

DISEÑO DEL ESPACIO URBANO PARA LA GESTIÓN SUSTENTABLE DE AGUAS PLUVIALES.

Caso de estudio: “BARRIO 126 VIVIENDAS” DE YERBA BUENA, TUCUMÁN.

**Marta S. Cisterna¹, Sandra G. Márquez Vega¹, Luciano M. Garbero¹,
Cintya Villa¹, Sebastián Atencia Gualda¹.**

¹Centro de Estudios Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable (CEEHAS). Instituto de Acondicionamiento Ambiental (IAA). Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional de Tucumán. Av. Roca 1900, S.M. de Tucumán, CP 4000, Tucumán. www.ceehas.org.ar
Tel. (54) (381) 4364093, interno 114.

Email mcisterna@herrera.unt.edu.ar - sgmarquezvega@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN: En un contexto global cada vez más urbanizado, es urgente producir marcos conceptuales y conocimiento empírico sobre el entorno construido para su adecuación sustentable con el ecosistema. En concordancia, se presentan estrategias de diseño para dar respuesta a problemas detectados en el Barrio 126 Viviendas, elegido como caso de estudio. Construido por el Instituto Provincial de Vivienda y Desarrollo Urbano IPVDU-Tucumán, se encuentra en el municipio de Yerba Buena, en el sector adyacente al cerro San Javier, en una zona caracterizada por el crecimiento urbano, con obras de infraestructura y viales, lo cual ha modificado los ecosistemas y el paisaje natural. A partir de relevamientos, entrevistas y del análisis de documentos planimétricos, se detectaron problemas por la inadecuada gestión del agua de lluvia que ocasiona inundaciones en el barrio y en zonas adyacentes. Se proponen estrategias de diseño que consideran los ecosistemas del piedemonte e integran los espacios verdes, arbolado, caminerías, calzadas y veredas del barrio, con un sistema urbano de drenaje sustentable SUDS. Se verifica que la propuesta constituye una solución adecuada, con importantes beneficios para la comunidad y el medio ambiente. Se recomienda su incorporación como estrategia de prevención primaria en las normativas, tanto municipales como del IPVDU.

Palabras clave: drenajes urbanos sustentables, infraestructura verde, estrategias de diseño.

INTRODUCCIÓN

El actual desarrollo urbano impulsa múltiples cambios ambientales globales que causan perturbaciones en la vida urbana y los ecosistemas y nos enfrenta a nuevos desafíos (Frantzeskaki et al., 2019). El modelo tradicional de desarrollo urbano no integra la naturaleza, como consecuencia, crea ciudades que retienen el calor, aumentan el riesgo de inundaciones y desplazan a las comunidades ecológicas. Ante este escenario, se plantea el desafío de pensar nuevos modelos, eficientes y sustentables, que integren la naturaleza y funcionen en armonía con los ecosistemas. En este sentido, los sistemas de infraestructura urbana basados en la naturaleza ofrecen soluciones innovadoras para adecuar las ciudades y contribuir a la sostenibilidad, a la equidad y al bienestar humano (McPhearson et al., 2022). Su diseño integra elementos ecológicos, como suelos, agua, vegetación, comunidades microbianas, etc. Los suelos proporcionan o facilitan un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que influyen en el desarrollo de especies vegetales, de comunidades de aves, de insectos, y en la cantidad y calidad del agua. La vegetación desempeña múltiples funciones: influye en la temperatura urbana mediante el sombreado y la evapotranspiración, retiene el agua, sus raíces brindan cohesión, refuerzan la estructura del suelo y reducen su erosión en la capa superficial (Coutts et al., 2013). También presenta otros beneficios debido a que influye en la hidráulica del agua absorbida o transportada al reducir la velocidad del flujo y el potencial erosivo asociado, facilita la sedimentación y la captura de partículas arrastradas



(Sabokrouhiyeh et al., 2020), absorbe nutrientes y otros contaminantes de las aguas subterráneas (Berland et al., 2017). El diseño urbano basado en considerar los ecosistemas busca fomentar la resiliencia y brindar beneficios sociales y económicos. La restauración y el mantenimiento de los ecosistemas promueve la biodiversidad, las interacciones entre los seres humanos y la naturaleza, y amortigua los efectos del cambio climático (Gann et al., 2019).

