

Infraestructura verde para prevención de inundaciones en conjuntos habitacionales de interés social en zona árida

Green infrastructure as a flood prevention measure in social interest housing complexes in arid area

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i17.318>

ANA WALESKA ARVIZU JUVERA

Universidad de Sonora, México. ORCID: 0009-0003-2793-1817
Correo electrónico: a222230102@unison.mx

JUAN PEDRO AYALA MORENO*

Universidad de Sonora, México. ORCID: 0000-0002-7708-4113
Correo electrónico: juan.ayala@unison.mx

*Autor de correspondencia

HÉCTOR MANUEL GUZMÁN GRIJALVA

Universidad de Sonora, México. ORCID: 0000-0001-5219-4757
Correo electrónico: hector.guzman@unison.mx

Recepción: 18 de diciembre de 2024 Aceptación: 30 de enero de 2025

RESUMEN

1. *Objetivo(s)*: Determinar la eficacia de la integración de infraestructura verde (IV) para la mitigación de inundaciones en conjuntos habitacionales de interés social ubicados en la zona urbana de la ciudad de Hermosillo, Sonora.
2. *Metodología*: Para la realización del diagnóstico se procedió a calcular la eficiencia de la incorporación de técnicas de IV propuestas por el IMPLAN (2019) en su *Manual de lineamientos de diseño de infraestructura verde para municipios mexicanos*, y se incorporaron las técnicas jardín de lluvia, jardín microcuenca y concreto permeable en nueve escenarios distintos.
3. *Resultados*: Para los nueve escenarios se obtuvieron porcentajes promedio de reducción de escurrimiento que van desde el 24.56% hasta más del 100%.
4. *Limitaciones/implicaciones*: El proyecto de investigación se efectúa específicamente en las áreas comunes de viviendas de interés social ubicadas dentro de una zona árida; los tipos y las dimensiones de las superficies de interés se determinaron por medio de imágenes satelitales, sin considerar las pendientes superficiales para la selección de las técnicas de IV.
5. *Originalidad/valor*: Este trabajo busca contribuir a la sustentabilidad de las ciudades a través de la IV, analizando las posibles mejoras resultantes de llevar a cabo modificaciones en las infraestructuras que componen los conjuntos habitacionales de interés social, con el fin de reducir los volúmenes de escorrentías de aguas pluviales.
6. *Hallazgos/Conclusiones*: Se ha demostrado en este estudio que la aplicación de técnicas de IV puede potencialmente contribuir a reducir el escurrimiento ya sea utilizando una sola técnica o una combinación de ellas.

Palabras clave: infraestructura verde, inundación, aguas pluviales, red de saneamiento, drenaje sostenible



ABSTRACT

1. *Objective(s)*: Diagnose the effectiveness of the integration of green infrastructure (GI) for flood mitigation in low-income housing complexes located in the urban area of the city of Hermosillo, Sonora.
2. *Methodology*: For the diagnosis, the efficiency of the incorporation of GI techniques proposed by IMPLAN (2019) in its *Manual of Green Infrastructure Design Guidelines for Mexican Municipalities* was calculated, incorporating the techniques: rain garden, micro-basin garden and permeable concrete in nine different scenarios.
3. *Results*: For the nine scenarios, average runoff reduction percentages were obtained ranging from 24.56% to more than 100%.
4. *Limitations/implications*: The research project is carried out specifically in the common areas of low-income housing located within an arid area, considering that the types of soil and the dimensions of the surfaces of interest were determined by satellite images, without considering the surface slopes for the selection of GI techniques.
5. *Originality/value*: This work seeks to contribute to the sustainability of cities through green infrastructure, analyzing the possible improvements resulting from modifications in the infrastructures that compose social interest housing complexes in order to reduce the volumes of stormwater runoff.
6. *Findings/Conclusions*: It has been demonstrated in this study that the application of green infrastructure techniques can potentially contribute to reducing runoff, either by using a single technique or a combination of them.

Keywords: green infrastructure, flooding, stormwater, sewage system, sustainable drainage

INTRODUCCIÓN

Un sistema de drenaje pluvial consiste en una infraestructura diseñada para la recolección y la redirección de aguas de lluvia a través de un sistema de tuberías, recolectores e instalaciones complementarias que evitan la acumulación de agua dentro del entorno urbano (Valdivielso, s/f). Sin embargo, el acelerado crecimiento poblacional que repercute en la constante urbanización de las ciudades construidas, principalmente en infraestructura gris, ha impactado directamente en la hidrología local, debido a la extensa impermeabilización de las superficies, lo que ocasiona al aumento de la escorrentía de agua de lluvia que lleva a la generación de inundaciones localizadas (Abellán, 2016).

La urbanización y la industrialización han impactado en los recursos hídricos subterráneos de las zonas urbanas. La urbanización, al modificar las condiciones del terreno, no solamente altera su geomorfología, sino además provoca que la infraestructura hidráulica sea insuficiente para captar los volúmenes de escorrentía, debido a que implica la impermeabilización de las superficies (Bigurra-Alzati, Ortiz-Gómez, Vázquez-Rodríguez, López-León & Lizárraga-Mendiola, 2020). Las carencias y los problemas que surgen del uso de métodos tradicionales de drenaje urbano pueden solucionarse mediante la implementación de drenajes sostenibles basados en el uso de Infraestructura Verde (IV), los cuales se han popularizado en ciudades alrededor del mundo, con el fin de mejorar la salud de sus ecosistemas urbanos y gestionar los sistemas de manejo de aguas pluviales, lo que contribuye al propósito del Objetivo del Desarrollo Sustentable 11, sobre ciudades y comunidades sostenibles, de la Agenda 2030 (Suppakittpaisarn, Jiang & Sullivan, 2017; Castro Fresno, Rodríguez Bayón, Rodríguez Hernández & Muñoz, 2005; Naciones Unidas, 2015).

La gestión sostenible de las aguas pluviales surge de la necesidad de reducir la cantidad de superficies impermeables que provocan daños a las infraestructuras y los ciudadanos y entorpecen el sistema hidrológico local. La IV se encarga de integrar el capital natural existente incorporando

sistemas basados en la naturaleza para la gestión hídrica. El concepto de IV surge con la intención de ampliar, integrar e interconectar el capital natural ya existente para potenciar la calidad ambiental y de los servicios ecosistémicos empleando métodos e instrumentos de intervención como las llamadas “soluciones basadas en la naturaleza” (Fazeli Tello & Del Moral Ituarte, 2021). Las estrategias que encuadran dentro del enfoque propio de la IV son aquellas que recurren al uso de plantas (vegetación) y de sistemas de suelos que originan una reducción en el flujo a través de los sistemas pluviales de alcantarillado; ejemplo de ello son el pavimento permeable, los sistemas de recolección y reutilización de aguas pluviales, y el paisajismo para infiltrar o evapotranspirar aguas pluviales (US Government, 2019).

