

# Evaluación de la Viabilidad Técnica del Desarrollo de Jardines de Infiltración en Ambientes Urbanos.

Murga Ortiz, Rafael Alejandro, Quezada Ortiz, Bairon Cesar, Vargas Siciliano, Jessé David y Cativo Sandoval, Jacqueline Ivette.

Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, El Salvador.

[jcativo@uca.edu.sv](mailto:jcativo@uca.edu.sv)

**Abstract** — El objetivo es desarrollar el estudio de la viabilidad técnica de los jardines de infiltración en el AMSS, verificando información documental, para reducir la escorrentía y disminuir la vulnerabilidad a inundaciones. Evaluar la eficiencia de los jardines de infiltración frente a los diferentes niveles de impermeabilización de un lote típico. Establecer las ventajas de las construcciones de jardineras con infiltrantes en zonas urbanas. Conocer el monto promedio de inversión para la modificación de aceras y la creación de jardines de infiltración en estas. Alcances: La investigación se desarrolló de manera teórica usando datos ya presentados en estudios previos, principalmente del AMSS, además de tomar algunas variables e investigaciones de otros países. La investigación está dirigida al estudio de jardineras infiltrantes dentro de las zonas urbanas, por lo que los datos obtenidos del estudio documental son para el Área Metropolitana de San Salvador en época de invierno. Para la determinación del presupuesto de intervención para la creación de un jardín de infiltración, se brindaron los pasos a seguir, materiales necesarios, detalles de estratos; a partir del registro tomado durante la investigación de las jardineras infiltrantes. Limites: La evaluación se centrará en un área urbana específica, limitando el análisis a condiciones geográficas, climáticas y de suelo de esa localidad. La disponibilidad de información y datos históricos puede ser limitada, lo que podría influir en la precisión de las simulaciones hidrológicas y en la evaluación de impactos a largo plazo. El estudio no abordó la implementación a gran escala de los jardines de infiltración, centrándose en la evaluación de su viabilidad técnica de su desarrollo a nivel piloto o local. Los datos de infiltración y capacidad de encharcamiento tomados de otros trabajos de investigación realizados, pese a estar bajo características similares, al no corroborarse o realizarse los experimentos físicamente en los suelos característicos del AMSS, pudieron causar discrepancias con los datos reales en la zona de estudio. Ya que el suelo predominante en el AMSS es tierra blanca joven, formada en su mayoría por limos arenosos o arenas limosas, la implementación de jardines puede causar problemas como cárcavas y/o estructurales en las viviendas.

*Palabras clave* — jardines de infiltración, caudal de escorrentía, infiltración acumulada, intensidad de lluvia, absorción, área de drenaje, SUDS.

## I. INTRODUCCIÓN.

En El Salvador en los últimos años, debido al rápido desarrollo y crecimiento urbano, los sistemas de drenaje pluvial que forman parte del sistema de alcantarillado de las ciudades se ven sobrepasados en las capacidades debido a que en el país y hablando específicamente en el Área metropolitana de San Salvador (AMSS) se posee una alta tasa de impermeabilización descontrolada. A pesar de que los suelos posean una mediana a alta velocidad de infiltración, estos en su mayoría se encuentran impermeabilizados. Todo esto porque se han dejado de lado coberturas vegetales que ayudan a disminuir los caudales de escorrentía, generando que esta misma no se infiltre en los mantos acuíferos generando grandes caudales e inundaciones afectando a la infraestructura existente y a la población (Franco Mesa & Hincapié López, 2015).

La Mesa de Gestión de Riesgo de El Salvador afirma que la vulnerabilidad en el país lejos de disminuir ha aumentado. Asegurando que no existe una educación en torno a la prevención de riesgos y que el problema es la lógica urbanística que está priorizando las obras grises o las infraestructuras y deja de lado el respeto a las zonas verdes (Martínez, 2023).

La construcción de un sistema de jardines de infiltración permite ayudar a reducir la escorrentía y las posibles inundaciones de una zona de tránsito principal e infiltrarla en el suelo, además de proporcionar un espacio verde para las personas que hacen uso de la infraestructura donde se ubican (City Adapt - ONU, 2021).

El proyecto pretende evaluar la viabilidad técnica del desarrollo del sistema de infiltración basado en jardines infiltrantes o jardines de lluvia, mediante información recopilada.

## II. MARCO TEÓRICO

Los jardines de infiltración consisten en una depresión (natural o artificial) que recolecta el agua superficial que fluye de los techos, carreteras, aceras y otras superficies urbanas impermeables o semipermeables después de eventos torrenciales de lluvia. Esta depresión, y las capas debajo de la superficie, permiten una evacuación parcial o total del agua a través de la infiltración. (City Adapt, s.f.). En la figura 1 se muestra un modelo desarrollado en la delegación de Hidalgo, México, donde se observa que sobre el arriate se ha generado un jardín de infiltración que capta el agua lluvia de la acera y de la cuneta sobre la vía.



Fig. 1. Jardín de infiltración en delegación Miguel Hidalgo, México. Fuente: eeTestudio, 2016

Las plantas y el suelo actúan en conjunto para interceptar y capturar la lluvia, permitiendo su infiltración gradual hacia capas más profundas. Además, los jardines infiltrantes incorporan procesos como la evaporación e infiltración, junto con la transpiración de las plantas, para maximizar la retención y utilización del agua, proporcionando así una solución efectiva para reducir la escorrentía y promover prácticas amigables con el medio ambiente.

La creación de un jardín infiltrante exitoso requiere considerar cuidadosamente diversos elementos y utilizar los materiales apropiados. Incluyen un suelo permeable compuesto por arena, grava y tierra vegetal, plantas autóctonas para fortalecer las raíces y mejorar la infiltración, así como rocas decorativas para prevenir la erosión. Materiales de retención de agua, como mantillo orgánico o grava, son esenciales para reducir la evaporación. Además, se pueden emplear tuberías, geotextiles y canalizaciones de desvío para dirigir y distribuir el agua eficientemente. Barreras de contención, construidas con materiales como madera o piedra, definen los límites del jardín, y herramientas de jardinería básicas facilitan el mantenimiento y la creación del jardín infiltrante. (ORLANDELLI, s.f.).

El proceso constructivo para un jardín infiltrante implica una serie de etapas que van desde: la planificación y el diseño hasta la construcción y el mantenimiento. A continuación, se proporciona una guía general de cómo llevar a cabo la construcción de un jardín infiltrante:

### Planificación y diseño:

Identificación del sitio, considerando topografía y proximidad a fuentes de contaminación. Cálculos hidrológicos para determinar el tamaño del jardín. Selección de plantas y materiales adecuados. Diseño paisajístico estético y funcional.

### Preparación del sitio: Excavación del área según el diseño,

creando pendiente adecuada. Mejora de la calidad del suelo mediante enmiendas si es necesario. Instalación de geotextiles para prevenir obstrucciones.

**Construcción del jardín:** Colocación de capa de grava gruesa en el fondo para facilitar infiltración y drenaje. Además, de colocar la capa de arena y tierra vegetal. Plantación de especies seleccionadas y cobertura con material orgánico.

**Control de erosión:** Utilizar mantas o redes de erosión si es necesario para prevenir la erosión del suelo durante y después de la construcción.

**Mantenimiento:** Riego inicial abundante después de la construcción. Mantenimiento regular, incluyendo eliminación de malas hierbas y reposición de materia orgánica. Registro de datos sobre la gestión del agua y eficiencia del jardín.

Es fundamental adaptar el proceso a las condiciones específicas del sitio y seguir las normativas y regulaciones locales relacionadas con la gestión de aguas pluviales y la construcción. El éxito del jardín infiltrante dependerá en gran medida de un diseño adecuado y un mantenimiento constante (Editorial team, 2020).

**Requisitos de construcción:** Los jardines infiltrantes deben estar claramente marcadas antes de que comience el trabajo del sitio y protegidas por señalización y cercas de limo, para evitar su alteración durante la construcción. No debe permitirse ningún tráfico vehicular, excepto el utilizado específicamente para construir el componente, cerca de la banda de filtro. El equipo de excavación debe operar desde el lado de la tira de filtro. Si se produce la compactación de los suelos, debe eliminarse una profundidad de suelo de 300 mm y reemplazarse con una mezcla de tierra vegetal y arena para promover la infiltración y el crecimiento biológico o labrarse y mejorarse para lograr una especificación similar (OPAMSS).