En la investigación propone la incorporación de estrategias de diseño para la implementación de un sistema urbano de drenaje sustentable SUDS en un barrio ubicado en el piedemonte tucumano, zona con un importante reservorio de biodiversidad. El Área Metropolitana de Tucumán (AMeT), está integrada por el municipio Capital, Tañi Viejo, Yerba Buena, Las Talitas, entre otros. La pendiente general de su territorio determina la interrelación hidráulica entre esas demarcaciones. El agua pluvial caída al oeste del río Salí, proveniente de Tañi Viejo, Las Talitas y Yerba Buena, en líneas generales, escurre en dirección noroeste-sudeste, hacia la Capital, la que está circundada por dos canales protectores de gran magnitud: el Canal Norte y el Canal Sur, y otro menor, el Canal San José. Ambos canales mayores fueron concebidos en su origen como cinturón perimetral protector de la Capital, recibiendo aguas pluviales de cuencas más permeables que las actuales. La expansión urbana y la transformación de suelos agrícolas ocurridas posteriormente a la creación de ambos canales, significaron enormes incrementos de la escorrentía. Sumados a problemas de defectos de ingeniería, de construcción, de escaso mantenimiento y la avanzada destrucción, hoy presentan un notorio deterioro e insuficiencia para el escenario actual (Adler, 2014).

El clima de San Miguel de Tucumán, cálido subtropical con estación seca en invierno, posee un régimen de lluvias de tipo monzónico, estacional y torrencial. Hay un período lluvioso y otro seco. Cada uno abarca un semestre. Inviernos y primaveras secas contrastan con veranos y otoños húmedos. Durante los meses de octubre a abril se concentra más del 90% de la precipitación anual, la cual usualmente supera los 1000 mm (Lazarte Sfer y Roger Paz, 2012). En algunas localidades, como San Miguel de Tucumán y Yerba Buena, el día 8 de marzo de 2025, se registraron las lluvias previstas para todo el mes. Según Cristófer Brito (2025) “...en la capital, el promedio histórico de lluvia para todo marzo es de 134 milímetros, sin embargo, en algunas zonas se registraron más de 130 milímetros en cuatro horas...” El volumen de agua caída en un corto periodo de tiempo produjo fuertes corrientes de agua en el ámbito urbano. Lluvias de esta magnitud, frecuentes de octubre a marzo, provocan inundaciones tanto urbanas como rurales. Las mismas se relacionan no solo con la magnitud de las precipitaciones sino también, y muy conexas, con diversos factores humanos, como el mal uso del suelo, las deforestaciones, las urbanizaciones sin planificación y sin previsión de las obras de infraestructura necesarias, la falta de mantenimiento de ellas y el avanzado deterioro en que caen consecuentemente. En la figura 1 se muestran los canales que forman parte del actual sistema de desagüe pluvial del sector oeste de la provincia, y las áreas con amenazas de inundación, que afectan al barrio en estudio.

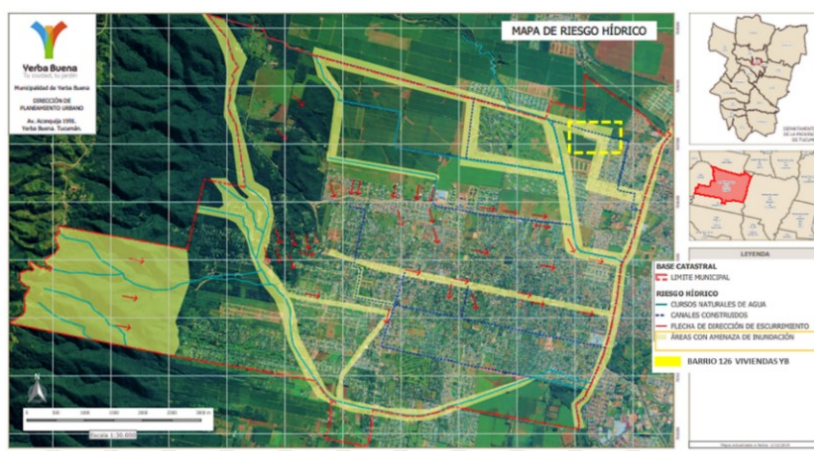


Figura 1: Mapa de Riesgo Hídrico, Yerba Buena, Tucumán. Fuente:

https://www.yerbabuena.gob.ar/wp-content/uploads/2024/05/mapa_riesgo_hidrico.pdf

Ante los escenarios de riesgo, se requieren diversas acciones sostenidas en el tiempo, que demandan esfuerzos de organización, planificación y ejecución complejos. Entre las acciones significativas se

plantea la necesidad de establecer zonas de contención temporaria de aguas, que obren como acumuladoras, y retarden la confluencia hacia los colectores de desagüe. En esta dirección, y como respuesta a los problemas detectados en el Barrio 126 Viviendas de Yerba Buena (Cisterna et al., 2024), se proponen estrategias para el diseño del espacio público, con opciones sostenibles para mejorar la gestión del agua de lluvia. Conjuntamente se propone arbolado urbano que aporta valor paisajístico al barrio, en consonancia con los ecosistemas naturales de la zona. Finalmente se plantean recomendaciones para ser incorporadas por el IPVDU en futuros emprendimientos.

