

# Manual de técnicas para el mejoramiento de la recarga artificial de acuíferos



PRODUCIDO POR EL  
PROGRAMA DE GESTIÓN  
INTEGRADA DEL RECURSO  
HÍDRICO (PROGIRH) DEL  
SENARA - COSTA RICA



DOCUMENTO TÉCNICO





# Manual de técnicas para el mejoramiento de la recarga artificial de **acuíferos**



PRODUCIDO POR EL PROGRAMA DE GESTIÓN  
INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO (PROGIRH)  
DEL SENARA - COSTA RICA

DOCUMENTO TÉCNICO





# Tabla de contenido

<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	3
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	4
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	5
CAPÍTULO 1	
<b>CONSIDERACIONES TÉCNICO-GEOLÓGICAS DE LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS</b> .....	7
1.1 Estudios básicos de diseño de sistemas de recarga inducida.....	7
1.1.1. Evaluación de información topográfica.....	7
1.1.2. Evaluar las características hidrogeológicas.....	9
1.2 Metodología de diseño.....	9
1.2.1. Hidrograma Unitario.....	10
1.2.2. Hidrograma Unitario Sintético (UHS) .....	11
1.2.3. Información meteorológica.....	12
CAPÍTULO 2	
<b>PROPUESTA DE ESTRUCTURAS</b> .....	17
2.1 Estructuras de superficie permeables.....	18
2.1.1 Concretos permeables.....	18
2.1.2 Adoquines.....	25
2.2 Estructura de captación e infiltración.....	29
2.2.1 Pozos de infiltración inducida.....	29
2.2.2 Canales de conducción con base permeable.....	34
2.2.3 Fosa de retención de escorrentía con pozo de infiltración.....	38
2.2.4 Fosa de retención de escorrentía con piso permeable.....	43
2.2.5 Jardín de lluvia.....	47
2.2.6 Reservorios subterráneos para aguas pluviales.....	52
2.2.7 Dique para la retención e infiltración de la escorrentía.....	55
CAPÍTULO 3	
<b>EXPERIENCIAS EN OTROS PAÍSES</b>	
3.1 Experiencias en México.....	63
3.2 Experiencias en Argentina.....	66
3.3 Experiencias en Estados Unidos.....	69
3.4 Experiencias en Colombia.....	73
3.5 Experiencias en España.....	76
3.6 Experiencia en Chile.....	78
3.7 Experiencia en Francia.....	81
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	85
<b>ANEXOS</b> .....	89

## DOCUMENTO TÉCNICO

Elaboración técnica:  
Ing. Allan González Gómez  
Director de proyecto: Isoges Consultores  
San José, 2018

Revisión y aprobación:  
Geol. Clara Luz Agudelo Arango, Senara  
Geol. Roberto Ramírez Chavarría, Senara



## Lista de cuadros

Cuadro 1. Datos de lluvia máxima en mm para diferentes duraciones en minutos.....	13
Cuadro 2. Datos de intensidad máxima en mm por hora para diferentes duraciones en minutos.....	14
Cuadro 3. Datos de intensidad máxima ordenadas por período de retorno en años para diferentes duraciones en minutos.....	15
Cuadro 4. Dosificación de los elementos en porcentaje para concreto permeable .....	19
Cuadro 5. Costos de implementación utilizando concreto permeable.....	23
Cuadro 6. Eficiencia del concreto permeable con distintas preparaciones.....	24
Cuadro 7. Detalle de costo aproximado de un área de 180 metros cuadrados de superficie de zacate block.....	28
Cuadro 8. Detalle de costo aproximado de pozo de inducción de infiltración con pozo de diámetro de 600 milímetros.....	32
Cuadro 9. Detalle de costo aproximado de pozo de inducción de infiltración con pozo de diámetro de 900 milímetros.....	32
Cuadro 10. Detalle de costo aproximado de canal de base permeable con una longitud de 25 metros un ancho de base de 0,75 metros.....	37
Cuadro 11. Detalle de costo aproximado de una fosa de retención de escorrentía con pozo de inducción de infiltración con pozo de diámetro de 600 milímetros.....	41
Cuadro 12. Detalle de costo aproximado de una fosa de retención de escorrentía con pozo de inducción de infiltración con pozo de diámetro de 900 milímetros.....	42
Cuadro 13. Detalle de costo aproximado de una fosa de retención de escorrentía con fondo permeable.....	46
Cuadro 14. Desglose de costos de jardín de lluvia con una relación 60% arena y 40% piedra quintilla.....	50
Cuadro 15. Desglose de costos de jardín de lluvia con una relación 40% arena y 60% piedra quintilla.....	50
Cuadro 16. Desglose de costos de construcción de diques utilizando tres tipos de materia de la estabilización.....	59
Cuadro 17. Desglose de costos de construcción de diques utilizando dosificaciones de materiales.....	60
Cuadro 18. Infiltración promedio recomendada.....	60
Cuadro 19. Datos obtenidos de estudios en España.....	61
Cuadro 20. Proyectos implementados de recarga artificial a junio de 2016 en Chile.....	80

## Lista de figuras

Figura 1. Hidrograma y sus componentes.....	10
Figura 2. Corte de una sección de una sección transversal de una capa de concreto permeable.....	20
Figura 3. Detalle de pozo de infiltración inducida.....	31
Figura 4. Norma específica para el cemento recomendado.....	35
Figura 5. Detalle del canal de infiltración inducida.....	36
Figura 6. Detalle de la trampa de sedimentos para canal de infiltración inducida.....	36
Figura 7. Detalle de fosa con pozo de infiltración inducida.....	40
Figura 8. Detalle de la fosa de piso permeable para inducción de la infiltración.....	45
Figura 9. Detalle de la sección transversal del jardín de lluvia.....	49



Figura 10. Esquema ampliado de una obra de jardín de lluvia.....	49
Figura 11. Esquema de un sistema subterráneo de almacenamiento e infiltración de aguas pluviales.....	53
Figura 12. Esquema de un sistema subterráneo de almacenamiento de aguas pluviales para ser utilizados como fuente de agua para actividades relacionadas con consumo de agua.....	54
Figura 13. Esquema de pozos absorción y de inyección.....	64
Figura 14. Cosecha de lluvia y pozo de extracción.....	66
Figura 15. Diseño de una perforación de recarga de acuífero y de extracción de agua.....	67
Figura 16. Sistema de pozos araña.....	68
Figura 17. Proyectos recarga acuífera CAP.....	70
Figura 18. Ejemplo de un bioretenedor con infiltración en área urbana.....	72
Figura 19. Configuración jardines lluvia.....	75
Figura 20. Investigación Recarga artificial de acuíferos cuencas del Río Choapa y Quilimarí, Región de Coquimbo.....	79
Figura 21. Ubicación general de Obras de Recarga Sector CH-4, Panguecillo.....	79
Figura 22. Ubicación General de Zanjas de infiltración para Recarga en Sector CH-3, Chalinga.....	80

## Lista de anexos

Anexo 1. Términos de referencia para la ejecución de estudios hidrogeológicos adaptado de SENARA 2017.....	90
Anexo 2. Valores de conductividad hidráulicas expresada en metros / día.....	94
Anexo 3. Determinación de número de curva.....	95
Anexo 4. Desarrollo del método de Dyck y Peschke para generar las curvas de intensidad-duración-frecuencia.....	101
Anexo 5. Ubicación de las estaciones meteorológicas con que se determinaron las Curvas IDF - IMN (2011) .....	105
Anexo 6. Ejemplo práctico de determinación de caudal máximo.....	106
Anexo 7. Desarrollo de ejemplos de parámetros de diseño del pozo de infiltración con fondo permeable.....	110
Anexo 8. Desarrollo de ejemplos de parámetros de diseño de la fosa de retención de escorrentía con pozo de infiltración .....	113
Anexo 9. Láminas DE-01 y DE-02 con los detalles para la construcción del pozo de infiltración inducida y la rejilla de protección.....	115
Anexo 10. Láminas DE-03 y DE-04 con los detalles del canal de infiltración inducida y la trampa de sedimentos.....	117
Anexo 11. Lámina DE-05 los detalles de la fosa de retención de escorrentía con pozo de infiltración inducida.....	119
Anexo 12. Lámina DE-06 con el detalle para el diseño de la fosa de retención de escorrentía con piso permeable.....	120
Anexo 13. Lámina DE-07 con el detalle para el diseño del jardín de lluvia.....	121
Anexo 14. Información de la legislación de México con respecto a los proyectos de infiltración inducida.....	122
Anexo 15. Información de la legislación de Francia con respecto a los proyectos de infiltración inducida.....	131



# Introducción

El Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento SENARA es una institución que vela por la protección del recurso hídrico, garantizando su accesibilidad para la población y desarrollo de las actividades productivas, siendo una entidad que propone alternativas para el manejo de las aguas superficiales y subterráneas.

El SENARA ha definido zonas vulnerables, desde el punto de vista hidrogeológico, ya que las actividades productivas limitan el proceso natural de la infiltración del agua derivada de la precipitación. Esta alteración del ciclo hidrológico tiene medidas compensatorias, que pueden facilitar el proceso de infiltración de las aguas que se han transformado en escorrentía superficial.

Estas medidas consisten en establecer obras civiles y agroecológicas que, de manera individual o combinada, puedan acelerar el proceso de infiltración sin provocar daños a la infraestructura existente.

Existen experiencias exitosas en otros países como lo son las encontradas en Estados Unidos, México, España, Colombia y Francia, así como otras no menos importantes en África y Asia, de las cuales se pueden tomar ciertos elementos a replicar en nuestro entorno, acondicionando los parámetros de diseño, considerando lluvias máximas de diseño, periodos de retorno, edafología, pendientes y cobertura vegetal del entorno. Asimismo, cada actividad económica tiene condiciones particulares que se deben tomar en consideración para seleccionar y recomendar las medidas de mitigación óptimas.

En nuestro país, algunas municipalidades, principalmente en el Valle Central, han dictado lineamientos referentes a establecer, como parte integral de los

proyectos de desarrollo inmobiliario y comercial, entre otros, estructuras que transformen la escorrentía superficial en una lámina de agua que se filtra y recarga el perfil del suelo y ésta, a su vez, a las aguas subterráneas.

Esta recopilación de información se contempla en el presente manual de consulta, en el cual, las instituciones que tienen la responsabilidad por el desarrollo local y a nivel nacional, recomiendan a desarrolladores de proyectos constructivos e infraestructura pública sobre las medidas de mitigación para contrarrestar el proceso de impermeabilización del recurso suelo, el cual es parte del ciclo hidrológico como reservorio natural del agua.

Las obras se evaluarán y se adecuarán a las condiciones que dispone el país, principalmente con referencia al régimen de precipitaciones, topografía del terreno, cobertura del suelo y agentes antrópicos, así como en cuanto a la disponibilidad de recursos técnicos, materiales de construcción y recursos económicos que permitan, por parte de los desarrolladores de proyectos, implementar las estructuras idóneas para sus condiciones.

El Manual de Normas Técnicas para el Mejoramiento de la Recarga debe ser aplicado principalmente en zonas favorables para la recarga desde el punto de vista hidrogeológico. Se detalla paso a paso la metodología a aplicar para su implementación. En el documento, hay una recopilación de información generada en otros países al respecto a experiencias sobre la recarga inducida.

Comprende una revisión exhaustiva de información de índole técnico y científico de publicaciones en libros, revistas, memorias de congresos y revisión de publicaciones en Internet, al igual que referencias de experiencias exitosas en diferentes países



de la implementación de estructuras hidráulicas que retienen la escorrentía superficial y realizan un proceso de infiltración inducida o artificial como comúnmente se conoce en otros países.

Se ha incluido una lista de infraestructura propuesta que reúne las condiciones para ser aplicada en nuestro entorno tomando en cuenta ciertas condiciones que se señalan a continuación:

- Información meteorológica
- Diseño
- Sistemas de construcción
- Materiales
- Costos de implementación y mantenimiento

El objetivo del Manual es proveer al usuario de una herramienta de consulta que permita a los desarrollos urbanísticos (urbanizaciones, condominios, lotificaciones y edificios comerciales) e infraestructura pública, para la disposición del agua de lluvia y escorrentía superficial que generan los proyectos, el agua infiltrada por medios artificiales y recargar los acuíferos.

El manual es aplicable para interceptar y permitir la infiltración de la escorrentía superficial a los acuíferos, este no involucra la disposición de aguas tratadas (aguas residuales jabonosas o provenientes de un proceso industrial) al suelo.



## CAPÍTULO 1

# Consideraciones técnico-geológicas de la recarga artificial de acuíferos

El siguiente manual presenta información de referencia para determinar si la recarga artificial o la recarga inducida puede ser una alternativa para disminuir el impacto producto de la impermeabilización por el establecimiento de una obra de infraestructura que involucre la disminución del espacio libre para la infiltración.

El SENARA ha elaborado términos de referencia para estudios hidrogeológicos; este estudio proporciona las bases necesarias para tener los criterios necesarios para definir las medidas de mitigación del proceso de reducción de la infiltración del suelo.

Otra alternativa complementaria, si no se cuenta con información base de los estratos en la zona saturada, son el establecimiento de piezómetros, los cuales serán establecidos en función del requerimiento técnico de la obra.

Se debe adicionar la información in situ, como las pruebas de infiltración, básicamente con las metodologías aprobadas por el SENARA en la elaboración de estudios hidrogeológicos, considerando la profundidad a la cual estará la superficie de infiltración de la estructura.

Esta propuesta está definida para interceptar la escorrentía superficial y permitir la infiltración en función del volumen de intercepción y almacenamiento de las estructuras propuestas en este documento, por lo cual no hay criterios

referentes a aguas tratadas (aguas residuales jabonosas o provenientes de un proceso industrial).

### 1.1 Estudios básicos para el diseño de sistemas de recarga inducida

Los estudios básicos que requiere la implementación de una o más obras para la recarga artificial de acuíferos debe contemplar consideraciones técnicas sencillas que no limite en el desarrollador la implementación de las medidas de mitigación a los procesos de impermeabilización que conlleva el establecimiento de un proyecto de infraestructura.

A continuación, se detallan aspectos importantes a considerar para el establecimiento de obras de mitigación a la impermeabilización de áreas de recarga.

#### 1.1.1 Evaluación de información topográfica

La información topográfica es un insumo básico para los proyectos que involucran el establecimiento de infraestructura y permite definir las características del área del drenaje, con el fin de evaluar las condiciones del sitio y definir las medidas de mitigación para el proceso de impermeabilización que conlleva las obras relacionadas con un proyecto, por lo tanto, la topografía permite determinar los siguientes elementos:



a. **Área de aporte o área de drenaje:** es el área del proyecto que aporta de manera directa escorrentía superficial, ya que la capacidad de infiltración ha sido modificada de las condiciones naturales del terreno. En el área de aporte se debe considerar todas las superficies permeables e impermeables; techos, aceras, calles de acceso (con diferentes superficies de ruedo, asfalto, adoquín, concreto no permeable, lastre compactado).

El área de aporte se obtiene de los planos de diseño del proyecto (referirse al cuadro de áreas de la distribución de planta de un proyecto), por lo cual, se hace referencia al procedimiento básico, referente a la componente de la topografía, que demanda un proyecto de desarrollo de infraestructura:

b. **Levantamiento topográfico inicial:** si el área de aporte de escorrentía superficial tiene una topografía irregular<sup>1</sup>, el levantamiento topográfico inicial, con curvas de nivel, se constituyen en una herramienta que permite definir el movimiento de las aguas superficiales y por lo tanto ubicar de forma estratégica las medidas de mitigación que permita captar e infiltrar la escorrentía superficial.

Las *curvas de nivel* inicial son un insumo básico en cualquier proyecto de desarrollo de infraestructura (urbanizaciones, condominios, centros comerciales, parques, centros de oficinas). Inicialmente, todo proyecto de desarrollo de infraestructura dispone un levantamiento de curvas de nivel con las condiciones naturales del terreno (sin modificar por movimiento de tierras), con el fin de determinar los volúmenes de

movimiento de tierras (relación corte / relleno), el trazado de vías de acceso y ubicación de los elementos más importantes en el área de proyecto.

Este componente, permite tener una perspectiva, del movimiento de las aguas superficiales, para definir la ubicación de infraestructura para la recarga inducida de aguas subterráneas.

c. **Topografía de replanteo:** la topografía de replanteo es un insumo en la administración de un proyecto, ya que se ubica en el área de trabajo de los avances de la etapa constructiva de un proyecto. Desde el punto de vista, de los objetivos de este documento, permite disponer de una perspectiva del movimiento de las aguas superficiales, conforme se realizan los movimientos de tierra, para adecuar el terreno para la infraestructura asociada al proyecto.

d. **Levantamiento final** (As built): corresponde al último levantamiento topográfico de un proyecto y define todos los elementos dentro del proyecto y las curvas de nivel con que termina la fase constructiva. El levantamiento final permite definir la distribución de la escorrentía, con las condiciones finales del proyecto y ubicar las medidas compensatorias para la intercepción e infiltración de la escorrentía superficial.

e. **Pendiente:** la pendiente es un parámetro de la topografía del área de drenaje de un proyecto que está relacionado directamente con el tiempo de concentración y por ende con la velocidad de la escorrentía se desplaza y llega a los cuerpos de agua receptores (alcantarillas, quebradas, ríos). Un aumento de la velocidad de escorrentía disminuye la capacidad de infiltración del suelo, lo cual se estará reflejando en los caudales que reciben de forma directa los cuerpos receptores de agua.

---

<sup>1</sup> Las áreas de drenaje que la escorrentía superficial forma dentro de un proyecto, deben ser consideradas de forma individual con las alternativas de retención e infiltración de la escorrentía para la recarga de la zona no saturada.



### 1.1.2 Evaluar las características hidrogeológicas

La evaluación de las características hidrogeológicas se lleva a cabo a través de un estudio hidrogeológico, a realizar por parte de un Geólogo debidamente acreditado y con especialidad en hidrogeología. Para realizar dicho estudio hidrogeológico, el profesional responsable debe basarse en los términos de referencia que establece el SENARA para ese fin, y que corresponden a los requisitos mínimos a cumplir evaluando aquellos que aplican específicamente a proyectos de infiltración inducida.

En el Anexo N°1 se presenta un cuadro resumen con los aspectos a evaluar y algunas sugerencias para su desarrollo. Este estudio tiene gran relevancia puesto que permite definir si un proyecto de infiltración es viable debido a las características del acuífero en el sitio propuesto como parte del proyecto.

En este Anexo 1, en el Componente del estudio N°7 “Determinación in situ de las características hidráulicas de la zona no saturada”, se define que se debe considerar a nivel de superficie como para la zona no saturada lo siguiente:

- En superficie se deben aportar: la conductividad hidráulica con ensayos utilizando la metodología del ensayo de doble anillo, la clasificación del suelo/roca meteorizada con la norma del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), se deben tomar al menos 2 muestras por hectárea para realizar estas pruebas y análisis, las cuales tienen que ser distribuidas en el área del proyecto. Para áreas menores de 1 hectárea se deben tomar 2 muestras como mínimo.

- Para la zona no saturada, para cada estrato identificado a partir del nivel de desplante del proyecto propuesto, se deben realizar análisis de laboratorio para la determinación de porosidad y clasificación de suelo/roca meteorizada, con la norma del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)
- Reportar y analizar la profundidad de los niveles de agua en la zona del proyecto.
- Determinar la conductividad hidráulica para cada estrato encontrado en la zona no saturada. Se pueden utilizar los métodos de: Porchet, Doble Anillo, Le Franc, Guelph, Hvorslev.

A manera de referencia, en el Anexo N°2 se presentan los valores de conductividad hidráulica para los diferentes medios porosos, según los resultados propuesto por los autores Domenico, Smith y W, Freeze, Fetter y Sanders.

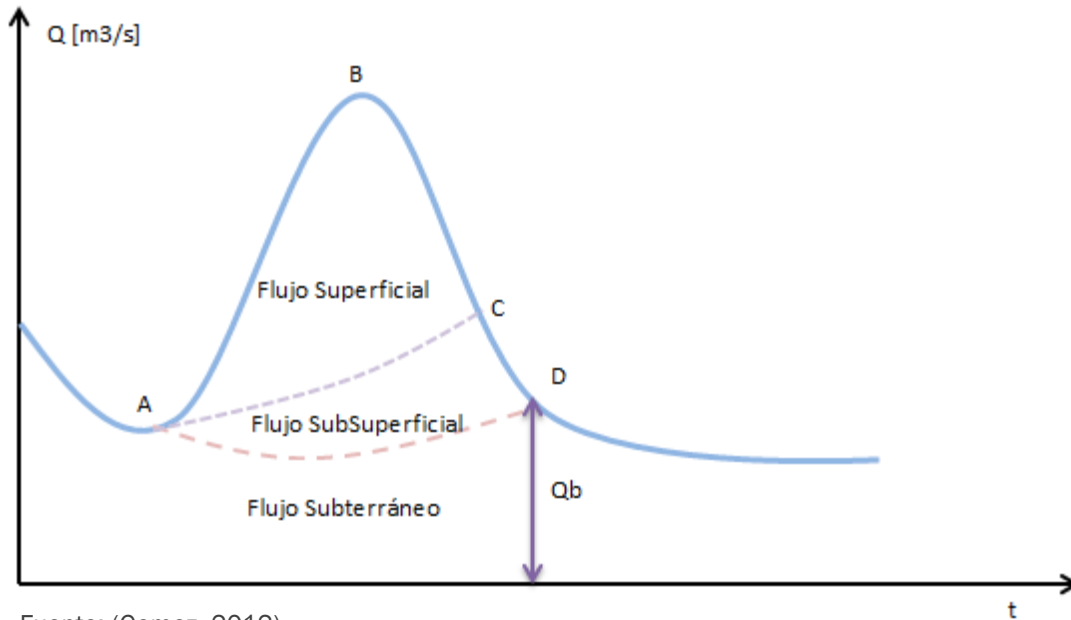
## 1.2 Metodología de diseño

Existen diferentes metodologías para determinar el caudal máximo generado por la escorrentía superficial. Los métodos más utilizados en Costa Rica son el método racional, el número de curva y el hidrograma. En el presente documento se desarrollará un ejemplo utilizando el Hidrograma Unitario.

El hidrograma corresponde a una representación gráfica de una corriente y sus variaciones en un periodo de tiempo, ordenadas de forma cronológica. Este método requiere disponer de un punto de aforo en un sitio definido como control del área de drenaje. Este método transforma la precipitación en escorrentía superficial.



**Figura 1**  
**Hidrograma y sus componentes**



Fuente: (Gomez, 2012)

El hidrograma considera que una parte de la precipitación se transforma en escorrentía superficial (área de la curva desde el punto A - C), con un pico de caudal (punto B) que corresponde al cual máximo producto de un evento de precipitación. Para efectos de las consideraciones hidráulicas del diseño de las estructuras propuestas, nos interesa el área bajo la curva entre los puntos A-B-C (flujo superficial).

El área que se forma entre los puntos A-C-D aporta una parte del caudal total del evento de precipitación al flujo subsuperficial (zona no saturada) y el área que está por debajo de los puntos A-D aporta un caudal a las aguas subterráneas.

El caudal que se forma de las sumas de las áreas entre los puntos A-C-D y A-D forman el caudal base (producto del aporte del agua subterráneas).

### 1.2.1. Hidrograma Unitario

El hidrograma unitario (HU) de un área de drenaje definido corresponde a un

hidrograma de escurrimiento producto de una precipitación con una altura en exceso, expresada en forma de lámina de lluvia (expresada en unidades de mm), la cual se distribuye uniformemente sobre el área de drenaje, con una intensidad constante de la lluvia en un periodo de tiempo definido.

El hidrograma unitario fue desarrollado por Sherman en 1932 y está basado en las siguientes hipótesis:

- Distribución uniforme de la precipitación:** el evento que se va a analizar tiene una distribución uniforme sobre el área de drenaje en su duración (una lámina constante de lluvia en el tiempo).
- Escurrecimiento directo constante:** en un área de drenaje, la duración del escurrimiento directo o tiempo base ( $t_b$ ) es igual para todos los eventos de precipitación con la misma duración de la lluvia efectiva, independientemente del volumen total producto del escurrimiento (tiempo transcurrido entre los puntos A-D).



- c. Definición de un punto de control:** la metodología se base en un área de drenaje (área formado por una subcuenca o microcuenca) y requiere un punto de control o punto de cierre, el cual coincide un punto sobre el cauce receptor del escurrimiento del área de drenaje (debería coincidir este punto de cierre con una estación hidrográfica que permita disponer de datos de caudal de escurrimiento).
- d. Proporcionalidad:** los valores de caudal (valores en el eje Y del hidrograma), producto del escurrimiento directo que presentan el mismo tiempo base (tiempo transcurrido entre los puntos A – D), son directamente proporcionales al volumen producto del escurrimiento superficial (volumen total producto de la lluvia efectiva).

### 1.2.2. Hidrograma Unitario Sintético (UHS)

El Hidrograma Unitario Sintético permite generar una curva de escurrimiento para un área de drenaje (subcuenca o microcuenca), utilizando características morfológicas del área de drenaje (área, pendiente del cauce receptor, tiempo de concentración), pero se puede adaptar a pequeñas áreas de recepción de lluvia y generación de escorrentía superficial.

Es un método analítico, que requiere de parámetros, que el responsable de diseño de un proyecto los determina mediante información que se extraen de los planos de diseño, los cuales fueron generados a partir del levantamiento topográfico; además de datos con los registros de precipitación e información en tablas generadas para aplicar este método.

Como se indicó en el capítulo 1 bajo el apartado de “Evaluación de información topográfica”, se considera utilizar los planos de diseño de un proyecto en los cuales se presenten las distribuciones de las áreas, con el fin de determinar las características de la cobertura de cada elemento que está

involucrado en el proyecto y determinar su capacidad de infiltración.

Para desarrollar el Hidrograma Unitario Sintético (UHS) se requiere obtener parámetros de la microcuenca o área de drenaje, los cuales se detallan a continuación:

- a. Área de drenaje:** el área de drenaje de la microcuenca o el área de drenaje del proyecto se determina utilizando herramientas tecnológicas como programas informáticos, aplicaciones de Sistemas de Información Geográfico (SIG)<sup>2</sup>.
- b. Número de Curva:** este método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de los Estados Unidos (SCS) en el año de 1969. El Número de Curva se constituye en un insumo en el Hidrograma Unitario Sintético, ya que determina la escorrentía directa a partir de la lluvia máxima y en función de las características de la superficie de infiltración que se está evaluando, como generadora de escorrentía superficial. Esta escorrentía se determina en forma de lámina y se expresa en milímetros. En el Anexo N°3 se encuentra el sustento técnico de donde se deriva los valores del Número de Curva para diferentes condiciones del uso del suelo, incluyendo uso de suelo que involucra obras civiles. Estos valores se aplican para todo el país. Recibí
- c. Tiempo de retardo:** corresponde transcurrido entre el centro de gravedad de la lluvia evaluada hasta el tiempo pico del hidrograma.

$$t_L = \frac{L^{0,8}(2540-22,86CN)^{0,7}}{(1410,4CN^{0,7}Y^{0,5})}$$

<sup>2</sup> Hay alternativas de aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG) de plataforma libre y código abierto, como por ejemplo QGIS., También hay opciones de programas de aplicaciones SIG con licencia, por ejemplo la plataforma ArcGis (con la herramienta de edición ArcMap).



Donde:  $t_L$  es el tiempo de retardo en horas  
 $L$  la longitud del cauce hasta el límite de la cuenca en metros  
 $CN$  el número de curva promedio (unidimensional). Ver Anexo N°3 “Determinación Numero de Curva”  
 $Y$  la pendiente promedio de la cuenca en porcentaje (%)

**d. Tiempo pico:** el caudal pico corresponde al caudal máximo producto de una lluvia

$$t_p = \frac{D}{2} + t_L$$

Donde:  $t_p$  es el tiempo pico en horas  
 $D$  es la duración en horas en la cual se presentó la intensidad máxima  
 $t_L$  el tiempo de retardo calculado anteriormente en horas

**e. Tiempo de concentración:** es el tiempo transcurrido entre la caída de una gota de lluvia en el punto más alejado del área de drenaje de una cuenca hasta su salida por el punto de cierre de la cuenca (o punto de control)

$$t_c = \frac{t_L}{0.6}$$

Donde:  $t_c$  es el tiempo de concentración en horas  
 $D$  es la duración en horas en la cual se presentó la intensidad máxima  
 $t_L$  el tiempo de retardo calculado anteriormente en horas

**f. Longitud del área de drenaje:** la longitud del área de drenaje es un componente de los tiempos de retardo, pico y concentración, que consiste en determinar la longitud en metros desde el punto más elevado de la microcuenca o área de drenaje hasta el punto de control o punto de cierre de la microcuenca o área de drenaje

**g. Punto de control:** el punto de control o punto de cierre corresponde al sitio donde el proyecto descarga en un cuerpo receptor o cauce receptor de la escorrentía superficial.

**h. Duración del evento:** es el tiempo máximo de duración en minutos que se le asigna a un evento máximo de intensidad de precipitación

**i. Lluvia máxima:** la lluvia máxima se determina a partir de la intensidad de duración y se despeja en función de la duración del evento. La duración del evento se determina para 30 minutos de duración.

### 1.2.3 Información meteorológica

La información meteorológica que se requiere para utilizar el HUS son los registros de precipitación máxima. Estos registros son proporcionados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y están tabulados en lluvias máximas en periodos de 24 horas expresada en milímetros de lluvia (mm).

Los registros de precipitación permiten realizar análisis estadísticos para determinar la lluvia máxima que requiere el método del HUS, pero existen regiones del país que no cuentan con estaciones meteorológicas cercas a las áreas de proyecto, por lo tanto, el IMN ha proporcionado herramientas para determinar la intensidad máxima, expresada en milímetros entre horas (mm/hr).

El IMN ha generado las Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) para los registros de estaciones meteorológicas distribuidas en el país, para determinar la intensidad máxima para diferentes periodos de retorno en años y duraciones en minutos.

Para fines de este documento, se desarrollará un método estadístico, que requiere como insumo los registros de duración máxima para un periodo de 24 horas, el cual se desarrollará a continuación:



**1.2.3.1 Determinación de intensidad máxima a partir del método de Dyck y Peschke**

El diseño de una estructura hidráulica para el control de la escorrentía superficial requiere de utilizar los registros de una estación meteorológica, con el objetivo de poder utilizar un método estadístico para el análisis hidrológico que permita determinar un caudal de diseño.

Uno de los métodos recomendados para determinar las Curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF) es Dyck y Peschke. Este método requiere de los registros de lluvia máxima para un periodo de 24 horas de una estación meteorológica para determinar las curvas IDF a partir de la siguiente ecuación:

$$I_{max} = \frac{KT^A}{D^b} \quad (1)$$

Donde:  $I_{max}$  es la intensidad máxima en mm/hr  
 T es el periodo de retorno en años  
 D es la duración en minutos  
 K, a y b corresponden a constantes que se generan a partir de los datos meteorológicos.

Las constantes K, a y b son parámetros de la ecuación que se generan utilizando un programa informático, generalmente programas que analicen información tabular como Excel o programas específicos de hidrología como Hidroesta. Estos datos

corresponden a los parámetros de la ecuación que se ajusta a la ecuación 1.

Cada uno de los registros de la lluvia máxima para cada año de registro se debe descomponer para duraciones de 20, 30, 60, 120, 180 y 240 minutos de duración de la lluvia máxima mediante la siguiente ecuación:

$$P_D = P_{24h} \left(\frac{D}{1440}\right)^{0.25} \quad (2)$$

Donde:  $P_D$  es la precipitación total en milímetros  
 $P_{24h}$  es la precipitación máxima en 24 horas en milímetros tomada del registro de la estación meteorológica  
 D es la duración en minutos

Se presenta un ejemplo de cómo elaborar una tabla para ordenar los datos de lluvia máxima para 20, 30, 60, 120, 180 y 240 minutos.

En la fila 3 se encuentra numerada desde 1 - 8 y corresponde al número de orden de cada columna.

En la columna 1 se debe ingresar el año de registro (1 a n años) que cuenta la estación meteorológica seleccionada para realizar el análisis estadístico. Estos datos son adquiridos en el Instituto Meteorológico Nacional y corresponden a la estación meteorológica más cercana al área de proyecto.

**Cuadro 1**  
**Datos de lluvia máxima en milímetros para diferentes duraciones en minutos**

Año	P24h (mm)	P <sub>D</sub> (mm)					
		20 min	30 min	60 min	120 min	180 min	240 min
1	2	3	4	5	6	7	8

Fuente: (Gonzalez Gómez, 2017)



En la columna 2 se ingresan los valores de lluvia máxima en 24 horas ( $P_{24h}$ ) de cada año de registro de la estación meteorológica. Los valores que genera la ecuación 2 están expresados en milímetros de lluvia.

En las columnas (3-8) se aplica la ecuación de  $P_D$  (ecuación 2) para cada Duración (D) que indica la respectiva columna. Por ejemplo, en la columna 3 se utiliza la ecuación 2, en la cual el valor de  $P_{24h}$  está en la columna 2 y el valor de la duración corresponde a 20 minutos.

Este proceso se repite para cada valor entre las columnas 4 (30 minutos) y 8 (240 minutos), aplicando la ecuación 2 para cada valor de  $P_{24h}$  (mm) y cada valor de D (minutos)

Con los datos de la lluvia máxima de 24 horas descompuestas en fracciones de 20, 30, 60, 120, 180 y 240 minutos, los datos se transforman en intensidades máximas para las mismas fracciones de tiempo mediante la siguiente ecuación:

$$I_{max} = \frac{P_D}{d} \quad (3)$$

Donde:  $I_{max}$  corresponde a la intensidad máxima presentada en determinada duración en mm/hr

$P_D$  es el dato de precipitación obtenido en la anterior

D es cada una de las duraciones empleadas en la tabla anterior pero transformada a horas

En la fila 3 se encuentra numerada desde 1 - 7 y corresponde al número de orden de cada columna.

En la columna 1 se debe ingresar el año de registro (1 a n años) que cuenta la estación meteorológica seleccionada para realizar el análisis estadístico. Estos datos son adquiridos en el Instituto Meteorológico Nacional y corresponden a la estación meteorológico más cercana al área de proyecto.

En las columnas 2 hasta 7, se determina el valor de intensidad máxima con la ecuación de  $I_{max}$  (ecuación 3) en mm/hr, utilizando el valor de  $P_D$  que se obtuvieron en el Cuadro 1. Básicamente, los valores de lluvia máxima en milímetros para diferentes duraciones en minutos, que se obtuvieron en el Cuadro 1, utilizando la ecuación 2, se transforman en intensidad expresada en milímetros por hora usando la ecuación 3.

**Cuadro 2**

**Datos de intensidad máxima en milímetros por hora para diferentes duraciones en minutos**

Año	I <sub>max</sub> (mm/hr)					
	20 min	30 min	60 min	120 min	180 min	240 min
1	2	3	4	5	6	7

Fuente: (Gonzalez Gómez, 2017)



Con la fórmula de Weibull se determina los periodos de retorno y los datos de intensidad se ordenan de mayor a menor. La fórmula de Weibull es la siguiente:

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (4)$$

Donde: T es el periodo de retorno en años.

n es el número de años  
m es el número de orden.

Los datos ordenados se encuentran en el ejemplo de tabla para ordenar las intensidades máximas, además de los datos de periodo de retorno y diferentes duraciones de la intensidad máxima.

**Cuadro 3**  
**Datos de intensidad máxima ordenadas por período de retorno en años para diferentes duraciones en minutos**

T (años)	Imax (mm/hr)					
	20 min	30 min	60 min	120 min	180 min	240 min
1	2	3	4	5	6	7

Fuente: (Gonzalez Gómez, 2017)

En la fila 3 se encuentra numerada desde 1 - 7 y corresponde al número de orden de cada columna.

En la columna 1 se ingresan los datos de periodo de retorno obtenido en la ecuación de Weibull (ecuación 4). Estos valores están ordenados del periodo de retorno más alto (el cual se utilizará en el Hidrograma Unitario Sintético) hasta el valor más bajo.

En las columnas (2 -7) se ordenan los datos de intensidad en función del periodo de retorno. Utilizando un programa informático de hoja de cálculo (Excel de Microsoft Office o Office Libre) generando la ecuación 1.

En el Anexo N°4 se encuentra un ejemplo de desarrollo con el método de Dyck y Peschke para determinar la intensidad máxima a partir de datos de lluvia máxima en 24 horas para la Estación Meteorológica Palmar N°98005 para los periodos 1949 - 1953 y 1998 - 2016, con el método de Dyck y Peschke.

**1.2.3.2 Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia del Instituto Meteorológico Nacional (IMN)**

Si el área de proyecto se ubica en una zona del país que no cuenta con los registros de una estación meteorológica, cercana al área de proyecto o el registro de la estación no cuenta con los suficientes datos (años de registro), el encargado de diseño puede recurrir a las Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia o las ecuaciones de Vahrson Wilhelm (1990) y Alfaro Marín (1992).

Las Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia del Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2011), se generaron a partir de un análisis estadístico, utilizando el Método de Distribución de Gumbel a partir de registros de estaciones de 27 estaciones meteorológicas automáticas del IMN, que contaran con más de 10 años de registro de datos de lluvia. En el Anexo 5 se encuentra el mapa generado por el IMN con la ubicación de las estaciones meteorológicas para determinar las Curvas IDF.



Las ecuaciones de Vahrson Wilhelm (1990) y Alfaro Marín (1992) se utilizan para determinar la intensidad de lluvia para estaciones meteorológicas distribuidas en el país.

Para este documento, la metodología que se consideró para determinar el caudal máximo de la escorrentía superficial es mediante el Hidrograma Unitario Sintético (HUS), el cual requiere como insumo la lluvia máxima. Con la ecuación 5 se determinará el valor de la lluvia máxima expresada en milímetros, utilizando el dato de intensidad (mm/hr)<sup>3</sup>. La duración está expresada en minutos.

$$P_{max} = \left( \frac{I_{max}}{60} \right) * D \quad (5)$$

Donde  $P_{max}$  es la precipitación máxima en milímetros

$I_{max}$  que se obtuvo de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia en mm/hr

D es la duración en minutos

En el Anexo N°6 se muestra un ejemplo de desarrollo de caso en el Valle Central del país; es un escenario de un condominio de 1250 metros cuadrados en el cantón de Escazú, utilizando el método de Hidrograma Unitario Sintético para determinar el coeficiente de drenaje por unidad de área, con la información de las curvas de Vahrson Wilhelm (1990) y Alfaro Marín (1992).

---

<sup>3</sup> El dato de intensidad de las curvas IDF o las ecuaciones Vahrson Wilhelm y Alfaro Marín se obtienen la página del Instituto Meteorológico Nacional



## CAPÍTULO 2

# Propuesta de estructuras

La revisión bibliográfica logro determinar dos grupos principales de estructuras que se pueden recomendar a un desarrollador, las cuales se mencionan a continuación:

- Estructuras de superficie permeables
- Estructuras de captación e inducción de la infiltración

Las estructuras de superficies permeable son básicamente el establecimiento de superficies que permiten el rodamiento de vehículos y el tránsito de personas sobre una superficie con la suficiente capacidad de infiltrar el agua producto de las precipitaciones. Para las condiciones de mercado de Costa Rica se encuentra el concreto permeable y los adoquines con diferentes grados de permeabilidad.

Las superficies permeables permiten una infiltración entre el 80 y 100%, que varía según el área de exposición de la superficie con la precipitación. El alto grado de permeabilidad, también genera una limitante de uso, ya que se considera la existencia de sustancias contaminantes que pueden estar en mezcla con la escorrentía, principalmente resto de hidrocarburos.

Las estructuras de captación e inducción de la infiltración tienen como objetivo interceptar la escorrentía superficial, captarla en una estructura y mediante una superficie permeable infiltrar un volumen de la escorrentía almacenada.

Este tipo de estructuras, se diseñan a partir de una condición de precipitación de diseño, por lo cual se deben adicionar estructuras complementarias para la excedencia de escorrentía.

Debido a esta condición, este tipo de estructuras se adiciona una estructura de control de descarga de la escorrentía hacia un cuerpo de agua (rio, quebrada, sistema de alcantarillado pluvial).

La revisión de la información bibliográfica disponible, referentes a experiencias en otras naciones, que han abordado el tema de la recarga artificial de áreas con potencial hídrico (con capacidad de infiltración de acuíferos para la posterior utilización de las aguas subterráneas), disponen de condiciones climáticas y de topografía que difiere de las condiciones que dispone Costa Rica.

Las propuestas están basadas en ajustes a las estructuras que se pueden utilizar de forma individual o en combinación de ambas. Estos ajustes se basan en las posibles condiciones presentes en Costa Rica.

Adicionalmente, las propuestas están dirigidas a ser recomendadas a proyectos de infraestructuras de zonas con potencial de recarga de acuíferos.



## 2.1 Estructuras de superficie permeables

### 2.1.1 Concretos permeables

#### 1. Tipo de obra

Tipo de concreto que posee la particularidad de tener un alto porcentaje de vacíos (macroporos), el cual oscila entre 15% y 20% de la densidad del concreto. Esta condición genera una interconexión de dichos poros, que permiten que el agua fluya fácilmente a través de ellos.

El concreto permeable es una alternativa que suele ser utilizada en espacios con vialidades de tránsito ligero, estacionamientos, ciclo vías y demás obras de rodamiento que no soporta presiones elevadas; en donde el área impermeabilizada limita la infiltración de la precipitación, provocando un impacto importante en la recarga de la zona no saturada.

#### 2. Finalidad de la obra

Este tipo de concreto es una mezcla de agregados gruesos, con un nivel nulo o muy bajo de contenido de arena, agua, un cementante, que puede ser una mezcla bituminosa o cemento portland y aditivos.

Dentro de los aditivos utilizados hay distintas clases para obtener propiedades especiales en el concreto. Los usos de retardadores del aditivo ayudan a estabilizar y controlar la hidratación del concreto especialmente en presencia de climas cálidos. Los mismos funcionan además como lubricantes a la hora que se descarga el concreto mediante mezcladoras; los aceleradores por el contrario son una opción en condiciones de climas fríos. Los inclusores de aire y reductores de agua son opciones, sin embargo, hasta la fecha no hay investigaciones que concluyan una mayor efectividad en la colocación del concreto permeable.

No obstante, en el país existen aditivos diseñados específicamente para concretos permeables, que dentro de sus funciones destacan por ser modificadores de viscosidad, aumentar la cohesión entre partículas y potenciadores. Estos al entrar en contacto con el cemento reaccionan y provocan un rápido aumento de la resistencia en los primeros minutos de fraguado, generando con esto una mezcla, que como ya se indicó, posee una alta porosidad, muy maleable, de fácil uso y colocación y, con valores de resistencia y flexión hasta los 210 kg/cm<sup>2</sup> y 60 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, a los 28 días.

Los concretos permeables pueden generar un importante beneficio social, fundamentalmente al no interrumpir el ciclo hidráulico del agua en las ciudades, logrando infiltrar el agua producto de las precipitaciones a la zona no saturada de los mantos acuíferos, al mantener una red de drenaje natural y, sin tener que construir grandes colectores, que no aseguran su efectividad en el tiempo, debido al constante crecimiento. Por lo cual en el diseño de urbanizaciones es importante utilizar criterios de mínimo impacto como el concreto permeable en condiciones de superficie de bajo tránsito, aceras y parqueos para vehículos livianos.

#### 3. Diseño y construcción de las obras

El concreto permeable corresponde a una variante del concreto convencional, la diferencia principal radica en el agregado fino, el cual se elimina casi por completo. Por otra parte, el agregado grueso mantiene una distribución uniforme.

En vista a que se utilizan los mismos materiales que en un concreto convencional (excepto la arena como agregado), el cemento debe satisfacer las normas ASTM C150, C595, o C1157, también se pueden utilizar materiales suplementarios como ceniza volante, cemento de escoria y el humo de sílice, todos ellos deben satisfacer las normas



ASTM C618, C989, y C1240 respectivamente.