La implementación de técnicas de IV en el diseño de los espacios urbanos, a saber, parques, jardinerías, tejados verdes, cementerios y corredores ecológicos, entre otras, se caracteriza por su contribución a un mejor funcionamiento de las ciudades, al facilitar el flujo de bienes ecosistémicos, ofrecer una opción sustentable ante problemas de inundaciones y escasez de agua, e incrementar las tasas de infiltración y retención del agua. Todo ello permite crear entornos urbanos más saludables mediante el aprovechamiento del agua de lluvia (Balmaseda Ulacia, 2014; De Lucio, 2016; Calaza, 2019), y el logro de la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático (Rivera Torres, Arredondo Vega & Padrés León, 2019).

Existen estudios sobre IV en México, uno de ellos realizado en el estado de Hidalgo, sobre la eficiencia del uso de trincheras de infiltración en zonas semiáridas, donde se realizó el diseño de una trinchera que, de acuerdo con su capacidad (2.91 m³), demostró ser eficiente para controlar eventos de lluvia comunes en el área de estudio, con intensidades de 2.50 a 14.58 mm/h, por lo que resultó una opción adecuada para la gestión de escorrentías (Lizárraga-Mendiola *et al.*, 2017). Otro caso es el de la ciudad de Pánuco, Zacatecas, donde se logró la retención de hasta 212 toneladas de suelo y la rehabilitación de sitios de alto riesgo de erosión hídrica, gracias a la aplicación de pre-

sas filtrantes que ayudaron a mitigar la pérdida de suelo ocasionada por el sobrepastoreo (Salinas González *et al.*, 2011).

También en el estado de Hidalgo, Bigurra-Alzati *et al.* (2020) evaluaron teóricamente la efectividad de estrategias resilientes, como la IV, a través de tres escenarios diferentes. Ellos proponen estrategias como captación de agua de lluvia de las azoteas, zanjas de infiltración y sistemas de biorretención, y con ello reducen 94.1 % el volumen de escurrimiento. Zúñiga-Estrada *et al.* (2022) aplicaron un modelo de gestión del agua en una microcuenca hidrográfica situada en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Las estrategias de IV que utilizaron fueron cisternas para captar el agua de lluvia de las azoteas, pavimento permeable y zanjas de infiltración. Para los eventos de lluvia que utilizaron (9 mm, 30 mm y 39 mm) obtuvieron una reducción del 100% del volumen de escurrimiento.

La IV se constituye, por tanto, en una herramienta que puede aportar beneficios ecológicos, económicos y sociales a través de la implementación de medidas o soluciones naturales (Comisión Europea, 2013). Algunas particularidades de este concepto son la transversalidad y la capacidad de adaptación a diferentes problemáticas asociadas a la urbanización, como la adaptación al cambio climático, la conservación de la biodiversidad y la promoción de la economía verde (Fazeli Tello & Del Moral Ituarte, 2021; Pauleit *et al.*, 2019). Si bien es común la comparación de la IV con la infraestructura gris (IG) la cual corresponde a la rama convencional de la ingeniería civil—, la IV se considera multifuncional, toda vez que aporta alternativas que ofrecen opciones más sostenibles desde una perspectiva tanto económica como social (Valladares Ros, Gil Hernández, & Forner Sales, 2017).

Este estudio tiene como objetivo determinar la eficacia de la integración de IV para la mitigación de inundaciones en conjuntos habitacionales de interés social ubicados en la zona urbana de la ciudad de Hermosillo, Sonora, ciudad ubicada en una zona árida del noroeste de México. Esto se realizó a partir de escenarios de adaptación y propuestas de modificación de las infraestructu-

ras existentes a las técnicas de IV y sus beneficios calculables para la prevención de riesgos, tomando en consideración el diseño de los espacios urbanos que conforman las áreas comunes de los conjuntos habitacionales del área de estudio.

METODOLOGÍA

En este estudio se define la unidad de análisis como los conjuntos habitacionales de interés social ubicados en el centro de población de la ciudad de Hermosillo, Sonora. De acuerdo con las características que se describen en el Código de Edificación de Vivienda (Comisión Nacional

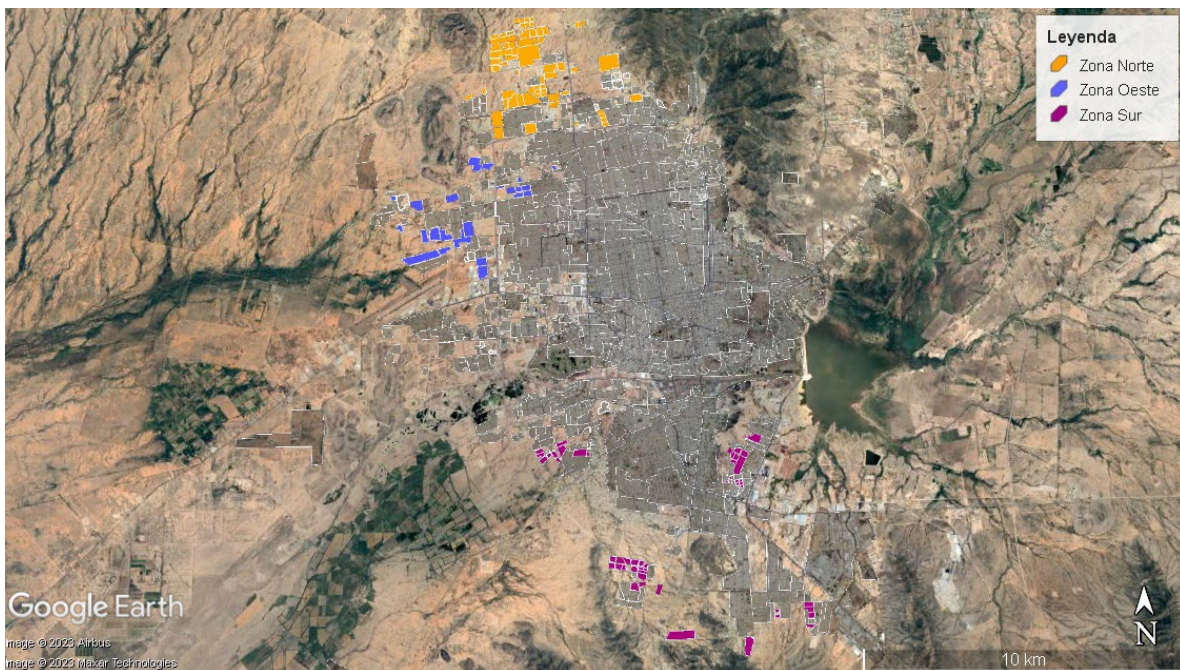
de Vivienda [CONAVI], 2017), las viviendas de tipo interés social se dividen en económica, popular y tradicional, y cuentan con 40, 50 y 71 m² de superficie construida, respectivamente.