Metodología

Para la investigación se eligió como caso de estudio el Barrio 126 Viviendas, de Yerba Buena, Tucumán. Se llevaron a cabo relevamientos de las condiciones físicas del barrio y su entorno: de los espacios verdes, veredas, calzadas, arbolado, y los desagües pluviales urbanos. También se consultaron documentos planimétricos, históricos y periodísticos, y se realizaron entrevistas en la Dirección Provincial del Agua de Tucumán. A partir del análisis de datos, se elaboraron estrategias de diseño.

Caso de estudio: Barrio 126 Viviendas – Yerba Buena – Tucumán

El barrio se encuentra en la zona del piedemonte del cerro San Javier, zona de transición entre la sierra y la llanura que presenta suaves pendientes y alberga una gran riqueza biológica. Incluye el 24% del total de especies de aves del país. Entre sus funciones biológicas se encuentra la de proteger la flora y fauna autóctonas y las cuencas hídricas, asegurando el suministro de agua para consumo y actividades agrícolas. Los suelos están constituidos con los sedimentos acarreados por los numerosos ríos, arroyos y torrentes que descienden del área montañosa. La vegetación natural corresponde al piso inferior del bosque montano subtropical conocido como “Las Yungas”. El importante proceso de condensación en las laderas de las sierras ha permitido el desarrollo de numerosos ríos y arroyos que drenan en sentido oeste-este hasta desaguar su caudal en el principal eje colector de la provincia, es decir, el río Salí. La zona de ubicación del barrio presenta mayor nivel topográfico en su lado noroeste (507 m) y menor en el sector sudeste (501 m), con una pendiente aproximada del 2% (0.020 m por metro), como se observa en el mapa topográfico de Tucumán de la figura 2.



Figura 2: Mapa topográfico de Tucumán, altitud, relieve. Fuente: Mapa topográfico Tucumán. Mapa Interactivo: <https://es-ar.topographic-map.com>

En entrevistas personales con la directora de Estudios y Proyectos de la Dirección Provincial del Agua de Tucumán, (F. Nani, comunicación personal, 20 de mayo de 2025) manifestó que, en los barrios adyacentes Bernel I y II se producen inundaciones por el escurrimiento de un gran volumen de agua proveniente de los barrios ubicados en terrenos del sector oeste, zona de mayor altura. Esta situación no ha sido considerada al planificar el barrio, el agua de lluvia desciende por las calles y por otras superficies impermeables, llegando rápidamente a los barrios ubicados en terrenos aguas abajo. Entre los cursos de agua se encuentra el canal Cainzo-Las Piedras que deriva un brazo hacia la calle Roca, al norte del barrio. Esta derivación del canal ha sido cerrada, lo que produce que parte del agua de lluvia se encauce ahora por las calles del barrio. Como una forma de atenuar estos problemas, se proponen

