluvial proveniente de este tipo de zonas no puede ser infiltrada directamente al subsuelo. En consecuencia, los dispositivos de infiltración no deberán desarrollarse en estos sitios. Una alternativa podrá ser el tratamiento del agua pluvial para remover los contaminantes presentes²¹.

Como un ejemplo de estas prácticas, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos²² en su Programa Nacional para la Eliminación de Contaminantes en las Descargas²³, señala las áreas y actividades en las cuales debe contarse con un programa para la protección y manejo del agua de lluvia. En la Tabla 4.2 se muestran los usos de suelo y actividades considerados como fuentes de contaminación²⁴.

4.2.1. Área Disponible

Como se mencionó anteriormente, el dispositivo que se quiera instalar y por tanto la capacidad de infiltración dominante para el tipo de infiltración asociada, son factores determinantes para estimar la superficie requerida para implementar un dispositivo de esta naturaleza.

²¹ Maryland Stormwater Design Manual, 2000.

²² Environmental Protection Agency

²³ National Pollutant Discharge System

²⁴ Potential Stormwater Hotspots, Pollution Prevention, Groundwater Concerns and Related Issues. Minnesota Stormwater Manual.

**Tabla 4.2 Ejemplos de usos de suelo potencialmente contaminantes**

Zonas para el almacenamiento de vehículos viejos y de reciclaje*
Estaciones de abastecimiento de combustible
Áreas para mantenimiento de equipo y vehículos
Áreas para limpieza de vehículos y equipo*
Áreas de almacenamiento de vehículos (autobuses, camiones, etc.)*
Zonas industriales
Áreas de mantenimiento y servicio en marinas
Sitios de almacenamiento de líquidos en exteriores*
Zonas de carga/descarga de mercancía al aire libre
Instalaciones donde se generan o almacenan materiales peligrosos*
Zona de almacenamiento de contenedores
Otros usos o actividades designadas por la autoridad pertinente.

Fuente: Potential Stormwater Hotspots Pollution Prevention, Groundwater Concerns and Related Issues. Minnesota Stormwater Manual.

* indica que el uso de suelo o actividad requieren de un programa para la prevención de la contaminación del agua de lluvia conforme a lo establecido en el SPDES programa de la EPA²⁵.

4.2.2. Profundidad del nivel freático

Como se mencionó anteriormente, el agua subterránea es un recurso que una vez afectado, no puede recuperar su calidad inicial fácilmente.