Por parte del agregado grueso, este debe cumplir con la norma ASTM C33 y las utilizadas son: N° 67 (de 4,77 a 19,0 milímetros), N° 8 (de 2,36 a 9,5 mm) y N°89 (de 1,18 a 9,5 milímetros). No obstante, en vista al uso que se le da a este tipo de concreto se necesita de cierto grado de estética, por lo cual el tipo de granulometría más empleado se encuentra entre los 9,5 y 19 milímetros.

En relación con el agua utilizada en concretos permeables, se manejan los mismos requisitos que para un concreto convencional, si se utiliza agua reciclada de las operaciones de producción de concreto esta debe cumplir con la norma ASTM C94. El uso de aditivos debe satisfacer la norma ASTM C494.

El uso de concreto permeable requiere de una planeación cuidadosa, en donde los planes y especificaciones del proyecto sean conocidas por todo el personal de forma que el producto terminado cumpla con la necesidad del propietario y las normas aprobadas en el país.

Inicialmente, el suelo donde se desarrollará el proyecto debe ser muestreado, de forma tal que se conozcan los valores de permeabilidad y capacidad de carga del mismo. Se recomienda una capacidad de infiltración de 13 milímetros/hora o terrenos rocosos que presenten grietas por las cuales el agua puede infiltrar. Para suelos cercanos a costas se utiliza un cemento a base de puzolanas en la mezcla en lugar de uno convencional.

Para el diseño de la subrasante se busca una uniformidad de soporte por encima de la resistencia de la misma, esto en vista a que la losa de concreto permeable distribuye las cargas de forma heterogénea, es decir sobre una gran área. Disminuyendo con esto la presión en la subrasante que se manifiesta directamente en el espesor de la misma. Es imperativo que la subrasante

sea uniforme y bien preparada para lograr un pavimento de calidad.

A su vez, en la subrasante deben crearse pozos de absorción de dimensiones 1,0 x 1,0 x 1,0 metros, por cada 100 metros cuadrados, que serán rellenados con la misma granulometría a la de la subrasante. Se recomiendan diámetros desde los 12,5 milímetros (piedra quintilla) hasta los 38,0 milímetros (cuarta). Los últimos 5 a 15 centímetros superiores de ésta debe estar compuesta por una capa de grava de menor diámetro. Es importante destacar que las labores de compactación deben llevarse a cabo posterior al corte del suelo y colocación de la subrasante.

Con la subrasante colocada se procede al colado del concreto, la dosificación del concreto estará sujeto a dos aspectos fundamentalmente. La relación agua/cemento y el agregado/cemento. No obstante, en términos generales la dosificación de la mezcla de concreto permeable se mantiene en los siguientes porcentajes. La dosis del aditivo estará sujeto al tipo y casa comerciante, sin embargo, el valor común se encuentra cercano a los 4 mililitros/kilogramo de cemento.

**Cuadro 4**  
Dosificación de los elementos en porcentaje para concreto permeable

Elemento	Porcentaje %
Agregado grueso	76,6
Cemento	18,5
Agua	4,9
<b>Total</b>	<b>100,0</b>

Fuente: (Gonzalez Gómez, 2017)

La preparación del mismo puede ser “in situ” mediante mezcladoras o en plantas dosificadoras, de igual forma la distribución se realizará mediante la canaleta de camiones mezcladores o si es el caso con el



uso de bandas transportadoras, el bombeo no es recomendable en vista a las características físicas del concreto.

La colocación del concreto no debe ser superior a la altura de un rastrillo o herramienta similar, una vez colocado y nivelado a lo largo de toda la formaleta o cimbra este debe ser compactado de forma manual, con la finalidad que una vez que éstas últimas se remuevan el concreto no pierda su integridad estructural.

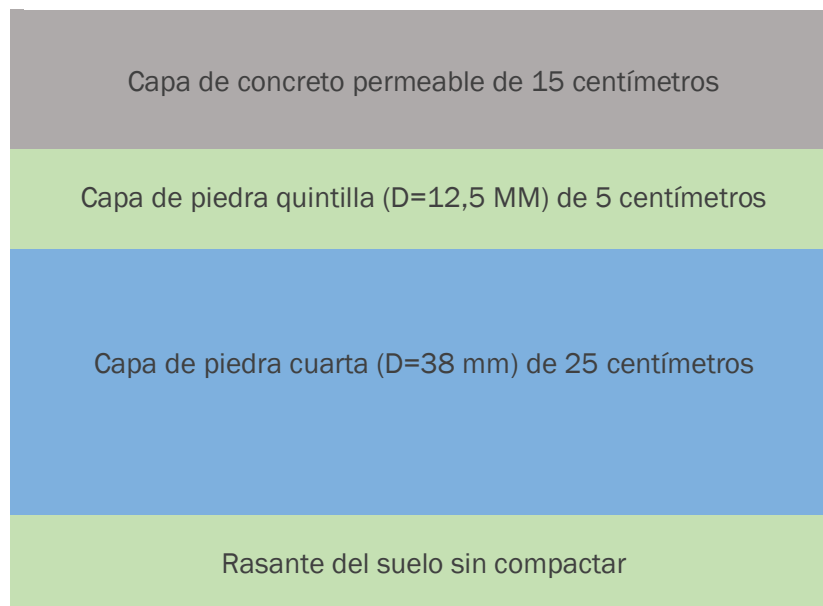
El uso de juntas para pavimentos con concreto permeable en comparación con pavimentos que utilicen concretos convencionales difieren considerablemente, esto debido a que el concreto poroso tiene menos de un tercio de la retracción a uno convencional, por lo cual se recomienda colocar en intervalos de 2 a 6 metros, con

profundidades de  $1/3$  a  $1/4$  del espesor de la losa.

El curado del concreto es un proceso vital, que incide directamente en la durabilidad del concreto en un 60% según diversos estudios. El proceso requiere de mayor atención debido a que se cuenta con un mayor espacio poroso que produce un secado más rápido. El procedimiento consta en cubrir la superficie con un material de polietileno claro o similar de 0,15 mm de grueso que evite el escape del agua por evaporación y más bien retenga la humedad del mismo. La duración de este oscila entre los 7 y 10 días.

En las fotografías de 1 a 4 se muestra el establecimiento de concreto permeable en un parqueo y en la Figura 2 se detalla un diagrama del corte de una sección con las capas del concreto permeable.

**Figura 2**  
Corte de una sección de una sección transversal  
de una capa de concreto permeable





**Fotografía 1**  
Establecimiento de concreto permeable en un parqueo



Fuente. Ing. Francisco Alfaro. Amco. Costa Rica

**Fotografía 2**  
Establecimiento de concreto permeable en un parqueo



Fuente. Ing. Francisco Alfaro. Amco. Costa Rica



**Fotografía 3**  
Establecimiento de concreto permeable en un parqueo



Fuente. Ing. Francisco Alfaro. Amco. Costa Rica

**Fotografía 4**  
Establecimiento de concreto permeable en un parqueo



Fuente. Ing. Francisco Alfaro. Amco. Costa Rica.



#### 4. Costo estimado de implementación, de las obras

En el Cuadro 5 se detallan los costos de colocación del concreto permeable dentro del gran área metropolitana del país. Este concreto es preparado en planta dosificadora y el cálculo se planteó para una losa de 15 centímetro de espesor, 2 metros de ancho y 5 metros de largo, con una subrasante de 30 centímetros de altura.

#### 5. Eficiencia de la obra en función del volumen inducido que se recarga

La utilización de concretos permeables en rutas de tránsito ligero, parqueos, ciclo vías y demás obras de rodamientos, permite captar el agua de escorrentía e infiltrarla en el suelo, con el fin de recargar la zona no saturada del acuífero. Los trabajos de investigación han logrado medir la

capacidad de drenaje del concreto permeable, obteniéndose un rango de 81 a 730 litros por minuto por cada metro cuadrado, esto partiendo del hecho que el mantenimiento del concreto sea acorde con las recomendaciones del proveedor de este tipo de concreto.

Es fundamental evitar el ingreso de sólidos suspendidos en el agua que afecten el porcentaje de poros del pavimento, ya que se disminuye la capacidad de infiltración por obstrucción del área permeable.

Por otra parte, la eficiencia del concreto permeable también se puede estimar con relación a la dosificación y uso de aditivos. En el Cuadro 6 se observa cómo se afecta la permeabilidad del concreto bajo diferentes preparaciones de mezcla en probetas cilíndricas de 150 x 300 milímetros.

**Cuadro 5**  
Costos de implementación utilizando concreto permeable

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Concreto permeable	m <sup>3</sup>	1,5	₡ 83521,00	₡125281,50
Colocación	m <sup>2</sup>	103	₡ 3500,00	₡ 350000,00
Piedra quintilla	m <sup>3</sup>	3	₡ 15975,00	₡ 47925,00
Adecuación terreno	horas	4	₡ 15000,00	₡ 60000,00
Subtotal materiales				₡ 583206,50
Mano de obra				₡ 77183,21
Diseño	horas	12	₡ 24273,00	₡ 291276,00
Subtotal de la obra				₡ 951665,71
Inspección de la obra	3% costo obra			₡ 28549,97
<b>Total</b>				<b>₡980215,68</b>

Fuente: Precios de materiales de construcción obtenidos en Ferretería Digital. Los costos de mano de obra fueron obtenidos de la base de datos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, CFIA. Marzo 2017



**Cuadro 6**  
**Eficiencia del concreto permeable con distintas preparaciones**

	15% de cemento	30% de cemento	15% ceniza volante	15% de humo de sílice
Cantidad de agua agregada (l)	1	1	1	1
Tiempo (s)	50	110	66	67
<b>Flujo (l/min)</b>	<b>1,2</b>	<b>0,5</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>

Fuente: (Gonzalez Gómez, 2017)

Es importante destacar que los resultados expuestos buscan ilustrar el efecto que tienen distintas preparaciones, así como el uso de aditivos en la mezcla de concreto permeable, específicamente en la tasa de drenaje del mismo, sin embargo, la prueba no buscó encontrar la tasa máxima de drenaje que puede alcanzar este concreto. Por esta razón las diferencias entre los valores expuestos en esta tabla y los de la tasa máxima que se encuentran entre 81 a 730 l/min/m<sup>2</sup>.

#### **6. Requerimiento de mantenimiento e inspección para las obras**

El mantenimiento de pavimentos que utilicen concreto permeable empieza desde el momento de su construcción, ya que se debe evitar a toda costa el ingreso de sedimentos a la superficie.

Fundamentalmente existen dos métodos para un correcto mantenimiento de este tipo de concreto. El lavado a presión y el uso de aspiradora. En el primer caso la presión a la cual el agua choca empuja a los contaminantes a salir. Sin embargo, se debe tener este valor de presión muy bien determinado para no lograr el resultado opuesto. Por otra parte, mediante el uso de una aspiradora eléctrica potente se logra remover los sedimentos, extrayéndolos de los poros. No obstante, la combinación de ambos métodos es la forma más efectiva de mantenimiento.

Aislar las áreas de concreto permeable de la entrada de escorrentía superficial con sólidos suspendidos, es otra medida efectiva de mantenimiento, ya que los sólidos suspendidos pueden convertirse en una obstrucción física para el movimiento vertical del agua dentro del perfil poroso que forma el concreto permeable.

Teniendo presente que el mantenimiento está directamente asociado con la pérdida de permeabilidad que el concreto sufra, se estima que la pérdida de permeabilidad del primer año es recuperable en un 50% y, manteniendo una frecuencia anual, las del segundo se pueden recuperar en un 70%.

#### **7. Tipos de proyecto en los que se puede aplicar las obras**

Como se ha mencionado previamente, el uso de este tipo de concreto abarca una buena cantidad de obras en las cuales se planea utilizar concreto convencional o inclusive asfalto, obras como aceras, parqueos, vialidades de tránsito ligero son algunos ejemplos.

Proyectos habitacionales o de tránsito bajo (combinación de ambos), en los cuales existan colectores de drenaje, y se encuentren cerca o ya en su capacidad máxima de transporte de agua de escorrentía, puede ser una opción factible el uso de concretos permeables, al ser una opción menos costosa y durable.



Se constituye en una alternativa para desarrolladores que tienen en el plan de obras, establecer una superficie de concreto convencional, por lo cual puede recurrir a utilizar el concreto permeable, siempre y cuando la superficie no demande un alto tránsito. En resumen se recomienda utilizar este tipo de superficie:

- Parqueos de vehículos livianos
- Vías de bajo tránsito y vehículos livianos
- Aceras
- Accesos a condominios y residenciales
- Ciclo vías

#### **8. Tipos de proyecto en los cuales no se recomienda utilizar**

Proyectos en donde se cuenten con suelos con bajas permeabilidades no son recomendables para este tipo de pavimento, si bien es cierto que cada suelo posee una curva de infiltración determinada, estos suelos provocarían condiciones de saturación que pueden afectar negativamente la vida útil del concreto.

Pavimentos en los cuales las zonas aledañas se encuentren desnudas, no es recomendable utilizar concretos permeables ya que el riesgo de transporte de sedimentos por erosión hídrica es alto, disminuyendo el porcentaje de poros del concreto que se manifiesta en su eficiencia.

Otro aspecto que limita el uso de esta alternativa es el lugar en donde se quiera colocar, zonas industriales en donde exista riesgo de contacto de químicos con aguas de escorrentía, así como estaciones dispensadoras de combustibles y demás destilados del petróleo no son aptas. Esto debido a que existe un alto riesgo de contaminación de los mantos acuíferos por algún contaminante. Aunque existen investigaciones en donde se destaca que se puede utilizar en vialidades de tránsito pesado no es recomendable su uso.

### **2.1.2 Adoquines**

#### **1. Tipo de obra**

El uso de adoquines tiene una función similar a las superficies de concreto permeable, pero un con fin más estético, además del costo de implementación y labores de mantenimiento más periódicos, ya que las superficies de adoquines tienden a deformarse si no realiza un mantenimiento anual de la base que sustenta los adoquines.

#### **2. Finalidad de la obra**

Básicamente, la superficie de adoquines en sus presentaciones comerciales, tiene como fin poder establecer una superficie de una alta porosidad que permita la infiltración de la lluvia que la superficie intercepte, además de la escorrentía que proviene de techos y otras superficies de baja permeabilidad (fotografías 5 y 6).



### Fotografía 5

Uso de adoquines (zacate block) para fines decorativos en un parqueo de apartamentos



Fuente: Ing. Allan González G., 2017.

### Fotografía 6

Uso de adoquines (zacate block) para fines decorativos en un parqueo de apartamentos



Fuente: Ing. Allan González G., 2017.



### 3. Diseño y construcción de las obras

La colocación de una superficie de adoquines requiere establecer una base lo bastante uniforme, generalmente se coloca una base de lastre y compactar con equipo (una compactadora manual o mecánica).

La capa compactada de lastre fino no debe exponer irregularidades, por lo cual la compactación es fundamentalmente para posteriormente colocar una superficie de arena gruesa de 10 centímetros y se aligeran las irregularidades sobre la capa.

Se colocan las capas de adoquines conforme al diseño propuesto por el fabricante. Si el objetivo es colocar una superficie que permita la filtración, se debe considerar la pendiente del terreno para no se genera escurrimiento superficial.

En el caso del adoquín tipo “zacate block” (Ver fotografía 5 y 6), está la opción de utilizar como material de relleno entre las cavidades, piedra quintilla o zacate. La piedra quinta proporciona mayor capacidad de infiltración con respecto al zacate, pero este último proporciona una mayor estética en el acabado final.

En el caso de utilizar “zacate block” como estructura de estabilidad de taludes, el talud base debe ser 2:1 con el fin de evitar escurrimiento y que permita una infiltración sobre la superficie que cubre el talud.

En este caso, el talud no debe disponer de un estrato impermeable que limite el

proceso de infiltración, ya que la capa de suelo que se forma entre el adoquín y estrato impermeable adquiere un peso adicional por saturación suelos y desplomarse por efecto de la gravedad.

El “zacate block” es una excelente alternativa para el diseño y construcción de parqueos, debido a su estética (si es instalada en combinación con zacate); indiferentemente si se utiliza con zacate o piedra quintilla, se debe tener especial atención en el diseño, ya que la superficie debe aislarse de entrada de sedimentos con sólidos suspendidos ya que estos pueden generar una capa impermeable superficial y disminuir la capacidad infiltrante de esta superficie.

### 4. Costo estimado de implementación de las obras

Se realizará una expectativa de costos para el caso del “zacate block” ya que se constituye en la opción de las superficies de adoquines que tienen mayor capacidad de infiltración, considerando un área de cobertura de las fotografías 5 y 6, de 30 metros largo por 6 metros de ancho (zona de parqueo y acceso para tres apartamentos).

Considerando un área de cobertura de 180 metros cuadrados y densidad de zacate block de 6,25 unidades por metros cuadrado. En el Cuadro N°7 se encuentra el desglose de costos de un área de 180 metros cuadrados de “zacate block”.



**Cuadro 7**  
**Detalle de costo aproximado de un área de 180 metros cuadrados de superficie de zacate block**

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Zacate block	unidad	1125	₡1,575.00	₡1,771,875.00
Arena tajo	m3	18	₡12,935.00	₡232,830.00
Piedra quintilla	m3	4	₡15,975.00	₡63,900.00
Adecuación terreno	horas	36	₡1,250.00	₡45,000.00
Subtotal materiales				₡2,113,605.00
Mano de obra				₡79,200.00
Diseño	horas	12	₡24,273.00	₡291,276.00
Subtotal obra				₡2,404,881.00
Inspección de obra		3% costo obra		₡72,146.43
<b>Total</b>				<b>₡2,477,027.43</b>

Fuente: Precios de materiales de construcción obtenidos en Ferretería Digital y la página web Ferretería El Lagar. Los costos de mano de obra fueron obtenidos de la base de datos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, CFIA. Julio 2017

### 5. Eficiencia de la obra en función del volumen inducido que se recarga

La eficiencia de recarga está en función del área de aporte de la escorrentía superficial. En el caso de parqueos utilizando “zacate block”, con pendientes entre 0 y 1% (evitando que la escorrentía superficial adquiera velocidad) se debe definir el área impermeable que se evaluó en el Anexo N°8, considerando un área de techos de 686,54 metros cuadrados y un coeficiente de escorrentía de 93,93 lps/ha, que corresponde 6,45 litros por segundo.

El área efectiva de infiltración corresponde aproximadamente a un 80% del área total (área efectiva de 144 metros cuadrados de infiltración), lo cual debe estar condicionado a la capacidad de filtración de la capa de suelo (zona no saturada) que esta inmediatamente posterior a la capa de área y quintilla que se utilizó de base y sub base respectivamente.

Conductividades hidráulicas de la zona no saturada entre valores de 0,01 a 1 metro por día (suelo con un grado de arcilla en el perfil) es un valor base para definir el uso de este tipo de superficie permeable, ya que valores inferiores se presenta una limitante en la capacidad filtrante del suelo (zona no saturada saturada).

Igualmente, la profundidad de la zona no saturada es un factor que considerar (este valor se obtiene del registro de un piezómetro) determinar la capacidad de reversa del perfil formado hasta el nivel freático.

Condiciones de intensidades mayores a 30 minutos sobre la obra (para el cual se realizó el análisis de determinación del caudal de escorrentía) limitan la capacidad de infiltración de la superficie debido a la saturación y generación de escorrentía sobre el zacate block. Aunque, determinar el caudal generado por esta condición de precipitación debe ser evaluado con ensayos de campo.



### **Requerimiento de mantenimiento e inspección para las obras**

El adoquín es una superficie con fines estéticos, lo cual requiere un mantenimiento constante, por lo cual se debe realizar una revisión periódica de la superficie, principalmente para eliminar la germinación de malezas y la acumulación de sedimentos finos.

La acumulación de sedimentos finos está relacionada con la germinación de malezas, por lo cual se recomienda que la remoción de los sedimentos y las malezas de forma manual con el fin de evitar deformaciones de la superficie.

Se recomienda anualmente colocar un porcentaje del 10% de arena, la cual constituye el porcentaje que se pierde por efecto de la lluvia ya sea por arrastre e infiltración del agua de lluvia interceptada.

### **6. Tipos de proyecto en los que se puede aplicar las obras**

El adoquín se puede utilizar en superficie de bajo tránsito, principalmente en proyectos residenciales y oficinas, por lo cual el adoquín se utilizaría en parqueos y accesos ya que brinda un efecto estético en el proyecto.

Tiene un efecto estético a considerar, este tipo de superficies se pueden recomendar en accesos de áreas comerciales (alojamientos, hoteles, restaurantes) que pueda aprovechar este tipo de estructuras de superficie con el fin de brindar una alternativa para la infiltración de la escorrentía y aprovechar el espacio.

### **7. Tipos de proyecto en los cuales no se recomienda utilizar**

Se debe tener una especial atención por el tipo de vehículo que transita sobre la superficie de adoquines, ya que el derrame de combustibles, lubricantes u otra sustancia que puede ingresar a la zona no saturada y posteriormente a un acuífero.

Por lo anterior, la superficie de adoquines no se debe utilizar en proyectos en el cual se manejen sustancias contaminantes como zonas industriales, estaciones de servicio o cualquier otra actividad comercial que genere algún tipo de residuo que pueda ser arrastrado por la escorrentía.

## **2.2 Estructuras de captación e inducción de la infiltración**

El segundo grupo en que se ha clasificados las medidas para la recarga de acuífero es por medio de estructuras de captación e inducción de la infiltración.

Las propuestas que se desarrollan en este capítulo tienen como objetivo proporcionar a los desarrolladores de estructuras que se puedan utilizar individualmente o combinar dos o más estructuras en función de las condiciones del sitio donde se emplaza el proyecto.

Cabe destacar que estas alternativas pueden emplearse en proyectos pequeños, de forma individual o proyectos de mayor magnitud combinando varias estructuras inclusive con estructuras de captación de superficie.

### **2.2.1 Pozos de infiltración inducida**

#### **1. Tipo de obra**

Estructura modular de captación de escorrentía superficial para ser utilizada en proyectos residenciales de mediana y alta densidad que no disponen de espacio para ubicar estructuras de retención de escorrentía.

#### **2. Finalidad de la obra**

Los pozos de infiltración son estructuras excavadas en el suelo con el objetivo de introducir una parte del agua proveniente de las precipitaciones en la zona no saturada del área de recarga de un acuífero. Estas estructuras difieren en el diámetro utilizado de la tubería, ya que éste



se define en función de la cantidad de escorrentía que puede retener e infiltrar.

### 3. Diseño y construcción de las obras

Esta obra básicamente es cavar un pozo en el suelo, en un sitio del área del proyecto que permita la infiltración de la escorrentía superficial. Para inducir la infiltración la escorrentía debe ingresar al pozo en condición de flujo laminar, ya que la escorrentía ingresa por medio de una rejilla de acero que funciona, a su vez, como trampa para sólidos y de protección para las personas.

El diseño de la rejilla debe considerar ingreso libre de la escorrentía, pero a su vez la retención de basura y la protección de personas contra caídas o lesiones en tobillos; el espacio libre entre cada una de las rejillas no debe ser superior a cinco centímetros (5 cm). El espesor mínimo de la lámina de acero para la fabricación de la rejilla es de 25 milímetros y un máximo de 38 milímetros. El material para fabricar la rejilla puede ser hierro negro que cumpla con la Norma ASTM A36.

La profundidad del pozo está en función del espesor de la zona no saturada. La profundidad total del pozo debe ser tal que el fondo del mismo se encuentre a 5 metros arriba del nivel freático (esta información es proporcionada por el Estudio Hidrogeológico del proyecto). La profundidad mínima del pozo debe ser de 1,5 metros.

El diámetro del pozo debe ser de un mínimo de 60 centímetros y un máximo de 90 centímetros. Para la estabilización de las paredes internas del pozo se utilizará tubería de concreto C14 clase II o clase III. También se puede estabilizar utilizando tubería plástica de pared estructural para alcantarillado pluvial.

Si se utiliza tubería plástica de pared estructural se debe construir una losa en concreto a nivel de suelo de 20 centímetros de espesor para brindar estabilidad en la parte superior del pozo; esta losa requiere

una armadura de varilla estructura de 3/8 de pulgada. El concreto para losa debe disponer de una resistencia de 230 kg/cm<sup>2</sup>.

Se puede utilizar tubería plástica de pared estructural que cumplan con la Norma ASTM D 1784 (respecto a las materias primas para la fabricación de la tubería). Para los requerimientos de dimensiones, rigidez y resistencia al impacto deben cumplir la norma ASTM F 2307.

Si se utiliza tubería de concreto, ésta debe ser tipo C 14 clase II o clase III. La fabricación de los tubos de concreto debe cumplir con la Norma ASTM C 14. Los diámetros nominales 600 a 900 milímetros.

En la parte inferior, el pozo debe estar completamente abierto y colocar una capa de piedra tipo quintilla. Esta capa debe tener un mínimo de 50 centímetros, ya que su función será de filtro ante la posible entrada de materiales finos. La piedra quintilla corresponde a un agregado de construcción que se obtiene de un proceso de trituración, cribado y lavado para garantizar la distribución granulométrica y la eliminación de materiales finos (limos y arcillas). El diámetro del agregado debe ser de 12,5 milímetros.

El pozo solamente dispondrá de una superficie filtrante en la base del mismo, ya que el objetivo será que la columna de agua que infiltra genere la carga hidráulica para inducir la infiltración producto del peso del agua.

Para la excavación se debe utilizar equipo mecánico con el objetivo brindar estabilidad a las paredes del pozo, además de la necesidad de que la excavación sea vertical y no tenga desviaciones hacia un lado del pozo que dificulte la instalación.

Para la fabricación de la rejilla, se requiere un marco en hierro negro de un espesor mayor a la rejilla. Se colocarán las rejillas de forma paralela entre sí, con un soporte colocado de forma transversal a la rejilla



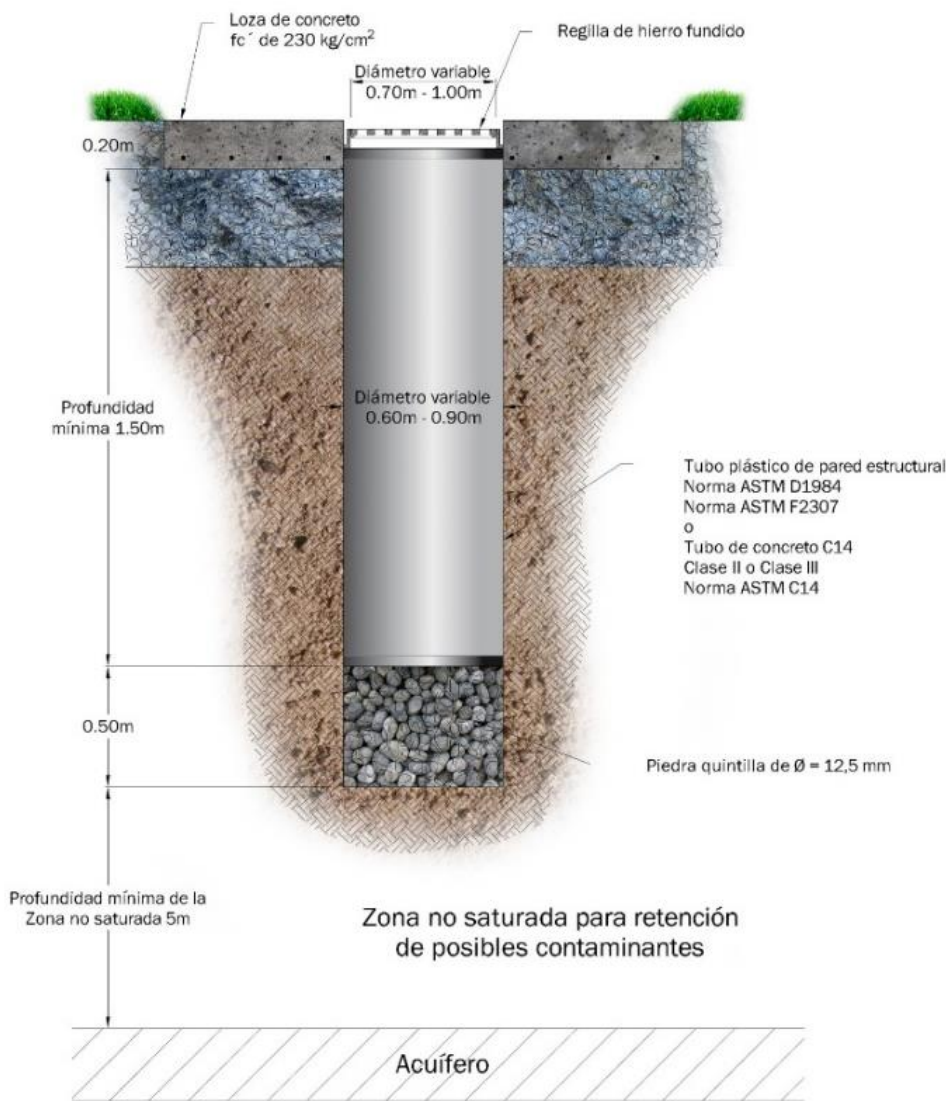
para brindar soporte. La rejilla debe estar sujeta al piso con pernos de metal o un candado para evitar ser removida.

En la Figura N°3 se observa el detalle de la obra y en el Anexo N°9 se muestra el detalle constructivo de la estructura.

Para disponer de condiciones de un movimiento vertical de la columna de agua que forma el pozo de infiltración inducida, la conductividad hidráulica debe ser igual o

mayor a 1 metros por día, considerando una profundidad del estrato no saturado moderado. En condiciones de conductividad hidráulica limitada, menor a 1 metro por día, se debe aumentar la profundidad del pozo de infiltración inducida, con el fin de compensar esta limitante, siempre y cuando, la información que proporcione un piezómetro indique la ubicación del nivel freático, respecto a la profundidad del filtro e quintilla del pozo.

**Figura 3**  
Detalle de pozo de infiltración inducida



Fuente: Ing. Allan González G., 2017.



#### 4. Costo estimado de implementación de las obras

En los cuadros N°8 y N°9 se detalla el desglose de costos para los pozos con las variables de la tubería de 600 milímetros y 900 milímetros respectivamente.

**Cuadro 8**  
Detalle de costo aproximado de pozo de inducción de infiltración  
con pozo de diámetro de 600 milímetros

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Tubo concreto 600 mm	unidad	2	¢27.850,00	¢55.700,00
Cemento	saco 50 kg	3	¢5.955,00	¢17.865,00
Arena tajo	m3	0,7	¢12.935,00	¢9.054,50
Piedrilla cuartilla	m3	0,3	¢14.365,00	¢4.309,50
Caja registro concreto	unidad	1	¢6.120,00	¢6.120,00
Varilla N°3 grado 40	unidad	12	¢1.140,00	¢13.680,00
Alambre negro	kg	3	¢490,00	¢1.470,00
Piedra quintilla	m3	0,25	¢15.975,00	¢3.993,75
Adecuación terreno	horas	24	¢1.250,00	¢30.000,00
Lámina de acero 3/8 pulg	lámina	0,1	¢82.605,00	¢8.260,50
Soldadura	kg	1	¢21.065,00	¢21.065,00
Subtotal materiales				¢171.518,25
Mano de obra				¢77.183,21
Diseño	horas	12	¢24.273,00	¢291.276,00
Subtotal obra				¢539.977,46
Inspección de obra		3% costo obra		¢16.199,32
<b>Total</b>				<b>¢556.176,79</b>

Fuente: Precios de materiales de construcción obtenidos en Ferretería Digital. Los costos de mano de obra fueron obtenidos de la base de datos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, CFIA. Marzo 2017.

**Cuadro 9**  
Detalle de costo aproximado de pozo de inducción de infiltración  
con pozo de diámetro de 900 milímetros

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Tubo concreto 900 mm	unidad	2	¢43.700,00	¢87.400,00
Cemento	saco 50 kg	4	¢5.955,00	¢23.820,00
Arena tajo	m3	0,85	¢12.935,00	¢10.994,75
Piedrilla cuartilla	m3	0,5	¢14.365,00	¢7.182,50
Caja registro concreto	unidad	1	¢6.120,00	¢6.120,00
Varilla N°3 grado 40	unidad	15	¢1.140,00	¢17.100,00
Alambre negro	kg	4	¢490,00	¢1.960,00
Piedra quintilla	m3	0,35	¢15.975,00	¢5.591,25
Adecuación terreno	horas	36	¢1.250,00	¢45.000,00
Lámina de acero 3/8 pulg	lámina	0,2	¢82.605,00	¢16.521,00
Soldadura	kg	1	¢21.065,00	¢21.065,00
Subtotal materiales				¢242.754,50
Mano de obra				¢109.239,53
Diseño	horas	12	¢24.273,00	¢291.276,00
Subtotal obra				¢643.270,03
Inspección de obra		3% costo obra		¢19.298,10
<b>Total</b>				<b>¢662.568,13</b>

Fuente: Precios de materiales de construcción obtenidos en Ferretería Digital. Los costos de mano de obra fueron obtenidos de la base de datos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, CFIA. Marzo 2017.



## 5. Eficiencia de las obras en función del volumen inducido que se recarga

El pozo de infiltración inducida se puede instalar en proyectos que no cuentan con el espacio para construir una estructura de retención de la escorrentía superficial, por lo cual se utilizará para infiltrar los caudales provenientes de áreas impermeabilizadas como techos o áreas de concreto.

El análisis de diseño, se consideró una descarga con una alta capacidad movimiento de la columna de agua que forma el pozo (no es una descarga libre), debido a la presencia de un filtro de quintilla en la parte inferior.

El estudio hidrogeológico debe definir la conductividad hidráulica, la profundidad de la zona no saturada y la velocidad de infiltración, para disponer un panorama, con las condiciones para establecer este tipo de estructura.

Los resultados de los estudios preliminares, especialmente al considerar la conductividad hidráulica de la zona no saturada, respecto a valores menores 1 metro / día, debe considerar valorar esta alternativa, ya que valores inferiores limitan la infiltración de la columna de agua.

## 6. Requerimiento de mantenimiento e inspección para las obras

Estas estructuras están expuestas a la entrada de sólidos suspendidos que limiten su capacidad de infiltración, principalmente por contaminación de sedimentos del filtro que se ubica en la parte inferior de la tubería colocada verticalmente.

Este filtro requiere una limpieza anual, previo al inicio de la estación lluviosa, para que inicie el periodo de uso con toda la capacidad de infiltración de la estructura. Debido a lo anterior, esta estructura no debe recibir escorrentía superficial proveniente de zonas agrícolas o jardines, debido a la posibilidad de contener sólidos suspendidos en la escorrentía superficial.

## 7. Tipos de proyectos en los que se puede aplicar las obras

Los pozos de infiltración inducida son una alternativa para proyectos de baja densidad constructiva, básicamente para proyectos que no superen los 500 metros cuadrados de huella de impermeabilización.

Básicamente, el pozo de infiltración permitirá recargar la zona no saturada de escorrentía proveniente de techos que son captados por el sistema de canoas de viviendas, condominios (solución para varias unidades de condominios que sumados la huella de impermeabilización no superen los 500 metros cuadrados).

En el caso de condominios o proyecto de apartamentos, un pozo de infiltración inducida se puede utilizar para infiltrar la escorrentía superficial de más de una residencia, siempre y cuando la escorrentía provenga de techos y zonas impermeabilizadas que no superen un área mayor de 500 metros cuadrados.

Si el área de impermeabilización supera el área recomendada, el desarrollador debe considerar establecer un segundo pozo de infiltración inducida con el objetivo disminuir la presión sobre una sola estructura y cumplir el objetivo.

El pozo de infiltración es una alternativa viable para proyectos que cuenten con un espacio reducido para potencializar la infiltración, ya que se requiere canalizar la escorrentía hasta el pozo y el área de captación no supera el metro cuadrado dado que su efecto es generar una columna de agua internamente que provoque una carga para inducir la infiltración por el peso del agua, generada por efecto del peso de la columna.

## 8. Tipos de proyectos en los cuales no se recomienda utilizar

Esta estructura es una recomendación para proyectos que, por sus características de ubicación y espacio, requieren una obra que



necesita espacio para su construcción. Como el pozo no dispone de una estructura complementaria de retención de sedimentos, no podrá recibir escorrentía superficial de zonas de jardines, zonas verdes o cualquier otro proyecto que genere escorrentía superficial con sólidos suspendidos. Además, se detallan otras condiciones:

- En zonas industriales o proyectos individuales donde exista procesos químicos no es recomendable utilizar este tipo de estructuras ya que aumenta considerablemente el riesgo de contaminación en la zona no saturada del acuífero.
- Zonas de parqueos con alta densidad de vehículos son áreas con limitación de uso debido al riesgo por contaminación de hidrocarburos y grasas.

### 2.2.2 Canales de conducción con base permeable

#### 1. Tipo de obra

Este canal se derivó de la experiencia colombiana en la zona cafetalera de este país. Consiste en una combinación de canal de intercepción de escorrentía superficial con una base permeable que permite la infiltración de la escorrentía.

En el caso de la experiencia de Colombia con el ensayo denominado Jardín de Lluvia, el cual es un receptor de escorrentía con una alta permeabilidad, el canal de conducción con base permeable combina la técnica con la intercepción y conducción de la escorrentía.

La ventaja del canal de conducción con base permeable, es poder combinarse paralelamente con otras estructuras de inducción de la infiltración, ya que este canal al conducir la escorrentía superficial filtra una parte de ésta, mientras

complementa la infiltración del volumen de escorrentía que el canal no logró infiltrar.

#### 2. Finalidad de la obra

El canal de conducción con base permeable es un canal de conducción en el cual para la base del mismo se utiliza un material permeable. Para utilizar esta obra como método de mitigación, debido a la huella de impermeabilización de un proyecto, se debe disponer de condiciones del terreno que permita el trazado del canal con una pendiente moderada para que el flujo de la escorrentía sea de un régimen sub crítico a crítico.

Esta estructura se puede utilizar adicionalmente con otras estructuras de inducción de la infiltración (pozos de infiltración inducida o fosas de retención de infiltración), ya que este tipo de canal se puede utilizar como medio de conducción de la escorrentía hacia otras estructuras, con la ventaja que una parte del caudal de escorrentía que conduce puede infiltrar y disminuir la presión sobre las otras estructuras.

#### 3. Diseño y construcción de las obras

El diseño de esta estructura de conducción es básicamente el trazado de un canal de sección transversal trapezoidal que permita disponer de un ancho de solera (base del canal) con un material poroso.

El material poroso de la base del canal permite que, en el momento de la conducción de la escorrentía superficial, una parte del caudal se infiltre por efecto de la gravedad, por lo tanto la pendiente del canal debe ser moderada (pendiente que no supere el 1,5%). De tal forma, la pendiente del terreno debe permitir el trazado del canal y evitar un movimiento excesivo de la capa del suelo. Los taludes del canal se pueden construir con concreto para brindar estabilidad al talud.

Para el trazado del canal, se debe disponer de una descripción de los perfiles



superiores de la zona no saturada, ya que la existencia de una capa de suelo impermeable puede provocar sobresaturación del suelo y generar posteriormente una desestabilización del suelo y afectar a la infraestructura.

Este tipo de obra se debe evitar construir cerca de la parte superior de un talud o una zona de alta pendiente, ya que la saturación del suelo puede provocar una remoción en masa (deslizamiento).

Las dimensiones del canal se definen en función del caudal total producto de la escorrentía superficial; por lo tanto, se debe considerar el estudio hidrológico.

Para la construcción se debe realizar un trazado del canal, mecánica o manualmente, estableciendo una pendiente que no supere 1,5%.

El talud revestido en concreto no requiere de un lujado de la superficie, ya que este proceso disminuye el coeficiente de rugosidad y aumenta la velocidad de la escorrentía y el objetivo de este tipo de estructura es asegurar que el agua superficial esté en contacto con la base del canal para inducirla a infiltrar.

La colocación de la base del canal debe ser posterior al revestimiento de los taludes; para ello se colocará una cama de agregados (piedra bruta de 150 mm y quintilla de 12,5 mm). La colocación de la cama de agregados no requiere de compactación y la disposición de la cama será de una sub base de piedra bruta sobre la cual se coloca la base de quintilla.

La piedra bruta debe disponer de un diámetro inferior a 150 mm y debe ser lavada para remover cualquier material fino que provoque un sello sobre los macro poros que forma la sub base. Generalmente, son rocas extraídas de concesiones mineras fluviales o extracciones de lahares después de un proceso de trituración y cribado.

No se recomienda utilizar roca con efectos de meteorización ya que existe un riesgo de fractura y posterior alteración de los espacios porosos que forma la sub base.

La piedra quintilla corresponde a un agregado de construcción que se obtiene de un proceso de trituración, cribado y lavado para garantizar la distribución granulométrica y la eliminación de materiales finos (limos y arcillas). El diámetro del agregado debe ser de 12,5 milímetros.

El cemento utilizado para los taludes del canal debe ser tipo Portland (tipo 1-RTCR) con una resistencia a la compresión entre 180 a 210 kg/m<sup>2</sup>, para evitar daños por abrasión del concreto (ver Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto ICCYC Norma RTCR 383:2004).

En la Figura N°5 se presenta el detalle de la obra y en el Anexo N°10 se presenta el detalle constructivo de la estructura.

Como la estructura requiere obras complementarias para atrapar sólidos suspendidos, en la Figura N°6 se muestra el detalle de una trampa de sedimentos y en el Anexo N°10 se brinda el detalle constructivo de la estructura.

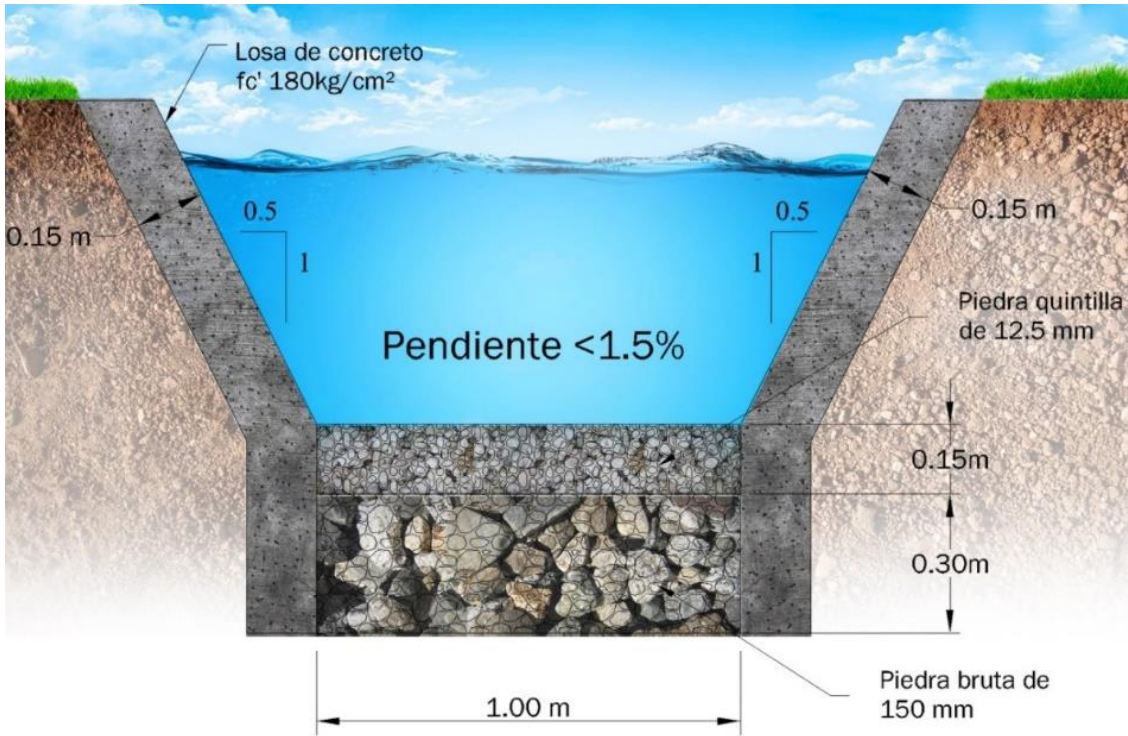
**Figura 4**  
Norma específica para el cemento recomendado

Cemento	Norma de especificaciones físicas
Tipo Portland	ASTM C150

Fuente: Reglamento Técnico de Costa Rica RTCR 479:2015

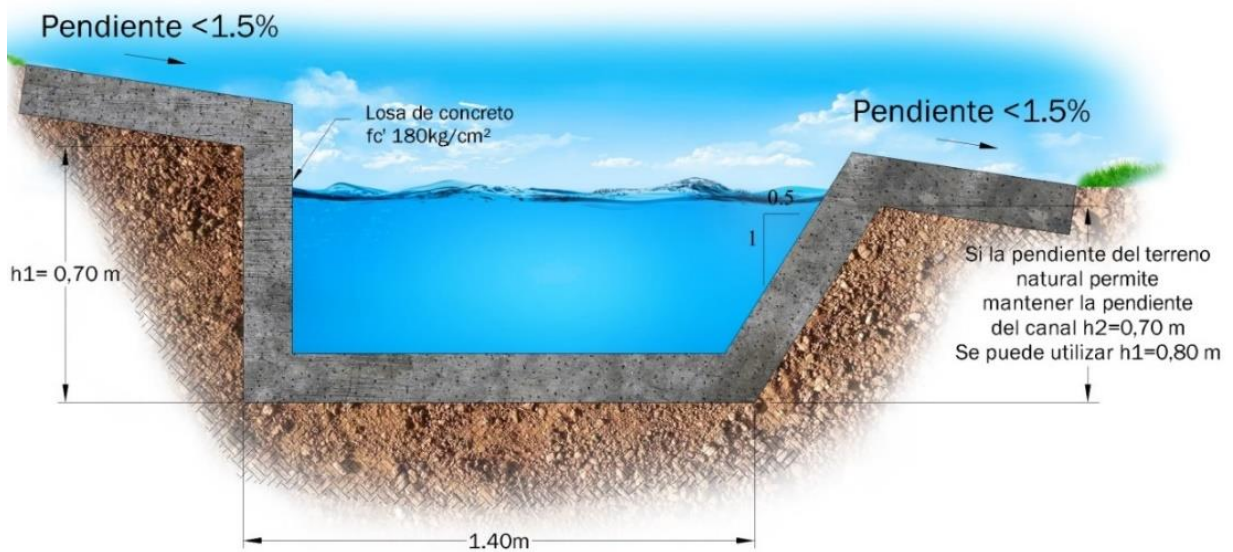


**Figura 5**  
Detalle del canal de infiltración inducida



Fuente: Ing. Allan González G., 2017.