Idealmente, los jardines infiltrantes se plantarán a inicios de invierno en mayo, cuando la vegetación puede establecerse con las necesidades mínimas de riego. Si más del 30% del área de tratamiento está vacía después de cuatro semanas, será necesario resembrar o replantar para lograr una cobertura del 90%.

### Profundidad del jardín de infiltración:

La profundidad del jardín de infiltración y el diseño del sistema también influirán en la profundidad y extensión de las raíces. Si el jardín tiene capas de sustrato con mayor capacidad de infiltración, las raíces pueden buscar agua en profundidad. Normalmente, el jardín de lluvia tiene una profundidad de 10 a 20 cm (4 a 8 pulgadas). Si la pendiente del lugar elegido es inferior al 4%, la profundidad del jardín debe ser entre 7,5 y 12 cm (3 y 5 pulgadas). Para las pendientes de 5 a 7%, la profundidad del jardín debe ser de 15 a 17,5 cm (6 a 7 pulgadas). Las pendientes entre 8 y 12% quedarán mejor con 20 cm (8 pulgadas) de profundidad.

Un jardín de lluvia con una profundidad superior a 20 cm (8 pulgadas) o una pendiente mayor a 12% no son lo ideal. Esto representa un peligro de tropiezo y suele retener el agua por mucho tiempo, lo que lo convierte más en un estanque que en un jardín de lluvia. (Kurtz, s.f.)

### Infiltración:

La infiltración es cuando el agua de lluvia penetra en el suelo, moviéndose verticalmente. Este fenómeno, fundamental para la salud

del suelo, previene la erosión al evitar el flujo superficial del agua. La velocidad de infiltración, influenciada por la textura del suelo, es más rápida en suelos arenosos y más lenta en arcillosos, esta mide la cantidad de agua que penetra en el suelo en un tiempo determinado. Al inicio de la precipitación, el suelo seco absorbe agua rápidamente, pero a medida que se satura, la velocidad disminuye hasta alcanzar una "Velocidad de Infiltración Básica", donde el suelo está saturado y no puede absorber agua rápidamente (Sepor, 2017).

#### Escorrentía:

La escorrentía se refiere al desplazamiento del agua sobre la superficie terrestre hacia cuerpos de agua, como ríos y océanos. Este proceso es esencial en el ciclo hidrológico y está influenciado por factores naturales y humanos. Hay dos tipos de escorrentía: superficial, que fluye sobre el suelo, y subsuperficial, que se desplaza a través de capas superiores antes de llegar a la capa freática. Los factores que afectan la escorrentía incluyen clima, topografía, uso del suelo y tipo de suelo. La gestión adecuada es crucial para prevenir inundaciones, erosión y contaminación. Estrategias sostenibles y prácticas de conservación del suelo son clave para abordar estos desafíos (Aque Fundación, 2022).

#### Aumento del caudal de escorrentía:

Mediante el hidrograma de la figura 2.2 se puede observar los efectos hidrológicos como el comportamiento de la escorrentía y flujo pico antes y después del desarrollo de la urbanización e impermeabilización. Los incrementos en el caudal de agua superficial que puede ser causado por diversos factores naturales o humanos. Este fenómeno puede tener consecuencias significativas en términos de inundaciones, erosión del suelo y afectaciones a los ecosistemas acuáticos.

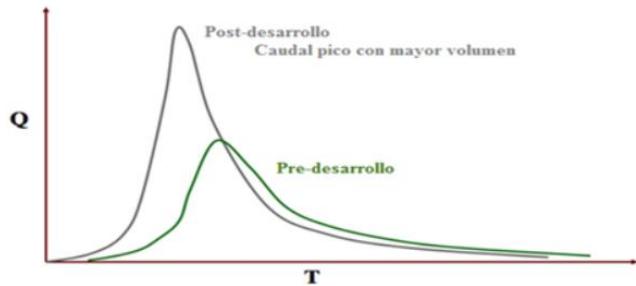


Fig. 2. Hidrograma antes y después de la urbanización e impermeabilización.  
Fuente: Davis, 2008

#### Encharcamiento:

El encharcamiento se refiere a la acumulación de agua en una zona, causado por lluvias intensas, desbordamiento de cuerpos de agua, suelo saturado u obstrucción de desagües. Sus consecuencias incluyen inundaciones locales, daños a la infraestructura, problemas de salud y perdida de cultivos. La prevención y mitigación del encharcamiento involucran mejoras en el drenaje, planificación del territorio, construcción de diques y presas, gestión sostenible del agua y monitoreo meteorológico. La gestión adecuada del agua y prácticas sostenibles son esenciales para prevenir y mitigar problemas asociados con el encharcamiento o anegamiento (Ferrando A, 2006)

#### Tipos de suelos en el AMSS:

La mayoría de los municipios del AMSS están asentados sobre materiales piroclásticos, la denominada tierra blanca joven, y

sobre efusivas ácidas, las tobas color café, ambas muy susceptibles a los movimientos de ladera y a la erosión. Lo cual a su vez origina problemas de derrumbes en época lluviosa o ante un sismo fuerte. Este es el motivo por el que es importante evitar que se produzcan infiltraciones en ese tipo de terreno (OPAMSS, s.f.).

Pero, aunque las condiciones litológicas sean favorables en su mayor parte a la infiltración, es conveniente repetir que, en caso de que el proyecto se vaya a ejecutar sobre tierra blanca joven o tobas de color café, cuya permeabilidad puede ser idónea para la infiltración, no se podrá realizar por motivos de seguridad estructural (OPAMSS, s.f.).

#### Tasas de infiltración en el AMSS:

Los resultados de laboratorio y campo presentados en las tabla 1 concuerdan en general con parámetros reportados por la bibliográfica en cuanto a tipo de suelo (Fetter, 2001; Weight, 2008), sin embargo, hay que valorar el estado de cada suelo en cuanto a nivel de meteorización, cementación, grietas y presencia de raíces que puede hacer variar los resultados. Obteniéndose en pruebas de campo y laboratorio que los estratos TB4, contactos con escorias o flujos de escombros y unidad F de TBJ son los que dejan pasar más agua o infiltración, relacionado a granulometría más gruesa (Alvarado, 2007). Haciendo uso de infiltrómetro de doble anillo obtuvo en TBJ valores en el sector norte que fluctuaban entre  $4.16 \times 10^{-4}$  cm/s y  $1.94 \times 10^{-4}$  cm/s (Alfaro, y otros, 2020).

TABLA 1  
PERMEABILIDAD DE LAS MUESTRAS, EVALUADAS EN CAMPO.

Tipo de suelo	No° de muestra	R2 (cm/s)	R1 (cm/s)	Constante de equipo (cm <sup>2</sup> )	K (cm/s)
Cantón el Carmen (Contacto TBJ-Flujo)	M-1	0.224	0.0792	2.15	1.06E-03
Cantón el Carmen (Flujo de escombros)	M-2	0.04	0.0292	2.15	1.36E-05
Calle a Huizúcar (Arcilla)	M-3	0.019	0.0133	2.15	1.48E-05
75 AVE Norte (Paleosuelo)	M-4	0.051	0.0316	2.15	8.09E-05
75 AVE norte (Unión-estratos)	M-4	0.003	0.0017	2.15	2.30E-06
75 AVE Norte (Escoria meteorizada)	M-4	0.14	0.0683	35.22	7.23E-03
Cumbres de Cuscatlán (TB4)	M-5	0.843	0.3733	35.22	5.07E-02
Tenerife Santa Tecla (Plan de la laguna)	M-6	0.154	0.115	2.15	2.06E-05
Talud UES (TBJ estrato superior)	M-7	0.23	0.1633	2.15	1.32E-04
Talud UES (TBJ estrato inferior)	M-7	0.117	0.05	2.15	4.48E-04
Jardines de la Sabana (Flujo de escombros)	M-8	0.012	0.0092	2.15	-3.68E-06
(Flujo de escombros) Ajuste valor negativo	M-8	0.012	0.0092	2.15	1.05E-04

#### Crecimiento del Área Metropolitana de San Salvador:

En 1977, San Salvador tenía una extensión urbanística de 55 km<sup>2</sup>, que creció a 95 km<sup>2</sup> para 1995 y a 146 km<sup>2</sup> para 2002, con una expansión más lenta entre 2007 y 2008, sumando solo 9 km<sup>2</sup> adicionales (Herodier, 2021). En sus antecedentes, la ciudad se fundó en 1524 y se

trasladó a su ubicación actual en 1546. En 1807, tenía 55 manzanas con 11,500 habitantes, y en 1821, solo 7 manzanas más con 12,500 habitantes. Entre 1821 y 1921, hubo un aumento significativo: en 1863, tenía 89 manzanas y 20,000 habitantes, y para 1896 se había expandido a 200 manzanas con la construcción del Hospital Rosales, época del crecimiento que se muestra en la figura 3.