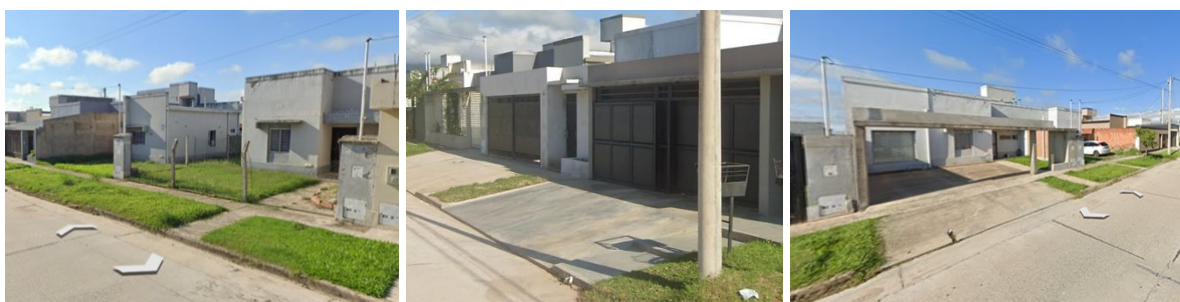
estrategias de diseño del espacio público, con integración de infraestructura verde y superficies absorbentes, que retienen el agua de lluvia para ralentizar la escorrentía hacia las zonas aledañas y evitan así futuras inundaciones. Se propone un sistema urbano de drenajes sostenible (SUDS) que ofrece una alternativa al sistema unitario de colectores, aplicado actualmente con el fin de deshacerse de la escorrentía en forma rápida. La propuesta se basa en recoger, infiltrar, ralentizar, almacenar, transportar y tratar la escorrentía en el sitio, para mantener la hidrología local (Brown et al., 2009). El SUDS propone la integración de la infraestructura verde para retener y gestionar la escorrentía del agua de lluvia proveniente tanto de las zonas verdes como del entorno pavimentado, impermeable. Además de los beneficios directos relacionados con el agua, los SUDS poseen el potencial de proveer vegetación combinada con agua visible, brindar servicios ecosistémicos, protección de la biodiversidad, la regulación del microclima, la recreación, mejorar el paisajismo y la estética del lugar (Hoang y Fenner, 2016; Mak et al., 2017).

Estrategias de diseño para la gestión de aguas pluviales

Para la gestión sustentable del agua de lluvia se proponen tres estrategias que consisten en:

- 1 - Complementar la red de cañerías de desagüe pluvial con zanjas de drenaje, vegetadas, abiertas, con un sistema de biorretención filtrante y cañerías subterráneas (conductales) perforadas.
- 2 - Incorporar elementos al sistema urbano de desagües sustentables que permitan la retención del agua de lluvia.
- 3 - Maximizar la cantidad de elementos para la retención, filtración y escurrimiento del agua de lluvia.

Las estrategias combinan elementos que pueden aplicarse en diferentes etapas y presentan diferentes beneficios. Se analiza su aplicación en el Barrio 126 Viviendas de YB, el cual se desarrolla en cuatro manzanas rectangulares con orientación Norte-Sur. Cuenta con cuatro espacios verdes, uno de los cuales fue planteado como una superficie para retención de agua de lluvia, pero no ha sido acondicionado para cumplir dicha función. La superficie total de espacio verde público es de 3078m², denota que existe un déficit de aproximadamente 1500m² para cumplir con los 9m² de espacio verde por habitante, establecido por la Secretaría de Vivienda en los estándares mínimos de calidad para barrios de viviendas de interés social (Plan Nacional de Viviendas, 2019). El espacio urbano no cuenta con tratamiento, carece de arbolado y de equipamiento, además, la falta de tratamiento del espacio exterior impacta negativamente en las condiciones ambientales y en la estética del barrio. Sobre la infraestructura urbana, la escorrentía del agua de lluvia es ineficiente y se producen inundaciones durante y después de las tormentas, principalmente en las calles y en uno de los espacios verdes. Las manzanas del barrio originalmente presentaban en las veredas un porcentaje de superficie verde, permeable y parquizada, superior al 60% del área total de las mismas. Este valor cumple con el Código de Ordenamiento Urbano de Yerba Buena, (1994) que refiere “*Circulaciones peatonales: definiéndose una zona de caminera (40%) y otra zona parquizada (60%). Arbolado: En la zona denominada parquizada de la vereda es obligatorio plantar un árbol cuya especie determinarán los organismos municipales competentes*”. En el barrio el 54,7 % de las viviendas no cuentan con arbolado. También al observar la evolución y desarrollo de los espacios verdes, se registra la tendencia a impermeabilizar las superficies verdes de veredas y jardines, con caminerías de acceso para los vehículos (figuras 3, 4 y 5). Esto genera una pérdida de superficie permeable importante, pasando de un promedio de 67,7% de superficie verde original, a un promedio de 35,3% de superficie verde actual, lo que representa una reducción del 52%.














Figuras 3, 4 y 5: Vereda original y veredas con las reformas realizada por los vecinos del barrio.

Fuente: Google Earth.

Estrategias para mejorar la gestión del agua pluvial en el Barrio 126 Viviendas de YB – Tucumán

El suelo de la zona del piedemonte es mayormente con textura franco limosa, presenta equilibrio entre retención de agua, drenaje, fertilidad y aireación (Puchulu y Fernández, 2014). El sistema propuesto mejora la calidad de las aguas pluviales al reducir la carga de sedimentos, de minerales no deseados y otros contaminantes que arrastra la escorrentía de superficies impermeables, mejora la capacidad de los SUDS para almacenar y asegurar la disponibilidad de agua para la vegetación y mejora la biodiversidad a través de procesos ecológicos. Ver tabla 1 y figura 6 con estrategias propuestas.