**Figura 6**  
Detalle de la trampa de sedimentos para canal de infiltración inducida



Fuente: Ing. Allan González G., 2017



#### 4. Costo estimado de implementación de las obras

En el Cuadro N° 10 se observa el detalle de los costos de implementación de un canal de base permeable, considerando una

longitud de 25 metros y un ancho de solera (base) de 0,75 metros. Se debe mantener la pendiente máxima de 1,5% para asegurarse la capacidad de infiltración del canal.

**Cuadro 10**  
**Detalle de costo aproximado de canal de base permeable**  
**con una longitud de 25 metros un ancho de base de 0,75 metros**

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Cemento	saco 50 kg	9	¢5.955,00	¢53.595,00
Arena tajo	m3	1,8	¢12.935,00	¢23.283,00
Piedrilla cuartilla	m3	0,85	¢14.365,00	¢12.210,25
Adecuación terreno	horas	24	¢1.250,00	¢30.000,00
Formaleta	metro	12	¢1.560,00	¢18.720,00
Piedra quintilla	m3	2,8	¢15.975,00	¢44.730,00
Piedra drenaje	m3	5,65	¢18.725,00	¢105.796,25
Subtotal materiales				¢288.334,50
Mano de obra				¢129.750,53
Diseño	horas	4	¢24.273,00	¢97.092,00
Subtotal obra				¢515.177,03
Inspección de obra		3% costo obra		¢15.455,31
<b>Total</b>				<b>¢530.632,34</b>

Fuente: Precios de materiales de construcción obtenidos en Ferretería Digital. Los costos de mano de obra fueron obtenidos de la base de datos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, CFIA. Marzo 2017

#### 5. Eficiencia de las obras en función del volumen inducido que se recarga

Esta obra es consabida para ser implementada como una obra complementaria para otras obras de infiltración inducida, ya que su objetivo es interceptar la escorrentía superficial que provenga de zonas de jardines y áreas verdes, áreas de cultivo o cualquier otra superficie que genere escorrentía con sedimentos en suspensión.

Por lo tanto, el canal de conducción de fondo permeable requiere de estructura complementaria como trampa de sedimentos que permita retener los sólidos en suspensión a esta escorrentía con esta particularidad, por lo cual, esta estructura es una alternativa para combinar con otras estructuras, sean superficies permeables o estructuras de retención e inducción de la infiltración, que requieren que la escorrentía

superficial esté libre de sólidos suspendidos.

Adicionalmente, otra función del canal de fondo permeable es disminuir la velocidad de la escorrentía superficial provenientes áreas de jardín o cultivo, por lo cual la limpieza de las trampas de sedimentos es fundamental para mantener la capacidad de infiltración del fondo permeable.

Considerando, un mantenimiento oportuno en las trampas de sedimentos, la eficiencia de la estructura está en función de la pendiente del fondo del canal (la rasante), la cual a su vez está limitada por la pendiente natural del terreno y la capacidad de infiltración de la zona no saturada.

En este último punto, la prueba de infiltración debe realizarse bajo condiciones de saturación que permita disponer de un panorama de condiciones adversas para la infiltración.



## 6. Requerimiento de mantenimiento e inspección para las obras

El mantenimiento de esta estructura consiste básicamente en la remoción de sedimentos finos que puedan obstruir la base permeable del canal. Para ello, el diseño debe contemplar trampas de sedimentos. Debido a que se puede constituir en una estructura de grandes dimensiones por la longitud, se debe tener especial cuidado si la escorrentía proviene de parqueos ya que la susceptibilidad de contaminación de la zona no saturada aumenta.

Se debe realizar una revisión periódica de la estructura, ya que su finalidad como complementaria en proyectos de desarrollo residencial en zonas verdes y jardines, la hace susceptible a la obstrucción de sedimentos finos en el fondo de grava.

## 7. Tipos de proyectos en los que se puede aplicar las obras

Este tipo de obra, se puede recomendar básicamente como una alternativa complementaria con otras estructuras de inducción de infiltración.

Este tipo de canal lo que busca es infiltrar una proporción del volumen que transporta. Se utilizaría en zonas abiertas, como áreas verdes y jardines de proyectos residenciales, con condiciones que permitan trazar el canal con pendientes que no superen 1,5%, ya que canales con pendientes mayores aumentarían considerablemente la velocidad de la escorrentía y el flujo obtendría un régimen supercrítico.

Además, este tipo de obra se puede recomendar en áreas dedicadas a cultivos orgánicos, como cafetales, para conducir la escorrentía superficial hasta un punto de desfogue, con la ventaja de que la base permeable infiltrará un volumen de la escorrentía y disminuye la presión por los cauces naturales que reciben escorrentía de áreas de cultivo sin uso de sustancias tóxicas.

## 8. Tipos de proyectos en los cuales no se recomienda utilizar

Esta estructura es una recomendación para proyectos que dispongan de zonas de jardines y áreas verdes. Por lo tanto, no se debe utilizar en zonas cercanas a taludes y desniveles pronunciados ya que el aumento de infiltración puede producir inestabilidad a la pared del talud y generar una caída de la misma. Además, se debe evitar su uso en:

- Zonas industriales o proyectos individuales donde exista procesos químicos. En ellos no es recomendable utilizar este tipo de estructuras ya que aumenta considerablemente el riesgo de contaminación en la zona no saturada del acuífero.
- Zonas de parqueos con alta densidad de vehículos son áreas con limitación de uso debido al riesgo por contaminación de hidrocarburos y grasas.

### 2.2.3 Fosa de retención de escorrentía con pozo de infiltración

#### 1. Tipo de obra

Esta estructura se deriva del principio que de las experiencias que han desarrollado Argentina y Estados Unidos, las cuales han utilizado el efecto de la gravedad para inducir la infiltración.

Específicamente, en los casos evaluados en Argentina y Estados Unidos, el agua infiltrada proviene de la escorrentía superficial.

En los dos casos, corresponden a grandes proyectos de captación de las aguas superficiales y utilizan áreas considerables para inducir la infiltración, con láminas que promedian entre 0,5 y 1 metro profundidad con el fin de evitar pérdidas por evaporación.

En ambos casos se utilizan extensiones de tierras marginales y con características geomorfológicas que permiten dimensionar



las estructuras, pero en el caso específico de Costa Rica, se debe ajustar las medidas de las estructuras considerando las condiciones propias de la zona, la pendiente y precipitación y el costo de la tierra entre otros aspectos.

## 2. Finalidad de la obra

Para el diseño de este tipo de obra se requiere determinar el caudal total generado por escorrentía superficial producto de la huella de impermeabilización de un proyecto. Se debe considerar la obra principal, así como estructuras paralelas al proyecto (parqueos, aceras y vías de acceso), con el objetivo de poder mitigar el efecto de la impermeabilización del suelo.

Esta estructura es una fosa excavada en el suelo con un fondo y taludes permeables, por lo cual se debe considerar en el diseño utilizar trampas de sedimentos, para evitar la colmatación del fondo y taludes.

La propuesta es una estructura modular que permita ajustarse a las condiciones de topografía e intensidad de lluvia para las zonas de recarga de Costa Rica. Se presenta un diseño con dimensiones promedio, las cuales pueden ser modificadas en función de las condiciones del proyecto en el cual se implementará.

Además, la fosa de retención de escorrentía con pozo de infiltración funciona como una estructura para retener la escorrentía superficial ya que tiene la capacidad de retener el volumen de dicha escorrentía.

Una vez retenida la escorrentía, por efecto de gravedad, el agua ingresa en el pozo de infiltración para recargar la zona no saturada del acuífero.

## 3. Diseño y construcción de las obras

La fosa de retención de escorrentía es una cavidad excavada en el suelo firme que tiene el objetivo de funcionar como un reservorio del volumen generado por la

escorrentía superficial provocada por la impermeabilización del suelo.

Conviene considerar dos aspectos importantes en el proceso de diseño:

- La instalación de trampas de sedimentos y basuras previas a la entrada de la fosa.
- La captación de la escorrentía proveniente de parqueos o predios con vehículos.

Toda fosa, que funcionará como reservorio, requiere de una trampa de sedimentos, ya que en los techos se acumula polvo que en combinación con el agua genera una mezcla de sedimento fino que, acumulándose en el fondo y los taludes de la fosa, disminuirá su capacidad de infiltración.

Si la escorrentía superficial proviene de parqueos, se debe instalar una estructura adicional a la trampa de sedimentos para retener grasas, aceites y restos de combustibles, para evitar una contaminación de las aguas subterráneas. La fosa de retención de escorrentía requiere de excavación en el terreno, con implementación de taludes. Los taludes, además de proporcionar estabilidad, funcionarán como una superficie de infiltración juntamente con el fondo de la fosa.

Para brindar estabilidad en el fondo y en los taludes se debe colocar un geotextil sobre el suelo excavado y posteriormente colocar una superficie permeable.

La superficie permeable puede utilizar concreto de tipo Portland con una alta porosidad, tanto en el fondo como en los taludes.

Para estabilización del fondo y taludes se podrá utilizar adoquines, concreto tipo Portland de alta porosidad y geo membranas ancladas al terreno con pernos metálicos.



Las trampas de sedimentos y trampas para grasas y aceites deben ser construidas en concreto utilizando cemento tipo Portland (tipo 1-RTCR, ver figura N°4) con una resistencia a la compresión entre 210 a 230 kg/m<sup>2</sup>, para evitar daños por abrasión del concreto (ver Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto ICCYC Norma RTCR 383:2004).

### Parámetros de diseño

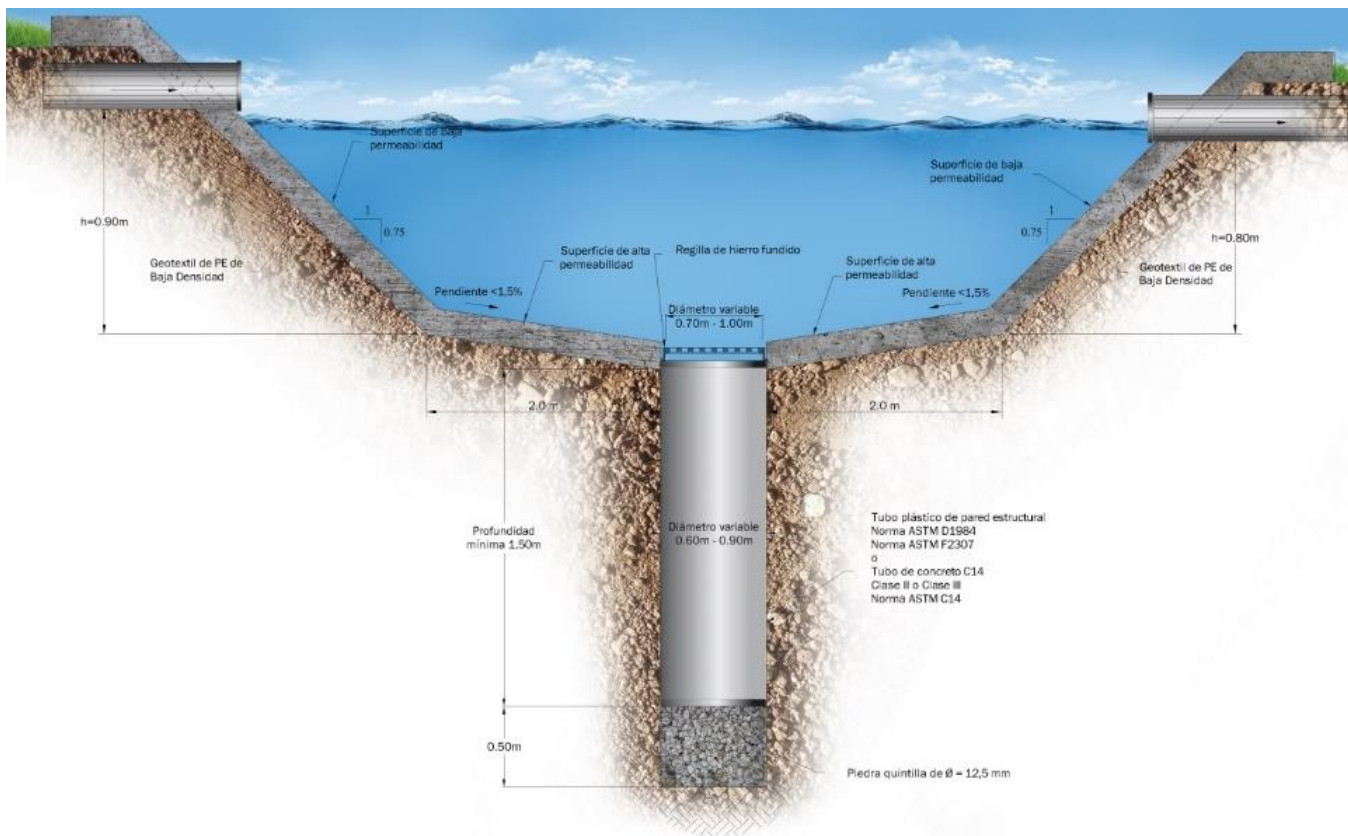
El caudal se determina según el método seleccionado, el cual está en función de la intensidad de precipitación que a su vez se consideró el periodo de retorno, el tiempo

de concentración para el área de drenaje y la duración del evento.

En el diseño de la estructura no se debe considerar interceptar, captar e infiltrar toda la escorrentía superficial para un evento máximo ya que las estructuras deben tener una proporcionalidad respecto al volumen de captación y el espacio que demanda en el proyecto.

En la Figura N°7 se observa el detalle de la obra y en el Anexo N°11 se muestra el detalle constructivo de la estructura de fosa de retención de escorrentía con pozo de infiltración.

**Figura 7**  
Detalle de fosa con pozo de infiltración inducida



Fuente: Ing. Allan González G., 2017



#### 4. Costo estimado de implementación de las obras

Como se indicó, la estructura es modular y dispone de dos variaciones: la primera utilizando una tubería de diámetro nominal de 600 milímetros y una segunda versión

con una tubería de diámetro nominal de 900 milímetros.

En los cuadros 11 y 12 se muestra el detalle de costos de las dos variaciones de propuesta de estructura.

**Cuadro 11**

**Detalle de costo aproximado de una fosa de retención de escorrentía con pozo de inducción de infiltración con pozo de diámetro de 600 milímetros**

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Cemento	saco 50 kg	12	Ø5.955,00	Ø71.460,00
Arena tajo	m3	1,8	Ø12.935,00	Ø23.283,00
Piedrilla cuartilla	m3	0,85	Ø14.365,00	Ø12.210,25
Varilla N° 3 grado 40	unidad	32	Ø1.140,00	Ø36.480,00
Alambre negro	kg	7	Ø490,00	Ø3.430,00
Tubo plástico desfogue 4	unidad	1	Ø27.997,00	Ø27.997,00
Tubo concreto 600 mm	unidad	2	Ø27.850,00	Ø55.700,00
Caja registro concreto	unidad	1	Ø6.120,00	Ø6.120,00
Adecuación terreno	horas	24	Ø1.250,00	Ø30.000,00
Piedra quintilla	m3	0,25	Ø15.975,00	Ø3.993,75
Lámina de acero 3/8 pulg	lámina	0,1	Ø82.605,00	Ø8.260,50
Soldadura	kg	1	Ø21.065,00	Ø21.065,00
Formaleta	metro	18	Ø1.560,00	Ø28.080,00
Alquiler maquinaria	horas	6	Ø19.500,00	Ø117.000,00
Subtotal materiales				Ø445.079,50
Mano de obra				Ø200.285,78
Diseño	horas	16	Ø24.273,00	Ø388.368,00
Subtotal obra				Ø1.033.733,28
Inspección de obra	3% costo obra			Ø31.012,00
<b>Total</b>				<b>Ø1.064.745,27</b>

Fuente: Precios de materiales de construcción obtenidos en Ferretería Digital. Los costos de mano de obra fueron obtenidos de la base de datos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, CFIA. Marzo 2017.



### Cuadro 12

Detalle de costo aproximado de una fosa de retención de escorrentía con pozo de inducción de infiltración con pozo de diámetro de 900 milímetros

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Cemento	saco 50 kg	14	¢5.955,00	¢83.370,00
Arena tajo	m3	2	¢12.935,00	¢25.870,00
Piedrilla cuartilla	m3	0,95	¢14.365,00	¢13.646,75
Varilla N°3 grado 40	unidad	32	¢1.140,00	¢36.480,00
Alambre negro	kg	7	¢490,00	¢3.430,00
Tubo plástico desfogue 4 pulg	unidad	1	¢27.997,00	¢27.997,00
Tubo concreto 900 mm	unidad	2	¢43.700,00	¢87.400,00
Caja registro concreto	unidad	1	¢6.120,00	¢6.120,00
Adecuación terreno	horas	24	¢1.250,00	¢30.000,00
Piedra quintilla	m3	0,25	¢15.975,00	¢3.993,75
Lámina de acero 3/8 pulg	lámina	0,1	¢82.605,00	¢8.260,50
Soldadura	kg	1	¢21.065,00	¢21.065,00
Formaleta	metro	18	¢1.560,00	¢28.080,00
Alquiler maquinaria	horas	6	¢19.500,00	¢117.000,00
Subtotal materiales				¢492.713,00
Mano de obra				¢221.720,85
Diseño	horas	16	¢24.273,00	¢388.368,00
Subtotal obra				¢1.102.801,85
Inspección de obra		3% costo obra		¢33.084,06
<b>Total</b>				<b>¢1.135.885,91</b>

Fuente: Precios de materiales de construcción obtenidos en Ferretería Digital. Los costos de mano de obra fueron obtenidos de la base de datos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, CFIA. Marzo 2017.

#### 5. Eficiencia de las obras en función del volumen inducido que se recarga

Este tipo de estructura combina la capacidad de infiltración de un pozo de infiltración inducida con una fosa de retención de escorrentía superficial. En el Anexo 11 se presenta una propuesta de diseño en función de los valores del ejemplo de proyecto analizado en el Anexo 8.

Básicamente, podemos definir que una estructura de retención (en el caso de la fosa) con dimensiones de 4,60 metros de largo por 3,65 metros de ancho (ambas medidas en la parte superior de la estructura) con un talud de 0,5 de pendiente tiene la capacidad de retener el caudal total generado para condiciones de intensidad máxima, un periodo de retorno de 25 años y duración de 30 minutos.

Para este ejemplo, la capacidad filtrante la genera el pozo de infiltración inducida, que el diseño propone en el fondo de la fosa. La fosa además de retener el caudal de escorrentía y regular la descarga hacia un cauce receptor, para condiciones de intensidad de lluvia mayores a las propuestas en el Anexo N°8, también genera una columna de agua que aumenta la carga sobre la zona no satura del perfil del suelo.

La infiltración que genera el pozo de inducción de infiltración dentro de la fosa está sujeta a las características del perfil del suelo que haya en la zona no saturada. Considerando, el análisis realizado en el punto 5 correspondiente al ejemplo 3.3.1 Pozo de inducción de infiltración, conductividad hidráulica igual o mayores a 1



metros por día, es condición ideal para la infiltración inducida en el pozo, además se debe considerar la carga extra de la fosa que genera un gradiente hidráulico mayor.

## 6. Requerimiento de mantenimiento e inspección para las obras

Este tipo de estructuras están expuestas a la entrada de sólidos suspendidos que limiten su capacidad de infiltración, principalmente por contaminación de sedimentos del filtro que se ubica en la parte inferior de la tubería colocada verticalmente como obra complementaria de la estructura.

Las trampas de sedimentos son obras complementarias básicas que se deben considerar en el diseño de la obra, ya que estas trampas de sedimentos disminuyen la posibilidad de entrada de sólidos suspendidos en la escorrentía superficial.

Este filtro requiere una limpieza anual, previa al inicio de la estación lluviosa, para que inicie el periodo de uso con toda la capacidad de infiltración de la estructura.

Las trampas de sedimentos deben ser revisadas periódicamente pues existe la posibilidad de retención de sólidos finos y basura.

Debido a lo anterior, esta estructura no debe recibir escorrentía superficial proveniente de zonas agrícolas o jardines, debido a la posibilidad de contener sólidos suspendidos en la escorrentía superficial.

Una consideración importante es que las entradas de sólidos finos suspendidos en la escorrentía generan una delgada película en el fondo de la fosa, que obstruye su capacidad de infiltración y puede generar las condiciones óptimas para el crecimiento de vegetación no deseada sobre la estructura.

Se deben remover las capas de sedimentos que se asientan sobre la superficie de la fosa, además de eliminar vegetación que se establezca en la superficie de infiltración.

## 7. Tipos de proyectos en los que se puede aplicar las obras

Esta estructura permite aumentar la capacidad de almacenamiento y recarga pues combina dos estructuras; por lo tanto, este tipo de obra se puede recomendar en proyectos que tienen una huella de impermeabilización mayor a 500 metros cuadrados.

Se recomienda su utilización en desarrollos inmobiliarios residenciales como:

- Conjuntos de condominios y apartamentos.
- Urbanizaciones.
- Conjunto de oficinas.

## 8. Tipos de proyectos en los cuales no se recomienda utilizar

No se recomienda su utilización en parqueos de alta densidad o con escorrentía proveniente de áreas de jardín o zonas de cultivo que arrastren sedimentos en suspensión, ya que estos sedimentos pueden obstruir el filtro que se dispone en el fondo del pozo de infiltración. También conviene evitar su uso en:

- Zonas industriales o proyectos individuales donde exista procesos químicos. En ellos no es recomendable utilizar este tipo de estructuras ya que aumenta considerablemente el riesgo de contaminación en la zona no saturada del acuífero.
- Zonas de parqueos con alta densidad de vehículos son áreas con limitación de uso debido al riesgo por contaminación de hidrocarburos y grasas.

### 2.2.4 Fosa de retención de escorrentía con piso permeable

#### 1. Tipo de obra

En esta propuesta de obra, a diferencia de la fosa de retención de escorrentía con pozo de infiltración, se excluye el pozo de infiltración y su fondo es completamente permeable. Su función es captar la escorrentía superficial y, por un efecto de gravedad que genera la columna de agua,



provoca la infiltración en su fondo permeable.

Igual que su predecesora, es una estructura modular que se deriva de las experiencias de México, Argentina y Estados Unidos. Logra captar la escorrentía superficial y por efecto de gravedad genera la infiltración.

Debe ajustarse a las condiciones que se presenten en las zonas de recarga de acuíferos de Costa Rica, entre ellas la topografía, la magnitud de los proyectos de infraestructura y el costo por metro cuadrado de terreno.

## 2. Finalidad de la obra

Esta propuesta de fosa de retención de escorrentía corresponde a una variante de la fosa de retención con pozo de infiltración, que brinda una opción para ser considerada en proyectos en los cuales las condiciones *in situ* no permiten la perforación e instalación de un tubo en el centro de la fosa.

## 3. Diseño y construcción de las obras

La fosa de retención de escorrentía es una cavidad excavada en el suelo firme que tiene el objetivo de funcionar como un reservorio del volumen generado por la escorrentía superficial provocada por la impermeabilización del suelo.

El periodo de retorno no debe ser mayor a 10 años, ya que esta estructura requiere de un espacio del área dentro del AP para ser excavado e instalado el fondo y los taludes.

Conviene considerar dos aspectos importantes en el proceso de diseño:

- La instalación de trampas de sedimentos y basuras previas a la entrada de la fosa.
- La captación de la escorrentía proveniente de parqueos o predios con vehículos.

Toda fosa que funcionará como reservorio requiere de una trampa de sedimentos, ya

que en los techos se acumula polvo que, en combinación con el agua, genera una mezcla de sedimento fino que acumulándose en el fondo y los taludes de la fosa disminuirá su capacidad de infiltración.

Si la escorrentía superficial proviene de parqueos, se debe instalar una estructura adicional a la trampa de sedimentos para retener grasas, aceites y restos de combustibles, para evitar una contaminación de las aguas subterráneas.

La fosa de retención de escorrentía requiere de excavación en el terreno, con implementación de taludes. Los taludes, además de proporcionar estabilidades, funcionarán como una superficie de infiltración, conjuntamente con el fondo de la fosa.

Para brindar estabilidad en el fondo y en los taludes se debe colocar un geotextil sobre el suelo excavado y posteriormente colocar una superficie permeable.

La superficie permeable puede utilizar concreto de tipo Portland con una alta porosidad, tanto en el fondo como en los taludes.

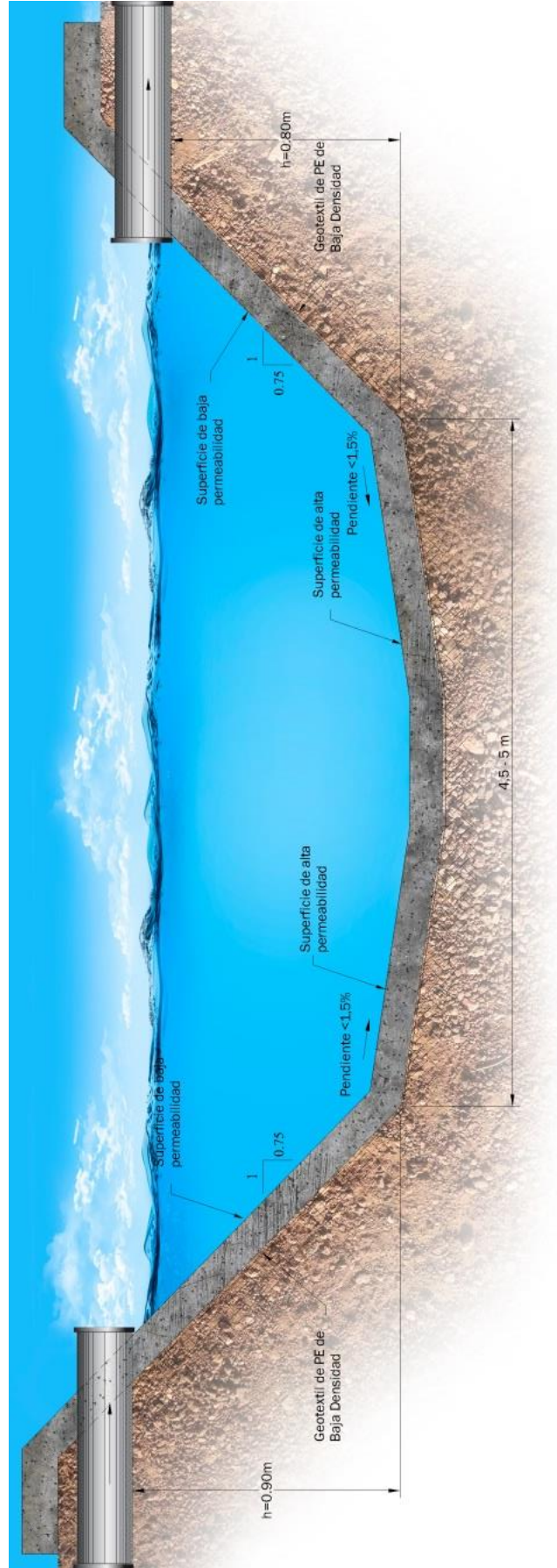
Para la estabilización del fondo y los taludes, se podrá utilizar adoquines, concreto tipo Portland de alta porosidad o geo membranas ancladas al terreno con pernos metálicos.

Las trampas de sedimentos y trampas para grasas y aceites deben ser construidos en concreto utilizando cemento tipo Portland (tipo 1-RTCR, ver figura N° 4) con una resistencia a la compresión entre 210 a 230 kg/m<sup>2</sup>, para evitar daños por abrasión del concreto (ver Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto ICCYC Norma RTCR 383:2004).

En la Figura N°8 se muestra el detalle de la obra y en el Anexo N°12 se puede ver el detalle constructivo de la estructura.



**Figura 8**  
Detalle de la fosa de piso permeable para inducción de la infiltración



Fuente: Ing. Allan González G., 2017

**Cuadro 13**

**Detalle de costo aproximado de una fosa de retención de escorrentía con fondo permeable**

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Cemento	saco 50 kg	12	¢5.955,00	¢71.460,00
Arena tajo	m3	1,8	¢12.935,00	¢23.283,00
Piedrilla cuartilla	m3	0,85	¢14.365,00	¢12.210,25
Varilla N° 3 grado 40	unidad	32	¢1.140,00	¢36.480,00
Alambre negro	kg	7	¢490,00	¢3.430,00
Tubo plástico desfogue 4 pulg	unidad	1	¢27.997,00	¢27.997,00
Caja registro concreto	unidad	1	¢6.120,00	¢6.120,00
Adecuación terreno	horas	18	¢1.250,00	¢22.500,00
Piedra quintilla	m3	0,25	¢15.975,00	¢3.993,75
Lámina de acero 3/8 pulg	lámina	0,1	¢82.605,00	¢8.260,50
Soldadura	kg	1	¢21.065,00	¢21.065,00
Formaleta	metro	18	¢1.560,00	¢28.080,00
Alquiler maquinaria	horas	6	¢19.500,00	¢117.000,00
Subtotal materiales				¢381.879,50
Mano de obra				¢171.845,78
Diseño	horas	16	¢24.273,00	¢388.368,00
Subtotal obra				¢942.093,28
Inspección de obra		3% costo obra		¢28.262,80
<b>Total</b>				<b>¢970.356,07</b>

Fuente: Precios de materiales de construcción obtenidos en Ferretería Digital. Los costos de mano de obra fueron obtenidos de la base de datos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, CFIA. Marzo 2017.

#### 4. Costo estimado de implementación de las obras

En el Cuadro 13 se detallan los costos de implementación de una fosa de retención de escorrentía con fondo permeable.

#### 5. Eficiencia de las obras en función del volumen inducido que se recarga

Esta estructura, a diferencia de la fosa de retención de escorrentía con pozo de infiltración, no dispone de un pozo que induzca la infiltración; por lo contrario, la infiltración se da a través de un piso permeable.

La propuesta de diseño considera los parámetros establecidos en el Anexo 8, con la diferencia de colocar un piso permeable, utilizando alternativas de mercado (zacate block relleno se quintilla o polvo piedra,

inclusive zacate para agregar valor estético).

Esta condición de inducción de infiltración, que genera una mayor área de infiltración, está sujeto a limitantes como conductividades hidráulicas limitadas (según del estudio hidrogeológico), saturación del perfil del perfil del suelo o niveles freáticos superficiales, además de posible existencia de estratos de conductividad hidráulica limitada.

Por ende, esta estructura tiene un mayor potencial de retención y regulación de la salida de la escorrentía superficial hacia un cuerpo receptor.

#### 6. Requerimiento de mantenimiento e inspección para las obras

Este tipo de estructuras están expuestas a la entrada de sólidos suspendidos que



limiten su capacidad de infiltración, principalmente por contaminación de sedimentos del filtro que se ubica en la parte inferior de la tubería colocada verticalmente como obra complementaria de la estructura.

Las trampas de sedimentos son obras complementarias básicas que se deben considerar en el diseño de la obra, ya que estas trampas de sedimentos disminuyen la posibilidad de entrada de sólidos suspendidos en la escorrentía superficial.

Este filtro requiere una limpieza anual, previa al inicio de la estación lluviosa, para que inicie el periodo de uso con toda la capacidad de infiltración de la estructura.

Las trampas de sedimentos deben ser revisadas periódicamente pues existe la posibilidad de retención de sólidos finos y basura.

Debido a lo anterior, esta estructura no debe recibir escorrentía superficial proveniente de zonas agrícolas o jardines debido a la posibilidad de contener sólidos suspendidos en la escorrentía superficial.

Una consideración importante es que las entradas de sólidos finos suspendidos en la escorrentía generan una delgada película en el fondo de la fosa, que obstruye su capacidad de infiltración y puede generar las condiciones óptimas para el crecimiento de vegetación no deseada sobre la estructura.

Se deben remover las capas de sedimentos que se asientan sobre la superficie de la fosa, además de eliminar vegetación que se establezca en la superficie de infiltración.

## 7. Tipos de proyectos en los que se puede aplicar las obras

Esta estructura permite aumentar la capacidad de almacenamiento y recarga ya que combina dos estructuras; por lo tanto, este tipo de obra se puede recomendar en proyectos que tienen una huella de

impermeabilización mayor a 500 metros cuadrados.

Se recomienda su utilización en desarrollos inmobiliarios residenciales como:

- Conjuntos de condominios y apartamentos.
- Urbanizaciones.
- Conjunto de oficinas.

## 8. Tipos de proyectos en los cuales no se recomienda utilizar

No se recomienda su utilización en parqueos de alta densidad o con escorrentía proveniente de áreas de jardín o zonas de cultivo que arrastren sedimentos en suspensión, ya que estos sedimentos pueden obstruir el filtro que dispone en el fondo del pozo de infiltración. También se debe evitar su uso en:

- Zonas industriales o proyectos individuales donde exista procesos químicos. En ellos no es recomendable utilizar este tipo de estructuras ya que aumenta considerablemente el riesgo de contaminación en la zona no saturada del acuífero.
- Zonas de parqueos con alta densidad de vehículos son áreas con limitación de uso debido al riesgo por contaminación de hidrocarburos y grasas.

### 2.2.5 Jardín de lluvia

#### 1. Tipo de obra

Esta obra se derivó de la experiencia en Colombia denominada “jardín de lluvia” y es adaptable a las condiciones de las zonas de recarga de Costa Rica.

El jardín de lluvia es una obra sencilla para aumentar la permeabilidad del suelo en puntos específicos de una propiedad con actividad agrícola orgánica o bien sin uso de sustancias tóxicas, pero también se



puede utilizar en proyectos de desarrollo urbanístico de media y baja densidad.

## 2. Finalidad de la obra

Es una estructura sencilla de construcción y operación, la cual se puede utilizar como complemento en jardines y zonas verdes, ya que el jardín de lluvia es básicamente un jardín con una alta permeabilidad porque en la parte superficial puede combinarse con plantas ornamentales o grama de zonas verdes.

## 3. Diseño y construcción de las obras

Para diseñar el jardín de lluvia se requiere trazar y excavar una fosa de profundidad variable que puede ser mínimo de 1,25 metros de profundidad y dimensiones que varían según las condiciones del sitio definido para ubicar el jardín de lluvia.

La longitud máxima debe ser mínimo de 1,5 veces la profundidad del jardín de lluvia. Debe estar alejado de áreas de fuerte pendiente, como taludes, muros de gaviones y muros de retención, porque la infiltración de la lluvia puede desestabilizar el talud o los muros.

Se colocará un tubo para drenaje de PVC en la primera capa de arena; pero si la primera capa es de mezcla de arena y grava, el tubo de drenaje se podrá omitir.

La distribución de arena y piedra quintilla permite aumentar la macroporosidad

conforme aumente la profundidad de la estructura.

La profundidad de cada una de las capas puede variar en función de las condiciones de permeabilidad natural del suelo. Existen dos opciones para diseñar el jardín de lluvia.

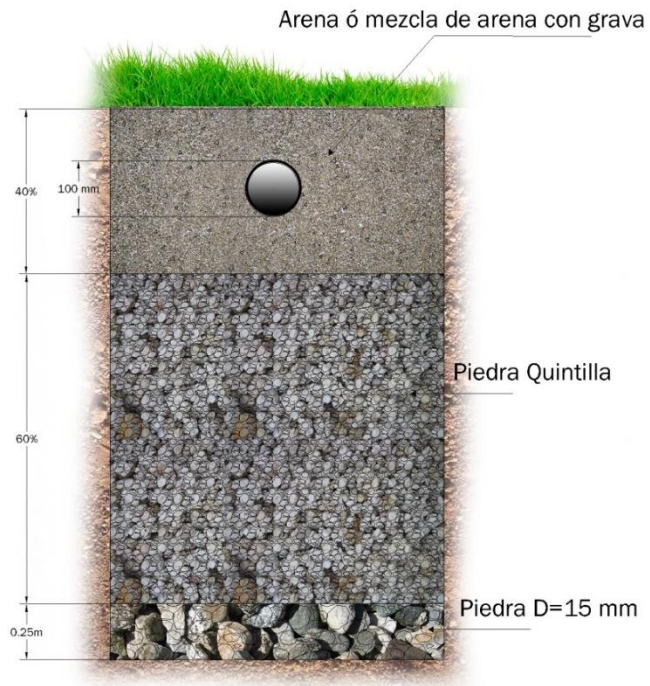
- La primera opción es utilizar 60% de la profundidad total con arena o mezcla de arena y grava y por debajo de esta capa usar el 40% de la profundidad de piedra quintilla (diámetro de 12,5 mm) y una última capa de 25 centímetros de fondo de piedra de 150 milímetros de diámetro; esta última capa se puede sustituir con una mezcla de piedra bola y piedra cuarta.
- La segunda opción es utilizar 40% de la profundidad con una capa de arena o mezcla de arena con grava y 60% con piedra quintilla y mantener la última capa de 25 centímetros.

Los materiales requeridos para la primera capa del jardín de lluvia son arena extraída de río o cantera, y una combinación de arena y grava (que esta última no supere el 50% de la mezcla). La arena debe estar libre de materiales finos como limos y arcillas, ya que estos elementos disminuyen la capacidad de infiltración de la misma.

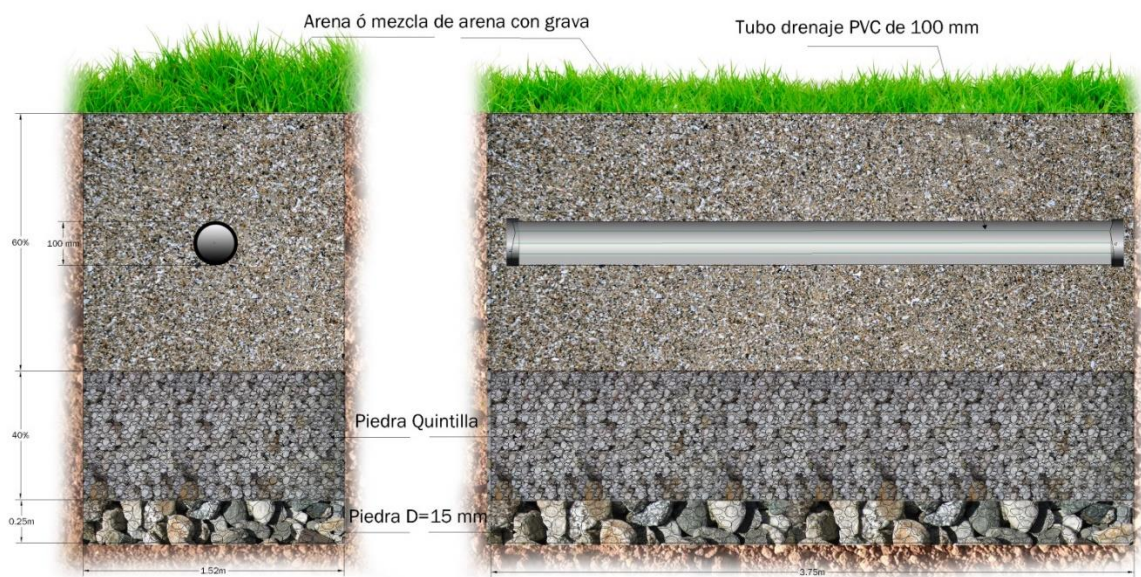
En las figuras N°9 y N°10 se presenta la sección transversal del jardín de lluvia:



**Figura 9**  
Detalle de la sección transversal del jardín de lluvia



**Figura 10**  
Esquema ampliado de una obra de jardín de lluvia





#### 4. Costo estimado de implementación de las obras

En el cuadro N°14 se presenta el desglose de costos para el establecimiento de un jardín de lluvia con una relación 60% arena y 40% piedra quintilla.

En el cuadro N°15 se presenta el desglose de costos para el establecimiento de un jardín de lluvia con una relación 40% arena y 60% piedra quintilla.

**Cuadro 14**

**Desglose de costos de jardín de lluvia con una relación 60% arena y 40% piedra quintilla**

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Arena tajo	m3	5,7	¢12.935,00	¢73.729,50
Adecuación terreno	horas	12	¢1.250,00	¢15.000,00
Piedra quintilla	m3	3,8	¢15.975,00	¢60.705,00
Piedra drenaje	m3	1,5	¢18.725,00	¢28.087,50
Subtotal materiales				¢177.522,00
Mano de obra				¢79.884,90
Diseño	horas	2	¢24.273,00	¢48.546,00
Subtotal obra				¢305.952,90
Inspección de obra		3% costo obra		¢9.178,59
<b>Total</b>				<b>¢315.131,49</b>

Fuente: Precios de materiales de construcción obtenidos en Ferretería Digital. Los costos de mano de obra fueron obtenidos de la base de datos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, CFIA. Marzo 2017.

**Cuadro 15**

**Desglose de costos de jardín de lluvia con una relación 40% arena y 60% piedra quintilla**

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Arena tajo	m3	3,8	¢12.935,00	¢49.153,00
Adecuación terreno	horas	12	¢1.250,00	¢15.000,00
Piedra quintilla	m3	5,7	¢15.975,00	¢91.057,50
Piedra drenaje	m3	1,5	¢18.725,00	¢28.087,50
Subtotal materiales				¢183.298,00
Mano de obra				¢82.484,10
Diseño	horas	2	¢24.273,00	¢48.546,00
Subtotal obra				¢314.328,10
Inspección de obra		3% costo obra		¢9.429,84
<b>Total</b>				<b>¢323.757,94</b>

Fuente: Precios de materiales de construcción obtenidos en Ferretería Digital. Los costos de mano de obra fueron obtenidos de la base de datos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, CFIA. Marzo 2017.