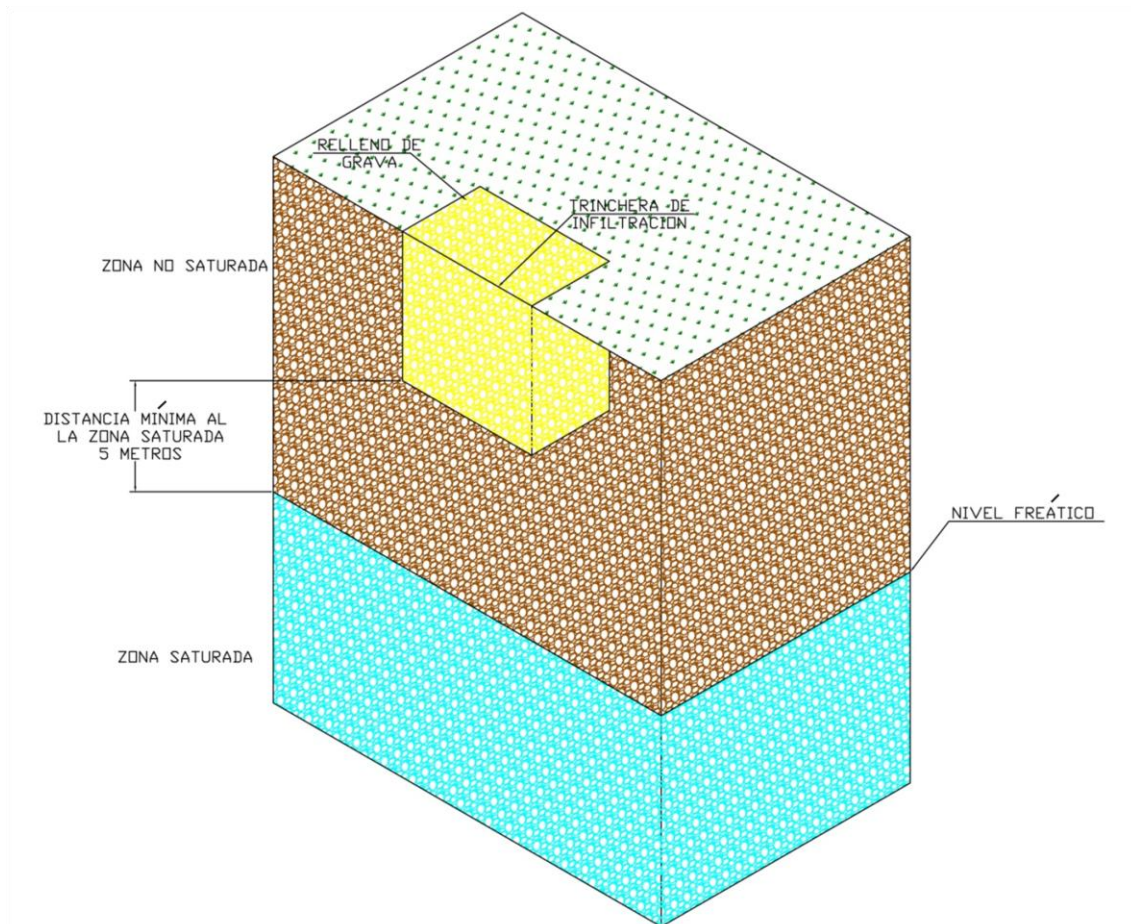
Si no se tienen los cuidados necesarios para ubicar un dispositivo de infiltración o construirlo, puede convertirse en un punto de ingreso de contaminación al subsuelo. Debido a esto, en la normatividad se establece una distancia mínima entre el fondo de los dispositivos de infiltración y el nivel freático. La EPA sugiere una separación de al menos 1.2 metros (4 pies), mientras que la CONAGUA, en la NOM-015-CONAGUA-2007 establece una separación mínima de 5 metros.

Para estimar la profundidad del nivel freático con una exactitud aceptable, deberán verificarse los niveles dinámico y/o estático en pozos o piezómetros cercanos al sitio propuesto.

²⁵ New York State Stormwater Desing Manual.



Figura 4.3 Distancia al nivel freático. Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Conos de abatimiento

Como otro criterio de ubicación para la infiltración artificial de agua de lluvia, se propone construirlos cerca de conos de abatimiento de los niveles piezométricos, para que así el agua sea succionada por el efecto que causan los pozos de la zona y sea posible acelerar la incorporación del agua al sistema acuífero. Esta condición no es necesario que se cumpla para determinar la ubicación de un dispositivo de infiltración, ya que no en todas las zonas se tendrá un cono de abatimiento cercano.

4.2.4. Integración al paisaje

Como se mencionó anteriormente, los dispositivos de infiltración deberán integrarse al entorno de tal manera que cumplan también una función ornamental, o bien que durante la época de estiaje no se conviertan en un objeto que agrada visualmente a la comunidad. Sobre este punto se muestran



a continuación algunas imágenes de dispositivos de infiltración que se diseñaron para estar acordes con los sitios donde eran necesarios.

Figura 4.4 Trinchera de infiltración ubicada en un estacionamiento.



Fuente: Portland Stormwater Management Manual.

4.3. Dimensionamiento

4.3.1. Evento de Diseño

4.3.1.1. Período de retorno

Los sistemas de alcantarillado pluvial se diseñan para desalojar los escurrimientos provocados por un evento de precipitación determinado, con un periodo de retorno²⁶ que varía en función del tipo de vialidad o zona donde se encuentran.

²⁶ El periodo de retorno de un evento hidrológico se define como el intervalo promedio de tiempo dentro del cual ese evento puede ser excedido una vez en promedio.



Figura 4.5 Trinchera de infiltración ubicada en banqueta (1).



Fuente: Portland Stormwater Management Manual.