LOCALIZACIÓN DE LA POBLACIÓN Y SELECCIÓN DE MUESTRA

Primeramente, se procedió a realizar un barrido de la zona urbana de la ciudad de Hermosillo, utilizando la herramienta Google Earth Pro, para localizar la población de estudio, definida como aquellos conjuntos habitacionales que reúnen las características que permiten que sean catalogados como de interés social.

FIGURA 1

Localización de conjuntos habitacionales de interés social



Fuente: Elaboración propia basada en imágenes satelitales de Google Earth Pro.

Una vez localizados los elementos que integran la población de estudio, los cuales ascienden a una cantidad de 140, se realizó un muestreo por cuotas, también llamado método empírico (Martínez Arias, Castellanos López & Chacón Gómez, 2014). Para ello se utilizó un tamaño de muestra

equivalente al 15% de la cantidad total de elementos que integran la población. Debido a la dispersión espacial de los elementos (figura 1), el muestreo se realizó de manera estratificada (Pérez, 2010), como se muestra en la tabla 1. En los casos en que la cantidad de elementos de un estrato conside-

rados para la muestra resultara ser inferior a uno, se aplicó el criterio de asignar un elemento de tales estratos, con la finalidad de que estuvieran representadas en la muestra final. Posteriormente

a la determinación de la cantidad de elementos que integrarían las muestras de cada estrato, se realizó una selección aleatoria de estos por medio del software Matlab (Moler, 1984).

TABLA 1
Selección de muestra

Estratos	Cantidad de elementos	Porcentaje respecto de la población	Cantidad de elementos a muestrear por estrato
Norte 1	27	19.29	4
Norte 2	30	21.43	4
Norte 3	8	5.71	1
Norte 4	3	2.14	1
Oeste 1	11	7.86	2
Oeste 2	11	7.86	2
Oeste 3	2	1.43	1
Sur 1	9	6.43	1
Sur 2	17	12.14	2
Sur 3	7	5.00	1
Sur 4	15	10.71	2
Total	140	100	21

Fuente: Elaboración propia.

CLASIFICACIÓN DE LAS SUPERFICIES

A continuación se realizó la delimitación y la clasificación de las superficies permeables y no permeables (Liu, Chen & Peng, 2015) de las áreas de uso común de cada elemento de la muestra mediante identificación cartográfica con la ayuda de imágenes satelitales, utilizando el Soft-

ware *Google Earth Pro*. Lo anterior se realizó sin considerar las superficies correspondientes a los predios donde se hallan ubicadas viviendas, y en los cuales las superficies se clasificaron de acuerdo con el tipo de material utilizado en su construcción o tipo de suelo, como se muestra en la tabla 2.

TABLA 2
Clasificación de composición de las superficies que conforman las áreas comunes

Superficie	Tipo de superficie					
	Asfalto	Concreto	Grava	Pasto	Suelo sin vegetación	Suelo con vegetación
Parques/ áreas de descanso		X	X	X	X	X
Calle	X					
Banqueta		X				
Arriate				X	X	X
Camellón		X		X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

En virtud de la presencia de diferentes tipos de superficies y de que cada una de ellas cuenta con un coeficiente de escurrimiento específico, se realizó una revisión bibliográfica de diferentes fuentes, a fin de determinar el coeficiente correspondiente.

Se procedió a calcular el punto medio entre los valores mínimo y máximo de los datos recopilados para los coeficientes de escurrimiento, como se muestra en la tabla 3.

TABLA 3

Coeficientes de escurrimiento de las superficies de interés considerados para los cálculos

Tipo de superficie	Coeficientes de escurrimiento							
	Secretaría de Comercio y Fomento a la Industria	Aparicio	Thompson	The CivilWeb Foundation Design Spreadsheet Suite	Dirección de Vialidad Gobierno de Chile	State Water Resources Control Board CA USA Government	IMPLAN	Mediana
Grava				0.5 – 0.6			0.2 – 0.75	0.48
Concreto	0.9	0.7 – 0.95	0.8 – 0.95	0.7 – 0.95	0.8 – 0.95	0.8 – 0.95		0.83
Asfalto	0.85	0.7 – 0.95	0.7 – 0.95	0.7 – 0.95	0.7 – 0.95	0.7 – 0.95		0.83
Pasto				0.32 – 0.62			0.05 – 0.35	0.34
Suelo con vegetación					0.15 – 0.20		0.10 – 0.60	0.35
Suelo sin vegetación		0.05 – 0.10	0.05 – 0.10	0.5		0.05 – 0.10	0.2 – 0.75	0.40

Fuentes: Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2013; Aparicio Mijares, 1992; Thompson, 2007; The CivilWeb Foundation Design Spreadsheet Suite, 2023; Dirección de Vialidad Gobierno de Chile, 2018; State Water Resources Control Board CA USA Government, 2011; Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019).

Es importante señalar que se registró un porcentaje no significativo de pasto sintético en algunos conjuntos habitacionales. Sin embargo, debido a que este está diseñado como un material 100% permeable (Synthetic Turf Council, 2017) su coeficiente de escurrimiento dependerá de la composición del suelo sobre el que se encuentre colocado. Debido a esto se decidió considerar esta superficie dentro de la categoría designada como suelo sin vegetación.

DATOS METEOROLÓGICOS

En la determinación de la magnitud del evento de lluvia más copioso se consideró el promedio del máximo valor de precipitación de cada mes entre los años 2002 y 2022, registrado en la esta-

ción Observatorio (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2023); se obtuvo cantidad de 55.5 mm de lluvia, lo cual se utilizará en el cálculo del acumulado de precipitaciones.