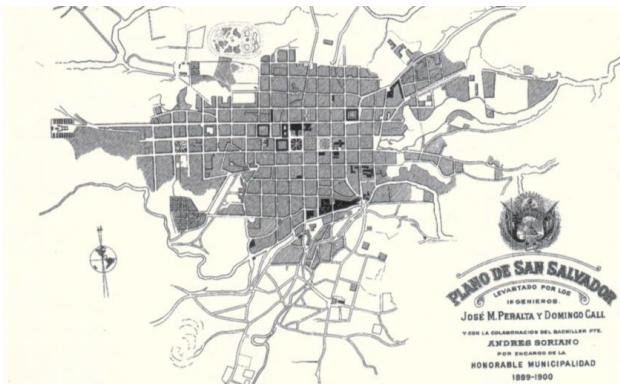


Fig. 3. Plano de distribución de San Salvador del año 1899. Fuente: Herodier, 2021

San Salvador experimentó un marcado crecimiento en 1921, expandiéndose a 250 manzanas debido a la migración y el desarrollo comercial y agrícola. En 1938, la expansión fue significativa, llegando a 750 manzanas con nuevas colonias para las clases medias. Hasta 1948, la ciudad continuó expandiéndose hacia el norte, con desarrollos como la Ciudad Universitaria. A lo largo de las décadas de 1970 y 1980, surgieron colonias como San Benito y Miramonte, pero la guerra civil y el terremoto de 1986 alteraron el curso del desarrollo urbano (Herodier, 2021).

A pesar de la aparente estabilidad de la mancha urbana presentada en las figuras 4, 5 y 6, la demanda de agua potable ha aumentado, y se buscan soluciones para garantizar la sostenibilidad del suministro en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS).



Fig. 4. Mapa georreferencia del Área Metropolitana de San Salvador, El Salvador. Fuente: Google Earth Pro, 2010



Fig. 5. Mapa georreferencia del Área Metropolitana de San Salvador, El Salvador. Fuente: Google Earth Pro, 2015

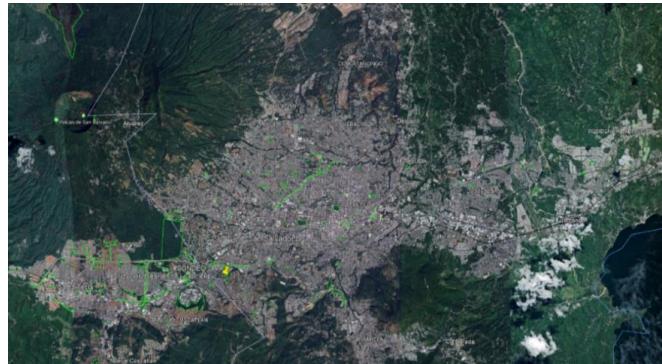


Fig. 6. Mapa georreferencia del Área Metropolitana de San Salvador, El Salvador. Fuente: Google Earth Pro, 2023

#### Zonas urbanizadas del AMSS:

El crecimiento poblacional y la evolución de la economía del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) durante las últimas dos décadas han agravado sus problemas ambientales. Muchos de ellos están en umbrales críticos, y cuestionan la sustentabilidad del desarrollo del AMSS, y por su peso, del país mismo (Lungo, 1994).

Algunas de las áreas más urbanizadas en el Área Metropolitana de San Salvador incluyen San Salvador (ciudad) que, como capital de El Salvador, es una de las zonas más densamente pobladas y urbanizadas del país, albergando numerosas actividades comerciales, gubernamentales y culturales. Santa Tecla, también integrada en el área metropolitana, ha experimentado un rápido crecimiento y urbanización en los últimos años, convirtiéndose en un importante centro urbano. Otro punto destacado es Antiguo Cuscatlán, que ha experimentado un significativo desarrollo en términos de áreas residenciales, comerciales e industriales. Además, Soyapango se destaca como uno de los municipios más poblados y urbanizados del Área Metropolitana, enfrentando desafíos relacionados con la densidad de población y el desarrollo urbano en curso.

#### Mantos acuíferos en el AMSS:

El acuífero de San Salvador, vital para el suministro de agua subterránea, se ubica debajo de roca volcánica porosa, facilitando la captación e infiltración del agua. Aunque históricamente se renovaba rápidamente, la urbanización descontrolada y la deforestación amenazan su sostenibilidad. Este acuífero, que abarca aproximadamente 70 km<sup>2</sup> bajo el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), constituye el 37% del suministro total de agua en la región. Desde 1969, su descenso de 1 metro por año, especialmente en áreas urbanizadas como Soyapango, revela la amenaza. Se reconoce la existencia de dos niveles, uno en la formación San Salvador y otro en la formación Cuscatlán, con la posibilidad de que algunos pozos conecten ambos. Aunque no se entiende totalmente la relación entre los niveles es posible que algunos pozos los pongan en contacto, además se considera que los niveles freáticos están entre los 30 y 200 metros. La problemática destaca la necesidad de gestionar de manera sostenible este recurso vital (López, 2012).

### III. SISTEMA DE DRENAJE SOSTENIBLE.

#### Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

La manera más simple de categorizar los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) es distinguir entre medidas no estructurales y estructurales: Las medidas no estructurales son aquellas que no requieren ninguna intervención directa en la red ni la

construcción de infraestructuras. Las medidas estructurales son aquellas que gestionan la escorrentía mediante intervenciones que incluyen algún elemento constructivo. En la guía se incluyen técnicas estructurales como depósitos de lluvia, techos verdes, pozos de infiltración, zanjas de infiltración, superficies permeables, lagunas de infiltración, cunetas verdes, áreas de biorretención, franjas filtrantes, depósitos de detención y estanques de laminación.

Los ejemplos de SUDS se pueden observar visitando el sitio: [https://opamss.org.sv/ova\\_doc/suds/](https://opamss.org.sv/ova_doc/suds/)

Normativa de sistemas de mitigación del impacto hidrológico según OPAMSS

Para la mitigación del impacto hidrológico por el desarrollo de proyectos de urbanización y construcción que incrementan áreas impermeables, generando mayor escorrentía en las cuencas, se requerirá de la adopción de medidas o requerimientos establecidos en la tabla 2:

**TABLA 2**  
REQUERIMIENTOS SEGÚN SUPERFICIE IMPERMEABLE TOTAL  
DE LOS PROYECTOS.

Superficie impermeable total del proyecto	Medida o requerimiento
Menor o igual a 150 m <sup>2</sup>	Podrá presentar alternativas tipo Sistema Urbanos de Drenajes Sostenible -SUDS
Mayor a 150 m <sup>2</sup> y menor o igual a 500 m <sup>2</sup>	Presentará alternativas tipo SUDS, con su memoria de cálculo
Mayor a 500 m <sup>2</sup>	Presentará estudio hidrológico e hidráulico y Sistemas de Mitigación del Impacto Hidrológico – SMIH

Se entenderá como superficie impermeable total, la huella impermeabilizada existente más la huella a impermeabilizar contemplada por el proyecto a desarrollar. Las medidas o requerimientos detallados en tabla 2 se presentarán al solicitar el Permiso de Construcción, debiendo ser firmados y sellado por un Ingeniero Civil, quien asumirá la responsabilidad profesional correspondiente. El diseño de las medidas podrá basarse en la “Guía de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible -SUDS en el AMSS” publicada por OPAMSS. Para los requerimientos deberá utilizar la “Guía Técnica de Drenajes - Aguas Lluvias sobre el contenido de los estudios, análisis y diseños específicos” (OPAMSS, 2023).