En el manual de Alcantarillado Pluvial de la Comisión Nacional del Agua se proponen distintos períodos de retorno en función del tipo de infraestructura donde se ubiquen los sistemas para el desalojo del agua pluvial, en la Tabla 4.3 se muestran éstos períodos de retorno para diversos usos de suelo.

Como puede observarse en la tabla anterior, los períodos de retorno están en el intervalo entre 1.5 y 10 años, ya que para estos eventos se tiene un funcionamiento adecuado de los sistemas durante lluvias ordinarias, aunque se tengan encharcamientos e inundaciones que provoquen daños ligeros y molestias a la población durante lluvias extraordinarias.

Aunado a ello, para períodos mayores a 10 años, las obras se vuelven más costosas y la mayor parte del tiempo funcionará por debajo de su capacidad, por lo que se ha optado en utilizar períodos más cortos que brindan una protección adecuada para lluvias ordinarias²⁷.

Por otro lado, en la Tabla 4.4 se muestran los períodos de retorno recomendados para distintos tipos de vialidades.

²⁷ Alcantarillado Pluvial. Comisión Nacional del Agua. P. 192.



Con base en la información mostrada anteriormente se deberá elegir un período de retorno adecuado para el diseño de las obras de infiltración en función de la infraestructura aledaña a la que brindará servicio.

Figura 4.6 Trinchera de infiltración ubicada en banqueta (2).



Fuente: Portland Stormwater Management Manual.

4.3.1.2. Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia

En cuestión de proyectos de diseño hidrológico como es el diseño de infraestructura pluvial, dentro de las primeras actividades que deben llevarse a cabo es la determinación del evento de diseño. La forma más común de hacerlo es utilizar una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre la intensidad de lluvia (o profundidad), la duración y las frecuencias o períodos de retorno apropiados para la obra y el sitio. La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo.

Las relaciones de intensidad-duración-frecuencia pueden expresarse como ecuaciones, a fin de evitar la lectura de intensidades de lluvia en gráficas. La ecuación general para expresar estas relaciones es

$$i = \frac{kT^m}{(d + c)^n}$$

donde k, m, n y c son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple.

Figura 4.7 Trinchera de Infiltración habilitada como jardinera (1).



Fuente: Portland Stormwater Management Manual.

Debido a que para cada caso en particular, se debería llevar a cabo un análisis detallado de la información pluviométrica existente, siendo un proceso que consume gran cantidad de tiempo, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha publicado isoyetas de precipitación²⁸, con eventos de precipitación para distintos períodos de retorno y duración para todos los estados de la República Mexicana. Para realizar una estimación de manera rápida y eficaz, ésta información brinda un apoyo para el predimensionamiento de estructuras. En la Figuras 3.11 a 3.13 se muestran las isoyetas de precipitación para el Estado de Guanajuato, con un evento de diseño de dos horas de duración y distintos períodos de retorno.

²⁸ <http://dgst.sct.gob.mx/fileadmin/Isoyetas/>.



En el anexo 7.1 se describe la metodología que se utilizó para obtener la ecuación de Intensidad-Duración-Frecuencia para el municipio de León, en la zona urbana, correspondiendo la información utilizada a la estación Los Castillos.

$$I_t^T = \frac{1544.07 * \log(10^{0.49} T^{0.51})}{(t + 10)^{0.82}}$$

4.3.2. Metodología para el dimensionamiento

A continuación se describen los pasos básicos para el dimensionamiento de estructuras de infiltración, similar al utilizado para dimensionamiento de obras de captación y conducción de agua pluvial convencionales.

1. Como primer paso para el dimensionamiento de una estructura de infiltración o captación de agua pluvial, deberá definirse la microcuenca o área de aportación.
2. Una vez que se ha definido el área de aportación, se deberá trazar la trayectoria más larga hacia el punto de captación.
3. Con base en la trayectoria definida, se deberá determinar la pendiente media de la trayectoria de escurrimiento. Como en las vialidades por donde escurre el agua no se tiene una pendiente constante, deberá dividirse la trayectoria para poder obtener una ponderación de la pendiente, mediante la ecuación siguiente.

$$S = \frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \frac{l_3}{\sqrt{S_3}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{S_n}}}$$

donde

S es la pendiente media del escurrimiento;

L es la longitud total de la trayectoria en metros;

S_i pendiente del tramo i;

l_i longitud del tramo i.