## 5. Eficiencia de las obras en función del volumen inducido que se recarga

Este tipo de estructura tiene un objetivo captar las aguas de escorrentía que se generan en pequeñas áreas de impermeabilización, como techos de viviendas o pequeños núcleos de oficinas; la capacidad filtrante está en función de la longitud del jardín de lluvia y las condiciones de permeabilidad del suelos donde se asienta el jardín.

Esto, debido a que el jardín de lluvia forma volumen de alta conductividad hidráulica, debido a las capas de materiales que se utilizan en su construcción. En el caso del área la conductividad hidráulica es mayor a 1 metro por día y la quintilla mayor a 10 metros por día, en el caso de la piedra que se coloca en el fondo, la conductividad hidráulica, la define el tipo de roca, ya que una variante en el diseño, como utilizar piedra bola (extracción minera de cause), genera una alta porosidad en el fondo, que conjuntamente con la longitud definen un área de alta permeabilidad.

Cabe mencionar que esta estructura tiene una capacidad de retención de escorrentía, por ello, requiere de un tubo poroso interno en el cual pueda escurrir el agua ante una condición de sobre saturación (eventos de intensidad máxima, condiciones de humedad previa altas que saturan el suelo que esta circundante al jardín de lluvia).

Debido a esta condición, el jardín de lluvia solamente se puede recomendar para captar escorrentía superficial proveniente de pequeñas áreas impermeables.

## 6. Requerimiento de mantenimiento e inspección para las obras

El mantenimiento que requiere esta estructura es mínimo ya que, una vez establecida, se coloca una capa superior de suelo para el cultivo de plantas ornamentales o grama, logrando que el jardín de lluvia sea parte integral de un

jardín de una vivienda u otro desarrollo inmobiliario.

Se debe evitar utilizar el jardín de lluvia muy cerca de un tanque séptico, ya que éste promueve la infiltración y puede generar saturación del drenaje del tanque séptico y expedir fuertes olores.

## 7. Tipos de proyectos en los que se puede aplicar las obras

Esta estructura es una obra complementaria que se puede utilizar en combinación con otras obras de inducción de la infiltración.

Como se ha mencionado, las obras anteriores como pozos de inducción de infiltración y fosas con o sin pozo de infiltración no se recomienda que recolecten e infiltren escorrentía superficial provenientes de zonas verdes y jardines, ya que la escorrentía puede traer sólidos en suspensión. El jardín de lluvia, por su parte puede utilizarse como obra complementaria en zonas verdes y jardines para aumentar la capacidad de infiltración del suelo en desarrollo de proyectos de infraestructura inmobiliaria residencial.

Asimismo, se puede ubicar en áreas verdes y zonas de jardín de un bloque de oficinas y áreas comerciales. Se debe tener presente que este tipo de obra no se debe aplicar en lugares cercanos a zonas de fuertes pendientes ni a una distancia menor de 15 metros de un corte de talud, ya que la inducción de la infiltración saturaría el suelo y provocaría inestabilidad en fuertes pendientes.

## 8. Tipos de proyectos en los cuales no se recomienda utilizar

No se debe utilizar esta obra de inducción de infiltración en zonas que recojan escorrentía superficial provenientes de parqueos de alta densidad de vehículos, de zonas de patio de maniobra de estaciones de servicios o de áreas con actividades que impliquen presencia de sustancias químicas



que pueden contaminar las aguas superficiales, ya que los filtros de grava y arena no tendrán la capacidad de impedir la infiltración de sustancias como hidrocarburos, grasas y aceites.

Por esas razones, no se recomienda su uso en:

- Zonas de industriales o proyectos individuales donde existan procesos químicos ya que aumenta considerablemente el riesgo de contaminación en la zona no saturada del acuífero.
- Zonas de parqueos con alta densidad de vehículos debido al riesgo por contaminación de hidrocarburos y grasas.
- Zonas agrícolas con uso de sustancias contaminantes

## 2.2.6 Reservorios subterráneos de aguas pluviales con fondo permeable

### 1. Tipo de obra

Es una estructura sencilla que se construye como un reservorio ubicado zona de alrededor del proyecto, utilizando espacios que no comprometan la estabilidad estructural de la infraestructura.

Esta recomendación se plantea para proyecto que no disponen de las condiciones para establecer otras obras de inducción de la infiltración, principalmente por una limitante de espacios, por lo cual, el reservorio se debe construir subterráneo y se utilizan espacios como parqueos o estructuras que no superen un nivel.

### 2. Finalidad de la obra

Este tipo de estructura tiene la finalidad de captar las aguas pluviales provenientes de techos y otras áreas impermeabilizadas por la construcción de un proyecto residencial, conjunto de oficinas o comercial.

Este tipo de obra, se compone de un reservorio construido en concreto con fondo permeable y se ubica debajo de cocheras u otras estructuras que no superen un nivel

para no comprometer la estabilidad estructural de proyectos que cuenten con más de un nivel de altura.

Las aguas pluviales provenientes de techos, aceras y vías de acceso se captan y conducen por medio de canoas y tubería hacia esta estructura. Debe contar con un vertedor de excedencias que evacue la escorrentía de exceso que no tenga la capacidad de almacenar el reservorio.

Esta estructura de reservorio con fondo permeable se puede complementar con otras estructuras de inducción de la infiltración, ya que están considerados para utilizar espacios reducidos con una capacidad limitada de volumen de almacenamiento e infiltración.

Igualmente, estas estructuras se pueden combinar con tanques de polietileno que permiten almacenar agua de exceso para posteriormente ser utilizada para necesidades de hogares u oficinas, mediante un sistema de bombeo se distribuye por medio de una tubería paralela a la cañería.

### 3. Diseño y construcción de las obras

El sistema de construcción es sencillo si se considera que muchos de los componentes del sistema están incluidos en el diseño de la obra principal, ya que se capta las aguas pluviales de los techos y mediante las canoas y bajantes se conduce el agua de lluvia directamente a un reservorio.

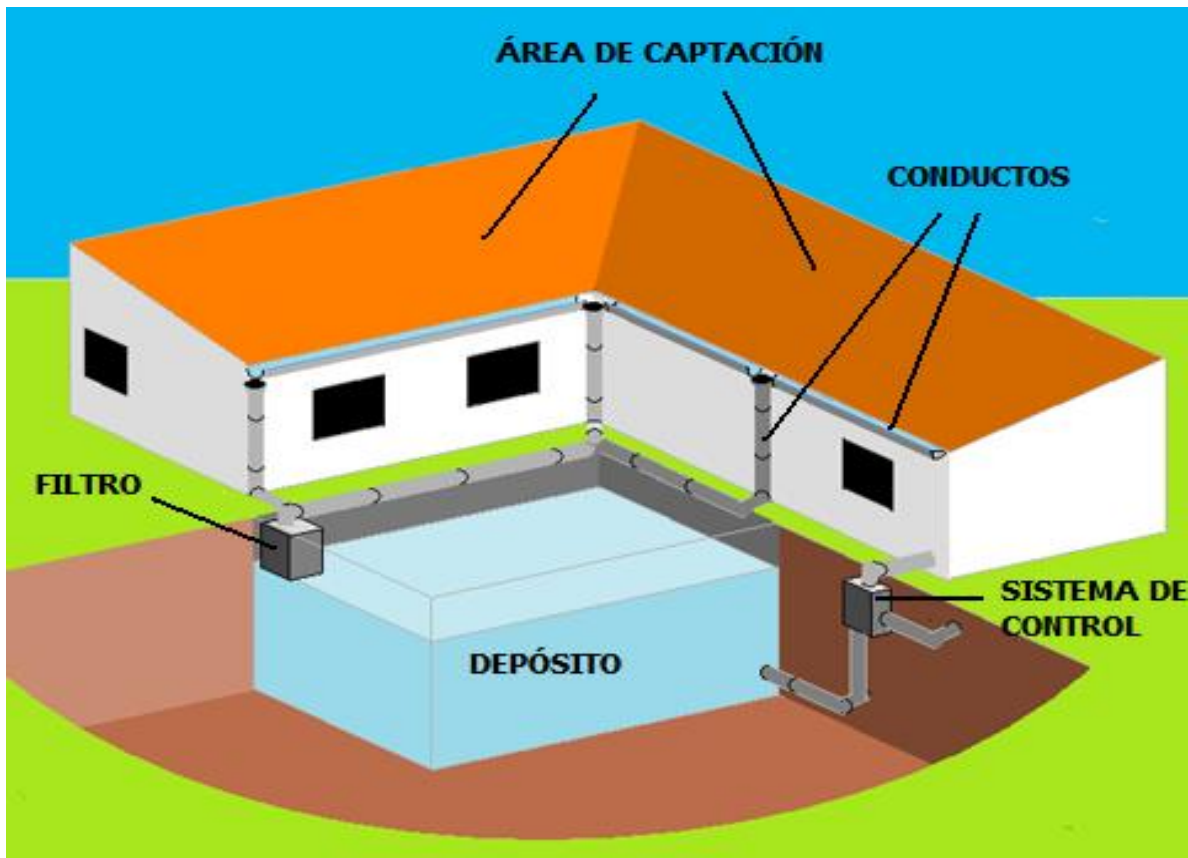
En la figura 11 se encuentra un diagrama de la propuesta para reservorios subterráneos de aguas pluviales, para una residencia o conjunto residencial. Este proceso se puede replicar para proyectos de mayores dimensiones y por ende mayor volumen de aguas pluviales.

El proyecto consiste en excavar una fosa en un sitio donde no esté comprometida la estabilidad estructural del proyecto y se construye un reservorio en concreto con un fondo permeable.



Figura 11

Esquema de un sistema subterráneo de almacenamiento e infiltración de aguas pluviales



Para generar una columna de agua que permita provocar un gradiente, las paredes laterales del reservorio deben ser de concreto convencional, con una resistencia de  $210 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de fragua.

En el caso del fondo se debe colocar una capa de concreto permeable con espesor de 10 a 15 centímetros con un base de piedra cuarta (25 milímetros) o quintilla (12,5 milímetros). Debajo de la capa de agregado fino, se puede colocar una cama de piedra para drenaje (diámetro de 100 – 200 milímetros) con el fin de aumentar la profundidad de la cala permeable.

La recolección de las aguas pluviales se realiza por medio de las canoas convencionales y se conducen hasta los bajantes para que mediante de tubería se depositen en el reservorio. Esta estructura debe disponer un filtro en la entrada para

evitar la entrada de sedimentos provocados por acumulaciones de polvo y cenizas que son transportadas por el viento y acumulados en los techos.

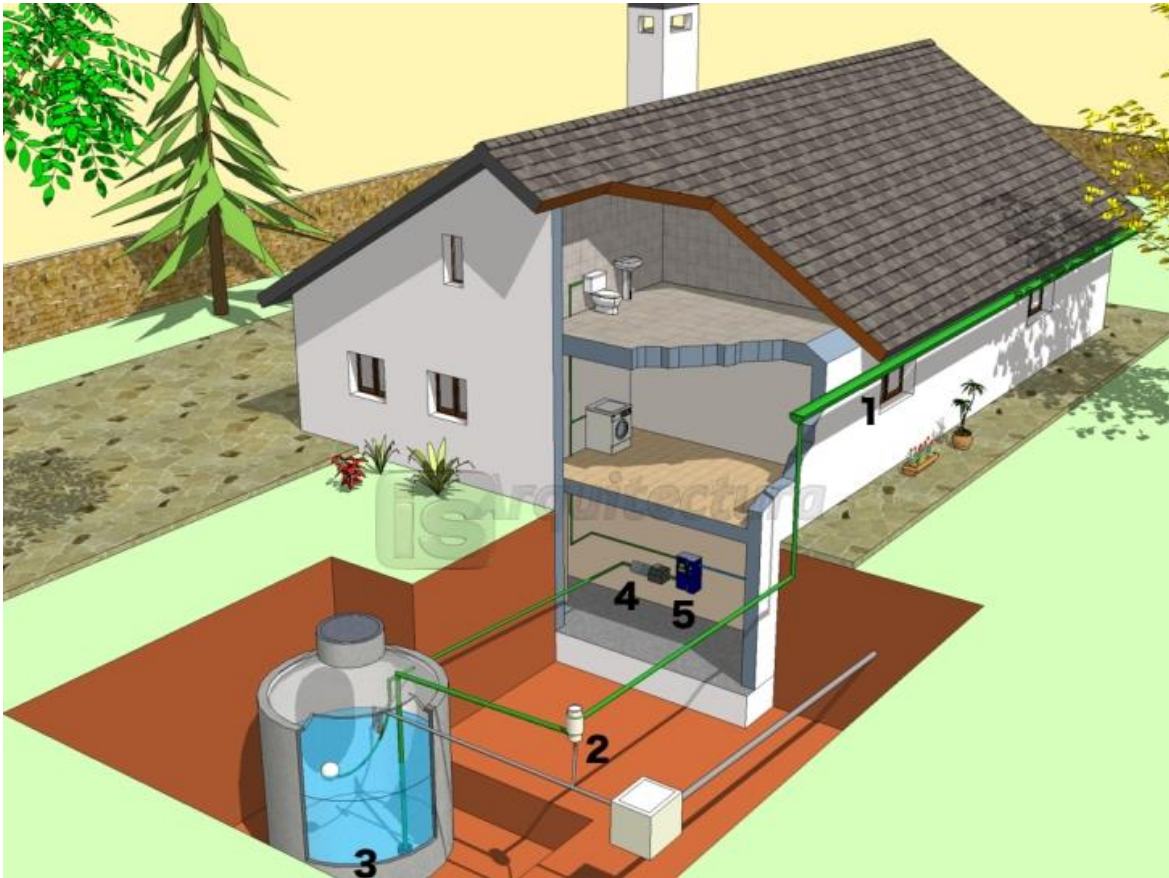
Los diseños de las medidas de mitigación pueden ser variadas según las condiciones del sitio y la profundidad de la zona no saturada. Además, no se puede recomendar en sitios con fuertes pendientes porque puede generar afloramientos

El agua de exceso del reservorio de base permeable se puede aprovechar por medio de un depósito de agua para labores del hogar que no demanden agua que no sea completamente potable, como agua para los sanitarios, lavado de vehículos y riego de jardín, para ellos se debe limitar la capacidad de filtración del fondo de la estructura.



Figura 12

Esquema de un sistema subterráneo de almacenamiento de aguas pluviales para ser utilizados como fuente de agua para actividades relacionadas con consumo de agua



#### 4. Costo estimado de implementación de las obras

El costo de implementar este tipo de estructuras en una vivienda de 250 metros cuadrados de construcción tiene un costo aproximado de ₡715 000 (setecientos quince mil colones) con un tanque con una capacidad de 30 metros cúbicos, con dimensiones de 4,5 metros de ancho y 4,5 metros de largo una altura de 1,5 metros para un tanque de concreto de fondo permeable.

Este incluye la base filtrante, el sistema de filtrado (la base utilizar piedra quintilla o cuarta), sistema de boya y un vertedor de excedentes en el momento que el tanque reservorio este completamente lleno.

#### 5. Eficiencia de las obras en función del volumen inducido que se recarga

La eficiencia en la recarga está en función del volumen de almacenamiento y el tipo de suelo en la zona no saturada. Se debe considerar que no exista otros elementos relacionados con procesos de infiltración como drenajes de jardines o tanques sépticos que puedan interferir el proceso de infiltración.

El volumen de infiltración está en función del tanque reservorio que se adquiere para retener e infiltrar. La propuesta considera un tanque de 30 metros cúbicos, considerando que una estructura establecida en concreto con dimensiones de 4,5 (largo) x 4,5 (ancho) x 1,5 m (altura).



Esta la opción de tanques en polietileno de alta densidad, los cuales tienen un volumen definido por el fabricante y este se puede adquirir según el espacio definido para ubicarlo. Tiene volúmenes desde los 1000 litros hasta 5000 litros.

## 6. Requerimiento de mantenimiento e inspección para las obras

Se requiere una revisión periódica de los filtros que están en la entrada del reservorio, con el fin de permitir el ingreso libre del agua pluvial proviene del techo del proyecto. cabe destacar que los techos almacenan polvo y según la zona del país, se puede almacenar ceniza proveniente de volcanes activos, por lo cual la revisión y limpieza del filtro es constante.

La estructura debe contemplar un acceso, que permita el ingreso de una persona. Con el fin de realizar revisiones anuales, principalmente para determinar el estado de las paredes laterales que no tengan grietas que provoque infiltraciones laterales. El piso permeable debe contemplar un lavado y aspirada anual para eliminar capas de finos que limiten la infiltración.

## 7. Tipos de proyectos en los que se puede aplicar las obras

Este tipo de medida de mitigación se recomienda utilizar en proyectos que tienen una huella de impermeabilización menor a 500 metros cuadrados.

Se recomienda su utilización en desarrollos inmobiliarios residenciales como:

- Conjuntos de condominios y apartamentos.
- Viviendas de una o dos plantas
- Conjunto de oficinas.

Se debe considerar que esta estructura debe estar alejada de taludes ya que se puede generar inestabilidad por afloramiento de agua subsuperficiales.

## 8. Tipos de proyectos en los cuales no se recomienda utilizar

Este tipo de estructura de mitigación se recomienda para proyectos que involucren áreas de impermeabilización menores a 500 metros cuadrados.

Debido a lo anterior no se recomienda utilizar en suelos con conductividad hidráulica menor a 0,001 centímetro por segundo, además de proyectos ubicados en zona de altas pendientes.

No se recomienda su uso en:

- Zonas de industriales o proyectos individuales donde existan procesos químicos ya que aumenta considerablemente el riesgo de contaminación en la zona no saturada del acuífero.
- Zonas de parqueos con alta densidad de vehículos debido al riesgo por contaminación de hidrocarburos y grasas.

### 2.2.7 Diques para la retención e infiltración de la escorrentía

#### 1. Tipo de obra

Técnica de recarga superficial que implica la modificación o cambio en el cauce de un río, cauce con caudales pequeños o intermitentes, mediante el uso de presas o diques dispuestos transversalmente. Que aparte de disminuir los riesgos por erosión hídrica en los márgenes, que se pueden presentar en máximas avenidas o precipitaciones de gran intensidad, tienen el beneficio de infiltrar agua para recargar acuíferos cercanos.

#### 2. Finalidad de la obra

Dentro de los tipos de diques que pueden ser empleados se destacan: diques de retención o represas y diques permeables o presas de arena.



Estos diques se instalan en la superficie de forma transversal al cauce, y permiten almacenar o represar el agua, logrando aumentar el tiempo que el agua permanece en el río, lo que favorece la infiltración natural.

Los diques permeables o presas de arena su función no es únicamente la de retener totalmente el flujo, sino que la contienen aguas arriba de la estructura de forma parcial. Además, en el caso de las presas de arena, a diferencia de los diques permeables, logran aumentar la capacidad de almacenamiento, creando un “acuífero artificial” aguas arriba.

Existen variantes de diques o represas que pueden ser empleados en determinada zona, el uso de una u otra opción estará ligada del estudio previo, en donde se contemplen los valores de precipitación media, el caudal que transporte el cauce, las características físicas del suelo (textura, porosidad), la calidad del agua (salinidad), la capacidad del recarga y almacenamiento del acuífero, la tabla de agua, etc.

En este tipo de estructuras, aunque se realizan en la superficie del cauce, la zona no saturada del acuífero no interviene de forma directa en el proceso de recarga inducida o artificial. Puntualmente la recarga se produce en el propio cauce, a través de la zona subálvea del río, es decir, el agua de recarga puede llegar directamente de ésta hasta la zona del acuífero. A diferencia de otro tipo de estructuras como los pozos de infiltración, en donde la zona saturada actúa como un material filtrante que mejora la calidad del agua.

Los materiales de construcción para este tipo de obra son variados, los más empleados son: concreto, gaviones, llantas y combinación arcilla/material de la zona. Sin embargo el uso de uno u otro dependerá de la zona y sus condiciones físicas, tales como, caudal del cauce y tipo de suelo, etc.

### 3. Diseño y construcción de las obras

Este tipo de obra, como ya se destacó, puede ser empleada en cauces de ríos perennes o intermitentes, por lo cual se puede presentar la situación de que sea necesario iniciar con una labor de desbroce del terreno, en donde se extraiga y retire todos los árboles, plantas, maderas caídas, maleza, escombros o cualquier otro material indeseable.

Posteriormente se continúa con el retiro de la capa vegetal, si es el caso, o por el contrario la descolmatación del cauce. Aquí se busca la remoción de la capa superficial de terreno, generalmente compuesta por un alto porcentaje de materia orgánica.

Como se destacó la construcción de esta obra puede llevarse a cabo empleando distintos materiales, por lo cual se hará la distinción del proceso constructivo respectivo.

- **Gaviones:**

1. Se inicia con el empotramiento de la obra, esta su vez dependerá de las dimensiones de la sección transversal que se tengan.
2. Seguidamente, se continúa con la excavación que debe ser llevada a cabo hasta encontrar un sustrato estable. Se debe colar una losa de concreto que proporcione estabilidad a la obra.
3. El armado de gaviones corresponde a la siguiente fase, aquí se busca unir sus extremos con alambre galvanizado. Las dimensiones estándar de estos son de 2, 3 y 4 metros largo, con espesores de 30, 40 y 50 centímetros y ancho de 1 metros.
4. El llenado se realiza con piedra bola extraída de ríos o también, piedra obtenida en procesos de trituración, cribado y lavado, que comprenda diámetros entre quintilla (12,5 milímetros) hasta la cuartilla (25



milímetros). Buscando utilizar la que posee la cara más plana en las caras del gavión y, evitando la formación de espacios entre piedras. El gavión se debe llenar hasta  $1/3$  de la altura total del gavión y colocar tensores en el mismo que garanticen su forma rectangular de igual forma al llegar a  $2/3$  de la altura, finalizado esto cocer el gavión. Finalmente, la colocación del gavión en el suelo debe respetar una inclinación de 6 grados que eviten el riesgo de desplome de la obra. No obstante, la construcción de la estructura aguas arriba es vertical, pero aguas abajo es escalonada para evitar el mismo fenómeno.

5. Colocada la primera fila de gaviones se deben unir entre sí verticalmente,

usando alambre galvanizado, de igual forma en sentido horizontal con las hileras posteriores.

6. La construcción es escalonada y debe llevarse en conjunto con la del colchón dissipador.
7. El colchón dissipador tiene por función absorber la energía cinética que el agua posee al momento de caer por el vertedero.
8. El vertedero empleado, normalmente, es de sección rectangular.

En la fotografía N° 7 se observa el detalle del dique construido con gaviones.

**Fotografía 7**  
**Dique construido con gaviones**





- **Llantas:**

1. Se inicia con el empotramiento de la obra, esta su vez dependerá de las dimensiones de la sección transversal que se tengan.
2. Seguidamente se continúa con la excavación que debe ser llevada a cabo hasta encontrar un sustrato estable. Este proceso está en función de las dimensiones de las llantas con las cuales se cuente para la construcción de la obra. Se debe colar una losa de concreto que proporcione estabilidad a la obra.
3. Se continúa con el clavado de estacas, que le brindan mayor rigidez y estabilidad a la obra. Esta se recomienda profundizarlas como mínimo 50 centímetros.
4. La colocación de primera fila de llantas es la siguiente fase, en donde éstas se llenen con grava y piedras. Posterior una capa, de menor espesor, de concreto en su parte superior.
5. El segundo nivel de llantas, llenado con capa de grava y piedras.
6. Finalmente, el tercer nivel de llantas, llenado de concreto en su totalidad.
7. Para evitar daños en el cauce se debe construir un colchón disipador un poco más artesanal, en comparación con el de otros materiales. Para esto se utiliza piedra bola.

Las piedras empleadas, a excepción de la piedra bola, se obtienen de procesos de trituración, cribado y lavado, y comprenden diámetros entre quintilla (12,5 milímetros) hasta la cuartilla (25 milímetros).

- **Concreto:**

1. Se inicia con el empotramiento de la obra, esta su vez dependerá de las dimensiones de la sección transversal que se tengan.
2. Seguidamente se continúa con la excavación que debe ser llevada a cabo hasta encontrar un sustrato estable. La capa de sustrato debe poseer una estabilidad tal que soporte el peso del concreto sin poner en riesgo la obra, por lo cual se busca un afloramiento rocoso.
3. Consecutivamente se inicia con el colado de la obra, en esta etapa al igual que cuando se emplean gaviones se debe colar el colchón de forma simultánea. Para evitar seccionamientos en la estructura.
4. Durante el colado del concreto se deben colocar mechinales que reducen la presión hidrostática ejercida por el agua. Ubicados en forma de tresbolillo, con pendientes de 3% y una separación entre ellos de 1 a 1,5 m.
5. Usualmente aguas arriba el paramento o cara del dique es vertical, pero aguas abajo se diseña con determinado talud.
6. El vertedero en estos casos es de sección trapezoidal con taludes 1/1, la capacidad de estos estará en función del periodo de retorno empleado en el diseño.

En todas los tipos de obra, independientemente del material se emplea cemento. Este debe satisfacer las normas ASTM C150, C595, o C1157. De igual forma los agregados quienes deben cumplir con las norma ASTM C33.

En la fotografía N°8 se observa el detalle de dique construido con concreto.



**Fotografía 8**  
Dique construido con concreto



#### 4. Costo estimado de implementación de las obras

En el Cuadro N° 16 se detallan los costos de construcción para diques de diferentes materiales, siendo estos: concreto, gaviones y llantas.

Como se mencionó los diques pueden ser construidos empleando distintos materiales, muchos de ellos pueden ser

extraídos en la misma zona o alrededores. Por ello, en el Cuadro N° 17 se presentan costos con varias dosificaciones de materiales, siendo:

1. 60% material río y 40% arcilla
2. 50% material río con diámetro máximo de 10 centímetros y 50% arcilla
3. 50% material río sin cribar y 50% arcilla
4. 100% arcilla.

**Cuadro 16**  
Desglose de costos de construcción de diques utilizando tres tipos de materia de la estabilización

Ítem	Unidad	Costo unitario
Dique fabricado con concreto	m <sup>2</sup>	₡ 197798,41
Dique fabricado con gaviones	m <sup>2</sup>	₡ 370 981,50
Dique fabricado con llantas y concreto	m lineal	₡ 72819,00

Fuente: (Gonzalez Gómez, 2017)

**Cuadro 17**

Desglose de costos de construcción de diques utilizando dosificaciones de materiales

Descripción	N° Dique			
	1	2	3	4
Replanteo y nivelación	₡ 19796,19	₡ 19796,19	₡ 19796,19	₡ 19796,19
Desbroce, desbosque y limpieza	₡ 44995,09	₡ 44995,09	₡ 44995,09	₡ 44995,09
Retiro y acopio de capa vegetal	₡ 198196,87	₡ 198196,87	₡ 198196,87	₡ 198196,87
Conformación y compactación de la sub rasante	₡ 359690,62	₡ 359690,62	₡ 359690,62	₡ 359690,62
Relleno de dique	₡ 4989863,25	₡ 9605061,00	₡ 6590706,75	₡ 4989863,25
Acarreo de materiales	₡ 939600,00	₡ 1703025,00	₡ 1703025,00	₡ 3406050,00
Volumen dique m3	₡ 2900,00	₡ 2900,00	₡ 2900,00	₡ 2900,00
Costo unitario	₡ 2259,35	₡ 4114,05	₡ 3074,62	₡ 3109,85
<b>Costo Total</b>	<b>₡ 6552142,04</b>	<b>₡ 11930764,79</b>	<b>₡ 8916410,54</b>	<b>₡ 9018592,04</b>

Fuente: (Gonzalez Gómez, 2017)

## 5. Eficiencia de la obra en función del volumen inducido que se recarga

La eficiencia de esta obra depende de varios factores, el tipo de suelo y sus características físicas, la capacidad del recarga y almacenamiento del acuífero, etc. Por lo cual, dependiendo de la zona en la cual se ponga en marcha una estructura de este tipo variará su eficiencia. Sin embargo, en el Cuadro N° 18 se destaca el valor de infiltración promedio que se debe tener en el cauce del río para propiciar una adecuada infiltración del agua al acuífero.

**Cuadro 18**

Infiltración promedio recomendada

Lugar	Infiltración promedio (mm/h)
Cauce del río	258,12

España quien es uno de los pioneros en el uso de diques como medida de recarga artificial ha determinado que mediante la implementación de estas estructuras se logra captar el 10% de la escorrentía generada en tormentas, utilizando un periodo de retorno de 5 años. Sin embargo, tal y como se mencionó es un valor muy cambiante al estar ligado a las características de la zona donde se disponga de estas obras. El cuadro N° 19 muestra la información recolectada en España.



**Cuadro 19**  
**Datos obtenidos de estudios en España**

Nº	Rambla	Cuenca (km2)	Nº curva	Tormenta (mm)	Escorrentía (m3)	Nº de diques	Volumen efectivo (m3)	Recarga%
2	Estanquera	9,00	-	-	-	2	0	0
12	Infantes	10,50	-	-	-	7	0	0
13	Balanegra	2,30	69,30	64	20000	1	531	7
17	Homales	2,10	68,90	68	20000	1	940	13.5
18	Almodete	23,20	67,20	76	25000	9	14600	13.5
20	Real	1,40	-	-	-	2	0	0
21	Ancho	5,00	70,20	72	6000	2	1460	6.2
28	El Capitán	2,70	68,50	75	3000	1	308	3.2
29	Andrés Pérez	7,10	67,80	77	8000	1	5042	11.7
32	El Aguila	10,80	68,90	81	150000	6	34186	52.5
35	La Maleza	12,40	70,10	80	200000	5	11860	7
42	El Tartell	6,60	74,20	78	130000	7	8745	7.3
43	Carcáuz	51,50	71,30	85	850000	20	47090	7.3
44	El Cañuelo	23,30	77,60	83	580000	17	41880	8.1
47	Vicar	13,40	75,60	79	230000	13	12095	5.7
50	Hortichuelas	19,60	79,80	65	390000	13	25116	6.5
<b>Totales</b>					<b>2990000</b>	<b>107</b>	<b>203853</b>	<b>100</b>

## 6. Requerimiento de mantenimiento e inspección para las obras

Dentro de la que se le debe dar a estas estructuras destacan la constante vigilancia de las aguas que fluyen por el cauce, lo anterior se debe fundamentalmente a que la calidad de las aguas determinará la cantidad de solidos suspendidos que transporte.

Lo anterior a su vez influirá en el mantenimiento que se le deba dar a estas obras, ya que estos solidos disueltos colmatan el cauce disminuyendo con esto la capacidad de infiltración del mismo y por ende el volumen de recarga al acuífero.

Por lo cual se debe pensar en la colocación de filtros, ya sean a la entrada

de la estructura o sobre la superficie del cauce.

Además, al realizarse la recarga en la zona subálvea del río el agua de recarga puede llegar directamente al acuífero, por lo cual la calidad química de las aguas es otro aspecto a vigilar.

Para el caso de las estructuras en concreto, se debe inspeccionar muy bien si esta posee grietas que puedan desencadenar en el colapso total o parcial de la obra.

Si se utilizan gaviones, su malla metálica debe ser inspeccionada constantemente, que no se encuentre rota o cortada por el impacto de una piedra que haya sido transportada por el agua y golpee la estructura.



### **7. Tipos de proyecto en los que se puede aplicar las obras**

El uso de diques tiene como limitante la pendiente, se recomienda que como máximo este valor sea de 4%.

Posteriormente el tipo de suelo es un factor limitante, en presencia de suelos inestables se recomienda el uso de diques con gaviones, sin embargo, la losa sobre la cual la estructura recae debe ser fuerte para que soporte el peso de la misma sin comprometerla.

Para el caso de suelos estables se recomienda el uso de diques fabricados con concreto, no obstante, se deben disponer de condiciones que permitan el ingreso de máquinas hasta la zona de construcción.

### **8. Tipos de proyecto en los cuales no se recomienda utilizar**

Cauces con pendientes superiores al 4% no son aptos para esta obra.

Ríos que cuenten con material poco permeable, lo que genera una baja recarga.

Cauces que transporten aguas contaminadas, ya sea física o químicamente. Debido a que pueden contaminar los acuíferos con nitritos o nitratos.

Zonas en las cuales el acceso para construcción y mantenimiento resulta difícil tampoco son aptas para este tipo de obras.



## CAPÍTULO 3

# Experiencias en otros países

### 3.1 Experiencias en México

En México la Comisión Nacional del Agua CONAGUA es la institución que ha preparado y promueve normas para la infiltración inducida. Mediante la Subdirección General técnica de esta institución, se han realizado investigaciones y propuestas de obras hidráulicas para la inducción de la recarga artificial de las aguas superficiales y la disponibilidad de aguas subterráneas.

Entre los principales dispositivos para la recarga de acuíferos que se han implementado en este país se pueden mencionar:

- Pozos de absorción y
- Pozos de inyección
- Captación de agua de lluvia (cosecha de lluvia)

#### Pozos de absorción y de inyección

Los pozos de absorción consisten en excavaciones generalmente cilíndricas de profundidad variable, que pueden estar rellenas o no de material, que se construyen para infiltrar el agua de lluvia directamente al suelo en espacios reducidos.

Esta técnica se puede aplicar en zonas donde el estrato superior del suelo es poco permeable o con superficies del terreno impermeabilizadas, pero que tienen capacidades importantes de infiltración en los primeros metros de profundidad. Estos pozos son fácilmente integrables en el paisaje de zonas densas o abiertas y constituyen una alternativa en lugares donde los canales de desvío no son una

opción, como es el caso de terrazas, caminos o cabeceo de cárcavas. Su implementación ayuda a minimizar el desbalance del agua subterránea del lugar y proporciona un tratamiento físico y biológico al agua, a través de la infiltración en el suelo (CNA, 2007).

El pozo de absorción es un sistema vertical de infiltración al subsuelo de las aguas provenientes de escurrimientos superficiales, a través de sus paredes y piso permeables.

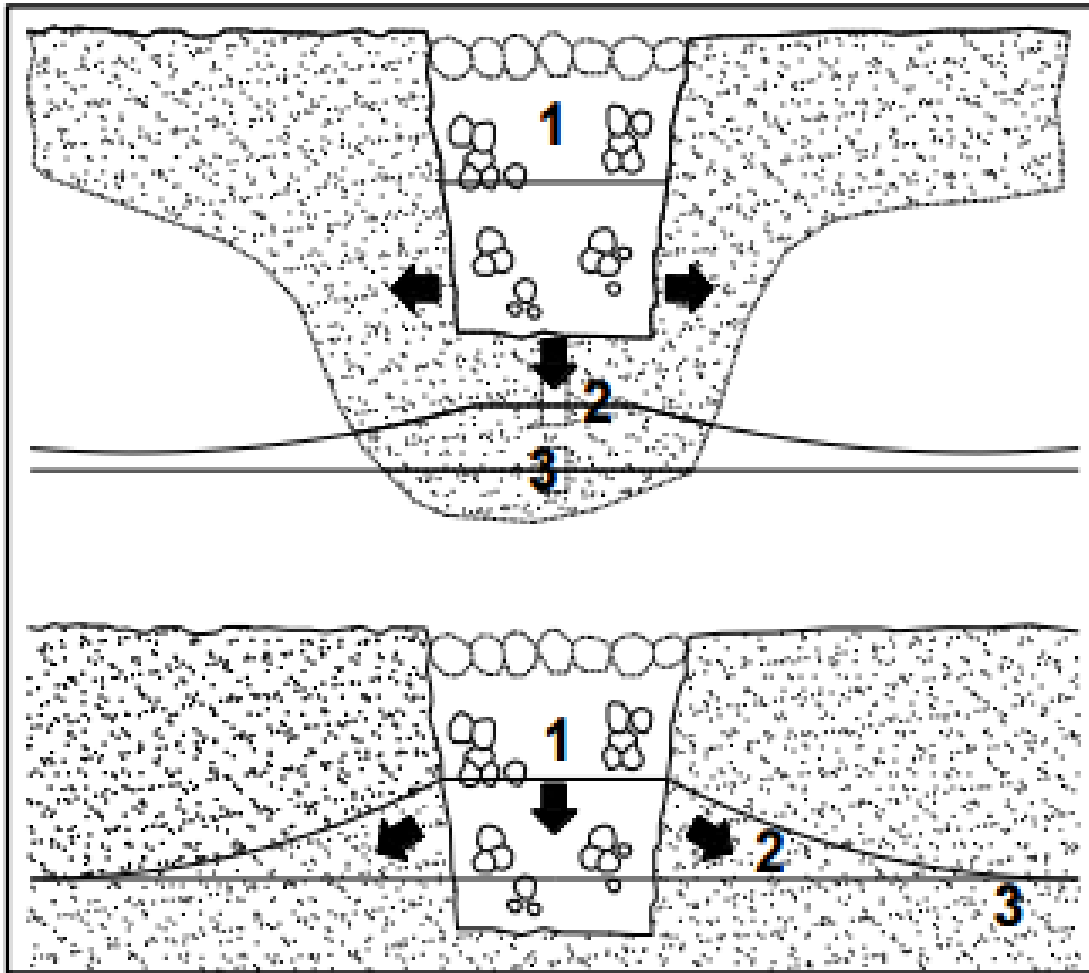
Los sistemas y elementos de infiltración captan el flujo superficial y facilitan su infiltración en el suelo. Si funcionan correctamente, son muy efectivos en lograr reducir los gastos máximos y el volumen escurrido aguas abajo. Entre las diferentes alternativas de infiltración (elementos) que pueden emplearse, están los que operan en forma difusa o concentrada, los que consideran almacenamiento o no, así como los superficiales o los subterráneos.

Según la forma en que desalojan los escurrimientos se denominan:

- a. Pozo de absorción, cuando el agua del pozo se infiltra a través de estratos no saturados del suelo, es decir, cuando la superficie del agua subterránea se ubica bajo la base del pozo, de manera que el agua de lluvia se filtra en el suelo antes de llegar al nivel del agua subterránea.
- b. Pozo de inyección, si la capa de agua subterránea se ubica sobre el nivel del fondo del pozo, de manera que la aportación se realiza directamente al agua subterránea.



**Figura 13**  
Esquema de pozos absorción y de inyección



Pozos de absorción (arriba) y de inyección (abajo).  
(1) Pozo, (2) Agua subterránea y (3) Nivel estático

Fuente: (Lopez Velasco, Fernandez Reynoso, & Martinez Menes, 2016)

#### Caso práctico de aplicación:

Debido a que en más de la mitad del territorio predominan condiciones climáticas áridas y semiáridas, el agua subterránea constituye una fuente esencial para el desarrollo en México. La extracción de agua subterránea total se ha estimado en 28.000 Mm<sup>3</sup>/a. El sector agrícola utiliza 71% de este volumen, mientras que áreas urbanas e industriales

consumen un 26%. La población urbana constituye 65% del total de habitantes de México (100 millones). Por ejemplo, 21 millones de personas viven en el área metropolitana de Ciudad de México. Las ciudades mexicanas consumen 7600 Mm<sup>3</sup>/a y el agua subterránea constituye dos tercios de ese abastecimiento. Más de 100 acuíferos regionales son sobreexplotados, con una extracción anual de 5.400 Mm<sup>3</sup>/a de la reserva. Esto



ha tenido, durante las últimas cuatro décadas, sus consecuentes impactos ambientales.

Un proyecto piloto de recarga de acuíferos fue llevado a cabo en la Comarca Lagunera de México Norte, una de las principales zonas agrícolas del país. El suministro de agua para riego se basa en las descargas de los ríos que drenan hacia la región, el río Nazas y el río Aguanaval y unas 3.500 perforaciones que extraen agua subterránea del acuífero Comarca Lagunera, con fines agrícolas, domésticos e industrial. Actualmente, se estima que la extracción es por lo menos tres veces mayor que la recarga, lo que resulta en una disminución significativa de la superficie piezométrica y un deterioro de la calidad del agua subterránea. El mayor problema es la presencia de arsénico en el agua subterránea en concentraciones muy superiores al del valor recomendado por la OMS para uso doméstico, de 0,05 mg/l, actualmente sugerido de 0,01 mg/l.

El plan piloto utilizó una cuenca de recarga arenosa adaptada próxima al lecho del Río Nazas, en la ciudad de Torreón, que cubre un área de 13 ha con una capacidad aproximada de 197.000m<sup>3</sup>. Se implementaron redes de abastecimiento de agua para transportar el agua superficial de la represa Zarco, por medio del canal de riego Sacramento, a la cuenca de recarga.

Dos pozos de monitoreo fueron perforados para observar las respuestas del nivel freático local durante la recarga y doce pozos preexistentes fueron acondicionados con fines de monitoreo adicional del nivel freático. Durante las pruebas realizadas entre mayo y agosto de 2000, un volumen total de 5,2 Mm<sup>3</sup> fue transportado desde el canal de Sacramento hasta la cuenca de recarga. De este volumen, 0,2 Mm<sup>3</sup> fue evaporado y 5,0 Mm<sup>3</sup> fueron infiltrados a la subsuperficie

La capacidad de infiltración del agua se redujo de 2,4 m/d a 0,116 m/d debido a problemas de obstrucción. Las recomendaciones del plan piloto incluyeron construir nuevas estructuras para controlar la liberación de agua a las cuencas, liberar hasta 0,5 Mm<sup>3</sup>/semana con el objetivo de evitar los desbordes de la cuenca, construir cuencas de sedimentación paralelas con el fin de reducir los problemas de obstrucción, y construir pozos de adsorción de 20 m de profundidad y más de 0,3 m de diámetro para evitar los horizontes de baja conductividad. (UNESCO, 2005)

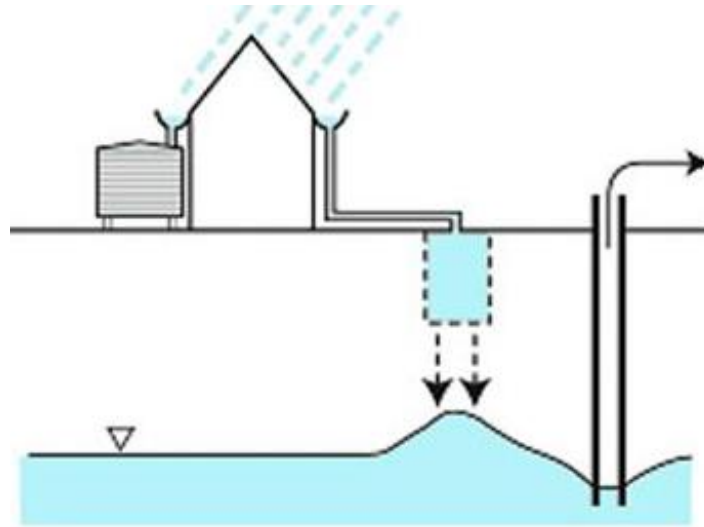
### Captación de agua de lluvia (cosecha de lluvia)

En México legalmente la define la ley de aguas del Distrito Federal como: "Agua Pluvial Cosechada. Los volúmenes de agua de lluvia, nieve o granizo captados mediante las obras, infraestructura, equipos e instrumentos adecuados en el Suelo Urbano y en el Suelo de Conservación por los sectores público, privado, social, ejidos, comunidades, barrios, pueblos y en los hogares de las y los habitantes del Distrito Federal." También se entiende por cosecha de lluvias los sistemas de captación que tienen como propósito recolectar el agua proveniente de la lluvia para ser utilizada en la recarga de acuíferos, coleccionar los escurrimientos, así como almacenar el agua para que esté disponible en las comunidades."

Los sistemas de Cosecha de Lluvia (figura 14) tienen el propósito de recolectar el agua de lluvia para que ésta se utilice. Se valen de la superficie del techo de un inmueble para tomar el agua que luego es drenada a través de un tubo a un tanque de almacenamiento o cisterna de donde se surte a la red interna o se reinyecta al subsuelo (UNESCO, 2005).



**Figura 14**  
Cosecha de lluvia y pozo de extracción



Fuente: (UNESCO, 2005)

### 3.2 Experiencias en Argentina

En este país suramericano se han realizado trabajos de investigación en zonas de producción ganadera extensiva, básicamente con inducción de la infiltración en áreas cercanas a pozos de abastecimiento de agua para abrevaderos.