Tabla 1: Sistemas SUDS propuestos y superficie de uso de los mismos.

Descripción	Objetivo	Elementos	Área aprox. (m ²)
1 - Complementar la red de tuberías por cunetas o zanjas vegetadas abiertas, con un sistema de biorretención filtrante del agua de lluvia urbana.			
Complemento de la red de desagües existente en calles y en espacios verdes con canales drenante, abiertos.	Retener y desviar el agua del sitio mediante estructuras vegetales superficiales y una red de drenaje de tuberías complementaria. También se proponen jardines de lluvia para promover el tratamiento in situ.	Zanjas de biorretención 	2000 m ² de zanja
		Jardines de lluvia 	40% de la sup. de espacio verde. 1543.20 m ²
		Total	3543.20 m ²
2 - Incorporar elementos SUDS que permitan la retención del agua de lluvia urbana.			
Incorporación de elementos que permiten la retención de agua especialmente en espacios verdes públicos. Se sustituye parte caminerías tradicionales por superficies permeable.	Incorporar drenajes adicionales con capacidad de retención local, sin comprometer otras funciones urbanas como las conexiones de tránsito y la recreación. El uso de cubiertas verdes se propone para sup. semicubiertas: galerías, cocheras.	Zanjas de biorretención 	2000 m ² de zanja
		Jardines de lluvia 	1543.20 m ²
		Techos verdes 	Sup. Aproximada (15 m ² por vivienda) 1900 m ²
		Pavimentos permeables 	1008 m ²
		Total	6451.20 m ²
3 - Maximizar la cantidad de elementos SUDS para la retención, filtración y escurrimiento del agua de lluvia.			
Se propone maximizar la cantidad de elementos en función de su capacidad para almacenar e infiltrar aguas pluviales: techos verdes, veredas y calles con superficies permeables, uso de jardines de lluvia extendidos. Los espacios verdes se utilizan íntegramente para la gestión de aguas pluviales.	Maximización de la cantidad de elementos de drenaje sustentable para retener, almacenar, filtrar, absorber y devolver parte del agua de lluvia a napas freáticas naturales.	Zanjas de biorretención 	2000 m ² de zanja
		Jardines de lluvia 	1543,20 m ²
		Techos verdes 	Sup. Aprox. (15 m ² por vivienda) 1900 m ²
		Pozos infiltración 	4 pozos de 10m ³ cada uno: total 40m ³
		Pavimentos permeables 	1008 m ²
		Total	6451.20 m ² y 40m ³

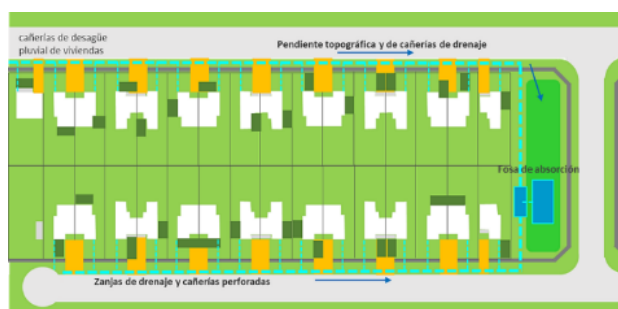


Figura 6: Elementos SUDS propuestos en el estudio. Fuente: elaboración propia.

Sistema de zanjas drenantes vegetadas

El terreno de emplazamiento del barrio presenta pendientes entre 1,2% y 1,7%, coincidente con los niveles topográficos que brindan un adecuado escurrimiento del agua de lluvia en los sistemas planteados. Se proponen zanjas drenantes de infiltración, que funcionan, en casos de inundaciones menores, para el tratamiento y conducción de las aguas pluviales. El sistema de filtrado se instala en la base de la zanja y proporciona un pretratamiento de las aguas, con la eliminación de sedimentos de grueso o mediano tamaño, la vegetación forma parte del sistema de biorretención que elimina las partículas más finas y los contaminantes asociados. Este sistema se propone para los bordes de las calzadas, en las cuatro manzanas del barrio. Recibe el agua proveniente de las superficies impermeables, también el agua de lluvia excedente de las superficies permeables como los jardines, además del agua de lluvia de las viviendas, de veredas y parte de las calzadas. Se disponen caminerías para el cruce de las zanjas hacia las viviendas, para impedir que el tránsito peatonal y vehicular produzca la compactación y altere el funcionamiento. Cada tramo de zanja conducirá el agua excedente, a través de cañerías, hacia pozos subterráneos de desborde, ubicados en los espacios verdes del barrio. En la figura 7 se muestra la disposición propuesta de las zanjas de biorretención en el barrio. Se plantea la necesidad de la apertura del cordón cuneta en ciertos tramos, para favorecer el vertido de agua de lluvia a las zanjas, cuyo nivel se encuentra por debajo del nivel del mismo. En las figuras 8 y 9 se muestra la situación actual y la propuesta de diseño.