Se calcula el tiempo de concentración con la ecuación de Kirpich

$$t_{cs} = 0.0003245 \left(\frac{L}{S}\right)^{0.77}$$



donde

L es la longitud de la trayectoria;

S la pendiente media en decimales y

t_{cs} el tiempo de concentración superficial en horas.

Figura 4.8 Trinchera de Infiltración habilitada como jardinera (2).



Fuente: Portland Stormwater Management Manual.

5. Se iguala el tiempo de concentración superficial a la duración del evento de diseño y con la ecuación de Intensidad-Duración-Frecuencia se estima la intensidad de precipitación.

6. Se estima el gasto pluvial con la ecuación del método racional

$$Q = 2.778 * C * i * A$$

donde

Q es el gasto de escurrimiento, en m^3/s ;



C - coeficiente de escurrimiento;

i - intensidad de precipitación, mm/h;

A - área de aportación, en hectáreas.

Figura 4.9 Filtro de arena como lecho de infiltración (1).



Fuente: Portland Stormwater Management Manual.

7. Una vez que se tiene el gasto pluvial que llegará al punto de captación ya se podrán definir las dimensiones de la obra, de tal manera que sea capaz de desalojar el caudal de diseño.



Figura 4.10 Filtro de arena como lecho de infiltración (1).



Fuente: Portland Stormwater Management Manual.

Tabla 4.3 Periodos de Retorno para Diseño de Sistemas de Alcantarillado Pluvial.

Tipo de uso de suelo	Período de retorno (años)
Zona comercial	5
Zona industrial	5
Edificios públicos	5
Zona residencial multifamiliar de alta densidad (> 100 hab/ha)	3
Zona residencial unifamiliar y multifamiliar de baja densidad	1.5
Zona recreativa de alto valor e intenso uso por el público	1.5
Otras áreas recreativas	1

Fuente: CONAGUA.