#### IV. PROPUESTA DE JARDÍN DE INFILTRACIÓN

La conceptualización de jardines de infiltración o infiltrantes que se propone escogiendo un lugar donde el agua de escorrentía se acumule y/o fluya durante las precipitaciones. Luego del estudio realizado se hace la propuesta considerando los siguientes criterios: Facilidad de colocación cerca de la fuente generadora de escorrentía. El sitio seleccionado debe permitir la dispersión de flujos y la distribución uniforme de los jardines. Garantizar espacio suficiente para la instalación y requerimientos posteriores. La permeabilidad del suelo donde se aplicará el diseño debe ser adecuada. En la figura 18, se puede observar un esquema de jardín de infiltración, en el caso de la propuesta presentada en este capítulo, se consideró no colocar drenaje para los excesos de encharcamiento.

Para la realización de la propuesta de un jardín de infiltración se consideraron diferentes factores, el área de un lote de dimensiones comunes considerado así ya que muchas empresas lotificadoras realizan lotes de 10 m x 20 m, y considerando un área de impermeabilización del 83% para de esta manera obtener un Cprom.

Se consideró una acera de 2 metros de ancho que se asume como ya existente y se plantea intervenirla, para lo que en el presupuesto del apartado 4.10 se contempla la demolición de acera y excavaciones, considerando que no hay jardinera en el sitio de desarrollo.

Se propone una profundidad de encharcamiento de 15 cm desde el nivel de acera para lograr una óptima captación del agua lluvia y además se permite el desbordamiento de este hacia el sistema de recolección de la cuneta. La escorrentía que se captará será tomada de las bajadas de aguas lluvias de las casas aledañas.

A continuación, se presentan las figuras de la 19 a la 23 que muestran las condiciones que se han contemplado para los cálculos que se muestran posteriormente:

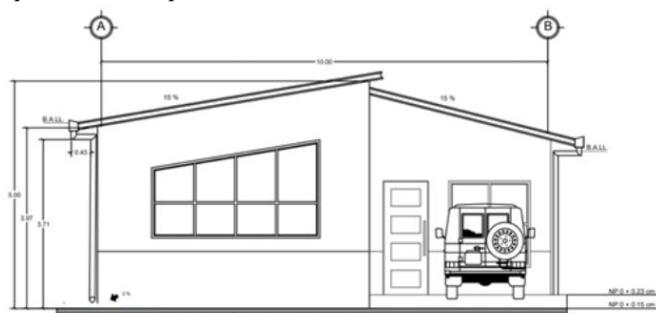


Fig.19 Fachada principal de vivienda modelo. Fuente: Elaboración propia

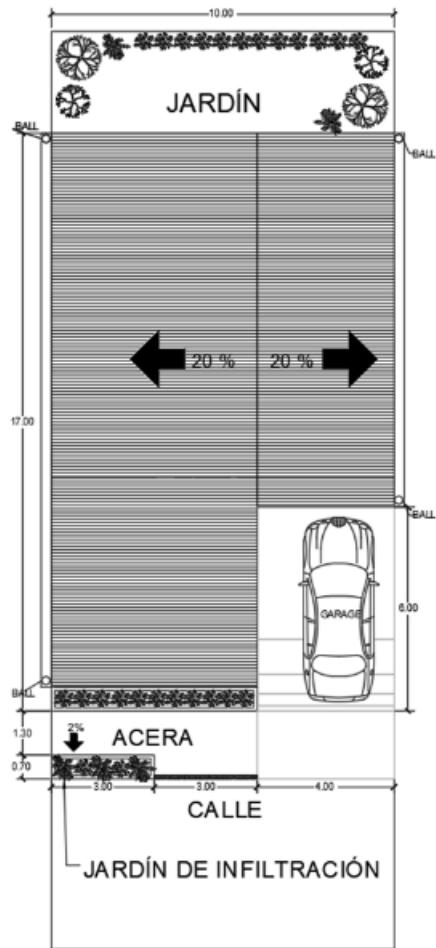


Fig.20 Planta de conjunto de propuesta del jardín de infiltración. Fuente: Elaboración propia

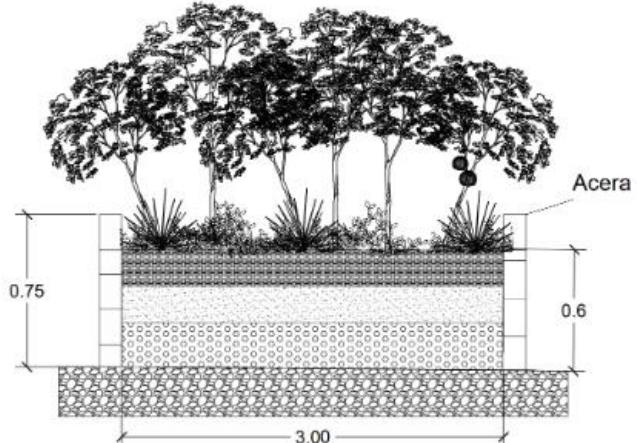


Fig.22 Corte longitudinal de jardín de infiltración. Fuente: Elaboración propia

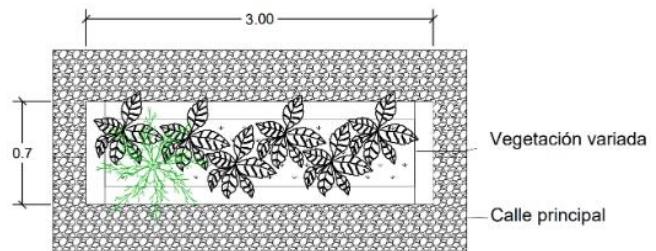


Fig.23 Vista en planta de jardín de infiltración. Fuente: Elaboración propia

#### Parámetros necesarios para cálculos y resultados:

Para los cálculos posteriores se obtuvo de la investigación documental, la tabla 3 de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de la estación Ilopango, del SNET:

**TABLA 3**  
DATOS DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE DISTINTAS  
DURACIONES CORRESPONDIENTE A LA ESTACIÓN DE  
ILOPANGO.

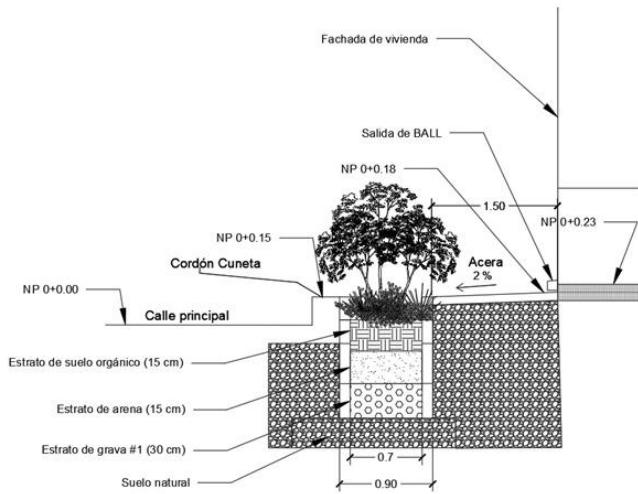


Fig.21 Plano de corte en detalle de vivienda modelo. Fuente: Elaboración propia

Periodo de retorno (años)	Intensidades máximas (mm/min)												
	Duración (Minutos)												
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
2	3.11	2.28	1.88	1.70	1.37	1.04	0.85	0.61	0.48	0.39	0.34	0.25	0.19
5	3.69	2.63	2.13	1.97	1.57	1.17	0.96	0.70	0.56	0.47	0.41	0.31	0.25
10	3.99	2.81	2.25	2.11	1.68	1.24	1.02	0.74	0.60	0.51	0.44	0.35	0.28
15	4.14	2.9	2.32	2.18	1.73	1.27	1.05	0.76	0.62	0.53	0.46	0.37	0.29
20	4.24	2.96	2.36	2.23	1.77	1.29	1.07	0.77	0.63	0.54	0.48	0.39	0.30
25	4.31	3.01	2.39	2.26	1.79	1.31	1.08	0.78	0.64	0.55	0.48	0.40	0.31
50	4.52	3.13	2.48	2.36	1.87	1.35	1.12	0.81	0.67	0.58	0.51	0.44	0.33
100	4.71	3.25	2.56	2.45	1.93	1.39	1.16	0.84	0.69	0.61	0.53	0.48	0.34

Además, es necesario conocer los coeficientes de escorrentía para las diferentes áreas del terreno y distribución propuesto, por lo cual a continuación se presenta la tabla resumen de coeficientes de escorrentía, por lo cual en la tabla 4 se presentan los coeficientes de escorrentía para diferentes períodos de retorno:

TABLA 4  
COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA PARA SER USADOS EN EL  
MÉTODO RACIONAL.