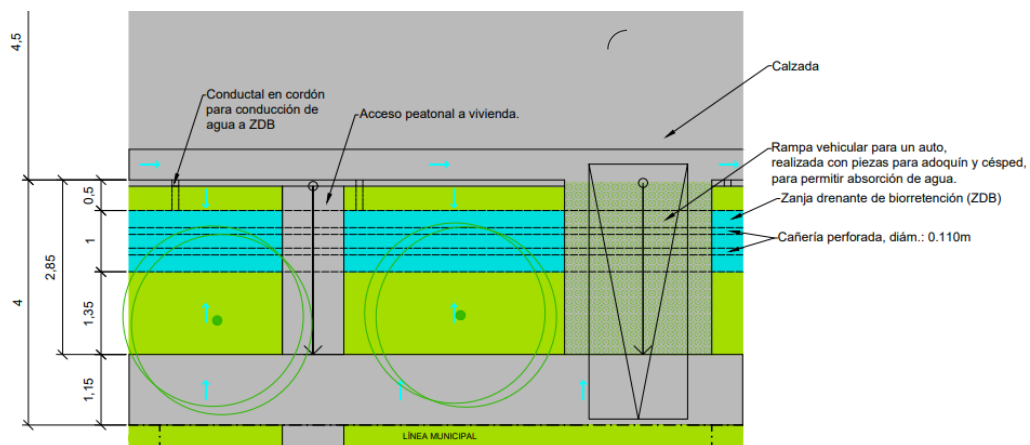


Figura 7: Planta del sector frente a las viviendas con la propuesta de zanja drenante de biorretención y caminería de entrada para un vehículo. Fuente: elaboración propia.



Figuras 8 y 9: Espacio público actual y fotomontaje con la propuesta. Fuente: Elaboración propia.

Las zanjas constan de un medio filtrante de marga arenosa, que es un suelo fértil, con buen drenaje y capacidad de retención de agua. Luego se requiere una capa de drenaje para transportar el agua tratada a los desagües subterráneos perforados, ésta rodea las tuberías perforadas del desagüe subterráneo y puede ser arena gruesa o grava fina. Si se utiliza grava fina, se recomienda instalar una capa de transición de arena o un geotextil para evitar que el medio filtrante pase a las tuberías perforadas. El sistema funciona filtrando las aguas superficiales a través de la vegetación y luego percolando la escorrentía a

través de medios de filtración fina, de retención prolongada y cierta captación biológica. Estos medios también retardan el flujo en caso de tormentas y son eficientes en la eliminación de contaminantes.

Dimensionado de las cañerías de desagüe de las zanjas de biorretención y los conductales.

El dimensionado se realiza aplicando el denominado método racional, es una técnica hidrológica utilizada para calcular el caudal máximo de una cuenca (González Del Tánago, 1989). Se basa en una fórmula empírica simple (Ec.1) que relaciona la intensidad de la lluvia típica de la localidad, el área de la cuenca (superficies que vierten agua de lluvia al sistema de desagüe) y un coeficiente de escorrentía de las superficies consideradas, para determinar el caudal máximo que recibe un sistema de desagües:

$$Q = 0.278 CR \times I \times A \quad (1)$$

Donde:

Q: Caudal máximo (m³/s)

CR: coeficiente de escorrentía C y CRponderado= $\Sigma(C * A) / \Sigma A$ (Tabla 1)

I: Intensidad media máxima de lluvia considerada (mm/h) en función de la duración y la recurrencia (Curvas figura 10)

A: Área de la cuenca (km²) (tabla 2)

El método presupone que la lluvia total presenta uniformidad espacial y temporal, siendo su duración igual al tiempo de concentración de la cuenca. Consecuentemente, la lluvia neta también debe presentar tales características y la tasa de infiltración debe ser constante.