Las experiencias en Argentina se han realizado en zonas de una baja densidad poblacional, con grandes extensiones de tierra para la actividad ganadera.

El proyecto consistió en la captación de escorrentía superficial para inducir la infiltración y bajar la concentración de sales en el agua subterránea.

Este ensayo se realizó en una región dedicada a la producción ganadera y utilizó cuatro pozos con un efecto dual: se utiliza el pozo como un punto de infiltración inducida en la estación lluviosa y ese mismo pozo se utiliza para la extracción del recurso hídrico como parte del manejo de un acuífero libre.

La finalidad del proyecto fue evaluar un manejo de las aguas subterráneas en una zona de producción ganadera en la Provincia de Santa Fe, en Argentina. Su objetivo principal fue mejorar la calidad química del agua subterránea utilizando el agua producto de la escorrentía superficial, captándola e induciendo su infiltración, bajando la concentración de sales mediante el monitoreo de la conductividad eléctrica.

Las características geomorfológicas de la zona de influencia del proyecto corresponden a zonas de praderas de pendientes bajas, por lo cual se establecieron caminos internos con dos objetivos: primero para el movimiento de maquinaria y ganado en la propiedad y segundo para utilizar estos caminos en la estación lluviosa como canales para transportar la escorrentía superficial a un sitio específico para inducir la infiltración.

Este proyecto tuvo un componente importante de monitoreo. Se realizó un muestreo para determinar variables de conductividad eléctrica (determinada en microSiemens por centímetro  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y



concentraciones de sales (determinada en gramos de sales por litro de agua g/l).

En este caso, no se construyó infraestructura para el almacenamiento para la captación de la escorrentía, ya que el objetivo fue utilizar la geomorfología del lugar como herramienta, logrando almacenar el agua en las depresiones naturales.

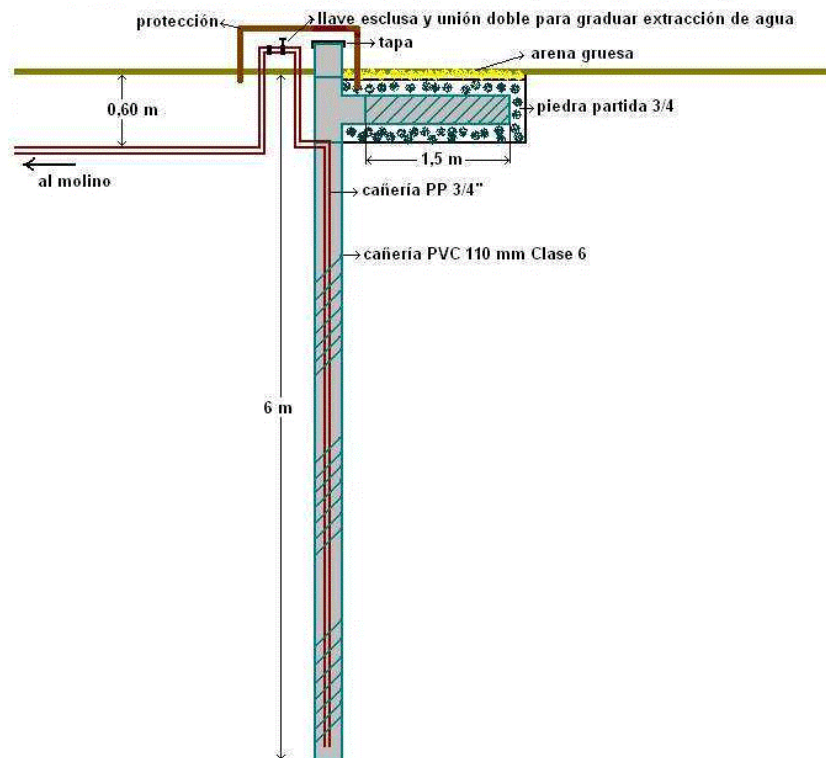
Se perforaron una batería de pozos doble propósito. Primeramente, estos pozos funcionan como conductos para la recarga en la zona no saturada y saturada de acuíferos superficiales. Posteriormente, estos mismos pozos se utilizarán para el aprovechamiento del agua que se infiltró por medio de la extracción controlada con molinos de viento. Utilizando este método de extracción controlada, se busca obtener un balance entre el volumen de infiltración y la extracción del recurso hídrico.

Además, el segundo objetivo de esta experiencia fue determinar los niveles de sales disueltas en el agua extraída para consumo de ganado de carne, considerando que los altos niveles de sales pueden afectar los rendimientos de producción de manera negativa.

Este proyecto utilizó la topografía de una finca ganadera para captar la escorrentía superficial, en una depresión natural donde se ubicaron los tres pozos que funcionan como puntos de infiltración y posteriormente como puntos de bombeo (figura 15). La escorrentía superficial es captada y transportada por un camino de acceso que dispone la finca donde se realizó el ensayo. Este mismo canal se utilizó para conectar a los pozos y que funcionaran como reservorio, con una baja profundidad.

**Figura 15**

**Diseño de una perforación de recarga de acuífero y de extracción de agua**



Fuente: (Instituto Nacional del Agua INA, 2016)



### Batería de pozos

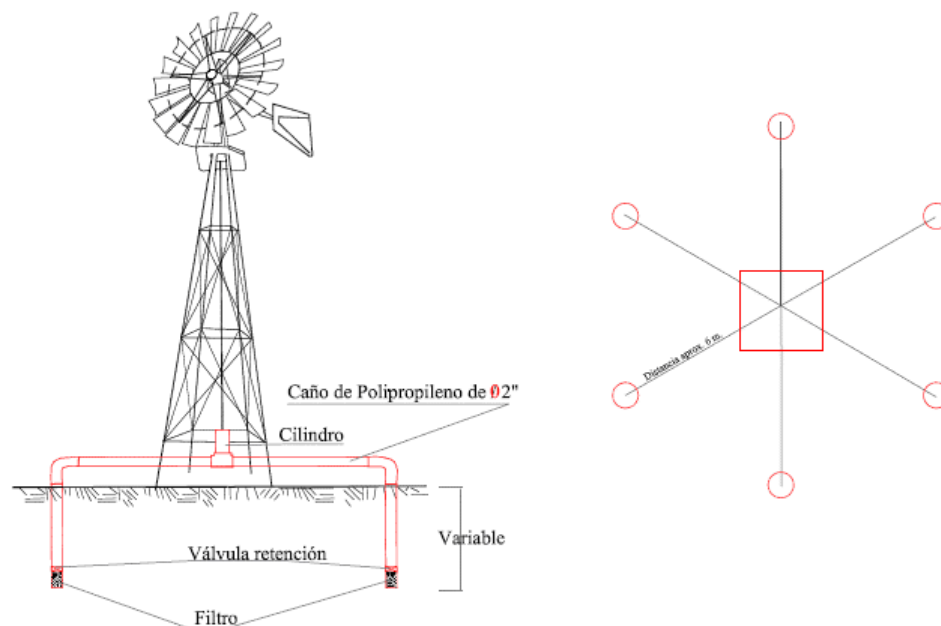
Estos pozos fueron construidos en 2011 y su ubicación estratégica fue mediante la edificación de cauces antiguos que pudieran ayudar a conducir la escorrentía superficial hasta el punto asignado para la ubicación de la batería de pozos.

Se utilizaron imágenes satelitales y prospecciones geoelectricas para definir el sitio idóneo de los pozos. Se ubicaron cuatro pozos conforme a la topografía con el fin de aprovechar el movimiento natural de la escorrentía superficial. Se dispuso una estación meteorológica para iniciar el monitoreo de las precipitaciones, la cual se calibró para recolectar datos de precipitación cada 15 minutos. Previo al establecimiento del proyecto, la zona designada no contaba con registros meteorológicos.

A cada uno de los pozos se le instaló un caudalímetro totalizador<sup>4</sup> y el registro se tomó el último día de cada mes. Es un caudalímetro mecánico para simplificar el procedimiento de medición.

Conjuntamente a la medición del caudal, se realizó una toma de muestra del pozo para determinar la conductividad eléctrica mediante un conductímetro digital portátil. Además, se llevaron muestras de agua para determinar en laboratorio aniones y cationes que puedan influir en la producción animal; se determinaron a nivel de laboratorio sales totales, cloruro de sodio, sulfatos y magnesio.

Figura 16. Sistema de pozos araña



Fuente: (Instituto Nacional del Agua INA, 2016)

<sup>4</sup> Un caudalímetro totalizador registra los datos de caudal en un tiempo definido; en este caso, éste tiene la capacidad de 30 días de medición.



Se dispuso un equipo electrónico para determinar la fluctuación del nivel freático; cada pozo contó con un equipo electrónico que registrara los cambios del nivel con el objetivo de determinar la relación entre precipitación y extracción de agua del acuífero. La batería de pozos está interconectada a un sistema de almacenamiento con capacidad de reserva para 15 días de consumo para animales. Este proyecto se estableció en una propiedad cuya función es la producción de ganado de cría.

El artículo no especifica los costos de implementación, pero define unos criterios básicos de mantenimiento y monitoreo, los cuales generan un costo asociado para su implementación, ya que como objetivo principal está el mejoramiento de la calidad del agua para consumo de animales de cría.

Se requiere de constante medición de muestras de agua a nivel de laboratorio, lo que significa un costo aproximado de \$65 (sesenta y cinco dólares americanos) por muestra. Ello equivale un costo anual por pozo de \$780 (setecientos ochenta dólares americanos) y un costo total de \$3,120 (tres mil ciento veinte dólares americanos) por los cuatro pozos.

En el establecimiento de la batería de pozos y la compra e instalación de los molinos para la extracción del agua del acuífero libre no se indican los costos de las perforaciones y compra de equipo.

El tipo de ensayo planteado tiene como objetivo valorar la disminución de sales disueltas en las aguas que se utilizan para abrevadero de ganado vacuno, por lo cual desde el punto de vista hidráulico no realizaron mediciones ya que la propuesta estuvo dirigida a monitorear la calidad de las aguas. (FAO, 2013)

### 3.3 Experiencias en Estados Unidos

En Estados Unidos se han desarrollado investigaciones y propuestas de obras aplicando tecnologías de recarga acuífera para el almacenamiento de grandes volúmenes de agua subterránea; labor que fue iniciada a finales de la década de 1940 por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), sin que los ensayos fueran culminados. A finales del siglo pasado y a inicios del presente, se han contabilizado al menos 56 proyectos. Representa una alternativa efectiva y de bajo costo, al permitir el almacenamiento de aguas en épocas con excedentes hídricos y agua de calidad, y su recuperación en periodos secos o de pobre calidad (Fernández & García, 2009)

Existe un importante número de investigaciones, publicaciones y proyectos ejecutados sobre el tema; sin embargo, no todas sugieren estructuras o diseños que pueden ser replicados en otros Estados o fuera de ese país. Otro aspecto relevante es la dimensión del tamaño de los proyectos que se ejecutan, pues la mayoría son de gran envergadura en espacios abiertos y de alta inversión, como por ejemplo los desarrollados en Arizona.

También cabe resaltar la importancia y el manejo que se le da a las aguas de escorrentía en vías públicas por medio de la recarga artificial. Algunos diseños están relacionados a la infraestructura vial, como el desarrollado por las autoridades de ingeniería del transporte del estado de Washington (Konrad, Jensen, Burges, & Reinelt, 1995)

#### Arizona

En Arizona, la ley estatal regula la recarga artificial. El Departamento de Recursos Hidráulicos de Arizona (ADWR) administra y regula la recarga y cuantifica la cantidad de agua superficial almacenada bajo tierra. El ADWR regula la recarga artificial

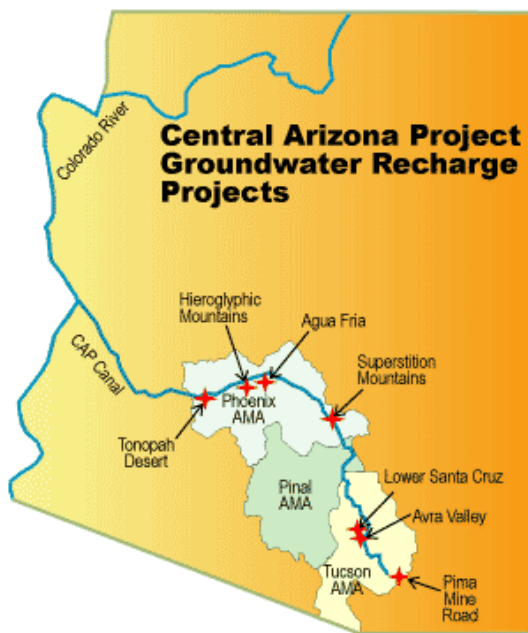


a través de un proceso de permiso para instalaciones de almacenamiento subterráneo (USF). Por ley, hay dos tipos de instalaciones: USF construidos y USF gestionados. Una instalación construida requiere la construcción de estructuras de infiltración (cuencas, surcos, zanjas, etc.), mientras que un establecimiento gestionado utiliza canales preexistentes naturales para la recarga.

Central Arizona Project (CAP) ha desarrollado siete proyectos de recarga y actualmente opera seis (Avra Valley fue vendido al metro de agua en 2010). El Área de Gestión Activa de Tucson (AMA) tiene actualmente una capacidad de recarga acumulada de 80,000 acres-pies por año e incluye los proyectos de recarga la Calle Mina de Pima y Baja Santa Cruz. En el Phoenix AMA hay cuatro instalaciones existentes: el Aqua Fría, Montañas jeroglíficas, Desierto de Tonopah, y Montañas de la Superstición, con una capacidad permitida anual combinada de 341,500 acres-pies por año (Central Arizona Project, 2016)

**Figura 17**

**Proyectos recarga acuífera CAP**



Fuente: [www.cap-az.com](http://www.cap-az.com)

No se encontró legislación federal que sea aplicada a todo el país que establezca como obligatorio la recarga artificial de acuíferos; sin embargo, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) promueve, vigila y fiscaliza a todo nivel lo relacionado a aguas subterráneas. A nivel estatal, sí hay una serie de recomendaciones en función del propósito que se persigue con la recarga artificial. En el caso de EE.UU. sí es claro que la mayoría de proyectos tienen que ver con recarga del acuífero para consumo humano, industria y agricultura o, en su defecto, el manejo de las aguas pluviales en carreteras y obras públicas. Variedad de enfoques innovadores se han llevado a cabo para mejorar la sostenibilidad de los recursos de agua subterránea. Estos enfoques implican, típicamente, alguna combinación de la utilización de los acuíferos como depósitos de almacenamiento, el uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas, la recarga artificial de agua a través de pozos o la difusión de las superficiales, y el uso de agua reciclada o regenerada (U.S. Geological Survey, 2016)

Desde la década de 1990, la recarga de aguas subterráneas ha sido una política clave y una herramienta de gestión del agua en el estado de Arizona y en otros lugares de los Estados Unidos de América. En Arizona, la recarga se utiliza de diversas maneras, incluido el tratamiento del acuífero del suelo para mejorar la calidad del agua, el almacenamiento anual y la recuperación para cumplir con las regulaciones que requieren el uso de fuentes superficiales en lugar de aguas subterráneas y la provisión de agua a largo plazo para la sequía, mitigación y uso futuro. Además, una cantidad modesta de agua recargada permanece en almacenamiento permanente y contribuye al objetivo de gestión de Arizona de reducir el sobregiro del agua subterránea.



## Estado de Washington

En el caso particular del Estado de Washington, se cuenta con un el "Manual de gestión de aguas pluviales para Western Washington", el cual no es considerada una regulación. El Manual no tiene regulaciones independientes o autoridad y no establece nuevas regulaciones ambientales. Sus "Requerimientos" y Buenas prácticas de manejo BMP se requieren a través de:

- Ordenanzas y reglas establecidas por los gobiernos locales; y
- Permisos y otras autorizaciones emitidas a nivel local, estatal y de autoridades federales.

Las leyes y regulaciones actuales requieren el diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de aguas pluviales que evitan la contaminación de las aguas del Estado, incluyendo obras que permitan la recarga.

El Manual es un documento de orientación que proporciona a los gobiernos locales, Agencias estatales, federales, desarrolladores y proponentes de proyectos una Estrategia de gestión de aguas pluviales para aplicar a nivel de proyecto. Si la estrategia se implementa

correctamente, en la mayoría de los casos debería resultar en cumplimiento con los requisitos regulatorios existentes para aguas pluviales - incluido el cumplimiento de la Ley Federal de Agua Limpia, Federal Safe Ley de Agua Potable y Ley Estatal de Control de Contaminación del Agua.

El Manual proporciona orientación genérica y técnica sobre medidas para controlar la cantidad y calidad de la escorrentía de aguas pluviales provenientes de nuevos desarrollos y proyectos de urbanización y públicos. Estas medidas se consideran necesarias para lograr el cumplimiento de los estándares estatales de calidad del agua y contribuir a la protección de los usos beneficiosos de las aguas receptoras (ambas: superficiales y aguas subterráneas).

En el caso de Costa Rica, la legislación costarricense vigente no permite el uso de aguas de escorrentía provenientes de proyectos en áreas urbanas que involucren el uso de productos derivados de hidrocarburos, solventes y materia orgánica de origen animal como excrementos.

## Fotografías 9 y 10

### Obras urbanas para la infiltración y recarga

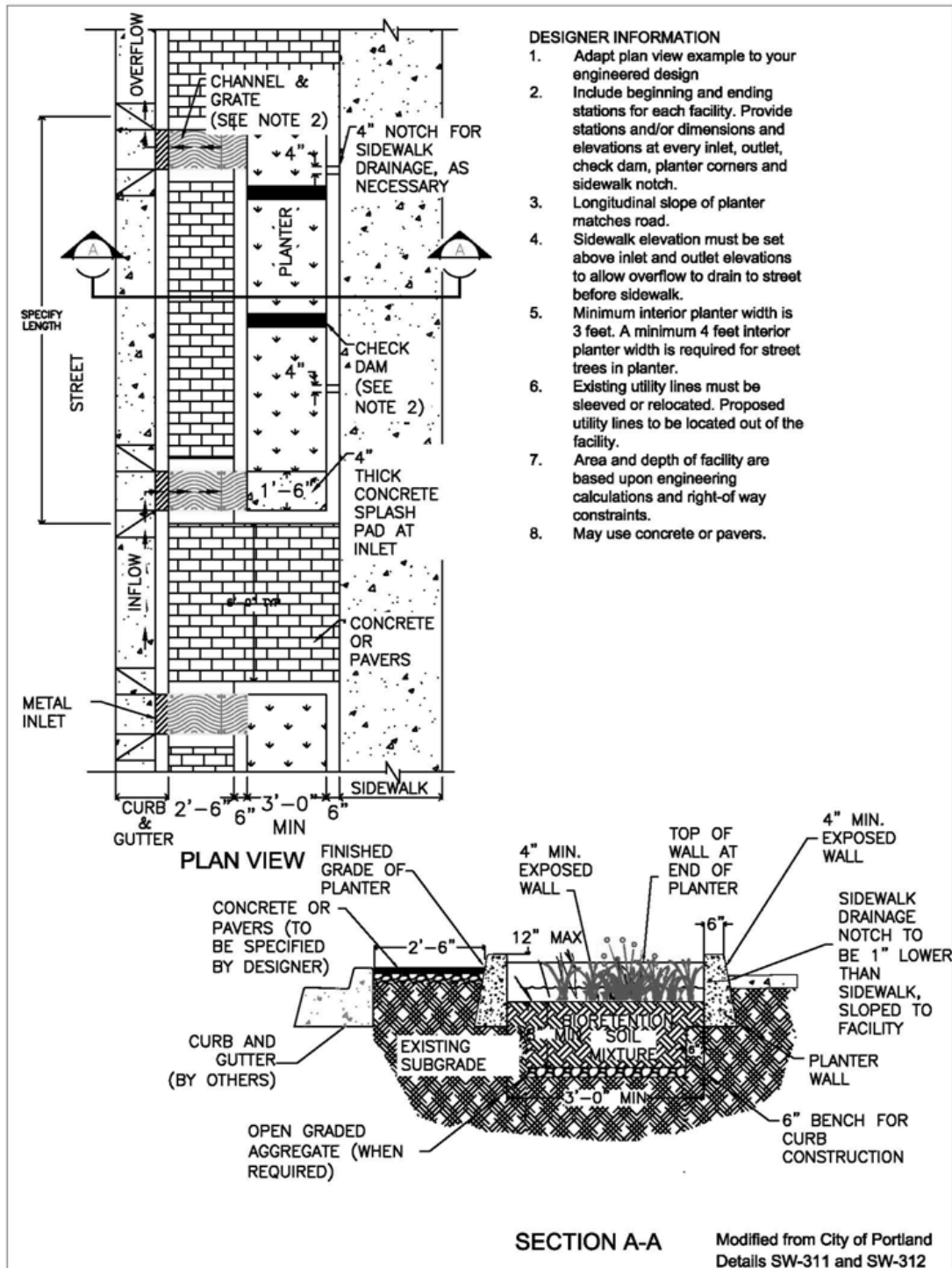


Fuente: (Department of Ecology State of Washington, USA, 2017)



Figura 18

Ejemplo de un bioretenedor con infiltración en área urbana



Fuente: (Department of Ecology State of Washington, USA, 2017)



### 3.4 Experiencias en Colombia

En Colombia hay dos experiencias en recarga artificial, una en el río Manzanares en Santa Marta y otra experiencia que aún está en fase piloto en el acuífero de Morroa, Sucre. Las obras de recarga artificial diseñadas y construidas para el acuífero de Morroa se realizan para asegurar la explotación sostenible del acuífero, dado que según estudios isotópicos no hay recarga natural apreciable (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014) Asimismo el Ministerio de Ambiente de este país ha preparado una Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos, la cual tiene como propósito principal establecer los criterios técnicos, procedimientos y metodologías, que orienten a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible y de los grandes centros poblados, en el proceso de formulación e implementación de los planes de manejo ambiental de acuíferos PMAA incluyendo la recarga acuífera como una alternativa positiva y viable.

Otro proyecto relevante es el realizado por el Grupo de Investigación en Ingeniería Sostenible e Inteligente ISI de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Santa Marta, a través del semillero de investigación de Gestión del Riesgo, se encuentra en una etapa de revisión documental con el fin de analizar la viabilidad de utilizar sistemas de concreto permeable en la recarga artificial de acuíferos. El concreto permeable tiene excelentes propiedades de absorción acuosa, aunque es un elemento fabricado por el hombre, tiene grandes beneficios para la mitigación de los problemas generados por el proceso de urbanización como la reducción de la temperatura debida a la urbanización tradicional, reduce los costos de los sistemas de drenaje y los vuelve mucho más sencillos, es capaz de alimentar las fuentes de agua subterránea debido a su estructura de vacíos y está calificado como un material para construcción sostenible ([www.ucc.edu.co](http://www.ucc.edu.co))

#### Fotografía 11

Zona de parqueo en concreto permeable



Fuente: (Universidad Cooperativa de Colombia, 2017)



Las experiencias en Colombia son un valioso aporte para efectos del planteamiento de propuestas para Costa Rica porque las condiciones climáticas y topográficas de zonas importantes de este país suramericano tienen semejanzas a nuestras condiciones medioambientales. Han realizado trabajos de investigación en zonas cafetaleras del Municipio de Pereira, con precipitaciones promedio de 2,300 milímetros anuales y alturas entre los 1,080 y 1,230 metros sobre el nivel del mar.

Se hizo especial revisión de un trabajo de tesis para optar al Grado de Maestría de la investigadora Melisa Andrea Gómez Benítez, de la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Presentado en el año 2015, con el apoyo del Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento (GIAS) de la facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira y la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), se realizó el estudio con el fin de evaluar los jardines de lluvia como alternativa a la problemática presentada en el Municipio de Pereira, en el que la zona de expansión occidental coincide con la zona de recarga del acuífero (Paredes Cuervo, 2015)

### Caso práctico

El proyecto consistió en un trabajo experimental piloto denominado “jardines de lluvia” en la zona del Municipio de Pereira, el cual ha experimentado un crecimiento urbano importante. Los jardines de lluvia son estructuras de infiltración compuestas de capas permeables de arena y grava. La profundidad de cada jardín varía entre 0,6 y 1 metro se pueden hacer combinaciones de la distribución de las capas de arena y grava, 40% de la profundidad corresponde a arena y el otro 60% de la profundidad es grava o se puede disponer de manera invertida (60% arena y 40% grava).

Se utiliza una pequeña capa de tierra sobre la capa de arena que funcione como sostén de las plantas que se cultivarán y

como filtro para la retención de sólidos que puedan obstruir la capa de arena. Este tipo de estructuras son funcionales para proyectos de viviendas de baja y media densidad pues las viviendas deben tener un espacio importante en la propiedad alejado del tanque séptico, ya que si el “jardín de lluvia” se ubica muy cerca del drenaje del tanque séptico puede saturarlo y provocar fuertes olores en la propiedad. Lo anterior, se debe recalcar, debido a que el Municipio de Pereira tiene muy bien definida la densidad de construcción de viviendas<sup>5</sup>, como parte del ordenamiento territorial del municipio.

Este tipo de medidas de bioingeniería se puede aplicar en zonas de producción cafetalera, considerando que es un cultivo perenne, donde los “jardines de lluvia” se establecen como medidas permanentes en la zona de producción. En zonas cafetaleras se deberá tener especial cuidado con el exceso de fertilización a base de nitrógeno y fósforo, con el fin de evitar infiltrar escorrentía con agua de lluvia contaminada con estos dos elementos que podrían transformarse en nitratos y fosfatos, además de moléculas de ingredientes activos de agroquímicos, principalmente herbicidas para el control químico de malezas y fungicidas e insecticidas para control fitosanitario del cultivo del café. Asimismo, los jardines de lluvia se constituyen en una alternativa para ser implementados en zonas de jardines de desarrollos urbanísticos y comerciales.

### Diseño de las obras y construcción

La profundidad de cada jardín varía entre 0,6 y 1 metro. Se pueden hacer combinaciones de la distribución de las capas de arena y grava, 40% de la profundidad corresponde a arena y el otro 60% de la profundidad es grava o se puede disponer de manera invertida (60% arena y 40% grava).

---

<sup>5</sup> Secretaría de Planeación Municipal. 2006. Municipio de Pereira.

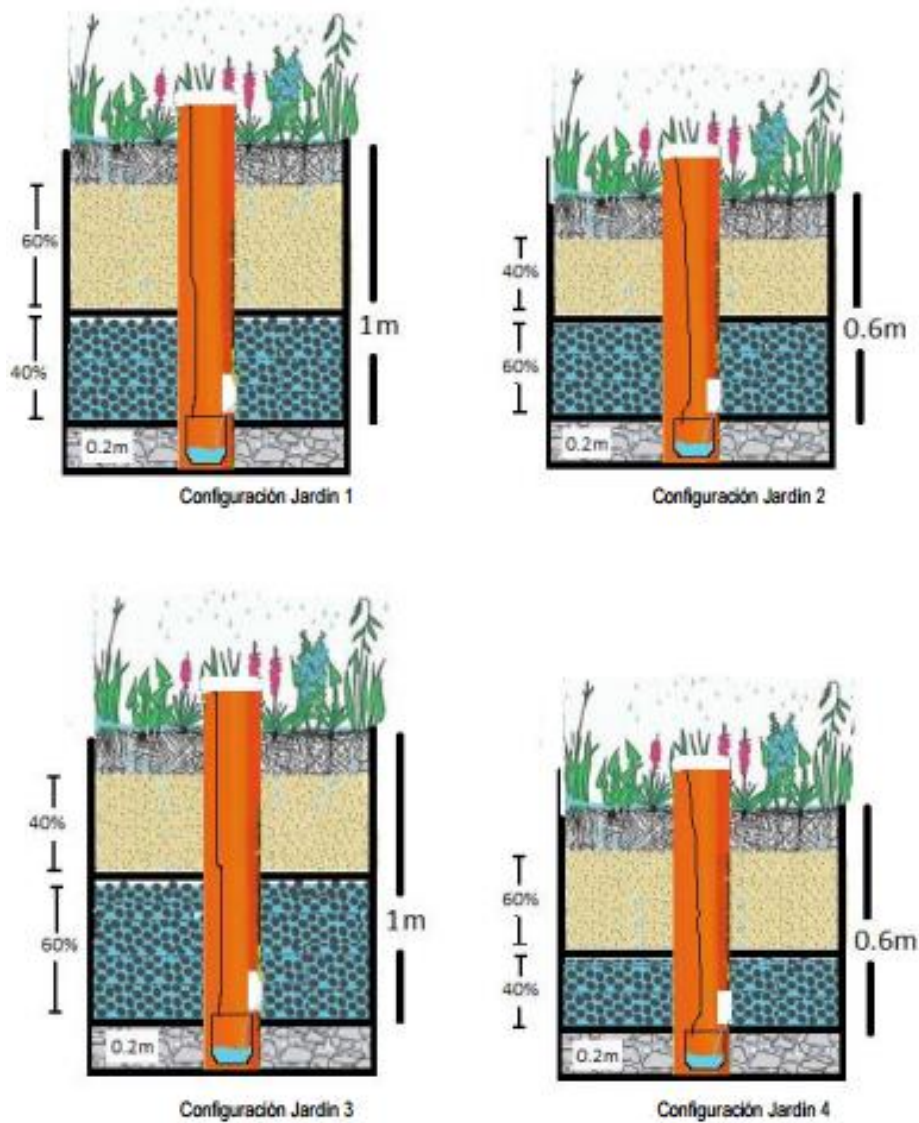


Se utiliza una pequeña capa de tierra sobre la capa de arena que funcione como sostén de las plantas que se cultivarán y como filtro para la retención de sólidos que pueda obstruir la capa de arena.

Este proyecto como trabajo de tesis no presenta un análisis de costos como uno de sus objetivos.

Se partió de la definición de la cantidad de agua disponible en la zona, proveniente del balance hídrico del área donde se obtiene un excedente de lluvia de 197.5mm en el mes más húmedo y de 92.7mm en el mes más seco, y en épocas de NIÑO y NIÑA puede variar hasta en 60mm, lo que indica recarga durante todo el año, siendo mayor hacia la zona suroccidental del área de estudio.

**Figura 19**  
Configuración jardines lluvia



Fuente: (Paredes Cuervo, 2015)



Se obtuvo que no existen diferencias entre los jardines de lluvia y que, en conjunto, son una alternativa viable para mitigar la problemática de la zona, infiltrando importantes cantidades de agua, casi el total de la precipitada; es decir, los jardines infiltran el agua de una zona 25 veces mayor a su tamaño, manteniendo la calidad de la misma en cuanto a nitrógeno y removiendo sólidos suspendidos totales, fósforo, potasio, zinc y DOQ.

En general, los jardines mejoran la infiltración del agua permitiendo la infiltración de un área de 100m<sup>2</sup> a través de 4m<sup>2</sup>, coincidiendo con lo reportado por Davis (2001), Dietz y Clausen, (2005), Hunt et al. (2006), Li y Davis (2009), y Tornes (2005), entre otros. De lo anterior, y teniendo en cuenta que los datos analizados corresponden a 12 meses, así como la variabilidad en el clima, es recomendable trabajar con los jardines de 1 metro de profundidad con el fin de evitar la construcción de infraestructuras de rebose o escurrimientos que podrían ocasionar problemáticas de erosión o arrastre de sedimentos hacia otras zonas (Gómez Benítez, M.A. 2015).

Este proyecto responde a la necesidad de promover la infiltración inducida en zonas agrícolas, con pendientes y zonas prioritarias de recarga acuífera.

En el caso de Costa Rica, la legislación costarricense vigente, relacionada con la disponibilidad de agua de lluvia para desfogue y escorrentía, no hace referencia a la infiltración inducida utilizando técnicas como el caso de los jardines de lluvia. Se deben considerar los cambios en la legislación para la utilización de los jardines de lluvia como alternativa de aprovechar la escorrentía, inducir su infiltración y alimentar las aguas de zonas no saturadas y además como alternativa de reducir la erosión y pérdida de fertilidad de los suelos.

No se recomienda su aplicación en zonas cafetaleras con excesiva utilización de fertilizantes y agroquímicos, se sugiere una evaluación de las fincas para determinar si los planes de manejo son compatibles con un proyecto de infiltración en este caso los jardines de lluvia.

### 3.5 Experiencias en España

España es uno de los países que cuentan con mayores experiencias en la recarga artificial de acuíferos, ya que la normativa está definida en la legislación española por medio de la Ley de Aguas 29/85 y define al Dominio Público Hidráulico<sup>6</sup> (Artículo 1.2 de la Ley 29/85).

En el artículo 57.1 manifiesta: “Si la recarga artificial se realiza a iniciativa privada, sería un supuesto de uso privativo de las aguas, y por tanto, la disposición de los caudales necesarios estaría sometida al régimen de concesión administrativa”.

Asimismo, el artículo 57.4 indica: “Por el contrario, si la recarga artificial se realiza dentro de las actividades de investigación de la Administración Pública; o dentro de los objetivos marcados en la planificación Hidrológica, solamente será necesaria una autorización especial extendida a favor de la Administración Pública de que se trate, sin perjuicio de terceros”.

Ambos casos, la explotación del agua extraída del acuífero debe tener aprobación previa del Dominio Público Hidráulico, específicamente para el caso del uso para fines privados, el aprovechamiento deberá ser por medio de una concesión.

La misma Ley de Aguas de España indica, en el artículo 40, que la Recarga Artificial de los acuíferos es un instrumento del Recurso Hídrico y establece en este artículo los Planes Hidrológicos. Explícitamente el artículo 40 indica:

---

<sup>6</sup> El Dominio Público Hidráulico es el homólogo de la Dirección de Agua del MINAE.



“Artículo 40, Los Planes Hidrológicos comprenderán obligatoriamente: El R.D. 92788, que aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica (RAPAPH), en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas, precisa lo siguiente:

Artículo 84.1. El Plan Hidrológico podrá incluir las áreas de posible recarga artificial de acuíferos, para las que se detallarán el objetivo de la recarga, así como la procedencia, cuantía y calidad de los recursos aplicados.

Artículo 84.3. Se determinarán también los criterios básicos para la protección de las aguas subterráneas frente a la intrusión salina u otras causas de deterioro. Dentro de estos criterios podrían incluirse proyectos de recarga artificial de acuíferos. Es por tanto en la Planificación Hidrológica en donde se deberán reflejar las posibles actuaciones a nivel general de recarga artificial de acuíferos”.

El artículo 84.1 indica que la Ley de Aguas tiene la herramienta por medio del Plan Hidrológico para definir las áreas de posible intervención de la recarga artificial, indiferente del uso que posteriormente se le brinde al agua extraída.

En el artículo 84.3 define los criterios técnicos para determinar la calidad del agua que se pretende infiltrar, para evitar cualquier deterioro del acuífero y su afectación en la explotación del mismo.

#### *Experiencias con proyectos de recarga inducida en acuíferos en España*

En España se han identificado algunos proyectos relacionados con la recarga artificial de acuíferos, los cuales se mencionan a continuación:

- Recarga artificial en el acuífero de Orba.
- Recarga artificial en el acuífero de Cabezón de Oro.

#### **Recarga artificial en el acuífero de Orba**

Este acuífero se encuentra en la zona norte de la provincia de Alicante, correspondiente a una pequeña unidad geológica carbonatada de 6 km<sup>2</sup> asociada a la llanura del Río Girona.

Este acuífero, al final de la década de 70 e inicios de los 80, presentó problemas de recarga por una sobre explotación, principalmente por actividades agrícolas y abastecimiento poblacional.

La propuesta para el manejo del acuífero de Orba básicamente ha consistido en regular y obtener un balance entre la recarga y la explotación del acuífero. Además, las condiciones particulares de la región permiten utilizar el exceso de escorrentía superficial y generar represamientos sobre el cauce principal Girona y afluentes.

Estas condiciones son un régimen hídrico promedio de 810 milímetros de lluvia anual (mm/año) y con meses que registran un acumulado de 200 milímetros. Esta precipitación provoca escorrentía que se capta y almacena sobre el cauce del Río Girona y afluente por medio de secciones transversales de hormigón, generando presas que generan una columna de agua que se infiltra aprovechando la permeabilidad del lecho del río.

#### **Recarga artificial en el acuífero de Cabezón de Oro**

Este proyecto involucró tres municipios (Busot, Aigues y Relleu) en la provincia de Alicante, los cuales comparten el acuífero de Cabezón de Oro, el cual aporta agua potable para consumo humano en los tres municipios.

Durante un periodo de 30 años, el acuífero fue objeto de una sobreexplotación provocando un desbalance hídrico con consecuencias tangibles a la vista de la población, principalmente afectando la



hidrología superficial de la región, ya que cauces permanentes desaparecieron.

Para ello, los municipios realizaron una modelación matemática que permita determinar el potencial del acuífero, mediante la determinación de la recarga y la explotación con bombeo de agua para consumo humano. Con los resultados de la modelación matemática se pretende determinar las medidas a corto plazo para la recuperación del acuífero y permitir la explotación controlada de mismo.

### 3.6 Experiencias en Chile

En Chile la experiencia piloto de recarga artificial es muy reciente. En el país existe un conjunto de leyes y normas que permiten guiar el manejo legal de los proyectos relacionados con la recarga artificial de acuíferos. Se espera que con el avance de estos proyectos se creen nuevas normativas que permitan con mayor facilidad su manejo legal.

En Chile existe dos escritos relacionados con el marco legal de la recarga artificial, estos son:

La Resolución Número 425 de la Dirección General de Aguas en sus artículos 34, 66 y 67 se refiere a la recarga artificial de acuíferos. El artículo 34 se refiere a los puntos que debe tener una memoria técnica para ejecutar un proyecto de recarga. Los artículos 66 y 67 tratan sobre los derechos de aprovechamiento provisional que serán entregados cuando existan estos proyectos y cuando estos podrán ser definitivos, cumpliendo una lista de condiciones necesarias (Cuellar, 2009).

La norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas D.S. No.46 de 2002 habla sobre la recarga artificial en los artículos 2, 7, 8 y 9 refiriéndose principalmente a la calidad del agua que se deberá descargar dentro de la zona saturada del acuífero dependiendo de la calidad del agua existente en este.

El Gobierno de Chile a través del Ministerio de Obras Públicas y la Dirección General de Aguas por medio del Departamento de Administración de Recurso Hídricos preparó la GUÍA METODOLOGICA PARA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE RECARGA ARTIFICIAL. Este procedimiento administrativo busca y es aplicable solo a aquellos proyectos que tienen como finalidad aumentar intencionadamente la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos, aprovechando la capacidad de almacenamiento del acuífero, o mejorar la calidad de las aguas subterráneas ([www.dga.cl](http://www.dga.cl))

#### Caso práctico de aplicación:

En agosto 2013 se inauguró en la cuenca del río Ligua (Región de Valparaíso) el primer proyecto piloto de recarga artificial de acuíferos en Chile impulsado por la Comisión Nacional de Riego, proyecto que permite combatir la sequía y lograr una mayor eficiencia hídrica en la zona. El proyecto cuenta con tres piscinas de infiltración, las que captan las aguas de invierno que no son utilizadas por los agricultores, aprovechando el agua capturada de las lluvias o que se acumula en los tanques cercanos, para posteriormente hacer la recarga. El proyecto tiene una capacidad de infiltración de 9.000 m<sup>3</sup> diarios.

Se han realizado algunos estudios e investigaciones que han permitido determinar zonas prioritarias para la implementación de proyectos de recarga acuífero y los métodos a seguir. Los sectores en que se desarrollarán y evaluarán proyectos a nivel de perfil son los denominados CH-4 (Panguecillo) y CH-3 (Chalinga).

Se determinó que lo más favorable para las características de la zona son los métodos de recarga superficial. Considerando además que se debe elegir dos tipos diferentes de obras para ser evaluadas, se determinó lo siguiente:

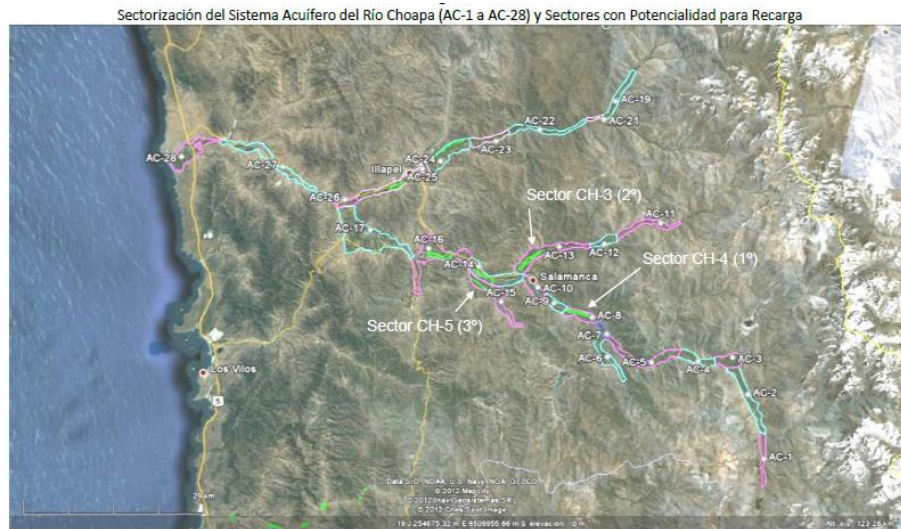


Balsas o piscinas de infiltración para el sector CH-4, que dispone de un caudal medio del período invernal (Jun-Ago) superior a los 600 l/s. Se diseñó las obras para un caudal efectivo disponible de 300 l/s. Se determinó previamente que lo recomendable considerando la disponibilidad de espacio y los requerimientos de operación y

mantenimiento es que las piscinas de recarga sean implementadas en módulos, de 100 m x 80 m cada uno, con un mínimo de 2 por proyecto.

Zanjas de Infiltración para el sector CH-3, que dispone de un caudal medio del período invernal (Jun-Ago) sólo del orden de los 100 l/s.

**Figura 20**  
**Investigación Recarga artificial de acuíferos cuencas del Río Choapa y Quilimarí, Región de Coquimbo**



Fuente: AC INGENIEROS CONSULTORES LTDA, 2012

**Figura 21**  
**Ubicación general de Obras de Recarga Sector CH-4, Panguecillo**

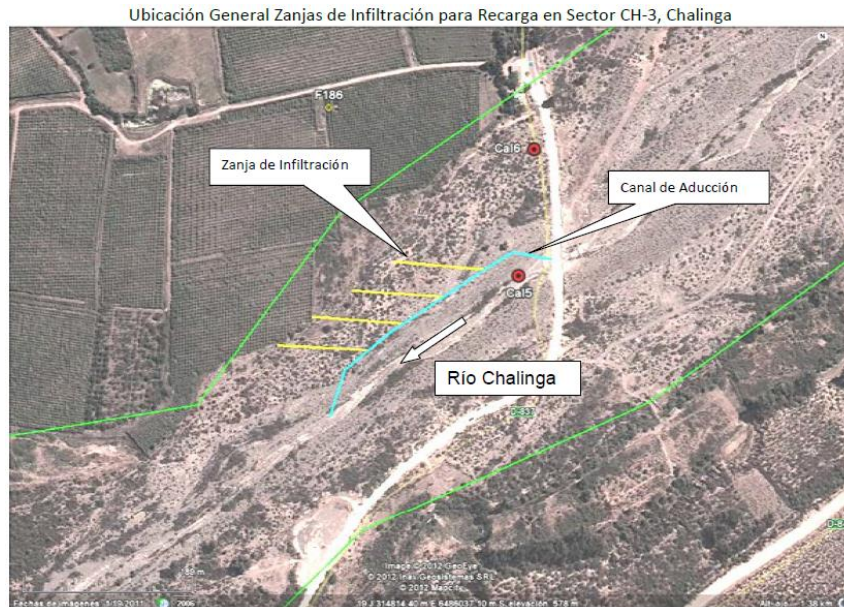


Fuente: AC INGENIEROS CONSULTORES LTDA, 2012.



**Figura 22**

**Ubicación General de Zanjas de infiltración para Recarga en Sector CH-3, Chalinga**



Fuente: AC INGENIEROS CONSULTORES LTDA, 2012.