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Áreas desarrolladas</b>							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50 % del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75 % del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75 % del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
<b>Áreas no desarrolladas</b>							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

*Nota:* Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con Autorización.

Tasas de infiltración en el suelo del AMSS:

Al analizar las tasas de infiltración detalladas en las tablas 1 y 2 y hacer un promedio se tiene que la velocidad de infiltración en el AMSS de 0.00794 cm/s en la tabla 2.1 y 0.00543 cm/s en la tabla 2, para analizar más realista se tomó la velocidad de infiltración más desfavorable siendo el segundo presentado en esta información.

Además, para poder realizar los cálculos posteriores se convirtieron las unidades de cm/s a cm/h siendo de la siguiente manera:

$$v = 5.4395 \times 10^{-3} \frac{\text{cm}}{\text{s}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 19.58 \frac{\text{cm}}{\text{h}}$$

Cálculo de aprovechamiento de escorrentía en jardín infiltrante propuesto:

Para los cálculos presentados a continuación se utilizó el método sencillo de simulación de lluvia, el cual considera una intensidad de lluvia constante en el periodo de duración.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de aprovechamiento de aguas lluvias en tormentas de 30, 60 y 120 minutos, con un periodo de diseño de 25 años como lo detalla la OPAMSS para diseños hidrológicos en urbanizaciones, las intensidades presentadas en la tabla 5 fueron tomadas de los datos presentados en la tabla 3 para el periodo de retorno antes mencionado. Por lo anterior se obtuvieron las diferentes intensidades de diseño:

DURACIÓN E INTENSIDADES DE LLUVIA PARA PERÍODO DE RETORNO DE 25 AÑOS.

Duración (min)	Intensidad (mm/min)
30	1.79
60	1.08
120	0.64

Para obtener el dato de C promedio, se tomaron los datos de C de la tabla 4 considerando los materiales de techo y de pisos en las zonas impermeabilizadas, además de considerarse un jardín con pendiente promedio y en una condición favorable, en cálculo se presenta en la tabla 6.

TABLA 6  
CÁLCULO DE C PROMEDIO

C promedio					
Áreas	Descripción	Área (m <sup>2</sup> )	C	C+A	C <sub>prom</sub>
Techo	Lamina Zinc	141.8	0.88	124.78	
Garaje	Concreto	24	0.88	21.12	
Jardín trasero	Condición buena, pendiente promedio 2%-7%	30	0.39	11.7	
Jardinería frontal	Condición buena, pendiente plano 0%-2%	4.2	0.29	1.22	
Acera	Concreto	17.9	0.88	15.75	
<b>SUMATORIA</b>		217.9		174.57	

Con los datos presentados anteriormente de coeficientes de escorrentía y las áreas de distribución del terreno propuesto, se obtuvieron los datos de escorrentía siguiente mostrados en la tabla 7.

TABLA 7  
CÁLCULO DE CAUDAL DE ESCORRENTÍA.

Duración (min)	Intensidad (mm/min)	C	A (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (l/s)
30	1.79	0.8	217.9	5.20E-03	5.2
60	1.08	0.8	217.9	3.14E-03	3.14
120	0.64	0.8	217.9	1.86E-03	1.86

En base a lo anterior y considerando un tiempo de concentración de 5 minutos, se diseñaron hidrogramas para los 3 diferentes tiempos, que se observan en la figura 24:

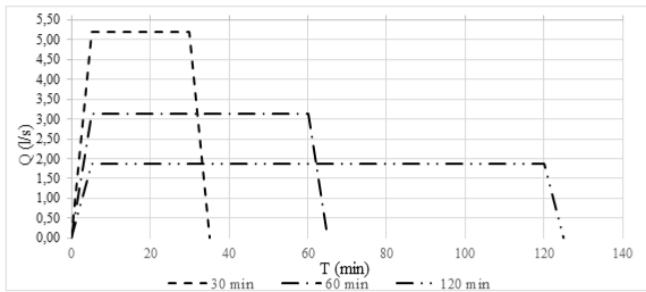


Fig.24 Hidrograma para evaluación de propuesta. Fuente: Elaboración propia

Obteniendo para cada hidrograma un volumen generado de escorrentía que se presenta en la siguiente tabla 9.

TABLA 5

**TABLA 9**  
VOLUMEN DE ESCORRENTÍA GENERADO PARA CADA TIEMPO DE PRECIPITACIÓN

Tiempo de precipitación (min)	Volumen de escorrentía generado (m <sup>3</sup> )
30	9.36
60	11.3
120	13.39

Posteriormente con las dimensiones propuestas y los datos de velocidad de infiltración intermedia del suelo en el AMSS recopilados en el presente trabajo, se pudo obtener los porcentajes de aprovechamiento que se logran con los jardines infiltrantes durante cada una de las tres duraciones de lluvia presentadas, de la siguiente manera:

Dimensiones propuestas del jardín de infiltración, estas se presentan en la tabla 10

**TABLA 10**  
DIMENSIONES DEL JARDÍN INFILTRANTE

Dimensiones del jardín infiltrante	
Largo (m)	3.00
Ancho (m)	0.70
Profundidad (m)	0.60
Área (m <sup>2</sup> )	2.10

Volumen de encharcamiento, calculado en la tabla 11

**TABLA 11**  
CÁLCULO DE VOLUMEN DE ALMACENAJE DE JARDÍN INFILTRANTE.

Estratos	Espesor (m)	Área (m <sup>2</sup> )	V neto (m <sup>3</sup> )	e	V de vacíos (m <sup>3</sup> )	V de almacenaje (m <sup>3</sup> )
Bordillo	0.15	2.1	0.315			0.315
Suelo orgánico	0.15	2.1	0.315	0.50	0.160	0.16
Arena	0.15	2.1	0.315	0.40	0.126	0.126
Grava #1	0.3	2.1	0.630	0.40	0.252	0.252
					Volumen total de encharcamiento (m <sup>3</sup> )	0.85

Al obtener el dato de infiltración de este documento, y considerando los tiempos de precipitación, se obtuvieron los volúmenes infiltrados en los tiempos mencionados, a estos se le sumó el volumen de encharcamiento obtenido en la tabla 12 para obtener el aprovechamiento de escorrentía de la tabla 12.

**TABLA 12**  
CÁLCULO DE VOLUMEN DE CAPTACIÓN

Tiempo de precipitación (min)	Intensidad de lluvia (mm/min)	V de escorrentía (m <sup>3</sup> )	V infiltrado durante el tiempo de precipitación (m <sup>3</sup> )	V de encharcamiento (m <sup>3</sup> )
30	1.79E+00	4.62	0.11	0.85
60	1.55E-03	5.58	0.22	0.85
120	9.18E-04	6.61	0.45	0.85

En base a la tabla 11 y a la tabla 12 se obtuvo el volumen total de encharcamiento que se prevé tenga el jardín infiltrante, además, de estimar el porcentaje de aprovechamiento del jardín propuesto, como se muestra en la tabla 13:

**TABLA 13**  
CÁLCULO DE PORCENTAJE DE CAPTACIÓN

V total de aprovechamiento	Porcentaje de captación (%)
0.96	10.3
1.07	9.5
1.3	9.7

Al observarse que los porcentajes de aprovechamiento son bajos, además que el sistema de drenaje no puede ser colocado en la entrada de la cochera, se considera solamente direccionar la bajante del techo del lado izquierdo, para lo cual se calculó los nuevos caudales de escorrentía, obteniendo los siguientes resultados presentados en la tabla 14.