Tabla 2: Coeficientes de escorrentías C de las superficies consideradas.

Tipo de superficie (Figura 4)	Área (m ²)	Coef. de escorrentía	(C x A)
Techos de las viviendas	960	0.95	912
Terreno libre de viviendas	3132	0.30	939.60
Cubiertas verdes	240	0.60	144
Senda peatonal pública semipermeable, pend. mínima.	126	0.35	44.10
Espacio verde en veredas permeable, pend. mínima	482	0.15	72.30
Calzada (mitad)	760.5	0.95	722
	5700.5	Cponderado=0.50	2834

Curvas de intensidad-duración-tiempo de retorno de lluvias máximas de la localidad.

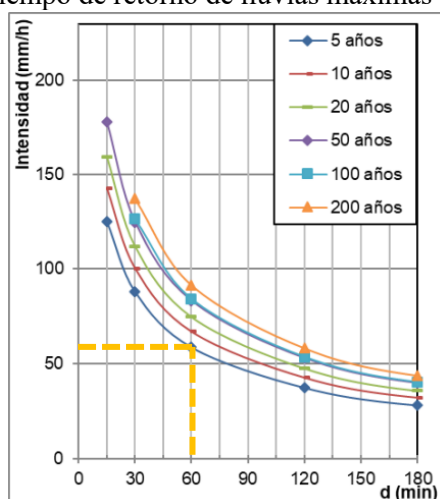


Figura 10: Función i-d-t para San Miguel de Tucumán. (Bazzano 2019). Intensidad 60 (mm/h) para duración de la lluvia=60min., Tiempo de retorno=5años.

$$Q = 0.278 CR \times I \times A \quad (1)$$

$$Q = 0.278 * 0.50 * 60 \text{ (mm/h)} * 0.0057 \text{ (km}^2\text{)}$$

$$Q = 0.047 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Considerando que el caudal se determina con el área y la velocidad (Ec. 2):

$$Q = A \times V \quad (2)$$

Donde A: Área de la sección y V: Velocidad del flujo

Para determinar el área de la cañería que se dispondrá en la zanja, consideramos una velocidad de 2 m/s (velocidad del agua en una tubería plástica, como PVC): $V=2 \text{ m/s}$

$$A = 0.047 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) / 2 \text{ m/s}$$

$$A = 0.0235 \text{ m}^2 \text{ (2 cañerías de } \varnothing 0.10\text{m)}$$

Se dispondrán 2 cañerías de diámetro 0.10m cada una, para transportar el caudal máximo estimado $Q=0.047 \text{ (m}^3\text{/h)}$. Este desagüe se repite en las manzanas del barrio, y conduce el agua hacia las fosas de infiltración (figura 11).