El volumen promedio de escurrimiento correspondiente a cada tipo de superficie se calculó utilizando la expresión que estima el volumen de escurrimiento de agua de lluvia Ec. 1 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2013), la cual relaciona la intensidad promedio de las precipitaciones durante un periodo determinado —en este caso de 24 horas— con el coeficiente de escurrimiento y las dimensiones del área o superficie de drenaje, para posteriormente calcular el escurrimiento total:

(Ec. 1)

$$V_A = \frac{(\bar{p} * A * k_e)}{1000} V_A = \frac{(\bar{p} * A * k_e)}{1000}$$

Donde:

V_A : Volumen promedio de escurrimiento en m^3

\bar{p} : Precipitación promedio en mm

A: Área de captación en m^2

k_e : coeficiente de escurrimiento de acuerdo con el material de las instalaciones de captación

Una vez determinado el escurrimiento total de cada elemento de la muestra, se procedió a elaborar propuestas de técnicas de IV para su implementación según las características de las superficies. Para ello se calcularon las dimensiones que deberían tener, utilizando las ecuaciones que se indican en el *Manual de lineamientos de diseño de infraestructura verde para los municipios mexicanos* (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019), según el tipo de técnica de que se trate, a fin de satisfacer las necesidades de infiltración de agua como medida de prevención de inundaciones.

Para la selección de las técnicas de IV a aplicar se realizó primero una revisión de todas las técnicas que contiene el *Manual de lineamientos de diseño de infraestructura verde para los municipios mexicanos* (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019). Los criterios de selección seguidos son: que sean técnicas que se apliquen en áreas públicas en zonas urbanas, que no requieran grandes cantidades de espacio para su aplicación, que su principal beneficio sea disminuir los escurrimientos pluviales, y que sean de bajo mantenimiento. Se consideraron, además, las características espaciales de las áreas donde se pretende aplicar dichas técnicas. Con estos criterios se seleccionaron las técnicas de jardín de lluvia y jardín microcuenca, las cuales pueden ser introducidas en espacios reducidos, no se requiere de conocimientos específicos para su aplicación y son de bajo mantenimiento. Por otra parte, también se consideró la aplicación de la técnica de concreto permeable dentro de las áreas destinadas a implementar técnicas de IV que, aunque su aplicación implique mayor área,

al aplicarse en calles y banquetas para reducir el escurrimiento no se interfiere con la función principal de estos espacios.

TÉCNICAS DE IV

JARDÍN MICROCUENCA

El jardín microcuenca, también conocido como canal vegetado, franja de filtrado o franja de contención, es una técnica de muy bajo costo y fácil de construir. Este tipo de jardín cuenta con cavidades que permiten la captación del agua de lluvia a la microcuenca, la cual puede construirse en espacios delimitados o longitudinalmente en forma de canales o arroyos (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019), a los que se recomienda se incorporen elementos que enriquezcan la biodiversidad, de tipo nativo (Sañudo-Fontaneda *et al.*, 2020).

El jardín microcuenca es normalmente utilizado a lo largo de camellones, por lo cual primeramente se calcula el ancho transversal del canal de la microcuenca y su longitud para obtener el área total del canal. Posteriormente al cálculo del área de la microcuenca se propone la profundidad que tendrá el canal, la cual se recomienda sea de un mínimo de 10 cm. Primeramente se deberá calcular o determinar la lámina de precipitación en mm para posteriormente determinar el volumen de precipitación [Ec. 2] (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019).

(Ec. 2)

$$V = A x h x f$$

V = volumen de precipitación en m^3

A = área de captación en m^2

h = lámina de lluvia en mm

f = factor de conversión (1 m = 1,000 mm)

Para determinar la capacidad de la cuenca es necesario determinar su volumen:

(Ec. 3)

$$V = A \times H$$

Donde:

V = volumen o capacidad de la cuenca en m³

A = área de captación m²

H = profundidad del canal en m (1 m = 100 cm)

Una vez determinada la capacidad de la cuenca se le resta el volumen de precipitación, a fin de determinar si el canal tendrá la capacidad de captar la totalidad del precipitado (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019).

JARDÍN DE LLUVIA

El jardín de lluvia es una técnica pasiva que cuenta con una depresión poco profunda posicionada a un nivel inferior del de las superficies adyacentes, la cual recibe las aguas pluviales de las superficies impermeables cercanas para su recolección e infiltración (American Rivers, 2020; Dussaillant, Wu & Potter, 2004).

Para este caso se comienza calculando el área del jardín; para los fines de este estudio se tomarán en cuenta las superficies de los tipos de suelo con pasto, con vegetación y sin vegetación y se considerará también la lámina de precipitación para calcular el volumen de precipitación esperado [Ec. 2] y posteriormente calcular el volumen de captación de la microcuenca [Ec. 3]. Además, se realizarán los cálculos correspondientes a las capas de sustrato [Ec. 4] y filtrante [Ec. 5], considerando el 5% de volumen de vacíos para la capa de sustrato y el 40% para la capa drenante (roca/grava) de la siguiente manera (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019):

a. Volumen de la capa de sustrato:

Se multiplica el área del jardín por la profundidad de la capa de sustrato (50 centímetros) por el porcentaje de vacíos (5% para tierra)

(Ec.4)

$$Vs = A \times Ps$$

Donde:

Vs = volumen de la capa de sustrato en m³

A = área del jardín en m²

Ps = profundidad de la capa de sustrato en m (1 m = 100 cm)

b. Volumen de la capa filtrante:

Se multiplica el área del jardín por la profundidad de la capa filtrante (40 centímetros) por el porcentaje de vacíos (40% para grava)

(Ec. 5)

$$Vf = A \times Pf$$

Donde:

Vf = volumen de capa filtrante en m³

A = área del jardín en m²

Pf = profundidad de la capa filtrante en m (1m = 100 cm)

c. Capacidad total del jardín de lluvia

Por último, se suman los volúmenes de la microcuenca y de las capas de sustrato y filtrante para la obtención de volumen de captación total (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019).

CONCRETO PERMEABLE

El pavimento/concreto permeable es una de las técnicas más novedosas y utilizadas para la disminución de escorrentías superficiales. Para el diseño del tipo de pavimento permeable a implementar, Borgwardt (2006) argumenta que se deben considerar el diseño de tormenta, el volumen de entrada hacia las alcantarillas y la capacidad de infiltración del pavimento permeable.

Para el proceso de determinación del volumen de infiltración de agua pluvial en concreto permeable se procede a calcular la capacidad de infiltración mediante el producto de una ecuación sencilla que multiplica el valor del volumen de precipitación por el coeficiente de escurrimiento del concreto permeable, como se muestra en la

siguiente ecuación [Ec. 6] (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019):

(Ec. 6)

$$C_i = V \times C_e$$

Donde:

C_i = capacidad de infiltración en m^3

V = volumen de precipitación en m^3 (Ec. 2)

C_e = coeficiente de escurrimiento

DESARROLLO

DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS SUPERFICIES

Para la caracterización de las superficies se delimitaron todos los espacios que conforman las áreas comunes de los conjuntos habitacionales de interés social, tales como banquetas, calles, áreas verdes, camellones y arriates. Se midieron y clasificaron las áreas comunes según el tipo de suelo o material en cada uno de los conjuntos habitacionales de la muestra. En la tabla 4 se presentan el área total y los porcentajes según el tipo de suelo o material.