**TABLA 14**  
CÁLCULO DE CAUDAL DE ESCORRENTÍA

Duración (min)	Intensidad (mm/min)	C	A (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (l/s)
30	1.79	0.88	97.8	2.57E-03	2.570
60	1.08	0.88	97.8	1.55E-03	1.550
120	0.64	0.88	97.8	9.18E-04	0.918

Con los datos de caudales de escorrentía, nuevamente se generaron los hidrogramas, los cuales se presentan en la figura 25 correspondiente a la condición propuesta:

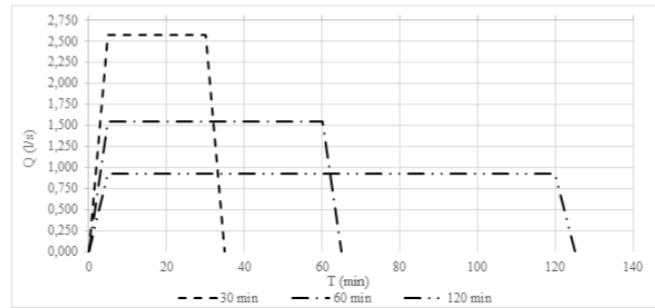


Fig.25 Hidrogramas para evaluación de viabilidad técnica. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se obtuvo el volumen de escorrentía generado en el techo y su porcentaje de aprovechamiento en el jardín de infiltración, que se mostrará en la tabla 15.

**TABLA 15**  
CÁLCULO DE PORCENTAJE DE CAPTACIÓN PARA NUEVA PROPUESTA

Tiempo de precipitación (min)	Intensidad de lluvia (mm/min)	V de escorrentía (m <sup>3</sup> )	V infiltrado durante el tiempo de precipitación (m <sup>3</sup> )	V de encharcamiento (m <sup>3</sup> )	V total de aprovechamiento	Porcentaje de captación (%)
30	1.79E+00	4.62	0.11	0.85	0.96	20.8
60	1.55E-03	5.58	0.22	0.85	1.07	19.3
120	9.18E-04	6.61	0.45	0.85	1.30	19.6

## Evaluación de viabilidad técnica

Para evaluar la viabilidad técnica se consideraron diferentes escenarios, como primer factor se consideró un terreno con pendiente promedio de entre 2 % y 7 % hacía la acera, 3 porcentajes de áreas impermeabilizadas, la primera con 50 %, la siguiente con 75% y el último 100% de impermeabilización, y se mantuvieron los datos de coeficientes de escorrentía y de intensidades de lluvia para un periodo de retorno de 25 años. A continuación, se presentan los cálculos y resultados obtenidos:

Cálculo de C promedio para las diferentes condiciones de área impermeabilizada se muestran en las tablas 16, 17 y 18.

TABLA 16  
C PROMEDIO PARA 50% DE ÁREA IMPERMEABILIZADA

Descripción	Condición	C	% Área	C*%A	C <sub>prom</sub>
Impermeabilizado	Concreto o techo	0.88	50	44	0.65
	Área verde sin desarrollar	0.42	50	21	

TABLA 17  
C PROMEDIO PARA 75% DE ÁREA IMPERMEABILIZADA

Descripción	Condición	C	% Área	C*%A	C <sub>prom</sub>
Impermeabilizado	Concreto o techo	0.88	75	66	0.77
	Área verde sin desarrollar	0.42	25	10.5	

TABLA 18  
C PROMEDIO PARA 100% DE ÁREA IMPERMEABILIZADA

Descripción	Condición	C	% Área	C*%A	C <sub>prom</sub>
Impermeabilizado	Concreto o techo	0.88	100	88	0.88
	Área verde sin desarrollar	0.42	0	0	

A continuación, se presenta la gráfica en la figura 25 del comportamiento de C promedio en base a los porcentajes de áreas impermeabilizadas.

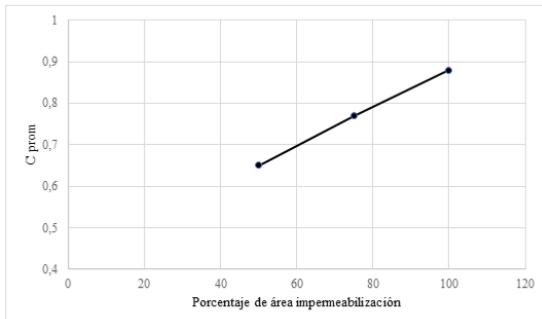


Fig.25 C promedio vrs porcentaje de área impermeabilización. Fuente: Elaboración propia.

Además, en base a los C promedio obtenidos se evaluaron los caudales de escorrentía generados juntamente con el volumen de estas, presentados en la tabla 19, 20 y 21 para cada condición:

TABLA 19  
CÁLCULO DE CAUDAL Y VOLUMEN DE ESCORRENTÍA PARA 50% DE ÁREA IMPERMEABILIZADA

50% de área impermeabilizada					
Duración (min)	Intensidad (mm/min)	C	A (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m <sup>3</sup> )
30	1.79	0.65	217.9	4.23E-03	7.61
60	1.08	0.65	217.9	2.55E-03	9.18
120	0.64	0.65	217.9	1.51E-03	10.88

TABLA 20  
CÁLCULO DE CAUDAL Y VOLUMEN DE ESCORRENTÍA PARA 75% DE ÁREA IMPERMEABILIZADA

75% de área impermeabilizada					
Duración (min)	Intensidad (mm/min)	C	A (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m <sup>3</sup> )
30	1.79	0.77	217.9	5.01E-03	9.01
60	1.08	0.77	217.9	3.02E-03	10.87
120	0.64	0.77	217.9	1.79E-03	12.89

TABLA 21  
CÁLCULO DE CAUDAL Y VOLUMEN DE ESCORRENTÍA PARA 100% DE ÁREA IMPERMEABILIZADA

100% de área impermeabilizada					
Duración (min)	Intensidad (mm/min)	C	A (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m <sup>3</sup> )
30	1.79	0.88	217.9	5.72E-03	10.3
60	1.08	0.88	217.9	3.45E-03	12.43
120	0.64	0.88	217.9	2.05E-03	14.73

Con los volúmenes generados se pudo estudiar los porcentajes de aprovechamiento que se tendrían de agua lluvia en los jardines de infiltración, tomando en cuenta 2 diferentes velocidades de infiltración, donde los porcentajes de aprovechamiento se observan en las tablas 22, 23:

TABLA 22  
PORCENTAJE DE APROVECHAMIENTO PARA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE 0.00544 cm/s

Porcentaje de área impermeabilizada	Porcentaje de aprovechamiento		
	Duración 30 min	Duración 60 min	Duración 120 min
50	13.93	13.78	15.41
75	11.76	11.63	13.01
100	10.29	10.18	11.38

TABLA 23  
PORCENTAJE DE APROVECHAMIENTO PARA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE 0.00296 cm/s

Porcentaje de área impermeabilizada	% de aprovechamiento		
	Duración 30 min	Duración 60 min	Duración 120 min
50	12.69	11.74	11.96
75	10.72	9.91	10.1
100	9.38	8.67	8.84

Área necesaria para disminuir un m<sup>3</sup>/s de escorrentía

La cantidad de área necesaria para disminuir un metro cúbico por segundo (m<sup>3</sup>/s) de escorrentía puede variar

significativamente dependiendo de varios factores, como la intensidad de la lluvia, la topografía, la infiltración del suelo y las características del uso del suelo. Se puede estimar con la fórmula básica de la escorrentía (Jiménez Terán, y otros, s.f.).

La ecuación de caudal de escorrentía se expresa comúnmente como:

$$Q = CIA$$

dónde:

Q: es el caudal de escorrentía (en m<sup>3</sup>/s)

C: es el coeficiente de escorrentía, que representa la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía

I: es la intensidad de la lluvia (en m/s)

A: es el área de drenaje (en m<sup>2</sup>)

Si se quiere disminuir 1 m<sup>3</sup>/s de escorrentía (Q) y conocemos la intensidad de la lluvia (i) y el coeficiente de escorrentía (C), podemos reorganizar la ecuación obteniendo una nueva ecuación para encontrar el área (A) necesaria de la siguiente manera:

$$A = Q/Ci$$

$$A = \frac{1 \text{ m}^3/\text{s}}{0.80 * 2.98 \times 10^{-5} \text{ m/s}}$$

$$A = 41,946.3 \text{ m}^2$$

Es importante mencionar que el coeficiente de escorrentía (C) puede variar según las condiciones del suelo y el uso del suelo. Por ejemplo, áreas urbanizadas con pavimentos tienden a tener coeficientes de escorrentía más altos en comparación con áreas naturales con suelo permeable.

Para obtener una estimación precisa, se necesitarían datos específicos de la ubicación, como la intensidad de la lluvia, el tipo de suelo y la topografía del área de interés (Jiménez Terán, y otros).