A nivel de referencia, en el cuadro siguiente se mencionan algunos proyectos de recarga artificial implementados en Chile, su objetivo general y la institución que desarrolla el proyecto.

**Cuadro 20**

**Proyectos implementados de recarga artificial a junio de 2016 en Chile**

Nombre	Año	Institución	Tipo	Objetivo
Estudio e Implementación de un Plan Piloto de Recargas Artificiales a los Acuíferos del Valle del Aconcagua	2016	Dirección de Obras Hidráulicas DOH	Piloto (en desarrollo)	Realizar pruebas físicas que permitan validar o mejorar los parámetros y variables teóricas, de modo de contar con el conocimiento necesario para diseñar, construir y operar sistemas de recarga artificial de acuíferos a escala industrial, en el valle del Aconcagua
Estudio “Diagnóstico de Metodología para la Presentación y Análisis de Proyectos de Recarga Artificial de Acuíferos”	2015	Dirección General de Aguas DGA	Terminado	Desarrollar una guía metodológica para la presentación, evaluación y análisis de proyectos de recarga artificial de acuíferos en Chile.
Estudio e Implementación de un Plan Piloto de Recargas Artificiales a los Acuíferos del Valle del Aconcagua	2016	Dirección de Obras Hidráulicas DOH	Piloto (en desarrollo)	Realizar pruebas físicas que permitan validar o mejorar los parámetros y variables teóricas, de modo de contar con el conocimiento necesario para diseñar, construir y operar sistemas de recarga artificial de acuíferos a escala industrial, en el valle del Aconcagua.



### 3.7 Experiencias en Francia

Francia tiene mucha experiencia en infiltración inducida de escorrentía a nivel de cuencas hidrográficas y grandes acuíferos nacionales y regionales. En entornos urbanos los conceptos de escorrentía superficial y aguas pluviales son sinónimos. A nivel regional, se encontraron varios manuales e instructivos nacionales o regionales relacionados con el manejo de la escorrentía superficial, dirigidas hacia el manejo de aguas pluviales y mitigar el efecto de las inundaciones en las zonas urbanas.

- Guía para considerar las aguas pluviales dentro de los documentos de planificación y urbanismo<sup>7</sup>.
- Procedimientos de declaración y autorización de proyectos de planificación (relacionado con el código de ambiente) dirigido a la policía del agua y medios acuáticos.<sup>8</sup>
- Guía Metodológica para considerar las aguas pluviales dentro de los proyectos de planificación.<sup>9</sup>

Mucha de la información encontrada está relacionada con manejo de aguas

pluviales, tanto a nivel nacional como regional. No se encontró algún instrumento legal relacionado directamente con la infiltración de aguas de escorrentía en procesos de construcción o desarrollo urbano.

Los instrumentos legales comunitarios (Comunidad Económica Europea) y nacionales ligados a la infiltración de aguas de escorrentía en Francia se manifiestan en dos ámbitos:

- a. Recarga de acuíferos en cuencas hidrográficas. Guiado por una corriente de consumo, está orientado a satisfacer demanda de agua, reducir contaminación, disminuir esfuerzos de purificación y tratamiento para consumo posterior. Este es el campo, en que mayor se expresan los instrumentos legales y es un área que escapa al alcance de la presente investigación.
- b. Manejo de aguas pluviales. En Francia el concepto de escorrentía superficial está muy ligado al de aguas pluviales. Esto se manifiesta en una serie de manuales e instructivos, principalmente a nivel de región con recomendaciones sobre cómo mejorar la permeabilidad de los suelos en terrenos cubiertos de infraestructura: principalmente parqueos, carreteras, parques, entre otros.

En el anexo 15 se presenta Información de la legislación francesa y Comunidad Europea con respecto a proyectos de infiltración inducida, las directrices y del marco comunitario del agua y los instrumentos legales de gestión del agua en Francia, como resultado de la investigación realizada para este Manual sobre los instrumentos legales o experiencias exitosas que tiene Francia relacionados con procesos de infiltración inducida de escorrentía superficial a acuíferos.

<sup>7</sup> Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d'urbanisme. 2009. [www.graie.org](http://www.graie.org). Recuperado el 03 de marzo de 2016.

<sup>8</sup> Procédures d'autorisation et de déclaration des projets d'aménagement au titre du Code de l'environnement. Rubrique 2.1.5.0 Rejets d'eaux pluviales. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie. Nov. 2014. <http://www.developpement-durable.gouv.fr> recuperado 03 de marzo de 2016

<sup>9</sup> Guide Methodologique por la prise en compte des eaux pluviales dans les projets d'aménagement. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Ouvrages-et-guides-de-reference.html>. Recuperado el 04 de marzo de 2016.



Dada la división administrativa francesa, es posible que en alguna comuna existan disposiciones relacionadas.

Todas las leyes francesas deben ser aplicadas en las diferentes instancias administrativas: regiones, departamentos, comunas. Desde esta perspectiva, el Ministerio de Desarrollo Sostenible promueve que las autoridades locales inserten directrices ambientales en la planificación territorial. Para el Ministerio la contaminación causada por el agua de lluvia y la escorrentía son muy importantes en términos de seguridad pública (inundación), sino también de la protección del medio ambiente y la salud pública (degradación de las aguas superficiales).<sup>10</sup>

Se ubicaron varios mecanismos tendientes a promover procesos de infiltración de aguas:

- Impuesto a terrenos que produzcan aguas pluviales, esta tasa se usa para mejorar el sistema de colecta, tratamiento, almacenamiento e infiltración de las aguas pluviales.
- Exoneración entre el 20- 100% del impuesto para terrenos que tengan dispositivos para reducir la producción de aguas pluviales o que tengan zonas sin impermeabilizar.
- La designación de áreas comunales sin impermeabilizar destinadas a la protección de la biodiversidad.
- Los mecanismos de infiltración inducida deben estar muy cerca de los procesos naturales de infiltración.

Dado el potencial carácter contaminante del agua de escorrentía superficial, el Ministerio clama por la reducción en origen de los residuos urbanos en la lluvia. Para ello promueve tecnologías para un mejor tratamiento, técnicas de adecuado manejo y reducción de vertidos urbanos en

tiempos lluviosos. Todos estos métodos escapan al alcance de esta investigación, por estar relacionados con uso de pinturas en carreteras, materiales para quitar nieve, transporte público, entre otros.

Una segunda manera de actuar de forma preventiva contra la contaminación es reducir la escorrentía mediante el uso de técnicas cuyo objetivo es *llegar lo más cerca posible del ciclo natural del agua, usando materiales porosos y permeables, lo que facilita la infiltración difusa de aguas pluviales*. En el caso en que la infiltración no es posible, se promueven otras técnicas como el almacenamiento antes de la descarga hacia un río o por lo menos, hacia la red de alcantarillado público.<sup>11</sup>

Para efectos de la presente investigación, se citan algunos ejemplos de la Guía Metodológica para considerar las aguas pluviales dentro de los proyectos de planificación, elaborada por los departamentos de Loire-Atlantique, Maine et Loire, Mayenne, Sarthe y Vendee, con el apoyo de instituciones gubernamentales regionales.

Dentro de las técnicas alternativas que cita se encuentra:

1. Canalizar las aguas dentro de dispositivos.
2. Almacenamiento temporal
3. Infiltración o flujo regulado aguas abajo.

Además, propone como medidas compensatorias:

a- Uso de espacios verdes:

Ciertos espacios verdes, bien diseñados, pueden soportar infiltraciones de agua. Según una disposición de 1973, se deben destinar 10m<sup>2</sup> de área verde por habitante

<sup>10</sup> <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Ouvrages-et-guides-de-referance.html>. Consultado el 04 de marzo de 2016.

<sup>11</sup> <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Contexte,14546.html>. Consultado, 04 de marzo de 2016.



como mínimo. Sin embargo, si ésta área es bien planificada, puede ser utilizada como un espacio de infiltración natural.

En Burdeos, por ejemplo, se usa el 10% de los espacios verdes en continuidad, agrupados en una misma zona común a todos los lotes (espacios mayores a 1 ha). Mientras que en Lyon y Lille el 15% de la superficie total de la tierra debe ser convertido en áreas verdes que pueden también incluir instalaciones para peatones.

b. Espacios recubiertos:

Son espacios públicos cubiertos de concreto o asfalto, principalmente campos de deportes (canchas de tenis, baloncesto, etc) y parqueos. Sugieren el uso de materiales porosos y permeables, estructuras para el almacenamiento en zonas de jardín (especialmente para zonas de excedente generado por lluvias excepcionales) y la infiltración natural.

c. Carreteras:

Propone diseñar y construir carreteras que funcionan para canalizar e infiltrar aguas de escorrentía y propone medidas para cada tipo de carretera según la densidad del tráfico.

En relación a las técnicas alternativas, se presenta dos de los estudios de caso incluidos en la guía:

a. *Calzadas: reservorios de agua*

Una calzada es una estructura de parqueo o tráfico, pero también puede ser un depósito para el escurrimiento y la retención de agua. El agua se recoge por medio de un asfalto permeable u otra superficie porosa y se conduce a un sistema de desagües

La evacuación se puede hacer hacia:

- Una salida predefinida.
- Una red de agua de lluvia.
- Infiltración, sabiendo que esta solución no puede hacerse sola y que requiere tratamiento especial.

Las ventajas específicas de esta solución son:

- La inserción fácil en las zonas urbanas, sin el consumo de espacio.
- La reducción del ruido de rodadura si el recubrimiento de superficie es una mezcla de drenaje.
- Mejora de la adherencia.
- El atrapar la contaminación.
- Recarga de acuíferos.

Las desventajas están posiblemente relacionadas con el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas (contaminación accidental) y a la obstrucción cuando se utiliza el asfalto poroso sin otra alternativa a la reinyección del agua.

Con respecto a las consideraciones de infiltración, recomienda incluir:

- a. Permeabilidad del suelo.
- b. Sensibilidad del suelo de soportar el agua.
- c. Profundidad de la capa freática.
- d. Reglamentación que limita o prohíbe la infiltración.



**Fotografías 12 y 13**

**Adoquines drenantes y comparación entre calzada clásica y drenante**



Reservorio en Parqueo y adoquines drenantes  
Source CETE du Sud-Ouest



Contraste entre una calzada clásica y una calzada drenante  
Source INSA de Lyon

*b. Zanjas*

Son anchas y profundas y su principal función es almacenar y canalizar, aunque bien diseñadas pueden servir para infiltración de suelos o para permitir la evaporación.

Entre las principales ventajas asociadas con el uso de esta técnica incluyen:

- El uso en un sistema de drenaje que toma en cuenta las características del suelo, la retención, la regulación del flujo.

- La creación de un paisaje de plantas y espacios verdes para una buena integración en el sitio.
- Realización en fases, dependiendo de las necesidades de almacenamiento.
- Su bajo costo.

Esta técnica presenta dos inconvenientes principales:

- La necesidad del mantenimiento regular de las zanjas.
- Molestias por el posible estancamiento de agua si la tasa de infiltración es baja.

**Fotografía 14. Zanja y cuneta drenante**  
**Fotografía 15. Zanja drenante en carretera**



Zanja y cuneta drenante en Villaboix Bruges  
Source CETE du Sud-Ouest



Zanja drenante en carretera  
Source Cete du Sud - Ouest



## Bibliografía

- Agencia de Cooperación Internacional de Japón JICA. (2010). Obtenido de [https://www.jica.go.jp/project/all\\_c\\_america/001/materials/pdf/manual\\_02.pdf](https://www.jica.go.jp/project/all_c_america/001/materials/pdf/manual_02.pdf)
- BASAN NICKISCH, M., TOSOLINI, R., LAHITTE, A., PARODI, M., & SANCHEZ, L. (2012). *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina*. Obtenido de <http://inta.gob.ar/documentos/recarga-inducida-al-acuifero-libre-con-agua-de-lluvia-para-abrevado-de-ganaderia-de-cria>
- Central Arizona Project. (2016). Obtenido de <http://www.cap-az.com/>
- Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe. (2016). *CAZALAC (Chile-Mexico)*. Obtenido de Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe: [http://www.cazalac.org/2015/fileadmin/templates/documentos/Chile-Mexico/Curso\\_31052016/Recarga\\_artificial\\_de\\_acuiferos.pdf](http://www.cazalac.org/2015/fileadmin/templates/documentos/Chile-Mexico/Curso_31052016/Recarga_artificial_de_acuiferos.pdf)
- Chin, D. (2000). *Water Resources Engineering*. New Jersey: Prentice Hall.
- Concreto Ecológico de México, S.A. de C.V. (2017). *Ecocreto México*. Obtenido de <http://www.concretopermeable.com/index.html>
- Departamento de Administración de recursos hídricos, Gobierno de Chile. (2016). *Dirección General de Aguas*. Obtenido de [http://www.dga.cl/orientacionalpublico/guias/Guias%20para%20presentacion%20de%20solicitudes/Guia\\_Metodologica\\_para\\_presentacion\\_Proyectos\\_de\\_Recarga\\_Artificial\\_2016.pdf](http://www.dga.cl/orientacionalpublico/guias/Guias%20para%20presentacion%20de%20solicitudes/Guia_Metodologica_para_presentacion_Proyectos_de_Recarga_Artificial_2016.pdf)
- Department of Ecology State of Washington, USA. (2017). Obtenido de <http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/stormwater/manual.html>
- Derksen, P., & Vahrson, W. (1990). *Lluvias críticas*. Heredia, Costa Rica: Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional.
- Dillon, P. (2009). Water recycling via managed aquifer recharge in Australia. *Boletín Geológico y Minero*. Madrid, España: IGME.
- Evet, J., & Liu, C. (2007). *Soils and Foundations*. USA: Prentice Hall.
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia*. Santiago, Chile: Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola FIDA. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/019/i3247s/i3247s.pdf>
- Fernandez Escalante, A. E. (2009). *Gestión de la recarga artificial de acuíferos*. Madrid: Editorial Grafinat.
- Fernández Escalante, Á., García Rodríguez, M., & Villaroya Gil, F. (2017). *Revista Tecnología y desarrollo*. Obtenido de [https://revistas.uax.es/index.php/tec\\_des/article/view/532](https://revistas.uax.es/index.php/tec_des/article/view/532)
- Fernandez-Escalante. (2010). La gestión de la recarga artificial de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible. *Desarrollo tecnológico. Serie Hidrología Hoy. Título 6*. DINA-MAR.
- Fundacion Gigante. (2017). Obtenido de <http://www.aviafor.com/lluvia/cosecha/>
- Gobierno de la Republica de Costa Rica. (2015). Reglamento Técnico RTCR 479:2015 Materiales de Construcción, Cementos Hidráulicos. *Decreto Ejecutivo*. San Jose, Costa Rica.



- Gómez Benítez, M. (2015). Recarga artificial de acuíferos mediante jardines de lluvia en el Eje Cafetero colombiano. *Trabajo de grado de Maestría para obtener el título de Magíster en Ecotecnología*. Pereira, Colombia: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- Gomez, D. (Noviembre de 2012). *ResearchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/316172298\\_Investigacion\\_de\\_Flujo\\_base\\_en\\_la\\_Cuenca\\_Montanosa\\_del\\_Rio\\_de\\_Oro\\_Santander](https://www.researchgate.net/publication/316172298_Investigacion_de_Flujo_base_en_la_Cuenca_Montanosa_del_Rio_de_Oro_Santander)
- Gonzalez Gómez, A. (2017). *Trabajo de investigación para el desarrollo del Manual de Normas técnicas para el mejoramiento de la recarga*. San José: Isoges Consultores.
- Gonzalez Sandoval, M. (2014). *Diseño de un concreto permeable para la recuperación de agua*. Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo.
- Henríquez, C., Cabalceta, G., Bertsch, F., & Alvarado, A. (1993). *Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG Costa Rica*. Obtenido de Principales suelos de Costa Rica: [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/suelos-cr.html](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html)
- Instituto Nacional del Agua INA. (2016). Obtenido de <https://www.ina.gov.ar/crl/index.php?crl=33>
- Konrad, C., Jensen, B., Burges, S., & Reinelt, L. (1995). *On-Site Residential Stormwater Management Alternatives*. Washington State, USA.: Center for Urban Water Resources. University of Washington.
- Lligüi Ortega, E., & Ñauta Ñauta, P. (2014). Análisis geotécnico-económico comparativo entre diques construidos con materiales arcillosos y gravosos en el proyecto control de inundaciones del río Cañar. Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Lopez Velasco, O., Fernandez Reynoso, D., & Martinez Menes, M. (2016). Obtenido de <https://www.slideshare.net/demetriofernandez313/pozos-de-absorcin>
- Lopez-Jeta, J., Loredó Pérez, J., Fernandez Ruiz, L., & Pernia, Llera, J. (2008). *Investigación y gestión de los recursos del subsuelo*. Madrid.: Instituto Geológico y Minero de España. Obtenido de [https://books.google.co.cr/books?id=kllqfHeYrMUC&pg=PA725&lpg=PA725&dq=eficiencia+en+la+recarga+artificial+de+acu%C3%ADferos+mediante+diques&source=bl&ots=m8dicN5hsm&sig=hJK4SbPjRa9pZmz\\_0\\_7doWEjO64&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=eficiencia%20en%20la%2](https://books.google.co.cr/books?id=kllqfHeYrMUC&pg=PA725&lpg=PA725&dq=eficiencia+en+la+recarga+artificial+de+acu%C3%ADferos+mediante+diques&source=bl&ots=m8dicN5hsm&sig=hJK4SbPjRa9pZmz_0_7doWEjO64&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=eficiencia%20en%20la%2)
- LTDA, AC INGENIEROS CONSULTORES. (2012). *INVESTIGACIÓN RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS CUENCAS DEL RÍO CHOAPA Y QUILIMARÍ, REGIÓN DE COQUIMBO*. Santiago, Chile: MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS.DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS.
- Martínez Capel, F. (2016). *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de <https://media.upv.es/player/?id=31ed88c6-36f3-4a34-a04f-8e40917b65bc>
- Massmann, J., & Butchart, C. (2000). *Infiltration Characteristics. Performance and Design of Storm Water Facilities*. Washington State, USA: Washington State Transportation Center (TRAC).
- Murray, E., & Tredoux, G. (1998). *Artificial recharge: a technology for sustainable water resource development*. Pretoria, Sudáfrica: Water Research Commission Report No. 842/1/98.
- Ortiz, G. (2012). Investigación y cuantificación de los procesos de colmatación en las operaciones de recarga artificial de acuíferos mediante balsas de Infiltración y pozos de inyección. *Tesis Doctoral*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.



- Paredes Cuervo, D. (2015). Recarga artificial de acuíferos mediante jardines de lluvia en el Eje Cafetero. *Tesis de Grado de Maestría*. Pereira, Colombia: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- Perez Ramos, D. (2009). Estudio experimental de concretos permeables con agregados andesíticos. Ciudad de Mexico: Universidad Autonoma de Mexico.
- Sobrinho Abuja, M., & Caba i Muntada, J. (2012). *Análisis comparativo a nivel técnico y económico de distintas tipologías de solución para la corrección hidrológica en las cabeceras de las cuencas de alta montaña en la comarca del Berguedà*. Obtenido de La comarca del Berguedà: <http://www.mmbbiomassa.cat/Portals/0/Counicacions%20tecniques/TRABAJO%2016.pdf>
- U.S. Geological Survey. (2016). Obtenido de <https://water.usgs.gov/ogw/>
- UNESCO. (2005). *Estrategias para la gestión de recarga de acuíferos GRA*. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001438/143819s.pdf>
- Universidad Alfonso X. (2005). Inventario de experiencias de recarga artificial de acuíferos en el mundo. *Revista de ciencia, tecnología y medio ambiente*, Volumen III.
- Universidad Cooperativa de Colombia. (2017). Obtenido de <http://www.ucc.edu.co/prensa/2015/Paginas/Recarga-acuiferos-distrito-Santa-Marta-mediante-el-uso-de-sistemas-con-concreto-permeable.aspx>
- WASHINGTON STORMWATER CENTER. (2017). *Stormwater Management in Western Washington*. Obtenido de <http://www.wastormwatercenter.org/32-steps-for-design-infiltration>
- Agencia de Cooperación Internacional de Japón JICA. (2010). Obtenido de [https://www.jica.go.jp/project/all\\_c\\_america/001/materials/pdf/manual\\_02.pdf](https://www.jica.go.jp/project/all_c_america/001/materials/pdf/manual_02.pdf)
- BASAN NICKISCH, M., TOSOLINI, R., LAHITTE, A., PARODI, M., & SANCHEZ, L. (2012). *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina*. Obtenido de <http://inta.gob.ar/documentos/recarga-inducida-al-acuifero-libre-con-agua-de-lluvia-para-abrevado-de-ganaderia-de-cria>
- Central Arizona Project. (2016). Obtenido de <http://www.cap-az.com/>
- Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe. (2016). *CAZALAC (Chile-Mexico)*. Obtenido de Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe: [http://www.cazalac.org/2015/fileadmin/templates/documentos/Chile-Mexico/Curso\\_31052016/Recarga\\_artificial\\_de\\_acuiferos.pdf](http://www.cazalac.org/2015/fileadmin/templates/documentos/Chile-Mexico/Curso_31052016/Recarga_artificial_de_acuiferos.pdf)
- Chin, D. (2000). *Water Resources Engineering*. New Jersey: Prentice Hall.
- Concreto Ecológico de México, S.A. de C.V. (2017). *Ecocreto México*. Obtenido de <http://www.concretopermeable.com/index.html>
- Department of Ecology State of Washington, USA. (2017). Obtenido de <http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/stormwater/manual.html>
- Dillon, P. (2009). Water recycling via managed aquifer recharge in Australia. *Boletín Geológico y Minero*. Madrid, España: IGME.
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia*. Santiago, Chile: Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola FIDA. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/019/i3247s/i3247s.pdf>



- Fernandez Escalante, A. E. (2009). *Gestión de la recarga artificial de acuíferos*. Madrid: Editorial Grafinat.
- Fernández Escalante, Á., García Rodríguez, M., & Villaroya Gil, F. (2017). *Revista Tecnología y desarrollo*. Obtenido de [https://revistas.uax.es/index.php/tec\\_des/article/view/532](https://revistas.uax.es/index.php/tec_des/article/view/532)
- Fernandez-Escalante. (2010). La gestión de la recarga artificial de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible. *Desarrollo tecnológico. Serie Hidrología Hoy. Título 6*. DINA-MAR.
- Fundacion Gigante. (2017). Obtenido de <http://www.aviafor.com/lluvia/cosecha/>
- Gobierno de la Republica de Costa Rica. (2015). Reglamento Técnico RTCR 479:2015 Materiales de Construcción, Cementos Hidráulicos. *Decreto Ejecutivo*. San Jose, Costa Rica.
- Gomez, D. (Noviembre de 2012). *ResearchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/316172298\\_Investigacion\\_de\\_Flujo\\_base\\_en\\_la\\_Cuenca\\_Montanosa\\_del\\_Rio\\_de\\_Oro\\_Santander](https://www.researchgate.net/publication/316172298_Investigacion_de_Flujo_base_en_la_Cuenca_Montanosa_del_Rio_de_Oro_Santander)
- Gonzalez Gómez, A. (2017). *Trabajo de investigación para el desarrollo del Manual de Normas técnicas para el mejoramiento de la recarga*. San José: Isoges Consultores.
- Henríquez, C., Cabalceta, G., Bertsch, F., & Alvarado, A. (1993). *Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG Costa Rica*. Obtenido de Principales suelos de Costa Rica: [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/suelos-cr.html](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html)
- Instituto Nacional del Agua INA. (2016). Obtenido de <https://www.ina.gov.ar/crl/index.php?crl=33>
- Konrad, C., Jensen, B., Burges, S., & Reinelt, L. (1995). *On-Site Residential Stormwater Management Alternatives*. Washington State, USA.: Center for Urban Water Resources. University of Washington.
- Lopez-Jeta, J., Loredo Perez, J., Fernandez Ruiz, L., & Pernia, Llera, J. (2008). *Investigación y gestión de los recurso del subsuelo*. Madrid.: Instituto Geológico y Minero de España. Obtenido de [https://books.google.co.cr/books?id=kllqfHeYrMUC&pg=PA725&lpg=PA725&dq=eficiencia+en+la+recarga+artificial+de+acu%C3%ADferos+mediante+diques&source=bl&ots=m8dicN5hsm&sig=hJK4SbPjRa9pZmz\\_0\\_7doWEjO64&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=eficiencia%20en%20la%2](https://books.google.co.cr/books?id=kllqfHeYrMUC&pg=PA725&lpg=PA725&dq=eficiencia+en+la+recarga+artificial+de+acu%C3%ADferos+mediante+diques&source=bl&ots=m8dicN5hsm&sig=hJK4SbPjRa9pZmz_0_7doWEjO64&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=eficiencia%20en%20la%2)
- Paredes Cuervo, D. (2015). *Recarga artificial de acuíferos mediante jardines de lluvia en el Eje Cafetero. Tesis de Grado de Maestría*. Pereira, Colombia: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- U.S. Geological Survey. (2016). Obtenido de <https://water.usgs.gov/ogw/>
- UNESCO. (2005). *Estrategias para la gestión de recarga de acuíferos GRA*. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001438/143819s.pdf>
- Universidad Cooperativa de Colombia. (2017). Obtenido de <http://www.ucc.edu.co/prensa/2015/Paginas/Recarga-acuiferos-distrito-Santa-Marta-mediante-el-uso-de-sistemas-con-concreto-permeable.aspx>



# ANEXOS



# Anexo N° 1

## Términos de referencia para la ejecución de estudios hidrogeológicos adaptado de SENARA 2017

COMPONENTES DEL ESTUDIO	PROCESO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA EVALUACIÓN HIDROGEOLOGICA PARA LA INFILTRACIÓN INDUCIDA
1. Descripción del proyecto	Se debe presentar una descripción detallada del proyecto e información del solicitante que incluya los datos de la propiedad, así como, por ejemplo: diseño estructuras a utilizar, densidad de población, área de impermeabilización, u otros aspectos relevantes para el conocimiento y evaluación de la actividad de infiltración inducida.
2. Geología local a escala 1:10 000 con sus respectivos perfiles geológicos	<p><b>MAPA GEOLÓGICO REGIONAL</b></p> <input type="checkbox"/> Realizar el Mapa Geológico Regional a escala 1:50 000 para la zona de estudio
	<p><b>MAPA GEOLÓGICO LOCAL</b></p> <input type="checkbox"/> Realizar el Mapa Geológico Local a escala 1:10 000 de un kilómetro cuadrado alrededor del proyecto.
	<input type="checkbox"/> Elaborar al menos dos perfiles geológicos locales que atraviesen el área de proyecto, con sus respectivas escalas horizontal y vertical, orientación, identificación y simbología.
3. Análisis de información existente de pozos, manantiales, captaciones superficiales y concesiones en base de datos institucionales, (MINAE, SENARA, operadores de servicio de agua potable y otras)	<input type="checkbox"/> Procesar la información de las bases de datos consultadas en las diferentes instituciones, a un radio de 1000 metros como mínimo con respecto al punto central del proyecto, se tienen que confeccionar las bases de datos y el mapa de pozos registrados en las bases de datos del MINAE (Dirección de Agua y SINAC), SENARA, Municipalidad, y acueductos de la zona de estudio o del cantón (AyA, ASADAS, otros
	<input type="checkbox"/> Realizar el Mapa de Pozos, Manantiales, Tomas superficiales de Agua y Concesiones.
4. Levantamiento de pozos en el campo	<input type="checkbox"/> Para un radio de 500 metros con respecto a la zona del proyecto y con énfasis en la finca, se tiene que realizar el levantamiento en el campo de los pozos (perforados y excavados).
	<input type="checkbox"/> Proceder a medir los niveles estáticos o dinámicos y otra información accesible de los pozos levantados en el campo.
5. Levantamiento de manantiales en el campo.	<input type="checkbox"/> Para un radio de 500 metros con respecto a la zona del proyecto, se tienen que levantar los manantiales en el campo, se tienen que geo-referenciar con algún sistema de posicionamiento global (GPS).
	<input type="checkbox"/> Establecer si están captados o no; medición del caudal y el uso del agua, litología de la cual aflora el agua subterránea.
6. Levantamiento de captaciones para uso de abastecimiento público de agua superficial (tomas en ríos y/o quebradas)	<input type="checkbox"/> Levantamiento de captaciones para uso de abastecimiento público de agua superficial (tomas de ríos y/o quebradas), esto para un radio de 500 metros con respecto a la zona del proyecto.


**COMPONENTES DEL ESTUDIO**
**PROCESO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA EVALUACIÓN HIDROGEOLOGICA PARA LA INFILTRACIÓN INDUCIDA**

7. Determinación in situ de las características hidráulicas de la zona no saturada

- En superficie se deben aportar: la conductividad hidráulica con ensayos utilizando la metodología del ensayo de doble anillo, la clasificación del suelo/roca meteorizada con la norma del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) Se deben tomar al menos 2 muestras por hectárea para realizar estas pruebas y análisis, las cuales tienen que ser distribuidas en el área del proyecto. Para áreas menores de 1 hectárea se deben tomar 2 muestras como mínimo.
- Para la zona no saturada, para los proyectos que requieren la perforación exploratoria (según punto 8) para cada estrato identificado a partir del nivel de desplante del proyecto propuesto, se deben realizar análisis de laboratorio para la determinación de porosidad y clasificación de suelo/roca meteorizada, con la norma del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)
- Para medios fracturados los datos de porosidad pueden ser presentados de referencia bibliográfica, la cual debe estar citada.
- Reportar y analizar la profundidad de los niveles de agua en la zona del proyecto.
- Determinar la conductividad hidráulica para cada estrato encontrado en la zona no saturada. Se pueden utilizar los métodos de: Porchet, Doble Anillo, Le Franc, Guelph, Hvorslev.

8. Realizar perforaciones exploratorias para determinar localmente la estratigrafía y características hidráulicas de la zona de interés

- La perforación se debe llevar a cabo mediante el método de rotación con recuperación de núcleos, como mínimo con diámetro de NQ (3 pulgadas).
- Ante casos con presencia de fuentes puntuales de contaminación, la ubicación de la perforación exploratoria se tiene que realizar a unos 3 a 5 metros de distancia aguas abajo de la posible fuente de contaminación.
- La profundidad mínima del sondeo de exploración tiene que ser de 20 metros por debajo del nivel de desplante del proyecto.

9. Análisis de aguas o suelos (bacteriológicos, físico-químicos, orgánicos o pesticidas)

Análisis de aguas

- Si en la perforación exploratoria se determinan niveles de aguas subterráneas, se tienen que realizar análisis de agua para contenido de hidrocarburos u otras sustancias tóxicas previo a la infiltración inducida.
- El objetivo de realizar estos muestreos para los proyectos nuevos es establecer estudios de línea base de control y monitoreo de la calidad del agua subterránea una vez que entre en operación el proyecto de infiltración inducida.

10. Aforos de ríos (influencia – efluencia)

- Aplica para obras de infiltración inducida relacionadas a diques y represas en causes y quebradas.



COMPONENTES DEL ESTUDIO	PROCESO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA EVALUACIÓN HIDROGEOLOGICA PARA LA INFILTRACIÓN INDUCIDA
11. Realizar el modelo hidrogeológico conceptual	<p>Realizar un modelo hidrogeológico conceptual que incluya:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Tipo de acuíferos, espesor de los acuíferos, zona no saturada (cobertura de los acuíferos), parámetros hidráulicos de los acuíferos (porosidad de la zona saturada, porosidad eficaz en la zona saturada, permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento), nivel freático o piezométrico, curvas equipotenciales del agua subterránea, dirección del flujo del agua subterránea, cálculo del gradiente hidráulico.</li> <li><input type="checkbox"/> Se debe aportar el mapa hidrogeológico del sitio, donde se incluyan los pozos y nacientes cercanos al proyecto, el trazo de las equipotenciales (isofreáticas o piezométricas) y líneas de flujo. Se deben indicar explícitamente los números de pozos o nacientes, y la elevación del nivel de agua subterránea en los puntos utilizados para la construcción de las equipotenciales.</li> </ul>
12. Determinación del tiempo de tránsito en la zona no saturada y en la zona saturada	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> El tiempo de tránsito en la zona no saturada se debe realizar con respecto al nivel de desplante del proyecto, considerando la disminución de la zona no saturada por efecto de excavación y remoción de tierra.</li> <li><input type="checkbox"/> Para la zona saturada se debe utilizar el dato de porosidad efectiva. Se pueden realizar análisis de laboratorio o tomar valores de referencia según la litología encontrada.</li> </ul>
13. Realizar las respectivas zonas de captura o protección de los pozos y manantiales	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> No aplica</li> </ul>
14. Análisis de la Vulnerabilidad Hidrogeológica	<p>Vulnerabilidad intrínseca</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Para valorar la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de los acuíferos, se utilizará como base el mapa hidrogeológico local y el modelo hidrogeológico conceptual local.</li> <li><input type="checkbox"/> Realizar la valoración de la vulnerabilidad intrínseca por medio de la metodología GOD (Foster e Hirata, 2002), u otro método, el cual se tiene que justificar según las características de la zona no saturada y el tipo de acuífero modelado a nivel local.</li> <li><input type="checkbox"/> Si se utiliza la metodología GOD, para la asignación del parámetro G se tiene que usar la categorización del parámetro realizada por el SENARA, según el gráfico del GOD que aparece en el Apéndice 6.</li> <li><input type="checkbox"/> El análisis debe realizarse a nivel de desplante donde se ubicarán las posibles fuentes potenciales de contaminación.</li> </ul>
15. Análisis de amenaza	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Analizar las cargas contaminantes (en cuanto a toxicidad y densidad de población), características de los efluentes potenciales esperados del proyecto, y en función de la cobertura por infraestructura o impermeabilización.</li> </ul>



COMPONENTES DEL ESTUDIO	PROCESO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA EVALUACIÓN HIDROGEOLOGICA PARA LA INFILTRACIÓN INDUCIDA
16. Análisis de recarga	<input type="checkbox"/> Debe aplicarse la metodología de cálculo de Balance Hídrico de Suelos de Schosinsky, G. (2006), "Cálculo de la Recarga Potencial de los Acuíferos mediante un balance hídrico de suelos", publicada en la Revista Geológica de América Central 34-35:13-30 pág. <input type="checkbox"/> La conductividad hidráulica en superficie se tiene que obtener mediante la metodología de doble anillo (ITEM 7). <input type="checkbox"/> La definición de nivel de recarga acuífera para un sitio específico se calculará según los siguientes parámetros establecidos por SENARA: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Alta recarga: Cuando el valor de la recarga potencial en el sitio del proyecto corresponde a un valor &gt; de 30 % de la precipitación media anual de la zona.</li> <li>● Media recarga: Cuando el valor de la recarga potencial para el sitio corresponde a valores entre 10 % y 30 % de la precipitación media anual de la zona.</li> <li>● Baja recarga: Cuando el valor de la recarga potencial para el sitio corresponde a valores &lt; a 10% de la precipitación media anual de la zona.</li> </ul>
17. Riesgo de afectación a la calidad y cantidad de las aguas subterráneas	<input type="checkbox"/> Analizar el riesgo a la afectación a la calidad y cantidad de las aguas subterráneas.
18. Disponibilidad de agua para el proyecto	<input type="checkbox"/> Se tiene que indicar la fuente o el ente operador de abastecimiento de agua en la zona.
19. Evaluación del riesgo de la intrusión salina*	<input type="checkbox"/> No aplica
20. Disminución de zona de protección de pozos*	<input type="checkbox"/> No aplica
21. Radio de interferencia entre pozos y otros cuerpos de agua*	<input type="checkbox"/> No aplica
22. Análisis de disponibilidad de agua en zonas con características hídricas especiales (aplica sólo en casos permisos de perforación de pozos)	<input type="checkbox"/> No aplica
23. Declaración jurada de los estudios hidrogeológicos entregados	<input type="checkbox"/> El profesional en geología deberá redactar un documento en donde acepta la responsabilidad profesional por la información técnica-científica que aporta en el mismo y los respectivos anexos, así como por las conclusiones y recomendaciones obtenidas en los análisis de la información.



## Anexo N° 2

### Valores de conductividad hidráulicas expresada en metros / día

VALORES ESTIMADOS DE LA CONDUCTIVA HIDRÁULICA (METROS / DÍA)						
		Domenico	Smith & W	Freeze	Fetter	Sanders
<b>Sedimentos</b>	Grava	25 a 2500	100 a 10 x5	100 a 10x6	10 a 1000	
	Grava con arena					
	Arena gruesa	0,1 a 500				1 a 100
	Arena media	0,1 a 50	0,01 a 1000	1 a 1000	1 a 100	
	Arena fina	0,02 a 20			0,01 a 1	0,01 a 1
	Arena arcillosa			0,01 a 100	0,001 a 0,1	
	Silt, loess	10x-4 a 2	10x-4 a 1	10 x-4 a 1	0,001 a 0,1	10x-4 a 1
	Arcilla	10x-6 a 4x-4	10x-7 a 10x-3		10x-6 a 10x-3	10x-6 a 10x-3
	Arcilla marina inalterada	10x-7 a 2x-4		10x-11 a 10x-7		
<b>Rocas sedimentarias</b>	Calizas carstificadas	0,1 a 2000	0,05 a 0,5	0,1 a 1000		0,1 a 10x7
	Calizas, dolomías	10x-4 a 0,5	0,001 a 0,5	10x-4 a 1		10x-4 a 1
	Areniscas	3x-5 a 0,5	10x-5 a 1	10x-5 a 1		
	Argilitas (siltstone)	10x-6 a 0,001				
	Pizarras sedimentarias (Shale) intactas	10x-8 a 2x-4	10x-8 a 10x-4	10x-4 a 10x8		10x-4 a 10x8
	Pizarras sed. (Shale) fracturadas/alteradas		10x-4 a 1			
<b>Rocas cristalinas</b>	Basalto inalterado, sin fracturar		10x-6 a 10x-3			10x-6 a 10x-3
	Basalto fracturado/vesicular cuatemario		10 a 1000			0,1 a 10x6
	Escorias basálticas		0,001 a 1000			
	Basalto permeable	0,03 a 2000		0,02 a 1000		
	Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	10x-9 a 10-5	10x-9 a 10x-5	10x-9 a 10x-5		10x-9 a 10x-5
	Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	0,001 a 25	10x-5 a 1	0,0005 a 20		10x-5 a 1
	Granito alterado	0,03 a 5				
	Grabo alterado	0,05 a 0,3				



## Anexo N° 3

### Determinación de número de curva

El Número de Curva se constituye en un insumo en el Hidrograma Unitario Sintético, ya que determina características de infiltración de la superficie que se está evaluando, como generadora de escorrentía superficial. Este método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de los Estados Unidos (SCS) en el año de 1969.

El Número de Curva determina la escorrentía directa a partir de lluvia máxima, como insumo principal, considerando esta lluvia como un evento aislado. La escorrentía se determina en forma de lámina y se expresa en milímetros.

Las ecuaciones se generan a partir de la ecuación de balance

$$P = I_0 + F + Q$$

Donde P = precipitación total (mm)

F = infiltración acumulada real (mm)

$I_0$  = lluvia caída antes de que la escorrentía se inicie (mm)

Q = escorrentía superficial acumulada (mm)

Se define la precipitación efectiva

$$P_e = P - I_0$$

Se genera una relación entre la infiltración acumulada real (F) y la infiltración potencial máxima (S), asimismo entre la escorrentía superficial acumulada (Q) y la escorrentía potencial o exceso de precipitación ( $P_e$ ).

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P_e}$$

En condiciones controladas  $I_0 = 2S$

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

Donde Q = escorrentía superficial acumulada (mm)

P = precipitación total (mm)

S = infiltración potencial máxima (mm)

$$P > 0,2S$$

Para determinar la infiltración potencial máxima se utiliza la ecuación

$$S = 254 \left( \frac{100}{NC} - 1 \right)$$

Donde S = infiltración potencial máxima (mm)

NC = número de curva (adimensional)

En las tablas 1, 2, 3 y 4 se encuentran los valores del número de curva (NC) para diferentes condiciones de cobertura superficial. En el caso de la tabla 2, los valores de NC corresponden a valores relaciones con cobertura por desarrollos urbanos.



Tabla N° 1  
Valores de numero de curva (NC) para condiciones de desarrollos urbanos

Descripción de la cobertura	Numero de curva para cada grupo hidrológico de suelo				
		A	B	C	D
Tipo de cobertura y estado hidrológico	% medio de superficie impermeable				
<b>Áreas urbanas completamente desarrolladas (vegetación establecida)</b>					
Espacios abiertos (césped, parques, campos de golf, cementerios y otros)					
Malas condiciones de coberturas (< 50% cobertura)		69	79	86	89
Condiciones de cobertura regular (50<cobertura<75%)		49	69	79	84
Buenas condiciones de cobertura (cobertura <75%)		39	61	74	80
<b>Superficies impermeables</b>					
Parqueos pavimentados, techos, carreteras, aceras		98	98	98	98
Callas asfaltadas y alcantarillas		98	98	98	98
Cunetas asfaltadas		83	89	92	93
Gravas		76	85	89	91
Lodos		72	82	87	89
<b>Districtos urbanos</b>					
Comercial y oficinas	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
<b>Districtos residenciales según tamaño medio</b>					
≤ 500 metros cuadrados	65	77	85	90	92
1000 metros cuadrados	38	61	75	83	87
1350 metros cuadrados	30	57	72	81	86
2000 metros cuadrados	25	54	70	80	85
4000 metros cuadrados	20	51	78	79	84
8000 metros cuadrados	12	46	65	77	82
<b>Áreas urbanas en desarrollo</b>					
Superficies recientemente establecidas (solo superficie permeable, sin vegetación)		77	86	91	94

#### Notas

1. Condiciones medias de humedad previa  $I_0 = 0,25$
2. El porcentaje medio de superficie impermeable que aparece en la tabla se usó para desarrollar los números de curva compuestos. Las otras suposiciones son las siguientes: las superficies impermeables tienen un  $NC=98$  y las permeables se consideran equivalentes a espacios abiertos en buenas condiciones hidrológicas.
3. Estos NC son equivalentes a los de los pastos. Los NC compuestos se calculan para otras combinaciones de tipo de cubierta en espacios abiertos.
4. Los NC compuestos para paisajes naturales desérticos deben calcularse utilizando los porcentajes de superficie impermeable ( $NC=98$ ) y superficie permeable. El NC de las superficies permeables se supone equivalente a matorral desértico en malas condiciones hidrológicas.
5. Los NC compuestos a usar para el diseño de medidas temporales durante la catalogación y construcción deben hallarse utilizando el grado de desarrollo (% superficie de impermeable) y los NC para las áreas permeables recientemente clasificadas.