TABLA 4

Composición de los conjuntos habitacionales de interés social según el tipo de superficie.

Estrato	Nombre del conjunto habitacional	Superficie total de áreas comunes (m^2)	Distribución porcentual según el tipo de superficie (%)					
			Asfalto	Concreto	Grava	Pasto	Suelo con vegetación	Suelo sin vegetación
Norte 1	Natura Marmolina San Rosendo	9352.10	56.16	34.28	0.30	0.00	0.19	9.08
	San Rosendo	6266.37	61.96	19.94	6.53	0.00	1.89	9.68
	Puerta del Rey Secc. Senda	14624.08	66.66	21.86	0.00	0.00	0.90	10.57
	Puerta del Rey Secc. Altadena	51314.57	70.74	19.82	0.00	0.00	0.69	8.75
Norte 2	Privadas del Real Secc. II	26877.70	66.07	23.05	0.00	0.04	1.92	8.91
	Romanza Residencial	30040.40	67.01	23.14	0.00	0.00	0.60	9.26
	Privadas del Bosque Privadas Nogales	10258.95	67.34	22.46	0.00	0.00	0.30	9.91
	Pueblo Alegre	29875.52	66.34	24.55	0.00	0.04	0.74	8.33
Norte 3	San Sebastián Secc. villa Bonita	9121.54	55.00	25.51	0.00	0.14	1.53	17.81
Norte 4	Montalbán Residencial	7934.12	65.38	23.50	3.44	0.43	0.28	6.97
Oeste 1	Floresta Secc. Villa Ciruelos	14682.62	70.55	22.79	0.00	0.16	0.13	6.39
	Floresta Secc. Villa Cipreses	12944.40	70.69	22.80	0.00	0.13	0.22	6.16
	Puerta Real Residencial Etapa VII	35833.90	68.50	22.38	0.87	0.42	0.57	7.26
Oeste 2	Puerta Real Residencial Etapa III	56510.05	68.25	20.15	1.81	0.07	1.11	8.60
Oeste 3	Casa Bonita Residencial	45366.45	70.75	19.45	0.51	0.09	0.37	8.83

Estrato	Nombre del conjunto habitacional	Superficie total de áreas comunes (m ²)	Distribución porcentual según el tipo de superficie (%)					
			Asfalto	Concreto	Grava	Pasto	Suelo con vegetación	Suelo sin vegetación
Sur 1	Privada Zaires	2354.40	65.71	21.94	0.00	1.00	0.59	10.76
	Cerrada Villa Alcalá	11957.00	66.98	23.38	0.00	0.13	0.28	9.23
Sur 2	Cerrada Quinta Macuzan	7751.30	67.51	20.64	0.00	0.54	0.45	10.86
Sur 3	Cerrada Playa del Sol	11001.75	63.26	23.00	3.01	0.22	1.18	9.32
	Urbi Villa del Rey Secc. Castaños II	7880.20	68.79	21.00	1.17	0.20	0.41	8.43
Sur 4	Urbi Villa del Rey Secc. Manzanos II	8115.40	66.71	21.17	0.00	0.19	0.57	11.35
Porcentaje promedio de composición de las superficies			66.21	22.70	0.84	0.18	0.71	9.36

Nota: La superficie total corresponde a la suma de las superficies consideradas como áreas comunes.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 4, el porcentaje promedio de composición de las superficies correspondientes a grava (0.84%), pasto (0.18%), suelo sin vegetación (9.36%) y suelo con vegetación (0.71%); en conjunto, representan un porcentaje promedio de 11.09% del total de las áreas comunes. Dichos tipos de superficies se concentran principalmente en áreas verdes, como parques y áreas recreativas y de descanso. Sin embargo, se observa que el tipo de superficie con mayor porcentaje presente en dichas áreas se encuentra como suelo sin vegetación, con un coeficiente de escurrimiento de 0.40.

TÉCNICAS DE IV

Considerando los conceptos de diseño, medidas y distribución porcentual de los tipos de suelos en las áreas comunes de los conjuntos habitacionales de interés social, los cuales comparten un patrón de similitudes en los conceptos mencionados, se consideran las técnicas de IV que se pueden implementar, con el fin de lograr infiltrar el escurrimiento de aguas pluviales correspondiente a cada tipo de área. En la tabla 5 se muestra la relación entre los tipos de técnica seleccionados para este proyecto y el área de posible aplicación para cada una de ellas.

TABLA 5
Técnicas de IV por área

Área	Técnica de IV		
	Concreto permeable	Jardín de lluvia	Jardín microcuena
Arriates en banquetas		X	X
Banquetas	X		
Calles	X		
Camellones		X	X
Áreas recreativas	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

ESCURRIMIENTO DE AGUAS PLUVIALES

Para este estudio se propone utilizar las técnicas de jardín de lluvia o jardín microcuena, a fin

de adaptar los espacios de arriates, camellones y áreas recreativas con que ya se cuenta, considerando dentro de ellas solamente las superficies

que cuenten con tipo de suelo con vegetación, sin vegetación y suelo con pasto. También se considera la implementación de concreto permeable en el área de banquetas, superficies compuestas por concreto convencional en áreas recreativas y calles. Una vez propuestas las modificaciones en el diseño de los conjuntos habitacionales mediante

las aplicaciones de las distintas técnicas de IV, se realizaron cálculos de escorrentía utilizando los coeficientes correspondientes a cada una de las técnicas, como también los coeficientes correspondientes a los otros materiales utilizados, como se muestra en la tabla 6.

TABLA 6
Coeficientes de escurrimiento utilizados para los cálculos

Tipo de suelo	Coeficientes de escurrimiento
Concreto asfáltico ¹	0.83
Concreto permeable ²	0.61
Concreto hidráulico ¹	0.83
Grava ¹	0.48
Pasto ¹ *	0.34
Suelo con vegetación ¹ *	0.35
Suelo sin vegetación ¹ *	0.40

Nota: *Al aplicar una técnica de captación de IV el coeficiente de escurrimiento es igual a 0.