Tiempo necesario para que se infiltre diez milímetros de agua

El tiempo necesario para que 10 mm de agua se infiltrén en el suelo depende de varios factores, incluyendo la textura del suelo, la capacidad de infiltración, la pendiente del terreno, y las condiciones climáticas. Si se tienen datos sobre la tasa de infiltración específica del suelo en cuestión, se puede utilizar la ecuación 4.3 para estimar el tiempo necesario:

$$Tiempo = \frac{Volumen}{Tasa de infiltración}$$

Donde:

Volumen: es el volumen de agua a infiltrar (10 mm convertido a litros por metro cuadrado).

Tasa de infiltración: es la tasa de infiltración del suelo (Ruiz Romera & Martínez Santos, s.f.).

Al realizar el cálculo respectivo con los datos correspondientes al AMSS, se tiene:

$$T = \frac{1 \text{ cm}}{19.5822 \frac{\text{cm}}{\text{h}}}$$

$$T = 0.05 \text{ h}$$

O su equivalente en minutos

$$T = 3 \text{ min}$$

Los suelos del AMSS son muy rápidos de infiltración, por lo que el problema principal no es el tipo de suelo de la zona, sino las grandes áreas impermeabilizadas por el desarrollo de las ciudades que

la conforman.

Influencia de jardines infiltrantes en la capacidad de carga de estructuras cercanas.

En el caso analizado se consideró que el jardín infiltrante tendría movimiento de agua solamente vertical, ya que se plantea en el diseño paredes en los 4 lados que restrinjan cualquier flujo horizontal que se pueda generar, por lo tanto, la humedad que se pueda crear no afectaría a las cimentaciones de las viviendas, ni a las carreteras o calles aledañas.

Además, se calculó los metros cúbicos de escorrentía que estaría infiltrando el jardín diseñado, al tener un área superficial de 2.1 m<sup>2</sup>, usando la ecuación, y tomando en cuenta la intensidad de precipitación para un periodo de retorno de 10 años, se obtuvieron los siguientes resultados:

$$Q = (2.1 \text{ m}^2)(0.38)(1.11 \times 10^{-5} \text{ m/s})$$

$$Q = 8.86 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

Viendo que la cantidad de lluvia a infiltrar es poca, por la dimensión recomendada, se deben crear espacios de mayor área con la estructura de un jardín infiltrante para reducir significativamente la escorrentía superficial.

#### Presupuesto de jardín de infiltración

Al realizar el diseño del jardín se consideraron algunos factores determinantes para el costo de inversión que supondría una estructura como la presentada en este documento, primeramente se consideró que la acera donde se llevaría a cabo la intervención está hecha de concreto sólido en toda su área sin existencia de algún jardín o árbol, por lo que en el proceso y presupuesto se consideró la demolición de área a utilizar en la acera, además de la excavación para el jardín de infiltración ya que este se propuso estuviera 15 cm por debajo del nivel para generar un encharcamiento de la escorrentía, con paredes de block de 10 cm para evitar flujos horizontales.

Luego se considera el llenado de las capas. A continuación, se presenta la tabla 24 en la cual se resume el detalle del costo de la elaboración de un jardín infiltrante.

TABLA 24  
PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN DE JARDÍN INFILTRANTE

PRESUPUESTO						
REORDENAMIENTO DE ACERA PARA JARDÍN DE INFILTRACIÓN						
PARTIDA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL	TOTAL
1	CONSTRUCCIÓN DE JARDÍN INFILTRANTE					\$172.60
1.1	OBRAS PROVISIONALES					\$40.00
1.1.1	Trazo de toda la acera para desniveles y ubicación del jardín infiltrante	20	m <sup>2</sup>	\$2.00	\$40.00	
1.2	EXCAVACIONES Y COMPACTACIONES					\$72.60
1.2.1	Excavación para jardín de infiltración de medida 0.6x0.7x3.00 m (incluye desalojo hacia un costado de la acera)	1.26	m <sup>3</sup>	\$30.00	\$37.80	
1.2.2	Suministro y colocación de grava #1 en espesor de 30 cm sin compactar	0.63	m <sup>3</sup>	\$40.00	\$25.20	
1.2.3	Suministro y colocación de arena en espesor de 15 cm, sin compactar	0.32	m <sup>3</sup>	\$30.00	\$9.60	
1.2.4	Suministro y colocación de tierra orgánica, sin compactar	0.32	m <sup>3</sup>	\$15.50	\$4.96	

PRESUPUESTO						
REORDENAMIENTO DE ACERA PARA JARDÍN DE INFILTRACIÓN						
PARTIDA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL	TOTAL
1.3	CONCRETO (Hechura, colocación y colado)					
1.3.1	Bordillo para retención de agua en jardín de infiltración, 15x10 cm	0.05	m <sup>3</sup>	\$300.00	\$15.00	
1.4	AGUAS LLUVIAS					\$45.00
1.4.1	Suministro e instalación de tubería de 4 pulgadas para desalojo de encharcamiento excesivo hacia sistema de drenaje	3	m	\$15.00	\$45.00	
2	VARIOS					\$150.00
2.1	Limpieza final y desalojo general	1	s.g.	\$100.00	\$100.00	
2.2	Suministro y colocación de plantas recomendadas	1	s.g.	\$50.00	\$50.00	
COSTO TOTAL						\$322.60

Se invirtió \$322.60 para un jardín de 70 cm de ancho por 60 cm de profundidad y 3 m de longitud. Se calcula una inversión de \$1.61 por metro cuadrado de construcción habitacional.

#### Análisis de propuesta

Al calcular el porcentaje aprovechado por escorrentía se observó que, aunque las intensidades de lluvia sean menores en períodos prolongados, los volúmenes generados de escorrentía son mayores, pero ese tiempo mayor permite que se infiltre más agua lluvia al subsuelo generando un porcentaje de aprovechamiento mayor cerca del 13 %, aunque este valor sea bajo ayuda para mitigar las inundaciones en el AMSS.

Al analizar las dimensiones propuestas de jardín infiltrante se obtuvo que, para un período de lluvia de 30 minutos con una intensidad promedio de 1.79 mm/min el porcentaje de lluvia infiltrada es del 11.3 %, y para un tiempo de 60 minutos con una intensidad de 0.00314 mm/min el porcentaje disminuye a 11.1%, en cambio para un tiempo de 120 minutos equivalente a 2 horas, con intensidad de 0.00186 mm/min el porcentaje asciende a 12.5 %.

Además, al analizar casos donde la velocidad de infiltración disminuye, los porcentajes de aprovechamiento para el jardín proyectado también disminuyen, por lo cual es importante observar este comportamiento ya que cuando los suelos se saturan, la tasa de infiltración recae considerablemente, haciendo poco factible esta solución a la escorrentía, debido a que si se proyectan aumentos de escorrentía de 20 a 30% estos no ayudarían a mitigar. No se pueden considerar áreas extensas de estas, lo que llevaría a otro inconveniente como el espacio en la zona urbana del AMSS, donde la mayor cantidad de suelo se ocupa para vivienda o servicios, siendo una solución poco factible tanto económicamente como disponible el destinar áreas grandes para jardines de infiltración.

Otro factor importante que se observó, son las pendientes de los terrenos y calles en el AMSS ya que estas pendientes aumentan el coeficiente de escorrentía y por ende el volumen generado, por lo que, entre mayor sea la pendiente menor será la efectividad del jardín. Esto contrastado con las nuevas construcciones que se mueven sobre la pendiente del volcán de San Salvador volviendo inviable el desarrollo de los jardines propuestos en estas zonas.

Por ubicación y alturas de encharcamiento, se propone que el caudal de escorrentía que llegue al jardín de infiltración sea el de un porcentaje del área técnica, el 50% del área, lo que genera un volumen de escorrentía entre 4.62 a 6.61 metros cúbicos, con las dimensiones propuestas del jardín se aprovecha de entre 0.96 a 1.30 metros cúbicos, lo que corresponde a un porcentaje de escorrentía de 19.6% a 20.8%, aunque el porcentaje sea mayor de agua lluvia.

#### V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Estas conclusiones y recomendaciones proporcionan un detalle claro de los logros de la investigación y ofrecen orientación práctica para la aplicación futura de los jardines infiltrantes en entornos urbanos.