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, 1998)



**Tabla N°2**  
**Valores de numero de curva (NC) para condiciones de cultivo con diferentes condiciones de preparación de suelos y diferentes condiciones hidrológicas para infiltración**

Clase	Cubierta del suelo		Números de curva correspondientes a los grupos hidrológicos del suelo			
	Laboreo	Condiciones hidrológicas para la infiltración	A	B	C	D
Barbecho			77	86	91	94
Cultivos alineados	R	Pobres	72	81	88	91
	R	Buenas	67	78	85	89
	C	Pobres	70	79	84	88
	C	Buenas	65	75	82	86
	C-T	Pobres	66	74	80	82
	C-T	Buenas	62	71	78	81
Cultivos no alineados o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobres	65	76	84	88
	R	Buenas	63	75	83	87
	C	Pobres	63	74	82	85
	C	Buenas	61	73	81	84
	C-T	Pobres	61	72	79	82
	C-T	Buenas	59	70	78	81
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternativa	R	Pobres	66	77	84	88
	R	Buenas	58	72	81	85
	C	Pobres	64	75	83	85
	C	Buenas	55	69	78	83
	C-T	Pobres	63	73	80	83
	C-T	Buenas	51	67	76	80
Pastizales (pastos naturales)	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
Prados permanentes	-	-	30	58	71	78
Montes con pastos (ganadero-forestal)	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
Bosques (forestales)	-	Muy pobres	56	75	86	91
	-	Pobres	46	68	78	84
	-	Regulares	36	60	70	76
	-	Buenas	26	52	63	69
	-	Muy buenas	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Caminos en tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos en firme	-	-	74	84	90	92

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, 1998)



**Tabla N° 3**  
**Valores de numero de curva (NC) para condiciones de cultivo con diferentes condiciones de la cobertura vegetal, tipo de preparación y diferentes condiciones hidrológicas para infiltración**

Descripción de la cubierta			Números de curva correspondientes a los grupos hidrológicos del suelo			
Tipo de cubierta	Tratamiento	Estado hidrológico	A	B	C	D
Barbecho	Tierra desnuda	-	77	86	91	94
	Rastrojos (CR)	Mala	76	85	90	93
		Buena	74	83	88	92
Cultivo en hilera	Hileras rectas (SR)	Mala	72	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	SR+CR	Mala	71	80	87	90
		Buena	64	75	82	85
	Por curvas de nivel ( C )	Mala	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	C+CR	Mala	69	78	83	87
		Buena	64	74	81	85
	Por curvas de nivel y terrazas (C y T)	Mala	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
	C y T + CR	Mala	65	73	79	81
		Buena	61	70	77	80
Grano pequeño	SR	Mala	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	SR + CR	Mala	64	75	83	86
		Buena	60	72	80	84
	C	Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	C + CR	Mala	62	73	81	84
		Buena	60	72	80	83
	C y T	Mala	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
	C y T + CR	Mala	60	71	78	81
		Buena	58	69	77	80
Sembrado en línea o a voleo o pradera de rotación	SR	Mala	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	C	Mala	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	C y T	Mala	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80

#### Notas

1. Condiciones medias de humedad previa y  $l_0 = 0,25$
  2. El Nc de los rastrojos se aplica solo si el residuo ocupa al menos un 5% de la superficie a lo largo de todo el año.
  3. El estado hidrológico se basa en una combinación de factores que afectan a la infiltración y la escorrentía incluyendo: Densidad y cobertura de las áreas de vegetación. Cantidad de cubierta a lo largo del año. Cantidad de hierba o plantación en hileras en rotación. Porcentaje de cubierta de residuos en la superficie de la tierra (en buenas condiciones hidrológicas 20%).
- Grado de rugosidad de la superficie:  
Mala: Estos factores disminuyen la infiltración y tienden a aumentar la escorrentía.  
Buena: Estos factores mejoran y superan la infiltración media y tienden a disminuir la escorrentía.



**Tabla N° 4**  
**Valores de numero de curva (NC) para áreas forestales y diferentes condiciones hidrológicas para infiltración**

Numero de curva de escorrentía para áreas forestales					
Descripción de la cubierta		Números de curva correspondientes a los grupos hidrológicos del suelo			
Tipo de cubierta	Estado hidrológico	A	B	C	D
Pastos, prados, o forraje permanente para pastoreo	Malo	68	79	86	89
	Medio	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
Prados cubiertos permanentemente con hierba, protegidos del pastoreo y normalmente segados para heno (prados de siega)	-	30	58	71	78
Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Malo	48	67	77	83
	Medio	35	56	70	77
	Bueno	30	48	65	73
Mezcla de bosques y hierba (huerto o árboles frutales)	Malo	57	73	82	86
	Medio	43	65	76	82
	Bueno	32	58	72	79
Bosques	Malo	45	66	77	83
	Medio	36	60	73	79
	Bueno	30	55	70	77
Granjas, construcciones, caminos carreteras y alrededores	-	59	74	82	86

#### Notas

1. Condiciones medias de humedad previa y  $I0 = 0.2S$ .
2. Malo: Menos del 50% de cubierta del suelo en sitios muy pastoreados sin cubierta de residuos.  
Medio: Entre el 50-75% de cubierta del suelo y no muy pastoreadas.  
Bueno: Más del 75% de cubierta del suelo y muy poco u ocasionalmente pastoreada.
3. Malo: Menos del 50% de cubierta del suelo.  
Medio: Entre el 50-75% de cubierta de suelo.  
Bueno: Más del 75% de cubierta del suelo.
4. El NC real es  $< 30$ ; utilizar  $NC=30$  para cálculos de escorrentías.
5. Estos NC fueron calculados para superficies con cubierta del 50% de bosque y 50% de hierba (pasto). Otras combinaciones de condiciones deben calcularse a partir de NC de bosques y de pastos.
6. Malo: Los residuos, la materia orgánica sin descomponer del bosque, los árboles pequeños y los arbustos se destruyen por pastoreo muy fuerte o quemas regulares.  
Medio: Los bosques son pastoreados pero no quemados y la M.O. sin descomponer cubren el suelo.  
Bueno: Los bosques están protegidos del pastoreo y la M.O. sin descomponer y arbustos cubren el suelo adecuadamente.



**Tabla N°5**  
**Valores de número de curva (NC) para áreas forestales y**  
**diferentes condiciones hidrológicas para infiltración**

Conversión del número de curva de la condición II a las condiciones I y III		
Número de curva en la condición	Número de curva correspondiente a las condiciones	
II	I	III
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, 1998)



## Anexo N° 4

### Desarrollo del método de Dyck y Peschke para generar las curvas de intensidad-duración-frecuencia

Se obtuvo del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) los registros de lluvias máximas para 24 horas de la Estación Meteorológica Palmar 98005 para el periodo 1949 - 1953 y 1998 - 2016.

#### Intensidad máxima de la Estación Palmar

A partir de los datos de lluvia máxima se determinó mediante el método de Dyck y Peschke las curvas de Intensidad, Duración, Periodo de Retorno, las cuales se generan a partir de la siguiente ecuación:

$$I_{max} = \frac{KT^A}{D^b}$$

Donde I<sub>max</sub> es la intensidad máxima en mm/hr

T es el periodo de retorno en años

D es la duración en minutos

K, a y b corresponden a constantes que se generan a partir de los datos meteorológicos.

Cada uno de los registros de la Estación Palmar se debe descomponer para duraciones de 20, 30, 60, 120, 180 y 240 minutos de duración de la lluvia máxima mediante la ecuación siguiente. Los resultados se encuentran en el Cuadro N° 1.

$$P_D = P_{24h} \left( \frac{D}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde PD es la precipitación total en milímetros

P<sub>24h</sub> es la precipitación máxima en 24 horas en milímetros

D es la duración en minutos



**Cuadro 21**  
**Lluvia máxima para una duración de 20, 30, 60, 120, 180 y 240 para la estación Palmar.**  
**Periodos de registro 1949-2016**

Año	PD (mm)						
	P24h	20 min	30 min	60 min	120 min	180 min	240 min
1949	144.80	49.71	55.01	65.42	77.80	86.10	92.52
1950	99.10	34.02	37.65	44.77	53.24	58.93	63.32
1951	98.00	33.64	37.23	44.28	52.64	58.27	62.62
1952	128.30	44.04	48.74	57.97	68.93	76.29	81.98
1953	118.10	40.54	44.87	53.36	63.45	70.22	45.46
1998	215.00	73.81	81.68	97.14	115.52	127.84	137.37
1999	216.60	74.36	82.29	97.86	116.38	128.79	138.40
2000	214.80	73.74	81.61	97.05	115.41	127.72	137.24
2001	101.00	34.67	38.37	45.63	54.27	60.05	64.53
2002	135.00	46.34	51.29	60.99	72.53	80.27	86.26
2003	150.00	51.49	56.99	67.77	80.59	89.12	95.84
2004	199.00	68.32	75.60	89.91	106.92	118.33	127.15
2005	140.00	48.06	53.19	63.25	72.22	83.24	89.45
2006	139.70	47.96	53.07	63.12	75.06	8.07	89.26
2007	152.50	52.35	57.94	68.90	81.94	90.68	97.44
2008	152.50	52.32	57.90	68.85	81.88	90.62	97.37
2009	121.00	41.54	45.97	54.67	65.01	71.95	77.31
2010	106.00	70.72	78.26	93.07	110.68	122.49	131.62
2011	274.40	94.20	104.25	123.97	147.43	163.16	175.33
2012	129.50	44.46	49.20	58.51	69.58	77.00	82.74
2013	137.50	47.20	52.24	62.12	73.80	81.76	87.85
2014	121.00	41.54	45.97	54.67	65.01	71.95	77.31
2015	122.40	42.02	46.50	55.30	65.76	72.78	78.21
2016	153.00	52.52	58.13	69.13	82.20	90.97	97.76

Con los datos de la lluvia máxima de 24 horas descompuestas en fracciones de 20, 30, 60, 120, 180 y 240 minutos, los datos se transforman en intensidades máximas para las mismas fracciones de tiempo mediante la ecuación de Intensidad Máxima. En el Cuadro N°22 se encuentra los resultados.

$$I_{max} = \frac{P_D}{D}$$

Donde  $I_{max}$  corresponde a la intensidad máxima presentada en determinada duración en mm/hr

$P_D$  es el dato de precipitación obtenido en el Cuadro N°21

$d$  es cada una de las duraciones empleadas en el Cuadro N°21 pero transformada a horas.



**Cuadro 22**  
Intensidades máximas en mm/hr de la estación Palmar

Número de orden	Año	$I_{max}$ (mm/hora)					
		20 min	30 min	60 min	120 min	180 min	240 min
1	1949	149.13	110.02	65.42	38.90	28.70	23.13
2	1950	102.60	102.06	44.77	26.62	19.64	15.83
3	1951	100.93	74.46	44.28	26.33	19.42	15.62
4	1952	132.13	97.49	57.97	34.47	25.43	20.49
5	1953	121.63	89.74	53.36	31.73	25.41	18.86
6	1998	223.07	163.36	97.14	57.76	42.61	34.34
7	1999	221.22	164.58	97.86	58.16	42.93	34.60
8	2000	104.02	163.21	97.05	57.70	42.57	34.31
9	2001	139.03	76.74	45.63	27.13	20.02	16.13
10	2002	154.48	102.52	60.99	36.27	26.76	21.56
11	2003	204.95	113.98	67.77	40.30	29.73	31.79
12	2004	144.18	151.21	89.91	53.46	39.44	22.36
13	2005	143.87	106.38	63.25	37.61	27.75	22.32
14	2006	157.06	106.15	63.12	37.53	27.69	24.36
15	2007	156.95	115.87	68.85	40.91	30.23	12.34
16	2008	124.62	91.94	54.67	40.94	30.21	19.33
17	2009	212.60	156.53	93.07	32.51	23.98	32.91
18	2010	282.60	208.50	123.97	55.34	40.83	43.83
19	2011	133.37	98.40	58.51	73.72	54.93	20.69
20	2012	141.61	104.48	62.12	34.79	54.86	21.96
21	2013	124.62	91.94	54.67	36.94	25.67	19.33
22	2014	126.06	93.00	55.30	32.51	27.25	16.55
23	2015	157.57	116.25	69.13	32.88	23.98	24.44
24	2016	144.18	115.80	74.23	41.10	24.26	21.21

Con la fórmula de Weibull se determina los periodos de retorno y los datos de intensidad se ordenan de mayor a menor. La fórmula de Weibull es la siguiente:

$$T = \frac{n + 1}{m}$$

Donde T es el periodo de retorno en años.  
n es el número de años  
m es el número de orden.

Por ejemplo para  $n = 24$  y  $m = 1, 2, 3$ , m T equivale a  $T=25, 12,5, \dots, 1,04$

Los datos ordenados se encuentran en el Cuadro N°23, además de los datos de periodo de retorno y diferentes duraciones de la intensidad máxima.



**Cuadro 23**  
Intensidades máximas ordenadas de la estación Palmar para diferentes duraciones y periodos de retorno

T (años)	20 min	30 min	60 min	120 min	180 min	240 min
25.00	282.60	208.50	123.97	73.72	54.39	43.83
12.50	223.07	164.58	97.86	58.19	42.93	34.60
8.33	221.42	163.36	97.14	57.76	42.61	34.34
6.25	212.16	163.21	97.05	57.70	40.83	34.31
5.00	204.95	156.63	93.07	55.34	39.44	32.91
4.17	157.57	151.21	89.91	53.46	39.32	31.79
3.57	157.06	116.25	69.13	41.10	30.32	24.44
3.13	156.95	115.87	68.90	40.97	30.23	24.36
2.78	154.48	115.80	68.85	40.94	30.21	23.93
2.50	149.13	113.98	67.77	40.30	29.73	23.13
2.27	144.18	110.02	65.42	38.90	28.70	22.36
2.08	143.87	106.38	63.25	37.61	27.75	22.32
1.92	141.61	106.15	63.12	37.53	27.69	21.96
1.79	139.03	104.48	63.12	36.94	27.25	21.56
1.67	133.37	102.58	60.99	36.27	26.76	20.69
1.56	132.13	98.40	58.57	34.79	25.67	20.49
1.47	126.06	97.49	57.97	32.88	25.43	19.55
1.39	124.62	93.00	55.30	32.51	26.26	19.33
1.32	124.61	91.94	54.67	32.51	23.98	19.33
1.25	121.63	91.94	53.36	31.73	23.98	18.86
1.19	104.02	89.74	45.63	27.13	23.41	16.13
1.14	102.06	76.74	44.77	26.62	20.02	15.83
1.09	100.93	75.30	44.28	26.33	19.64	15.65
1.04	99.92	74.46	44.01	26.12	19.42	16.44

A partir de los datos del Cuadro N°23 se determinó la ecuación de la intensidad máxima para el periodo 1946-2016 de la Estación Palmar N°98005, utilizando un programa informático de hoja de cálculo (Excel de Microsoft Office o Office Libre) y generando la ecuación que se ajusta a:

$$I_{max} = \frac{KT^A}{D^b}$$

$$I_{max} = 106,9589 * T^{0,3153} * D^{-0,75}$$

Donde  $I_{max}$  es la intensidad máxima en mm/hr  
T es el periodo de retorno en años  
D es la duración en minutos

$$R = 0,9949$$

$$R^2 = 0,9899$$

Los coeficientes de determinación que la calidad del modelo estadístico para calcular la ecuación de mejor ajuste con los datos de la Estación meteorológica Palmar, permite repetir replicar si le logra introducir más registros de lluvia máxima.

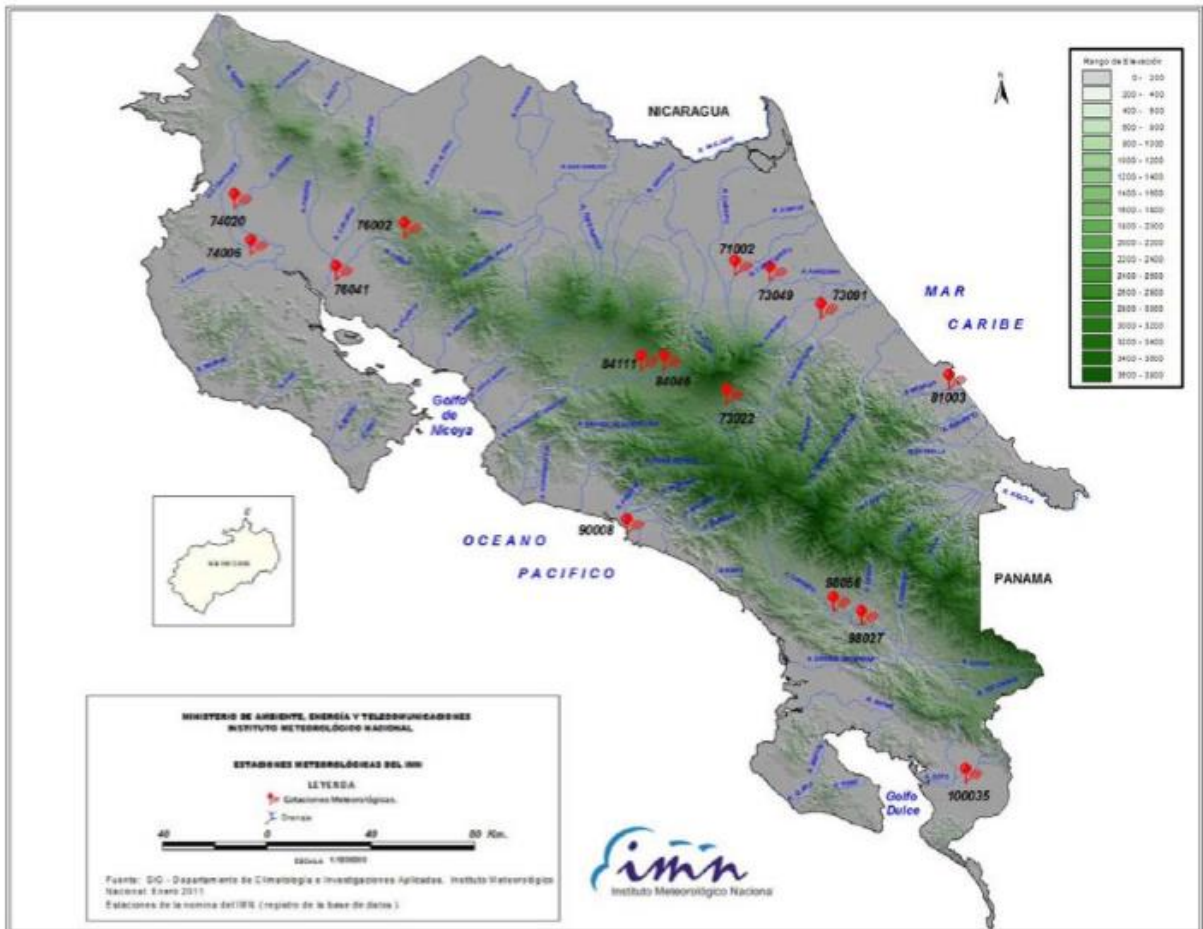
La intensidad para duración máxima de 30 minutos y un periodo de retorno de 25 años

$$I_{max} = 229.89 \text{ mm/hr}$$



## Anexo N° 5

### Ubicación de las estaciones meteorológicas con que se determinaron las Curvas IDF – IMN (2011)



Fuente: Instituto Meteorológico Nacional 2011.





Se consideró utilizar un escenario de un condominio en la zona de Escazú con un área total de 1,250 metros cuadrados (Figura 1). Las distribuciones de áreas se detallan en el Cuadro 24.

**Cuadro 24**  
Datos de áreas de cobertura  
y Número de Curva

Cobertura	Área (M2)	CN
Techo	686,54	98
Área verde	217,31	61
Calles, parqueo	349,15	85
<b>Total</b>	<b>1250</b>	<b>87,94</b>

Asimismo, se consideró el número de curva (Anexo N°3, Tabla N°2) para cada uno de los usos de suelo que dispone el condominio. El número de curva promedio para un proyecto de este tipo es de 87,94 (valor adimensional).

Los registros meteorológicos para determinar la intensidad fueron obtenidos de la Estación Meteorológica Pavas ubicado en el Aeropuerto Tobías Bolaños (Cuadro 25).

En el Cuadro N°26 se muestran los resultados del HUS con los datos de una intensidad máxima de 100,20 milímetros hora. Se utilizó una duración máxima de 30 minutos de lluvia y un periodo de retorno de

25 años (se recomienda un periodo de retorno mínimo de 25 años y una duración de 30 minutos)

Con las condiciones propuestas de cobertura y pendiente moderada, un proyecto de condominio de 1250 metros cuadrados tiene un coeficiente de drenaje de 93,93 litros por segundo por hectárea y, ajustando al área total del proyecto, el caudal máximo es de 11,74 litros por segundo para un periodo de 25 años.

Con el coeficiente de drenaje (93,93 lps/ha) se determina el caudal de máximo para un periodo de retorno de 25 años, una duración máxima de lluvia de 30 minutos.

Los valores de pendiente y la longitud máxima del área de drenaje se obtienen de los planos de diseño del proyecto; generalmente se utiliza la lámina de distribución de planta, en la cual se encuentra la ubicación de cada elemento del proyecto.

El área de proyecto es de 1250 metros cuadrados, lo que equivale a 0,125 hectáreas por un coeficiente de 93,93 lps/ha se obtiene un caudal de 11,74 litros por segundo (0,0117 metros cúbicos por segundo).

**Cuadro 25**  
Datos de intensidad para diferentes periodos de retorno (5 – 100 años)  
de la estación meteorológica Pavas

Duración (min)	Periodo de retorno (años)						
	5	10	15	20	25	50	100
5	143,90	154,86	161,27	165,81	169,34	180,30	191,26
10	120,27	129,88	135,51	139,50	142,59	152,21	161,83
15	106,44	115,27	120,44	124,11	126,95	135,78	144,61
20	96,63	104,91	109,75	113,18	115,85	124,12	132,40
25	89,02	96,87	101,46	104,71	107,24	115,08	122,92
30	82,81	90,30	94,68	97,79	100,20	107,69	115,18
45	68,98	75,69	79,61	82,40	84,56	91,26	97,97
60	59,18	65,33	68,92	71,48	73,46	79,60	85,75
90	45,35	50,72	53,86	56,08	57,81	63,17	68,54
120	35,54	40,35	43,16	45,16	46,71	51,52	56,33
240	11,91	15,38	17,41	18,85	19,96	23,43	26,90



**Cuadro N° 26**  
**Hydrograma Unitario Sintético para los datos de proyecto de construcción de condominio en el Cantón de Escazú**

L (m) =	52	CN <sub>Prom</sub> =	87,94	Y (%) =	4,10	P		t <sub>L</sub> (hr) =	0,03	t <sub>c</sub> (hr) =	0,05		
						(mm) =	100,20						
						D (hr) =	0,50	t <sub>P</sub> (hr) =	0,28	S (mm) =	34,83		
(1)	Tiempo (T) desde inicio de la lluvia (hr)	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00
(2)	Lluvia de diseño (P) acumulada (mm)	0,00	2,00	8,02	15,03	22,04	60,12	70,14	84,17	88,18	92,18	96,19	100,20
(3)	Escorrimiento (Q) acumulado (mm)	0,00	0,00	0,03	1,52	4,55	32,11	40,72	53,20	56,83	60,49	64,17	67,87
(4)	Escorrimiento (ΔQ) por intervalo de tiempo (mm)	-	0,00	0,03	1,49	3,03	27,56	8,61	5,40	3,63	3,66	3,68	3,70
(5)	Caudal unitario (q) por intervalo de tiempo (lps/ha)	-	0,00	0,22	11,07	22,51	204,73	63,96	40,11	26,97	27,19	27,34	27,49





## Anexo N° 7

### Desarrollo de ejemplos de parámetros de diseño del pozo de infiltración con fondo permeable

En el caso de los pozos de infiltración, se le proporciona un fondo permeable con piedra quintilla o cuartilla, que permite generar una descarga libre una vez lleno el reservorio. Para el diseño se considera una velocidad lenta de vaciado del pozo debido a una condición de saturación de la zona no saturada del acuífero (condición máxima expuesta ante una condición de humedad antecedente del suelo), por lo tanto, no hay condiciones para una descarga libre en el fondo del pozo.

Del Anexo N° 6 (ejemplo de aplicación del Hidrograma Unitario Sintético para el caso de un condominio en el cantón de Escazú) se determinó un caudal máximo de 11,74 litros por segundo lo que corresponde a 0,01174 metros cúbicos por segundo.

Se parte de la ecuación de caudal:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Donde Q es el caudal en metros cúbicos por segundo

V es el volumen en metros cubico

t es el tiempo en segundo

Consideraciones:

1. Se considera que una sola estructura está captando la escorrentía superficial
2. El caudal máximo se determinó para un periodo de retorno de 25 años y una duración de evento de 30 minutos
3. Una sola estructura está considerando un solo punto de descarga de excedentes, proyecto con mayores dimensiones de área puede disponer de varios puntos de descarga lo que permite ubicar varias estructuras de infiltración

Por lo tanto, una duración de 30 minutos equivale a 1800 segundos que dispone la estructura para captar e infiltrar la escorrentía superficial.

**Velocidad teórica de descarga**

$$v_t = \sqrt{2 * g * (h + \frac{v_0}{2g})} \quad (2)$$

Donde  $v_t$  es la velocidad teórica en el fondo del pozo en metros por segundo

$V_0$  es la velocidad de aproximación al fondo del pozo en metros por segundo

h es el tirante hidráulico máximo en metros

Con estas condiciones (el pozo completamente lleno), la ecuación para determinar  $V_0$ , utilizará la ecuación de la velocidad de aproximación en condiciones de baja velocidad por saturación del fondo.

$$v_r = c_v * \sqrt{2 * g * h} \quad (3)$$

Con  $C_v = 0,6$  para fondo circular

Considerando que el pozo desciende el tirante hidráulico una vez que está completamente lleno por efecto de la gravedad

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \Rightarrow v = \sqrt{2gh} \quad (5)$$

El diferencial de la velocidad en función del tiempo

$$\frac{dv}{dt} = -C_v * A * \sqrt{2 * g * h} \quad (5)$$

Se utiliza  $-C_v$  porque es un descenso del tirante

$$\frac{dv}{dt} = -0,6 * \pi * \frac{D^2}{2} * \sqrt{2 * 9,81 * h}$$



$$\frac{dv}{dt} = -0,6644 * \pi * D^2 * \sqrt{h}$$

$$dv = \pi * R^2 * dh \Rightarrow \frac{dv}{dt} = \pi * R^2 * \frac{dh}{dt}$$

$$\text{Porque } \frac{D}{2} = R$$

**Separación de variables**

$$\frac{dh}{\sqrt{h}} = \frac{-0,6644D^2}{R^2} dt$$

$$\int h^{-\frac{1}{2}} dh = - \int \frac{0,6644D^2}{R^2} dt$$

$$2\sqrt{h} = -\frac{0,6644D^2}{R^2} t + C \quad (6)$$

Condición inicial t=0 y h=h<sub>0</sub> (condición de que el pozo se encuentra completamente lleno)

$$2\sqrt{h_0} = -\frac{0,6644D^2}{R^2} (0) + C$$

Despejando la ecuación

$$2\sqrt{h} = -\frac{0,6644D^2}{R^2} t + 2\sqrt{h_0}$$

$$t = \frac{(\sqrt{h_0} - \sqrt{h}) * R^2}{0,3322D^2} \quad (7)$$

Donde t es tiempo en segundos

h<sub>0</sub> es el tirante inicial en la parte superior del pozo en metros

h es el tirante final (generalmente se considera dónde está el filtro de la quintilla) en metros

R es el radio del pozo en metros

D es el diámetro del pozo en metros.

**Considerando el volumen**

$$V = \pi * R^2 * h \quad (8)$$

Donde V es el volumen máximo del pozo en metros cúbicos

R es el radio del pozo en metros

h es la altura del tirante máximo en metros

Bajo dos condiciones en el diámetro del pozo, D = 0,9 metros (Tubería de plástica diámetro nominal 910 milímetros o 36 pulgadas en concreto) y D = 0,6 metros (Tubería plástica diámetro nominal de 600 milímetros o 24 pulgadas en concreto)

A partir de la ecuación de caudal

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{\pi * R^2 * h_0}{(\sqrt{h_0} - \sqrt{h}) * R^2} \frac{1}{0,3322D^2}$$

$$Q = \frac{\pi * h_0}{(\sqrt{h_0} - \sqrt{h})} \frac{1}{0,3322D^2}$$

Considerando que h es el nivel donde está el filtro de grava (h = 0)

$$Q = \frac{\pi * h_0}{\frac{1}{h_0^{\frac{1}{2}}}} \frac{1}{0,3322D^2}$$

$$Q = 0,3322 * \pi * D^2 * h_0^{\frac{3}{2}}$$

$$h_0 = \sqrt{\frac{Q}{0,3322 * \pi * D^2}} \quad (9)$$

Donde h<sub>0</sub> es la profundidad máxima del tirante que se forma en el pozo en metros

Q es el caudal que se determina mediante la metodología del Anexo N°4 en metros cúbicos por segundo

D es el diámetro de la tubería del pozo en metros



### Determinación del volumen para infiltración

El volumen que se infiltrará en el suelo, esta en función de la capacidad de infiltración del suelo, específicamente de la zona no saturada del suelo. Para determinar el volumen de infiltración de un pozo de infiltración inducida se utiliza la ecuación 10:

$$V_{inf} = 0,001 * f * C_s * A * t \quad (10)$$

Donde  $V_{inf}$  es e volumen a infiltrar en metros cúbicos

$f$  es la infiltración que se obtiene de la prueba de infiltración realizada en campo, con el método aprobado por el SENARA. Se debe obtener en

metros por segundo para tener una congruencia de unidades.

$C_s$  es el factor de seguridad por infiltración (unidimensional)

$A$  es el área del fondo de tanque metros cuadrados, se determinar con el área de un círculo ( $A = \pi r^2$ )

$t$  es el tiempo en segundos y se determina con la ecuación 7

En el caso de factor de seguridad por infiltración  $C_s$  el valor que se le asigne depende el volumen que se infiltre. El objetivo de este manual es infiltrar la mayor cantidad de escorrentía posible por lo cual el  $C_s$  debe ser igual a 1.



## Anexo N° 8

### Desarrollo de ejemplos de parámetros de diseño de la fosa de retención de escorrentía con pozo de infiltración

Del Anexo N°6 (ejemplo de aplicación del Hidrograma Unitario Sintético para el caso de un condominio en el cantón de Escazú) se determinó un caudal máximo de 11,74 litros por segundo lo que corresponde a 0,01174 metros cúbicos por segundo.

Se parte de la ecuación de caudal:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Donde Q es el caudal en metros cúbicos por segundo

V es el volumen en metros cubico

t es el tiempo en segundo

Consideraciones:

1. Se considera que una sola estructura está captando la escorrentía superficial
2. El caudal máximo se determinó para un periodo de retorno de 25 años y una duración de evento de 30 minutos
3. Una sola estructura está considerando un solo punto de descarga de excedentes, proyecto con mayores dimensiones de área puede disponer de varios puntos de descarga lo que permite ubicar varias estructuras de infiltración

Por lo tanto, una duración de 30 minutos equivale a 1800 segundos que dispone la estructura para captar e infiltrar la escorrentía superficial.

**Volumen total**

$$V_T = \frac{\check{y}}{3} * (A_m + A_M + \sqrt{A_m + A_M}) \quad (2)$$

Donde  $V_T$  es el volumen total de la estructura en metros cúbicos

$\check{y}$  es el tirante hidráulico metros

$A_m$  es el área de la base de la estructura en metros cuadrados

$A_M$  es el área que se forma con el tirante hidráulico en metros cuadrados

$$V = Q * t \quad (3)$$

$$V = \frac{0.01174m^3}{s} * 1800s = 21,132m^3$$

Para el caso del tirante hidráulico se considera:

$$\check{y} = h + \frac{d}{2} \quad (4)$$

Donde  $\check{y}$  es el tirante hidráulico metros

h es la altura del tirante hasta la base de la tubería de desfogue de excedentes en metros

d es el diámetro de la tubería de desfogue de excedentes en metros (se considera  $\frac{d}{2}$  para que la tubería de desfogue de excedentes descargue libre

$$A_m = a * l \quad (5)$$

Donde  $A_m$  es el área de la base de la estructura en metros cuadrados

a es el ancho de la base en metros

l es el largo de la base en metros



Considerando un ancho de 2 metros y un largo de 2,5 metros para la base y considerando  $l$  como 1,25 de  $a$  (esto se debe por la inclusión de los taludes de las paredes de la fosa)

$$A_m = 2 * 2,5 = 5m^2$$

$$21,132 = \frac{1,55}{3} (5 + A_M + \sqrt{5 + A_M})$$

En el caso del tirante hidráulico se considerará una altura máxima del nivel del agua de 1,5 metros y un diámetro de tubería de desfogue de 100 milímetros de diámetro nominal

$$\check{y} = 1,5 + \frac{0,1}{2} = 1,55 \text{ m}$$

$$21,132 = 2,5833 + 0,5167 \frac{A_M}{\sqrt{5 + A_M}}$$

$$21,132 = 2,5833 + 0,5167 \frac{A_M}{\sqrt{5 + A_M}}$$

$$21,132 = 2,5833 + 0,5167 A_M + 0,5167 * 5^{0,5} + 0,5167 * A_M$$

$$21,132 = 2,5833 + 0,5167 A_M + 1,1554 + 0,5167 * A_M$$

$$17,3933 = 1,0334 A_M$$

$$A_M = 16,8311 m^3$$

$$A_M = A * L$$

$$A_M = A * 1,25A$$

$$A_M = 1,25A^2$$

$$16,8311 = 1,25A^2$$

$$A = \sqrt{13,4649}$$

$$A = 3,6695m$$

$$A_M = A * L$$

$$L = 1,25A$$

$$L = 4,5868m$$

### Determinación del volumen para infiltración

El volumen que se infiltrará en el suelo, está en función de la capacidad de infiltración del suelo, específicamente de la zona no saturada del suelo. Para determinar el volumen de infiltración de un pozo de infiltración inducida se utiliza la ecuación 6:

$$V_{inf} = 0,001 * f * C_s * A * t \quad (6)$$

Donde  $V_{inf}$  es el volumen a infiltrar en metros cúbicos

$f$  es la infiltración que se obtiene de la prueba de infiltración realizada en campo, con el método aprobado por el SENARA. Se debe obtener en metros por segundo para tener una congruencia de unidades.

$C_s$  es el factor de seguridad por infiltración (unidimensional)

$A$  es el área del fondo de tanque metros cuadrados, se determina con el área del fondo de la estructura. Se utiliza la ecuación 5.

$t$  es el tiempo en segundos.

En el caso de factor de seguridad por infiltración  $C_s$  el valor que se le asigne depende del volumen que se infiltre. El objetivo de este manual es infiltrar la mayor cantidad de escorrentía posible por lo cual el  $C_s$  debe ser igual a 1.

El tiempo para infiltración se determina por medio del despeje de la ecuación 1 donde:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

$$t = \frac{V}{Q}$$

La estructura tiene un volumen de almacenamiento de 21,132 metros cúbicos que se obtuvo de la ecuación 3 y caudal máximo de ingreso a la estructura es de 0,01174 metros cúbicos por segundo

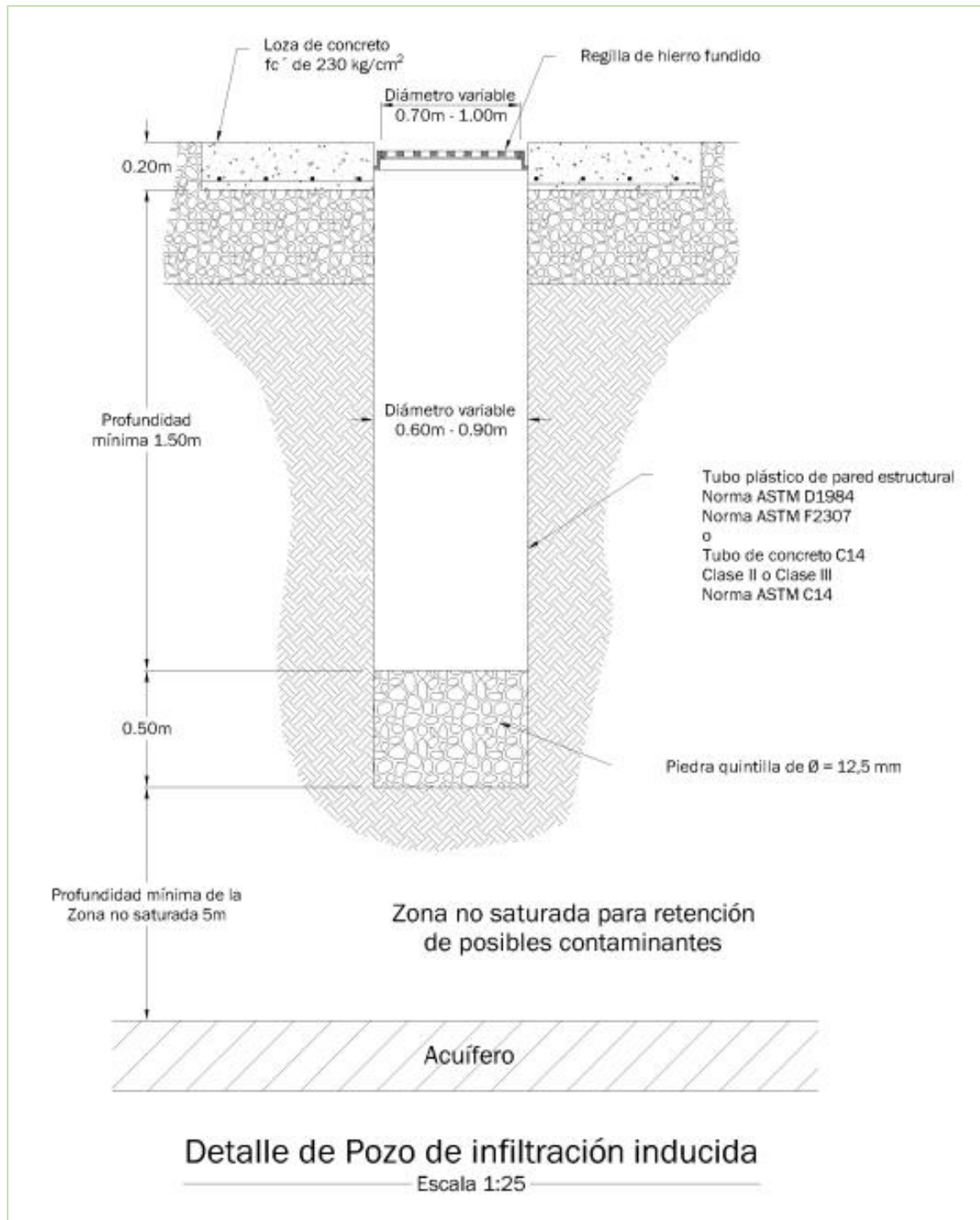
$$t = \frac{21,132}{0,01174} = 1806 \text{ seg}$$

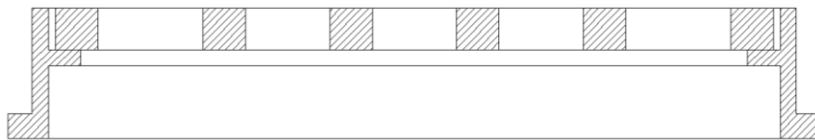
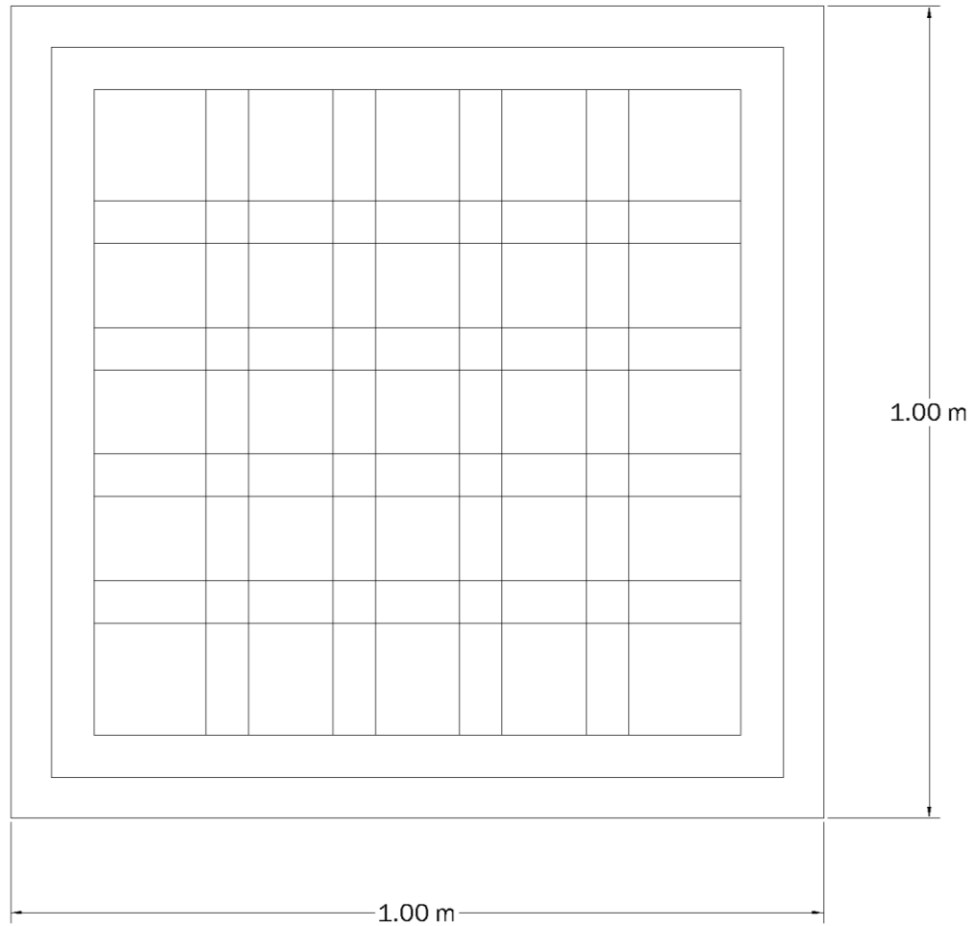
Esto equivale a 30 minutos ya que el caudal se determinó para una duración de 30 minutos.