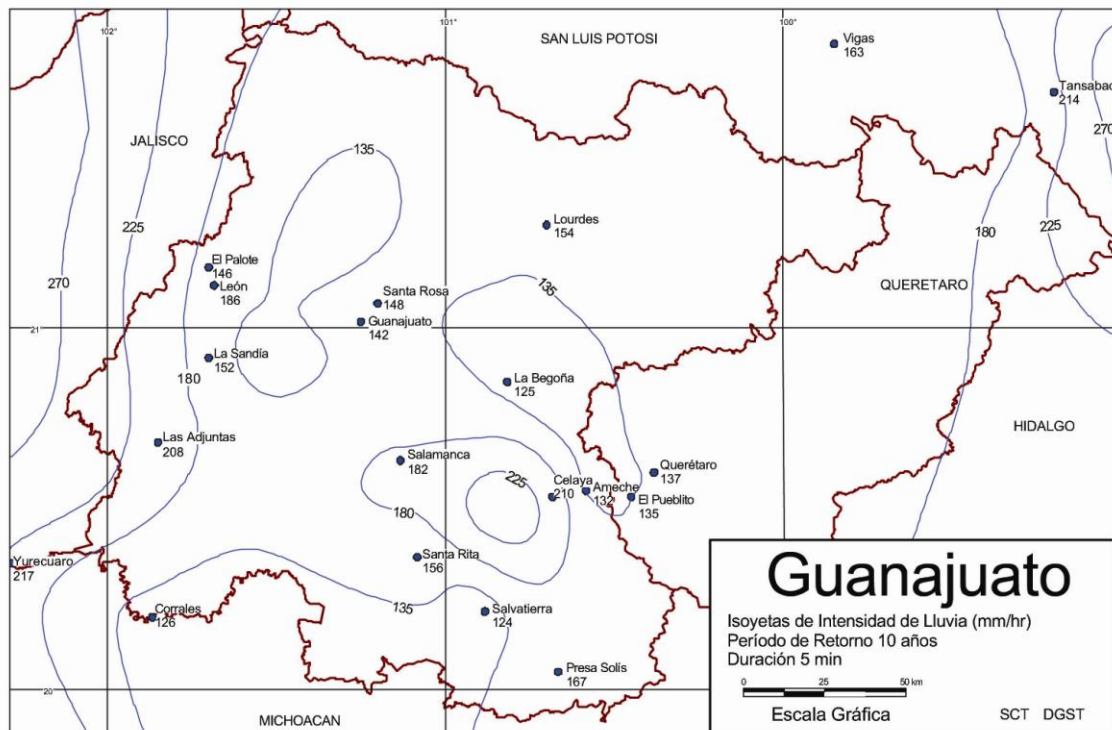


Tabla 4.4 Periodos de Retorno para Diseño de Sistemas de Alcantarillado Pluvial.

Vialidad	Período de retorno (años)
Arteria – Autopistas urbanas y avenidas que garantizan la comunicación básica de la ciudad	5
Distribuidora – Vías que distribuyen el tráfico proveniente de la vialidad o que la alimentan	3
Local – Avenidas y calles cuya importancia no traspasa la zona servida	1.5
Especial – Acceso a instalaciones de seguridad nacional y servicios públicos vitales	10

Fuente: CONAGUA.

Figura 4.11 Isoyetas de precipitación en el estado de Guanajuato para una tormenta de 5 minutos de duración con un periodo de retorno de 10 años.



Fuente: SCT

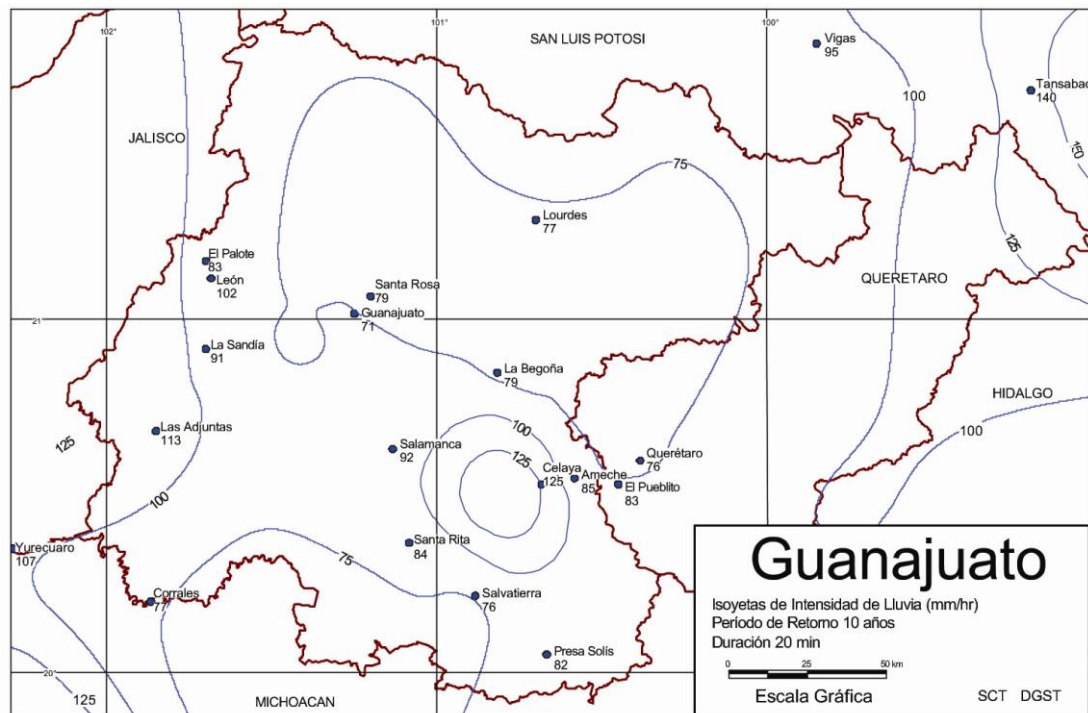


Figura 4.12 Isoyetas de precipitación en el estado de Guanajuato para una tormenta de 10 minutos de duración con un período de retorno de 10 años.



Fuente: SCT

Figura 4.13 Isoyetas de precipitación en el estado de Guanajuato para una tormenta de 20 minutos de duración con un período de retorno de 10 años.



Fuente: SCT