Fuente: ¹Datos extraídos de la tabla 3 sobre coeficientes de escurrimiento. ²(Zegarra-Tarqui, Santos-De Brito & De Fátima-Carvalho, 2015).

Para este estudio se realizaron nueve propuestas de escenarios para la aplicación de técnicas de IV. En la tabla 7 se muestra cada una de las propuestas con relación a los elementos que la

conforman, indicando el tipo de técnica que se pretende aplicar y su área de aplicación dentro de las áreas comunes del conjunto habitacional.

TABLA 7
Propuestas de aplicación de IV y sus superficies de aplicación

Técnica	Concreto permeable			Jardín de lluvia			Jardín microcuenca		
	Banqueta	Calle	Áreas recreativas	Arriates	Áreas recreativas	Camellones	Arriates	Áreas recreativas	Camellones
Propuesta									
P1	X	X	X						
P2				X	X	X			
P3				X		X			
P4							X	X	X
P5							X		X
P6	X	X	X	X		X			
P7	X	X	X				X		X
P8*				X	X	X			
P9*							X	X	X

Nota * Esta propuesta involucra duplicar en tamaño la superficie donde se propone aplicar la técnica de IV.

RESULTADOS*COMPARACIÓN DE CASOS Y TÉCNICAS DE IV*

Para las nueve propuestas presentadas en la tabla 7 se realizaron los cálculos de reducción de volúmenes de escurrimiento para cada uno de los conjuntos habitacionales de interés social que conforman la muestra, siguiendo la metodología planteada anteriormente. El porcentaje de reducción de los volúmenes de escurrimiento surge de la comparación de los volúmenes de escurrimientos calculados para cada una de las

nueve propuestas y los volúmenes de escurrimiento calculados a partir del estado actual de las superficies de estudio (ausencia de IV). Los porcentajes de volúmenes de escurrimiento de toda la muestra se promediaron para cada propuesta; tales resultados se plasman en la tabla 8, donde se observan porcentajes promedio de escurrimiento desde 24,56% hasta mayores del 100%. Los porcentajes mayores del 100% implican que las técnicas de captación propuestas en esos escenarios no son utilizadas al 100% de su capacidad para el evento de lluvia considerado en los cálculos.

TABLA 8

Porcentajes promedio de reducción de escurrimiento para las propuestas de aplicación de técnicas de IV

Volumen de escurrimiento promedio sin IV		846.23 m ³		
Propuesta	Técnicas aplicadas	Porcentaje del área donde se aplican	Volumen de escurrimiento promedio con IV (m ³)	Porcentaje promedio de reducción de escurrimiento
1	Concreto permeable	88.91 %	637.44	24.56 %
2	Jardín de lluvia en suelo descubierto	10.25 %	178.20	83.74 %
3	Jardín de lluvia en arriate y camellón	5.91 %	445.89	48.09 %
4	Jardín microcuenca en suelo descubierto	10.25 %	339.78	63.49 %
5	Jardín microcuenca en arriate y camellón	5.91%	542.71	36.46 %
6	Concreto permeable + jardín de lluvia en suelo descubierto	99.16 %	-30.58	108.31 %
7	Concreto permeable + jardín microcuenca en suelo descubierto	99.16 %	130.99	88.05 %
8	Duplicación de áreas permeables + jardín de lluvia	20.5 %	-448.14	162.26 %
9	Duplicación de áreas permeables + jardín microcuenca	20.5 %	-124.99	121.75 %

Este estudio reveló la eficiencia de la aplicación de técnicas de IV, como el jardín de lluvia en áreas de arriates y camellones dentro de las áreas comunes en conjuntos habitacionales de interés social dentro de la zona urbana de la ciu-

dad de Hermosillo, lo cual arrojó un promedio del 48.09% de reducción del volumen de escurrimiento de aguas pluviales. También sobre un jardín de lluvia, pero en Cartagena, Colombia, Franco Meza & Hincapié López (2015) realiza-

ron un estudio de balance hídrico. Dicho sistema tuvo la capacidad de infiltrar y contener agua de lluvia entre el 14% y el 51%, lo que redujo considerablemente el volumen de escorrentía.

En un estudio realizado en la comunidad urbana de Ningbo, en China, se valoró la eficacia de los jardines microcuenca en condiciones actuales y hacia el futuro, simulando un escenario en el que se traza un jardín microcuenca que abarca el 0.3% de la superficie total de investigación y que resultó en una reducción del escurrimiento de aproximadamente el 30%, para un evento de lluvia de 67.30 mm (Lu *et al.*, 2024). Este resultado de reducción es similar al obtenido para este estudio en la ciudad de Hermosillo, en el cual se obtuvo el 36.46% de reducción de los volúmenes de escurrimiento para un evento de lluvia ligeramente menor (55.5 mm) y una superficie de aplicación de 5.91%.

El concreto permeable es una técnica de infraestructura verde que puede aplicarse para reducir el volumen de escorrentía generado en áreas transitadas por vehículos automotores, peatones o ciclistas. Una simulación realizada por Zhu *et al.* (2019) en una carretera en Nanjing, China, donde se aplicaron diferentes estructuras de pavimento permeable en las superficies de calle, ciclovía y acera (72.7% del total de la superficie de interés), arrojó una reducción de la escorrentía superficial superior al 50% utilizando coeficientes de escurrimiento de entre 0.733 y 0.966. Para el caso de concreto permeable con un coeficiente de escurrimiento de 0.61 aplicado a calles y banquetas (que representan un aproximado del 88.91% de la superficie de interés), en los conjuntos habitacionales de interés social en Hermosillo, se obtuvo una reducción del escurrimiento del 24.56 %.

En cuanto a la combinación de técnicas, los resultados varían según la combinación. Para los casos donde se propone realizar una adaptación de las áreas de calles y banquetas mediante la utilización de concreto permeable en conjunto con la aplicación de jardín de lluvia o jardín microcuenca, se obtuvieron porcentajes de reducción del escurrimiento del 108.31% y el 88.05%,

respectivamente. Resultados igualmente favorables se han encontrado en estudios realizados en el estado de Hidalgo en que se han utilizado en combinación principalmente tres técnicas de IV (captación de agua de lluvia de las azoteas, zanjas de infiltración y sistemas de biorretención), y se ha obtenido reducción de los volúmenes de escurrimiento desde el 94.1% hasta más del 100%, utilizando eventos de lluvia de entre 9 mm y 39 mm (Bigurra-Alzati *et al.*, 2020; Zúñiga-Estrada, *et al.*, 2022).