## Anexo N° 9

### Láminas DE-01 y DE-02 con los detalles para la construcción del pozo de infiltración inducida y la rejilla de protección





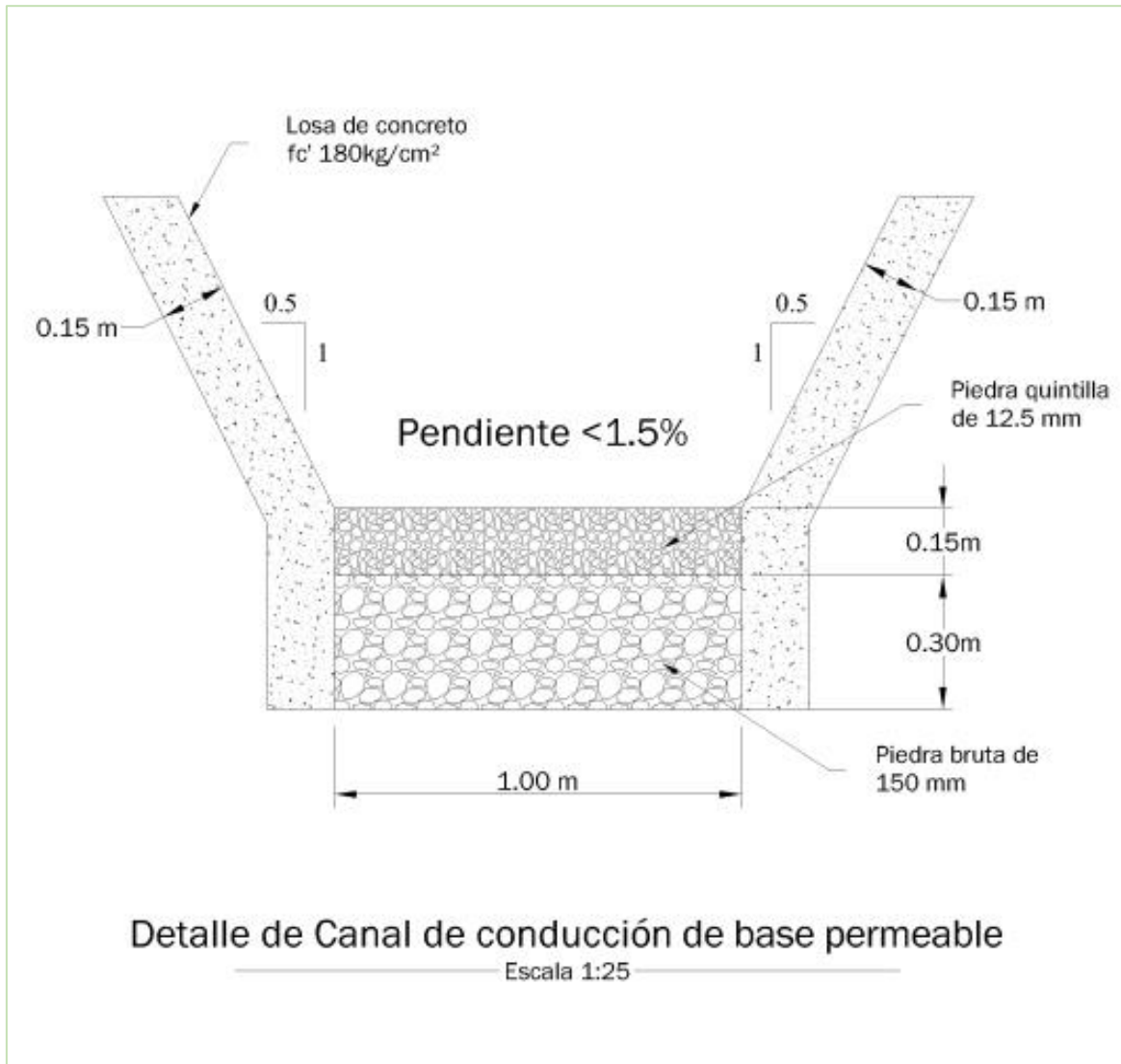
**Detalle de Rejilla de seguridad de pozo**

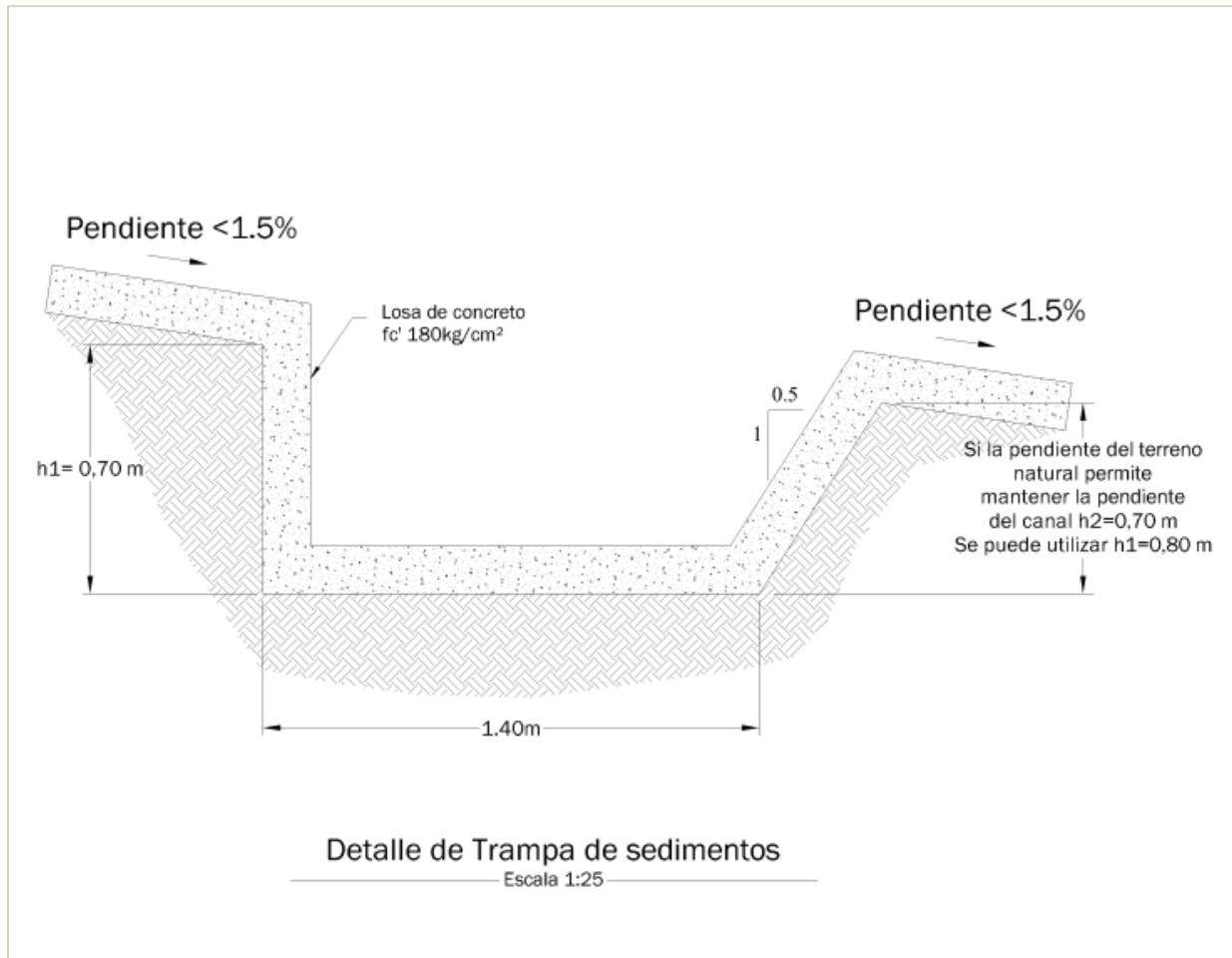
Escala 1:25



## Anexo N° 10

### Láminas DE-03 y DE-04 con los detalles del canal de infiltración inducida y la trampa de sedimentos



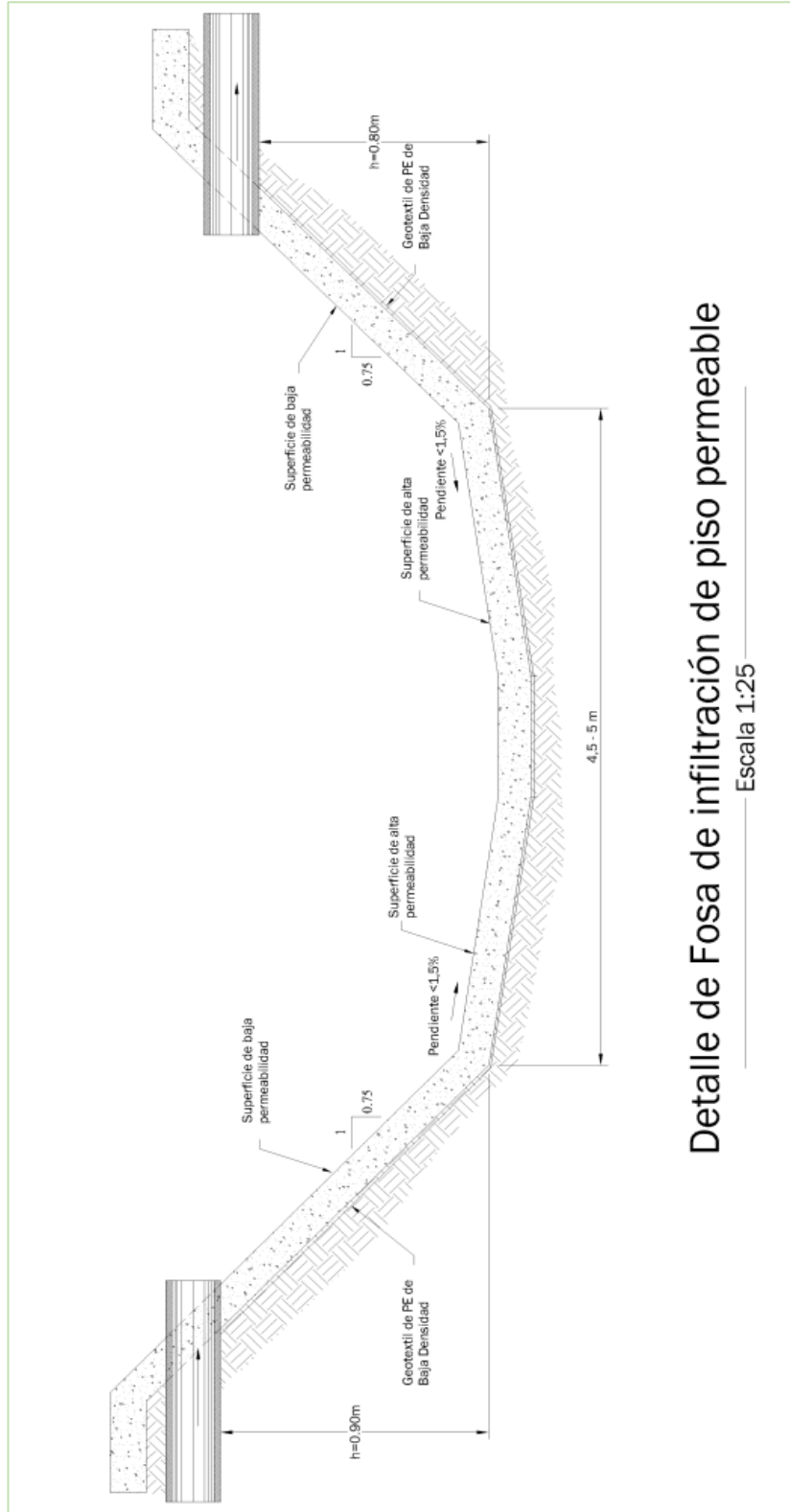






## Anexo N° 12

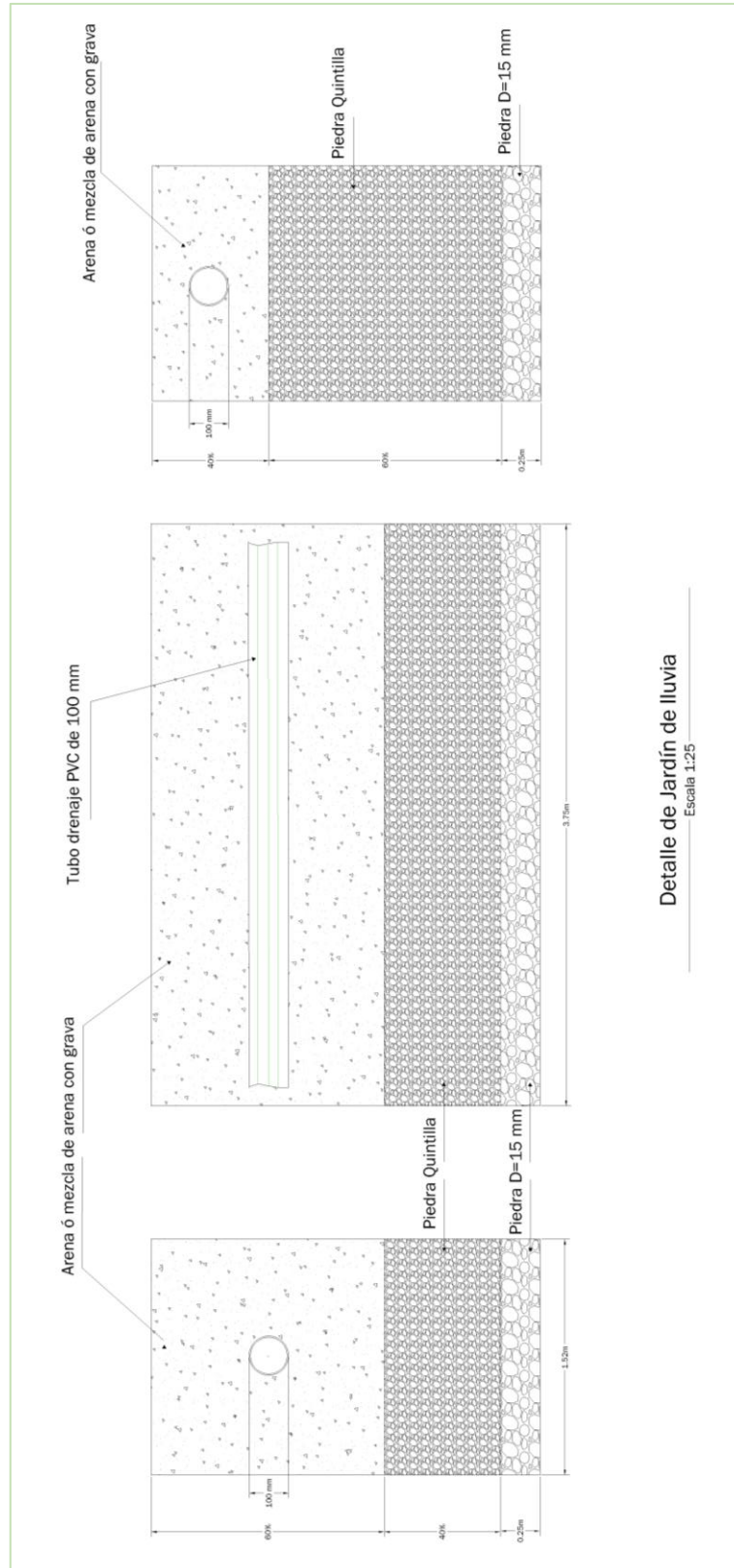
### Lámina DE-06 con el detalle para el diseño de la fosa de retención de escorrentía con piso permeable





# Anexo N° 13

## Lámina DE-07 con el detalle para el diseño del jardín de lluvia





## Anexo N° 14

### Información de la legislación de México con respecto a los proyectos de infiltración inducida

México cuenta con la Norma Oficial Mexicana NOM-015-CONAGUA-2007 Infiltración artificial de agua a los acuíferos. - Características y especificaciones de las obras y del agua.

Esta norma mexicana hace referencia a otras normas de ese país establecidas previamente y que tienen relación con la gestión hídrica. La Norma NOM-015-CONAGUA-2007 fue aprobada por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización que regula las normas en los Estados Unidos Mexicanos. Esta entidad regula las normas en México a nivel federal.

Básicamente, la Norma NOM-015-CONAGUA-2007 hace referencia a 12 normas existentes en la legislación mexicana, que son las siguientes:

1. NOM-003-CONAGUA-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.
2. NOM-004-CONAGUA-1996 Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de agosto de 1997.
3. NOM-008-SCFI-2002 Sistema General de Unidades de Medida. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de noviembre de 2002.
4. NOM-052-SEMARNAT-2005 Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de junio de 2006.
5. NMX-AA-004-SCFI-2000 Análisis de agua-Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de diciembre de 2000.
6. NMX-AA-005-SCFI-2000 Análisis de agua-Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de diciembre de 2000.
7. NMX-AA-026-SCFI-2001 Análisis de agua-Determinación de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de abril de 2001.
8. NMX-AA-029-SCFI-2001 Análisis de aguas-Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de abril de 2001.
9. NMX-AA-034-SCFI-2001 Análisis de agua-Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de agosto de 2001.
10. NMX-AA-42-1987 Calidad del agua determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli presuntiva. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de junio de 1987.

Las normas 1 y 2 se refieren a parámetros que se deben seguir por entes públicos o privados que tienen como proyecto perforar un pozo y señala las medidas de protección para el acuífero, independientemente del uso que se asigne al agua extraída del pozo.



Las otras son normas ambientales que definen parámetros de la calidad de las aguas naturales. Cada una de estas normas define los parámetros de medición máximos y mínimos en las aguas naturales para un uso posterior.

Posteriormente se publicó la Norma NOM-015-CONAGUA-2007 Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua, ya que esta última llena los vacíos a las condiciones que deben establecer en las estructuras que se utilizaran para la recarga artificial.

Este país cuenta con experiencias de campo básicamente a nivel experimental y zonas semidesérticas del Norte de México. A nivel experimental son estructuras sencillas construidas para retener la escorrentía superficial y posteriormente almacenarlas en reservorios o fosas que acción de la gravedad infiltran.

Las condiciones donde sean establecido estos proyectos en México, corresponden a zonas semiáridas, de pendientes muy planas y son grandes extensiones sin ninguna actividad comercial cercana que limite la implementación estas lagunas de infiltración.

### **NORMA OFICIAL COMPLETA:**

DIARIO OFICIAL: 18 de Agosto de 200

#### **SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES**

#### **NORMA Oficial Mexicana NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua.**

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 en los artículos 32 Bis fracción IV, V y XLI de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 36 y 37 Bis de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 7 fracciones II y IV, 8 fracción V, 9 fracción XXXI y 100 de la Ley de Aguas Nacionales; 38 fracción II, 40 fracciones I y X, 41, 44 y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 23 fracción XI del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales; 28 y 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 5 fracciones I y XXV del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y

#### **CONSIDERANDO**

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el C. Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales, ordenó la publicación del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y Especificaciones de las Obras y del Agua, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 25 de julio de 2008, a efecto de que los interesados presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua;

Que durante el plazo de sesenta días naturales, contado a partir de la fecha de publicación de dicho Proyecto de Norma Oficial Mexicana, los análisis a los que se



refiere el citado ordenamiento legal estuvieron a disposición del público para consulta;

Que dentro del plazo referido los interesados presentaron los comentarios al Proyecto de Norma, los cuales fueron analizados en el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua, realizándose las modificaciones pertinentes, mismas que fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación el día 4 de junio de 2009 por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y

Que previa aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua, en sesión de fecha 28 de noviembre de 2008, he tenido a bien expedir la siguiente:

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-015-CONAGUA-2007, INFILTRACION ARTIFICIAL DE AGUA A LOS ACUIFEROS.- CARACTERISTICAS Y ESPECIFICACIONES DE LAS OBRAS Y DEL AGUA**

**PREFACIO**

En la elaboración de la presente Norma Oficial Mexicana participaron representantes de las Personas e Instituciones siguientes:

- Asociación Geohidrológica Mexicana, S.C.
- Asociación Mexicana de Riego-AMRAC
- Cámara Nacional de Empresas de Consultoría-CNEC
- Cámara Nacional de la Industria de Aceites Grasas, Jabones Detergentes-CANAJAD
- Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y el Papel
- Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de Jalisco
- Consejo Mexicano de Normalización y Evaluación de la Conformidad (COMENOR)
- Comisión del Agua del Estado de México
- Comisión Federal de Electricidad, Departamento Geohidrología

- Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas
- Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Cuencas Transfronterizas.
- GMEXICO
- Grupo Rotoplás
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
- UNAM, Facultad de Ingeniería
- Amanco México, S.A. de C.V.

**CONTENIDO**

1. Objetivos
2. Campo de aplicación
3. Referencias
4. Definiciones
5. Especificaciones
6. Monitoreo
7. Operación del sistema de disposición
8. Mantenimiento
9. Abandono del sitio
10. Verificación
11. Procedimiento de evaluación de la conformidad
12. Observancia
13. Bibliografía
14. Concordancia con normas internacionales
15. Transitorio

**1. Objetivos**

**1.1** Proteger la calidad del agua de los acuíferos.

**1.2** Aprovechar el agua pluvial y de escurrimientos superficiales para aumentar la disponibilidad de agua subterránea a través de la infiltración artificial.

**2. Campo de aplicación**

Es aplicable en todo el territorio nacional a las personas que ejecuten obras o actividades



para la infiltración mediante disposición de aguas pluviales y escurrimientos superficiales al suelo y subsuelo en obras o conjunto de obras que tengan una capacidad mayor a 60 litros por segundo (l.p.s.).

Esta Norma por ninguna razón implica una autorización, permiso o concesión para la extracción del agua recargada al acuífero, ni puede ser interpretada en tal sentido.

### 3. Referencias

- NOM-003-CONAGUA-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-CONAGUA-1996 Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de agosto de 1997.
- NOM-008-SCFI-2002 Sistema General de Unidades de Medida. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de noviembre de 2002.
- NOM-052-SEMARNAT-2005 Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de junio de 2006.
- NMX-AA-003-1980 Aguas residuales.- Muestreo. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.
- NMX-AA-004-SCFI-2000 Análisis de agua-Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de diciembre de 2000.
- NMX-AA-005-SCFI-2000 Análisis de agua-Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales,

residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de diciembre de 2000.

- NMX-AA-006-SCFI-2000 Análisis de agua-Determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de diciembre de 2000.
- NMX-AA-026-SCFI-2001 Análisis de agua-Determinación de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de abril de 2001.
- NMX-AA-029-SCFI-2001 Análisis de aguas-Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de abril de 2001.
- NMX-AA-034-SCFI-2001 Análisis de agua-Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de agosto de 2001.
- NMX-AA-42-1987 Calidad del agua determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli presuntiva. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de junio de 1987.

### 4. Definiciones

Para los efectos de esta Norma, además de las definiciones contenidas en la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, se entenderá por:

#### 4.1 Agua nativa:

El agua existente en el cuerpo receptor de aguas nacionales antes de que se inicie la disposición de aguas en el mismo.



#### 4.2 Aguas pluviales:

Las aguas que proceden de la atmósfera, en forma de lluvia, nieve o granizo.

#### 4.3 Aguas de escurrimiento superficial:

Aquellas derivadas de las aguas pluviales, que transitan por la superficie terrestre y las que transitan por azoteas, tejados o techumbres de zonas habitacionales, áreas comerciales e industriales siempre y cuando en éstas no se manejen materiales o residuos peligrosos, antes de incorporarse a un cuerpo receptor.

#### 4.4 Área de captación:

Lugar donde se almacenan los escurrimientos superficiales, antes de realizar su disposición final a suelo o subsuelo.

#### 4.5 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.

#### 4.6 La infiltración:

Es el fenómeno que ocurre dentro del ciclo hidrológico mediante el cual, el agua precipitada atraviesa la superficie del terreno y pasa a ocupar total o parcialmente los poros, fisuras y oquedades del suelo.

#### 4.7 La Comisión:

Comisión Nacional del Agua.

#### 4.8 Pozo de infiltración o inyección:

Obra de ingeniería que permite la recarga artificial del acuífero.

#### 4.9 Pozo de monitoreo:

Pozo diseñando y construido expresamente para medir periódicamente de forma automática o manual, las variaciones del nivel estático y su calidad del agua subterránea.

#### 4.10 Suelo:

Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica,

agua, aire y organismos, que comprende la capa superior terrestre.

#### 4.11 Zona no saturada:

Zona comprendida entre la superficie del terreno y la superficie freática, donde los poros están parcialmente ocupados por agua bajo presión menor a la atmosférica.

### 5. Especificaciones

5.1 En el caso de obras y actividades para la infiltración de aguas pluviales o de escurrimiento superficial al suelo se atenderá a lo siguiente:

5.1.1 Las obras y actividades a que se refiere esta Norma deberán en todo momento respetar lo dispuesto por las declaratorias de áreas naturales protegidas y sus programas de manejo.

5.1.2 El suelo deberá ser caracterizado conforme a lo dispuesto por la Norma ISO 15175:2004, Calidad del suelo.- Caracterización del suelo en relación con la protección del agua subterránea; la que la substituya, o la NMX correspondiente.

5.1.3 En áreas propensas a deslaves o con pendientes abruptas e inestables, sólo podrán llevarse a cabo las obras y actividades a que se refiere la presente cuando se hayan realizado obras de ingeniería para estabilizar el terreno.

5.1.4 En terrenos que hubieran sufrido algún evento de contaminación, quien realice la obra deberá asegurarse que no está inscrito como predio contaminado.

5.1.4.1 Se considerará que existió un evento contaminante y que éste ha sido remediado de conformidad con lo establecido en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su Reglamento y las normas oficiales mexicanas correspondientes.

5.1.4.2 La disposición de aguas al suelo y a la zona no saturada no debe afectar a captaciones de agua subterránea o a obras civiles de terceros.



5.1.4.3 No se podrá realizar la disposición al suelo o subsuelo de aguas residuales crudas, o la mezcla de éstas con aguas pluviales o de escurrimiento superficial.

5.1.4.4 Se podrá llevar a cabo la disposición de aguas a que se refiere la presente, previendo que se tenga una limpieza de basura de la zona.

5.2 En el caso de la disposición de aguas pluviales o de escurrimiento superficial a la zona no saturada, adicionalmente a las anteriores, se aplicarán las siguientes:

5.2.1 Se deberán observar las especificaciones establecidas en el numeral 6.2 de la Norma Oficial Mexicana NOM-003-CONAGUA-1996, Requisitos durante la construcción de pozos de

extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.

5.2.2 La infiltración no deberá afectar la calidad del agua nativa. Para el muestreo del agua nativa se utilizará la Norma ISO/CD 5667-11-2006 Calidad del Agua.- Muestreo.- Parte 11.- Guía para el muestreo de aguas subterráneas, la que la sustituya o la Norma Mexicana correspondiente.

5.2.3 Las obras de disposición de aguas al subsuelo mediante pozos de infiltración, deben contar con un sistema de tratamiento que garantice que el agua en el punto de infiltración tendrá los límites establecidos en la tabla 1.

Tabla 1

Contaminante	Unidad de medida	Límite	Método de prueba*	Método de muestreo
Grasas y aceites	Mg/L	15	NMX-AA-005-SCFI-2000	NMX-AA-003-1980
Materia flotante	Unidad	0	NMX-AA-006-SCFI-2000	
Sólidos sedimentables	Mg/L	2	NMX-AA-004-SCFI-2000	
Sólidos suspendidos totales	Mg/L	150	NMX-AA-034-SCFI-2001	
Nitrógeno total	Mg/L	40	NMX-AA-026-SCFI-2001	
Fósforo total	Mg/L	20	NMX-AA-029-SCFI-2001	
Coliformes fecales	NMP/100 ml	No detectable	NMX-AA-042-1987	

\*En términos del artículo 49 de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización se podrán utilizar otros métodos de prueba o los señalados en las Normas Mexicanas enunciadas.

5.2.4 Las pruebas a que se refiere la tabla anterior se deberán aplicar al sistema de tratamiento antes de su operación.

5.2.4.1 Un laboratorio acreditado y aprobado deberá emitir los informes correspondientes.

5.2.4.2 Se deberá incorporar en el pozo un instrumento de muestreo y prueba que cumpla con la Norma ISO 15839:2003 Water quality-On-line sensors/analysing equipment for water-Specifications and performance tests, la que la sustituya o la Norma Mexicana correspondiente.



5.2.4.3 Los resultados de las pruebas realizadas con el instrumento señalado en el numeral anterior podrán ser requeridas por la autoridad en las visitas de inspección.

5.2.5 La distancia mínima entre el fondo del pozo y la superficie freática será de cinco metros.

## 6. Monitoreo

6.1 Para el caso de proyectos con un caudal superior a 60 lps de infiltración en la zona no saturada, involucren más de un pozo y la distancia entre los pozos sea menor a 500 m, se realizará el muestreo conforme a la Norma ISO/CD 5667-11-2006, Calidad del Agua.- Muestreo.- Parte 11.- Guía para el muestreo de aguas subterráneas, o la que la sustituya.

6.1.1 Se debe mantener una bitácora de los resultados del muestreo y las pruebas aplicadas en la que se consignarán los datos de los informes emitidos por los laboratorios acreditados y aprobados, antes y después de cada temporada de lluvias.

## 7. Operación del Sistema de Disposición

7.1 Los pozos de infiltración deben contar con un dispositivo de cierre manual o automático en la entrada de los mismos. Este se debe mantener cerrado:

7.1.1 Cuando no se realice la disposición de agua pluvial o escurrimiento superficial;

7.1.2 Durante el primer evento de precipitación o escurrimiento;

7.1.3 En caso de inundaciones, que afecten la operación del sistema de tratamiento mencionado en el numeral 5.2.4 de esta Norma, o

7.1.4 Durante la ocurrencia de eventos accidentales de derrames de sustancias o líquidos contaminantes.

7.2 Se debe mantener libre de residuos sólidos o líquidos el área de captación de agua pluvial y las zonas por donde transite el

escurrimiento superficial. Esta condición también aplica en el caso de zonas de captación en azoteas, tejados o techumbres.

## 8. Mantenimiento

8.1 Las obras de disposición deben recibir el mantenimiento a más tardar el 1 de mayo de cada año, a fin de restituir la capacidad de retención y remoción de contaminantes.

8.2 Se debe mantener un programa de mantenimiento y de señalización en las obras de disposición, incluyendo:

8.2.1 Plan de atención de contingencias para atenuar el impacto de la ocurrencia de derrames accidentales de líquidos o sustancias contaminantes;

8.2.2 Remoción de los sedimentos y limpieza de rejillas u obras complementarias de acuerdo a cada sistema de tratamiento, y

8.2.3 Registro de las actividades de mantenimiento realizadas en cada obra.

## 9. Abandono del sitio

9.1 Los pozos de infiltración que dejen de operar deben cerrarse conforme a las especificaciones de la NOM-004-CONAGUA-1996, Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.

## 10. Verificación

**10.1 "La Comisión" verificará el cumplimiento de las especificaciones establecidas en esta Norma Oficial Mexicana.** Dicha verificación será realizada por personal de "La Comisión" o por las Unidades de Verificación, debidamente acreditadas y aprobadas.

10.2 Para la verificación se solicitarán los documentos a que se refiere el numeral 11.4 de esta Norma.



10.3 La verificación podrá realizarse en cualquier momento por la autoridad.

10.4 En caso de que el responsable de la obra o actividad tenga un dictamen de cumplimiento emitido por una unidad de verificación acreditada y aprobada, lo tomará como válido salvo que tenga pruebas en contrario.

## **11. Procedimiento de evaluación de la conformidad**

11.1 La evaluación de la conformidad será realizada por Unidades de Verificación y Laboratorios de Prueba, acreditados y aprobados.

11.2 Cuando las unidades de verificación expidan un dictamen y los laboratorios los informes donde se desprenda el cumplimiento de la presente Norma, la Comisión los tendrá como válidos y se tendrán por cumplidos los requisitos correspondientes para la disposición al suelo y subsuelo.

11.3 La Unidad de Verificación contratada solicitará las evidencias que a continuación se listan a fin de ir conformando el expediente correspondiente, las cuales se irán recopilando conforme se avance en las diferentes etapas de la Verificación.

11.4 Se pondrá a disposición de la Unidad de Verificación antes de iniciar la verificación en sitio lo siguiente:

- 11.4.1 Proyecto ejecutivo;
- 11.4.2 Estudio de caracterización del suelo conforme al numeral 5.1.2.;
- 11.4.3 Diseño del sistema de tratamiento;
- 11.4.4 Informes del laboratorio donde se demuestre que el sistema de tratamiento cumple con las especificaciones de la tabla 1, y
- 11.4.5 Programa de mantenimiento de las obras de disposición.

11.5 De común acuerdo con el personal de la Unidad de Verificación se determinarán las fechas de las visitas de verificación, y deberá contar con lo siguiente:

- 11.5.1 Dispositivos de medición;
- 11.5.2 Registros del análisis de la calidad del agua, y
- 11.5.3 Acceso para verificar visualmente las obras de disposición de aguas al subsuelo mediante pozos de infiltración.

11.6 En caso de término de operación, bitácora de cierre del pozo de infiltración y acceso para verificar visualmente el cumplimiento con la NOM-004-CONAGUA-1996.

11.7 Una vez que se concluya la verificación la Unidad de Verificación integrará toda la información recabada en el informe. En caso de cumplimiento se incluirá el dictamen correspondiente.

## **12. Observancia**

12.1 La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por conducto de "La Comisión".

12.2 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, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y demás disposiciones legales aplicables.

## **13. Bibliografía**

13.1 Code of Federal Regulations. Part II United States Environmental Protection Agency 40 CFR Parts 9, 122, 123, and 124. National Pollutant Discharge Elimination System-Regulations for Revision of the Water Pollution Control Program Addressing Storm



Water Discharges; Final Rule Report to Congress on the Phase II Storm Water Regulations; Notice. Federal Register. Part II. December 8, 1999. 131 p.

13.2 Environment Protection Authority, Melbourne Water Corporation, Department of Natural Resources and Environment and Municipal Association of Victoria. 2006. Urban Storm water: Best Practice Environmental Management Guidelines. Storm water Committee, Australia. Electronic Edition. CSIRO Publishing. 268 p.

13.3 Foster, S.S.D. 1988. Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. Proc. Intl. Conf. "Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants" (Northwick, The Netherlands/April).

13.4 Foster, S. S. D. e Hirata, R. 1991. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Organización Panamericana de la Salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú. 2a. edición.

13.5 Stahre P. and Urbonas B. 1993. Stormwater Detention for Drainage, Water Quality and SCO Management. Second Edition. Prentice Hall, New Jersey. 449 p.

13.6 United States Environmental Protection Agency. 1999. Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices. Office of Water, EPA821-R-99-012.

13.7 United States Environmental Protection Agency. 2002. Urban Storm water BMP

Performance Monitoring. A Guidance Manual for Meeting the National Storm water BMP Database Requirements. Office of Water, EPA821-B-02-001.248 p.

13.8 United States Environmental Protection Agency. 2003. When are storm water discharges regulated as class Wells Office of Ground Water and Drinking Water, EPA816-F-D3-001.2 p.

14. Concordancia con normas internacionales

14.1 ISO/CD5667-11-2006 Water quality-Sampling-Part11: Guidance on sampling of ground waters.

14.2 ISO 15839:2003 Water quality-On-line sensors/analysing equipment for water-Specifications and performance tests.

14.3 ISO 5667-8:1993 Water quality-Sampling-Part 8: Guidance on the sampling of wet deposition.

14.4 ISO 15175:2004.- Soil quality-Characterization of soil related to groundwater protection.

## TRANSITORIO

**Unico.-** Esta Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los 60 días naturales después de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

México, D.F., a los siete días del mes de agosto de dos mil nueve.- El Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Juan Rafael Elvira Quesada.- **Rúbrica**



## Anexo N° 15

### Información de la legislación de Francia con respecto a los proyectos de infiltración inducida

#### Introducción

Este documento es el resultado de una investigación de instrumentos legales o experiencias exitosas que tiene Francia relacionados con procesos de infiltración inducida de escorrentía superficial a acuíferos subterráneos.

La investigación abarcó 4 etapas:

1. Contacto con instituciones francesas relacionadas:
  - a. Agencia Nacional de Agua y Medios Acuáticos<sup>12</sup> (ONEMA, por sus siglas en francés), ente perteneciente al Ministerio de la Ecología, de la Energía, del Desarrollo Sostenible y del Mar.
  - b. Ministerio de la Vivienda y Hábitat Sostenible<sup>13</sup>
2. Revisión de directrices de la comunidad europea: relacionadas con la administración del agua subterránea e infiltración de aguas superficiales.
3. Revisión de instrumentos legales franceses.
4. Búsqueda de estudios de aplicación de la normativa o de experiencias de manejo de escorrentía e infiltración.

#### Resultados

##### 1. Directrices comunitarias

###### 1.1. Marco comunitario del agua

La Directiva 2000/60/CE establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Fue emitida

el 23 de octubre de 2000 por el Parlamento Europeo. Francia, como parte de la Comunidad Europea, debe alinear su legislación para cumplir las disposiciones comunitarias.

Esta directiva recoge el interés, expresado desde la década de los 80's por los países europeos de lograr una gestión sostenible y la protección de los recursos hídricos. Desde 1992<sup>14</sup>, el Consejo Europeo exigió un programa de actuación en materia de aguas subterráneas y pidió la revisión de la Directiva 80/68/CEE<sup>15</sup>

El objetivo de la Directiva es mantener y mejorar el medio acuático, referido principalmente a la calidad de las aguas afectadas (Considerando 19), lograr la eliminación de todas las sustancias peligrosas y contribuir a conseguir concentraciones cercanas a los valores básicos para las sustancias de origen natural (considerando 27).

Además, reconoce que el estado cuantitativo de una masa de agua subterránea puede tener repercusiones en la calidad ecológica de las aguas superficiales y de los ecosistemas terrestres asociados con dicha masa de agua subterránea (considerando 20). De esta forma, la directiva centra sus esfuerzos en evitar la contaminación de aguas subterráneas, llama a hacer una relación con las políticas en materia de energía, transporte, agricultura, pesca, política regional y turismo (Considerando 16).

<sup>12</sup> Office National de l'Eau et du Milieu Aquatique (ONEMA)

<sup>13</sup> Ministère du Logement et de l'Habitat Durable.

<sup>14</sup> Resolución Ministerial, 25 de febrero 1992, DO C 59 de 6.3.1992. p.2.

<sup>15</sup> Esta directiva está relacionada con la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación causada por el vertido de sustancias peligrosas.



Pese a que expresa la alta demanda de agua dentro de la comunidad y en otros sectores productivos, la directriz no hace ninguna referencia a la industria de la construcción, el cual es uno de los puntos centrales de la presente investigación.

Con respecto a las aguas subterráneas, la directiva establece que los Estados miembros deben aplicar las medidas necesarias para evitar o limitar la entrada de contaminantes y evitar el deterioro del estado de todas las masas de agua subterránea.

Los Estados miembros deben proteger, mejorar y regenerar todas las masas de agua subterránea y garantizar un equilibrio entre la extracción y la alimentación de dichas aguas con objeto de alcanzar un buen estado de las aguas subterráneas a más tardar quince años después de la entrada en vigor de la presente (artículo 4, apartado 1, inciso bi, bii). Lo anterior es importante considerando que la directriz se emitió en el 2000, por lo que el año pasado se venció el plazo para cumplir con las disposiciones del artículo.

En el artículo 11, programa de medidas, letra j. la directriz estipula que se podrán autorizar:

- La reinyección de aguas subterráneas bombeadas procedentes de minas y canteras o asociadas a la construcción o al mantenimiento de obras de ingeniería civil.
- Obras de construcción, ingeniería civil y edificación y actividades similares sobre o dentro del terreno que esté en contacto con aguas subterráneas. A dicho efecto, los Estados miembros podrán determinar que dichas actividades se traten como si hubieran sido autorizadas siempre y cuando se lleven a cabo de conformidad con las normas generales de carácter vinculante establecidas por los Estados miembros relativas a dichas actividades.

El mismo artículo, letra f, establece que se requieren medidas de control, con inclusión de un requisito de autorización previa, de la recarga artificial o el aumento de masas de agua subterránea. El agua que se utilice (para la recarga) podrá obtenerse de cualquier agua superficial o subterránea, siempre que el uso de la fuente no comprometa la consecución de los objetivos medioambientales establecidos para la fuente o la masa de agua recargada o aumentada.

### *1.2. Marco comunitario para la protección de aguas subterráneas*

El 12 de diciembre del 2006, se emitió la Directiva 2006/118/CEE, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro, como un complemento específico a la directiva 2000/60/CE.

Esta directiva está relacionada con las normas de calidad de las aguas subterráneas, valores umbral de los contaminantes, indicadores de contaminación, y evaluación del estado químico de las aguas subterráneas.

Existen otra serie de directivas comunitarias relacionadas con el agua, que para efectos de la presente investigación carecen de relevancia, por lo que fueron omitidas.

## **2. Aplicación del marco comunitario del agua en Francia**

La aplicación del marco comunitario descrito anteriormente se aplica en Francia principalmente por medio de la Ley No. 2004 - 338.

### *2.1 Ley: 2004 - 338*

Promulgada el 21 de abril de 2004, indica las modificaciones a la legislación francesa para cumplir con la directiva 2000/60/CE. Esta ley modifica principalmente el Código del Ambiente, el Código de Urbanismo y el Código General de las Colectividades



Territoriales.<sup>16</sup> Es importante indicar que esta normativa ha sido modificada por otras leyes para adaptarlas a las tendencias ambientales imperantes en Europa, pero relacionadas con evitar contaminación.

### 3. Instrumentos legales de gestión del agua en Francia

#### 3.1. Código del ambiente

El código resalta dos figuras importantes para la gestión del agua en el país. El Esquema Director de Planificación y Gestión del Agua (SDAGE por sus siglas en francés) y el Esquema de Planificación y Gestión de Agua (SAGE por sus siglas en francés). El primero operativiza los principios de la ley de agua de 1992, mientras que el SAGE es una herramienta de planificación y gestión del agua de una unidad hidrográfica o sistemas acuíferos.<sup>17</sup>

El Código trata el tema de infiltración de aguas superficiales desde una óptica de conservación del agua y prevención de la contaminación, da énfasis a la recarga de cuencas y no en espacios urbanos por aguas pluviales o de escorrentía.

#### 3.2 Código de urbanismo

El Código de Urbanismo Francés fue establecido en 1954 y contiene las normativas del derecho francés relacionadas con la planificación de espacios urbanos. Ha sufrido muchas modificaciones, para adaptarse a las Directivas Comunitarias o a la legislación nacional.

El Artículo R 151-49<sup>18</sup> establece que para cumplir los objetivos del código<sup>19</sup> la

<sup>16</sup>

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000418424>, consultado el 04 de marzo de 2016.

<sup>17</sup> Les Rencontres de l'Onema. Avril, 2015. No. 31.

<sup>18</sup> Establecido mediante Decreto N ° 2015-1783 del 28 de diciembre el año 2015.

regulación puede: limitar la impermeabilización del suelo para asegurar el control de flujo del agua de lluvia y la escorrentía, y proporcionar en el caso adecuado, instalaciones de recolecta, de almacenamiento o de tratamiento de las aguas pluviales y escorrentía en las zonas designadas.<sup>20</sup>

El artículo L151-22, establece que pueden establecerse superficies mínimas o “eco-convertibles” no impermeabilizadas, calculadas en función de su naturaleza para contribuir al mantenimiento de la biodiversidad y la naturaleza en la ciudad.

#### 3.3. Código General de las Colectividades Territoriales

El artículo L2333 -98 -1 establece que la tasa del impuesto por aguas pluviales es fijado por el órgano de deliberación del municipio o del grupo correspondiente, en el límite de 1 € por metro cuadrado. El tipo de impuesto se fija según el artículo 1639 A bis del Código General de Impuestos.

El Artículo L 2224-10 establece que las comunas pueden aplicar el artículo L151-22 (zonas no impermeabilizadas para mantener biodiversidad) después de una consulta pública de conformidad con el Código del Ambiente.<sup>21</sup> Esto demuestra la amplia participación ciudadana, estipulada en la gestión del agua en Francia por medio de la SDAGE, la SAGE y la ONEMA.

<sup>19</sup> Citados en el artículo L 101-2 del Código relacionado con la seguridad, eficiencia energética, comunicaciones electrónicas, prevención de desastres naturales, tormentas, regulación, entre otros.

<sup>20</sup> Este artículo está relacionado con la aplicación 3 y 4 del artículo L. 2224-10 del Código General de las Colectividades Territoriales. Ver apartado 3.3

<sup>21</sup><https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006070633&idArticle=LEGIARTI000006390357&dateTexte=&categorieLien=cid>, consultado el 03 de marzo de 2016



En términos prácticos de gestión de aguas, el Código Ambiente establece el “porqué o para qué”, el Código de del Urbanismo el “qué” y el Código de las Colectividades el “cómo”.

### 3.4 Ley No. 2010-788

Publicada el 12 de julio de 2010, es más conocida como la “Ley Grenelle”. Trata sobre los compromisos nacionales con el Medio Ambiente y los concreta en forma de obligaciones, permisos y prohibiciones mediante nuevos textos o modificaciones en los distintos códigos existentes (Código de Urbanismo, Código de Consumo, Código del Ambiente, etc.).<sup>22</sup>

Tiene 6 capítulos relacionados con edificios y urbanismo, transporte, energía, gobernanza, biodiversidad y salud, riesgo y sanidad. En el primer aspecto, que es el punto focal de la presente investigación, sus disposiciones están orientadas principalmente hacia la gestión de energía. También establece la figura de “eco-préstamos” a tasa cero, destinados a la renovación térmica de viviendas.

El artículo 165, <sup>23</sup> modifica el Código General de las Colectividades Territoriales<sup>24</sup>, para crear un impuesto destinado a la gestión de las aguas pluviales urbanas, ya que éste es causado por los propietarios públicos o privados de la tierra. Dado que genera un costo al municipio, se crea este impuesto para una mejor recogida, transporte, almacenamiento y tratamiento de las mismas. La tasa se calcula sobre la extensión del terreno. Si el terreno tiene un área no impermeabilizada, esta área se deduce del impuesto. Esta tasa se calcula según lo estipula el artículo L2333-98-1 del

Código General de Colectividades Territoriales.

Los propietarios de viviendas que usan dispositivos para prevenir o limitar el vertido de las aguas pluviales fuera de su terreno<sup>25</sup> pueden disminuir su impuesto entre el 20% y el 100%, dependiendo de la capacidad de reducir las descargas permitidos por estos dispositivos.

<sup>22</sup> <http://www.legrenelle-environnement.fr>, consultado el 04 de marzo de 2016.

<sup>23</sup> Incluida en el apartado de salud, riesgos y sanidad.

<sup>24</sup> Una de las muchas divisiones administrativas dentro del complejo sistema francés.

<sup>25</sup> Por ejemplo cosechar lluvia.