##### Conclusiones

De acuerdo con los datos recopilados y analizados, se ha observado que los jardines infiltrantes desempeñan un papel significativo en la gestión del agua, ya que logran infiltrar aproximadamente el 10% de la escorrentía producida según el modelo presentado.

Al considerar los espacios que se tienen disponibles en el AMSS, se evaluó la jardinera propuesta con una relación 1/100 con respecto al área total del terreno, obteniendo así un espacio que infiltra 10% de la escorrentía generada (0.85 m<sup>3</sup>), siendo esto su principal ventaja, además de ser un ornato para los espacios públicos como en el modelo presentado de una acera

Además, se ha observado que la inversión necesaria para implementar estos jardines es de \$1.61 por metro cuadrado de construcción habitacional. Este costo conlleva una serie de beneficios considerables tanto para la comunidad como para el medio ambiente.

El crecimiento urbano puede tener consecuencias significativas en el drenaje, los mantos acuíferos y el coeficiente de escorrentía ya que se observó que a mayor área impermeabilizada mayor coeficiente de escorrentía. La planificación urbana sostenible y la implementación de prácticas de gestión del agua son fundamentales para mitigar estos impactos negativos y promover el uso responsable de los recursos hídricos.

La gestión adecuada del agua, la planificación urbana y rural sostenible, y la implementación de medidas preventivas son esenciales para prevenir y mitigar los problemas asociados con el encharcamiento o anegamiento.

##### Recomendaciones

Se recomienda implementar jardines infiltrantes en áreas urbanas, si se hacen estudios previos para determinar si es viable en el lugar de desarrollo y que cumpla con los requerimientos detallados en este trabajo.

Se recomienda realizar la medición de un jardín experimental donde se pueda medir la humedad lateral que se genera y las tasas de infiltración en condiciones naturales de lluvia. Además, es importante hacer mediciones de infiltración a nivel del fondo de la jardinera para conocer la velocidad de infiltración en el suelo natural.

Se recomienda un estudio de las humedades generadas por las SUDS en las cimentaciones de los diferentes tipos de infraestructuras en el AMSS, y su interacción con eventos sísmicos.

Se recomienda explorar y profundizar en otras Soluciones Urbanas de Drenaje Sostenible (SUDS). Entre las alternativas se encuentran cunetas verdes, depósitos para la recolección de aguas pluviales y superficies permeables. Estas opciones podrían ayudar con el manejo sostenible del agua en el AMSS.

#### REFERENCIAS.

- [1] Alfaro, I. A., Chávez, J. A., Cuestas, I. E., Mejía, C. J., Landaverde, M., & Campos, S. (2020). Estudio sobre infiltración y su relación con la geología del Área Metropolitana de San Salvador, El Salvador. Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS); Universidad de El Salvador.
- [2] Aque Fundación. (2022). La escorrentía: un proceso clave en el ciclo del agua. Obtenido de <https://www.fundacionaqua.org/wiki/escorrentia/>
- [3] Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill
- [4] City Adapt. (2021). Infraestructura urbana resiliente: Jardines de infiltración. ONU. Obtenido de <https://cityadapt.com/>
- [5] Das, B. M. (2015). Fundamentos de ingeniería geotécnica. Distrito Federal, México: CENGAGE Learning. Obtenido de [https://www.academia.edu/36776734/Fundamentos de ingenieria geotecnica braja m das 4ta edicion](https://www.academia.edu/36776734/Fundamentos_de_ingenieria_geotecnica_braja_m_das_4ta_edicion)
- [6] Davis, A. P. (2008). Field Performance of Bioretention: Hydrology Impacts. Journal of Hydrologic Engineering.
- [7] Editorial Team. (2020). Diseño de un jardín de lluvia: Guía técnica. Obtenido de <https://biblus.accasoftware.com/es/diseno-de-un-jardin-de-lluvia/>
- [8] eeTestudio. (2016). Jardín infiltrante Legaria. Delegación Miguel Hidalgo. Obtenido de <https://www.eetestudio.com/jardin-infiltrante-legaria/>
- [9] Ferrando A, F. J. (2006). Sobre inundaciones y anegamientos. Chile: Universidad de Chile. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/26453877\\_Sobre\\_inundaciones\\_y\\_anegamientos](https://www.researchgate.net/publication/26453877_Sobre_inundaciones_y_anegamientos)
- [10] Franco Mesa, X. M., & Hincapié López, D. E. (20115). Evaluación del balance hídrico de un jardín de lluvia a escala piloto en el Campus Piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena. Cartagena: Universidad de Cartagena. Obtenido de <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/2226>
- [11] Herodier, G. (2021). San Salvador: Evolución y desarrollo. San Salvador: La Prensa Gráfica. Obtenido de <https://www.laprensagrafica.com/elsalvador/San-Salvador-evolucion-y-desarrollo-20210913-0075.html>
- [12] Infiltración. (s.f.). Obtenido de [http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1\\_136\\_147\\_89\\_1258.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_136_147_89_1258.pdf)
- [13] Jiménez Terán, J. M., García Pacheco, V. H., Lozano Laez, D., Zavala Arreola, O., Ortiz Cedano, A., Castillo González, E., & Romero López, R. (s.f.). Manual de apuntes de la experiencia educativa de tuberías y canales. Veracruz, México: Universidad Veracruzana.
- [14] López, A. L. (2012). Manual de criterios de diseño de jardines urbanos. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- [15] Lungo, M. (1994). Problemas ambientales, gestión urbana y sustentabilidad del AMSS. San Salvador: PRISMA. Obtenido de [https://www.prisma.org.sv/wp-content/uploads/2020/02/bol12\\_problemas\\_ambientales\\_gestion\\_urbana\\_y\\_sustentabilidad\\_del\\_AMSS.pdf](https://www.prisma.org.sv/wp-content/uploads/2020/02/bol12_problemas_ambientales_gestion_urbana_y_sustentabilidad_del_AMSS.pdf)
- [16] Martínez, R., Menjívar, J., & Segovia, C. (2008). Manual de diseño de jardines. La Libertad, El Salvador.
- [17] Martínez, V. (2023). Mesa Gestión de Riesgo: “La vulnerabilidad (en El Salvador) ha aumentado, no ha disminuido”. La Prensa Gráfica. Obtenido de <https://www.laprensagrafica.com/elsalvador/Mesa-Gestion-de-Riesgo-La-vulnerabilidad-en-El-Salvador-ha-aumentado-no-ha-disminuido-20230419-0033.html>
- [18] OPAMSS. (s.f.). Resumen ejecutivo de la guía técnica para el diseño de SUDS en el AMSS. San Salvador.
- [19] OPAMSS. (2023). Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños y su Reglamento con anexos. San Salvador. Obtenido de <https://opamss.org.sv/wp-content/uploads/2020/07/REGLAMENTO-ACTUALIZADO-2023.pdf>
- [20] ORLANDELLI. (s.f.). Los materiales útiles para crear un jardín. Obtenido de <https://www.orlandelli.it/es-la/los-materiales-utiles-para-crear-un-jardin.aspx>
- [21] Ruiz Romera, E., & Martínez Santos, M. (s.f.). Infiltración y humedad del suelo. Obtenido de [https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/47724/mod\\_resource/content/1/Material\\_Docente/Tema\\_4.pdf](https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/47724/mod_resource/content/1/Material_Docente/Tema_4.pdf)
- [22] Servicio Nacional de Estudios Territoriales. (2005). Balance hídrico integrado y dinámico en El Salvador. San Salvador: Servicio hidrológico nacional.
- [23] Sepor (2017). Portalfruticula.com. Obtenido de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/09/04/infiltracion-del-agua-en-el-suelo-importancia-y-metodos-para-medirla/>
- [24] SNET. (s.f.). Umbrales de intensidad de lluvia para la generación de un sistema de alerta temprana contra inundaciones en el Área Metropolitana de San Salvador. San Salvador: Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Obtenido de <https://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00237/doc00237-contenido.pdf>
- [25] Stren, Richard (2009). Sustainable Cities. Urbanization and the Environment in International Perspective. Westview Press, Boulder.
- [26] Kurtz, L. (s.f.). wikihow. Obtenido de Cómo crear un jardín de lluvia: <https://es.wikihow.com/crear-un-jard%C3%ADn-de-lluvia#aiinfo>