Por otra parte, para las propuestas donde se plantea realizar la duplicación de las áreas permeables y la aplicación de las técnicas de IV de captación en dichas áreas en el presente estudio, el porcentaje promedio de reducción del escurrimiento para el caso de duplicación de áreas en conjunto con jardín de lluvia fue del 162.26 % y del 121.75 % para la duplicación con jardín microcuenca.

CONCLUSIONES

Este estudio determina la eficacia de la integración de IV para la mitigación de inundaciones en conjuntos habitacionales de interés social ubicados en la zona urbana de la ciudad de Hermosillo, Sonora. Con esto se logra demostrar que la IV es una buena opción para este tipo de espacios en una ciudad que, a pesar de encontrarse en una zona desértica, con pocos días de lluvia al año, presenta inundaciones y encharcamientos, ya que en esos pocos días de lluvia se pueden presentar precipitaciones altas, como las consideradas en los cálculos del presente estudio. Esto, sumado a los altos porcentajes de impermeabilización de las superficies, la ausencia de IV y la ausencia de drenaje pluvial en estos conjuntos habitacionales, agrava la situación.

Una de las conclusiones del estudio es que es necesario considerar primeramente algunos aspectos estructurales y el porcentaje promedio destinado a áreas verdes en los conjuntos habitacionales, áreas que se pueden adaptar fácilmente para la implementación de técnicas de

IV de captación. No obstante, aunque en algunos conjuntos analizados las áreas verdes podrían ser suficientes, las razones por las cuales continúan presentándose escurrimientos bastos, encharcamientos e inundaciones radican en la ausencia de la adaptación de las infraestructuras para la captación y la infiltración del agua de lluvia, porque las áreas verdes están conformadas en su mayoría con suelo sin vegetación, lo que no promueve la infiltración del agua de lluvia.

De la aplicación de las técnicas de jardín de lluvia y jardín microcuenca en arriates, en camellos y en todas las áreas con suelo descubierto existentes dentro de los conjuntos habitacionales, los resultados de disminución del escurrimiento fueron favorables, lo que indica que es posible lograr la reducción de encharcamientos e inundaciones dentro de los conjuntos habitacionales utilizando técnicas de adaptación de espacios. Sin embargo, para lograr una mayor eficiencia respecto de la reducción de escorrentías que ocasionan inundaciones y encharcamientos, es necesario complementar las técnicas de adaptación de los espacios con otras técnicas, como la de concreto permeable propuesta. Además, también es recomendable considerar para futuros desarrollos duplicar en tamaño la superficie con suelo descubierto para la aplicación de técnicas de IV de captación.

La implementación de técnicas de IV en las superficies permeables que normalmente se destinan en los conjuntos habitacionales de interés social de la zona urbana de Hermosillo no es suficiente para prevenir inundaciones y encharcamientos provocados por un evento de precipitación de 55.5 mm. Sin embargo, es posible mitigar las escorrentías pluviales con la combinación de la técnica de jardín de lluvia aplicada en superficies permeables que normalmente se destinan en los conjuntos habitacionales de interés social en conjunto con concreto permeable aplicado en calles y banquetas.

Entre las limitaciones del estudio se encuentran las siguientes: 1. La muestra está conformada solamente por las áreas comunes de los conjuntos habitacionales de interés social y, por lo tanto,

no se toman en consideración para los cálculos los escurrimientos que pudieran derivar del interior de los predios de las viviendas, en el caso de que no se absorba toda el agua en el interior de ellos. 2. Para las propuestas de jardín de lluvia y microcuenca se considera una sola opción de espesor para sus respectivas capas, aunque hay otras opciones técnicamente viables que podrían aumentar o disminuir su capacidad de captación. 3. No se toman en consideración la topografía de cada uno de los conjuntos habitacionales, y esto puede condicionar si la ubicación actual de las áreas verdes es idónea para la aplicación de técnicas de captación.

REFERENCIAS

- Abellán, A. (19 de abril de 2016). *IAGUA*. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/ana-abellan/impactos-urbanizacion-ciclo-agua>. Consultado: 9 de julio de 2024.
- American Rivers (2020). *American Rivers*. Disponible en: <https://www.americanrivers.org/resource/sonoran-desert-green-infrastructure->. Consultado: 30 de enero de 2023.
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Limusa. Disponible en: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-_Aparicio.pdf. Consultado: 8 de diciembre de 2023.
- Balmaseda Ulacia, R. (2014). La infraestructura verde como sistema de captación de agua de lluvia. *Impluvium Periódico digital de divulgación de la Red del Agua UNAM*(1). Disponible en: <https://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero01.pdf>. Consultado: 26 de noviembre de 2022.
- Bigurra-Alzati, C., Ortiz-Gómez, R., Vázquez-Rodríguez, G., López-León, L. & Lizárraga-Mendiola, L. (2020). Water Conservation and Green Infrastructure Adaptations to. *Water*, 13(1), 1-17. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.3390/w13010045>
- Borgwardt, S. (2006). Long-Term In-situ Infiltration Performance of Permeable Concrete Block Pavement. *8th International Conference on Concrete Block Paving*. Disponible en: <https://>

- citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=ecf27166fb321a21b6877odd-979ce401ea7b25bf. Consultado: 2 de febrero de 2023, de
- Calaza, P. (diciembre de 2019). *Xardinería e paisaxismo en Galicia: Recursos e novos enfoques*. P. Ramil Rego & L. Gómez Orellana (Ed.). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/340874296_Infraestructura_verde_Sistema_natural_de_salud_publica. Consultado: 11 de febrero de 2023.
- Castro Fresno, D., Rodríguez Bayón, J., Rodríguez Hernández, J. & Muñoz, B. (2005). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). *Interciencia*, 30(5), 255-260. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33910403>. Consultado: 14 de diciembre de 2022.
- Comisión Europea (2013). *European Union*. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0474>. Consultado: 13 de noviembre de 2022.
- Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI] (2017). *Gobierno de México*. Consultado: Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/383811/C_digo_de_Eficaci_n_Vivienda_2017__SEDATU.pdf. 8 de diciembre de 2023.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2023). *Base de datos climatológicos, estación Observatorio*. Hermosillo, Sonora: Dirección de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.
- De Lucio, J. V. (2016). *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_AM/PDF_AM_Ambienta_2016_115_60_75.pdf. Consultado: 28 de noviembre de 2022.
- Dirección de Vialidad. Gobierno de Chile (2018). *Portal Construcción*. Disponible en: https://portal.ondac.com/601/articles-59868_doc_pdf.pdf. Consultado: 8 de diciembre de 2023.
- Dussaillant, A. R., Wu, C. H. & Potter, K. W. (2004). Richards Equation Model of a Rain Garden. *Journal of Hydrologic Engineering*, 9(3), 219. Disponible en: doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(2004)9:3(219)
- Fazeli Tello, D. & Del Moral Ituarte, L. (2021). La infraestructura verde y sus potencialidades para la regeneración de territorios fluviales: ejemplos de buenas prácticas a diferentes escalas. *Agua y Territorio*(18), 39-59. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.17561/at.18.5234>
- Franco Mesa, X. M. & Hincapié López, D. E. (2015). *Evaluación del balance hídrico de un jardín de lluvia a escala piloto en el campus Piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena*. Universidad de Cartagena.
- Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN] (2019). *Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo*. Disponible en: http://www.implanhermosillo.gob.mx/wp-content/uploads/2019/06/Manual_IV3.pdf. Consultado: 30 de enero de 2023.
- Liu, W., Chen, W. & Peng, C. (2015). Influences of Setting Sizes and Combination of Green Infrastructures on Community's Stormwater Runoff Reduction. *Ecological Modelling*, 318, 236-244. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.11.007>
- Lizárraga-Mendiola, L., Vázquez-Rodríguez, G. A., Lucho-Constantino, C. A., Bigurra-Alzati, C. A., Beltrán-Hernández, R. I., Ortiz-Hernández, J. E. & López-León, L. D. (2017). Hydrological Design of Two Low-Impact Development Techniques in a Semi-Arida Climate Zone of Central Mexico. *Water*, 9(8), 1-18. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.3390/w9080561>
- Lu, L., Johnson, M., Zhu, F., Xu, Y., Ruan, T. & Chan, F. K. (2024). Harnessing the Runoff Reduction Potential of Urban Bioswales as an Adaptation Response to Climate Change. *Scientific Reports*, 14(1), 1-14. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-024-61878-7>
- Martínez Arias, M. d., Castellanos López, M. Á. & Chacón Gómez, J. C. (2014). *Métodos de investigación en psicología*. EOS. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=825240>. Consultado: 20 de junio de 2023.
- Moler, C. (1984). Matlab [Software].
- Naciones Unidas (2015). *Naciones Unidas*. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>. Consultado: 10 de diciembre de 2022.
- Pauleit, S., Ambrose-Oji, B., Andersson, E., Anton, B., Buijs, A., Haase, D., . . . Hansen, R. (2019). Advancing Urban Green Infrastructure in Europe: Outcomes and Reflections from the Green Surge Project. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 4-16. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.10.006>

- Pérez, C. (2010). *Técnicas de muestreo estadístico*. Ibergarceta Publicaciones, Consultado: 15 de junio de 2023.
- Rivera Torres, C., Arredondo Vega, J. A. & Padrés León, E. (2019). Buenas prácticas de la infraestructura verde: su aportación como red estratégica de planeación. *Terra Plural*, 13(1), 53-175. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v13i1.0010>
- Salinas González, H., Echavarría, F. G., Flores-Najera, M. J., Flores-Ortiz, M. A., Gutiérrez, R., Rumayor, A., . . . & Pastor, F. (2011). Evaluación participativa de tecnologías en caprinos en el semiárido del norte centro de México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17, 17(spe), 225-234. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.11.106>
- Sañudo-Fontaneda, L. A., Roces-García, J., Coupe, S. J., Barrios-Crespo, E., Rey-Mahía, C., Álvarez-Rabanal, F. P. & Lashford, C. (2020). Descriptive Analysis of the Performance of a Vegetated Swale through Long-Term Hydrological Monitoring: A Case Study from Coventry, UK. *Water*, 12(10). doi: Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w12102781>
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (2013). *Diario Oficial de la Federación*. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5312875&fecha=04/09/2013#gsc.tab=0. Consultado: 6 de marzo de 2024,
- State Water Resources Control Board CA, USA Government (2011). *State Water Resources Control Board*. Disponible en: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/513.pdf. Consultado: 8 de diciembre de 2023.
- Suppakittpaisarn, P., Jiang, X. & Sullivan, W. C. (diciembre de 2017). Green Infrastructure, Green Stormwater Infrastructure, and Human Health: A Review. *Current Landscape Ecology Reports*, 2, 96-110. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.1007/s40823-017-0028-y>
- Synthetic Turf Council (2017). *Synthetic Turf Council*. Disponible en: <https://www.syntheticurf-council.org/page/guias>. Consultado: 8 de diciembre de 2023.
- The CivilWeb Foundation Design Spreadsheet Suite (2023). *CivilWeb Spreadsheets Engineering Calculations & Spreadsheets*. Disponible en: <https://civilweb-spreadsheets.com/drainage-design-spreadsheets/runoff-and-rainfall-intensity-calculator-spreadsheet/rational-method-runoff-coefficient/>. Consultado: 10 de diciembre de 2023.
- Thompson, D. B. (enero de 2007). Disponible en: https://www.campus-virtual.mineria.unam.mx/Mineria/Cursos/HVT/Unidad3/pdf/RM_U2.pdf. Consultado: 10 de diciembre de 2023.
- us Government (14 de enero de 2019). *Congress.gov*. Disponible en: <https://www.congress.gov/115/plaws/publ436/PLAW-115publ436.pdf>. Consultado: 2 de diciembre de 2022.
- Valdivielso, A. (s/f). *IAGUA*. <https://www.iagua.es/respuestas/sistema-drenaje-pluvial>. Consultado: 9 de julio de 2024.
- Valladares Ros, F., Gil Hernández, P. M. & Forner Sales, A. (2017). *El Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente*. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/basescientifico-tecnico-caseivcre_tcm30-479558.pdf. Consultado: 16 de febrero de 2023.
- Zegarra-Tarqui, J., Santos-De Brito, J. & De Fátima-Carvalho, M. (2015). Esgurrimiento en pavimentos de bloques de suelo-cemento: un abordaje experimental. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 35-47. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432015000100004&lng=es&tlng=es. Consultado: 13 de agosto de 2024.
- Zhu, H., Yu, M., Zhu, J., Lu, H. & Cao, R. (2019). Simulation Study on Effect of Permeable Pavement on Reducing Flood Risk of Urban Runoff. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 8(4), 373-382. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2018.12.001>
- Zúñiga-Estrada, M., Lizárraga-Mendiola, L., Bigorra-Alzati, C., Aldana-Alonso, S., J. R.-N. & Vázquez-Rodríguez, G. (2022). Preliminary Model-Based Evaluation of Water Conservation Strategies in a Semi-Arid Urban Zone. *land*, 11(1), 1-20. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.3390/land11010101>