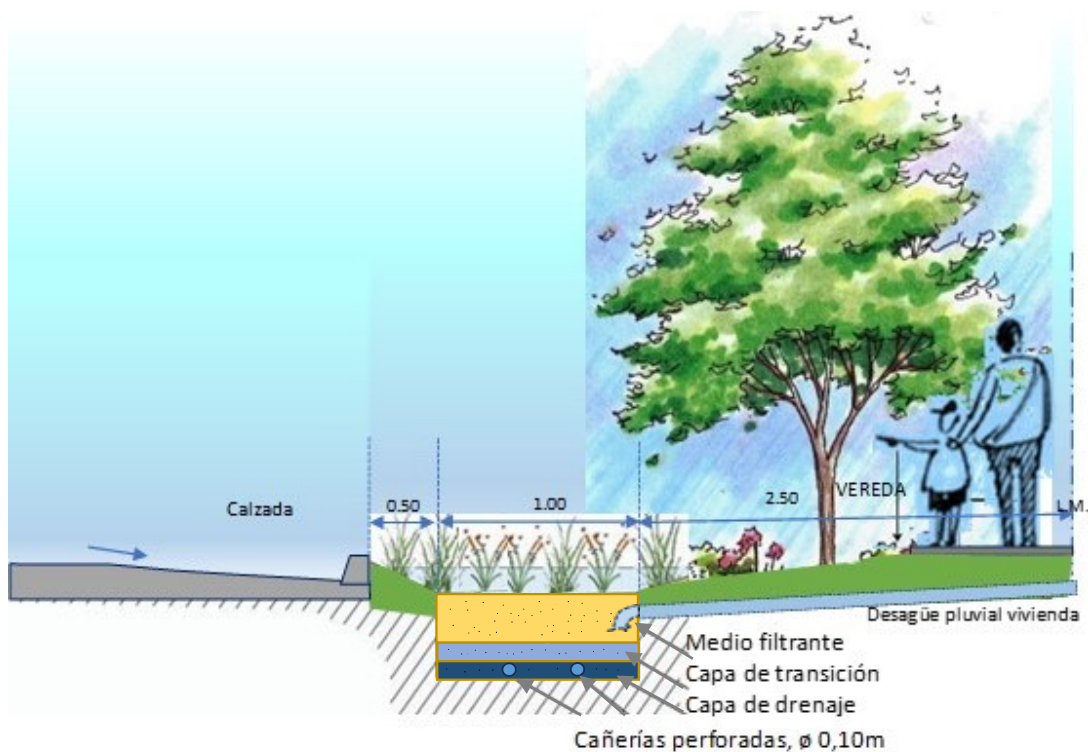


Figura 11: Corte con la zanja de biorretención y conductal. Fuente: elaboración propia.

Pozos o fosas de infiltración.

Parte del caudal de agua captado por las zanjas dispuestas en cada manzana es infiltrado y devuelto al suelo. Cada tramo de zanja conducirá el agua excedente hacia fosas subterráneas, instaladas en los espacios verdes del barrio, ubicados aguas abajo, en el borde o lado Este de las manzanas. Allí se descargará el flujo de agua, a través de un sistema de cañerías subterráneas. Este sistema permite la infiltración en los suelos circundantes y la recarga de acuíferos con agua en mejores condiciones. El tipo de suelo de la zona presenta permeabilidad entre buena y pobre, y equilibrio entre retención de agua, drenaje, fertilidad y aireación. Considerando que la infiltración puede ser una estrategia eficaz para la gestión de aguas pluviales de la zona, como así también el almacenamiento de agua, se propone un sistema de infiltración tipo fosa, rellena de grava. Este sistema permite un pretratamiento de las aguas para evitar la obstrucción de los suelos circundantes y para proteger la calidad de las aguas subterráneas del lugar. La implementación resulta en una reducción del volumen de escorrentía y de los caudales máximos de las zonas impermeables (figuras 12 y 13).

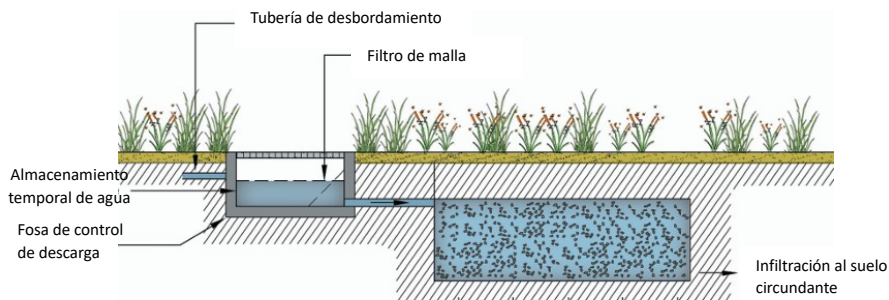


Figura 12: Sistema de infiltración tipo fosa de absorción rellena de grava. Fuente: Manual Procedimientos de Ingeniería del WSUD para Aguas Pluviales, Melbourne Water y CSIRO-2005.



Figura 13: Plano del Barrio con el sistema de zanjas de biorretención, conductuales y fosas de infiltración. Fuente: elaboración propia.

Arbolado urbano, complemento del sistema de drenajes SUDS.

En las zanjas de biorretención, la vegetación mejora la función del medio filtrante al prevenir la erosión del mismo y facilitando la descomponiendo del suelo a través del crecimiento de las plantas, evitando así la obstrucción del sistema. Además, proporciona biopelículas en las raíces de las plantas donde los contaminantes pueden absorberse. El medio filtrante debe equilibrar la conductividad hidráulica (el paso del agua) con la retención, también con la provisión de un medio de cultivo adecuado (con suficiente humedad y contenido orgánico), para el crecimiento de la vegetación. El suelo franco limoso del piedemonte, con el agregado de arena, cumple con estas condiciones y es adecuado para el crecimiento de la vegetación.

Para el arbolado urbano, se propone el uso de especies arbóreas originarias de la región, ya que presentan beneficios: favorecen la biodiversidad ofreciendo alimento y refugio a innumerable cantidad de especies de aves e insectos; tienen valor estético por su floración y follaje; cumplen funciones ambientales, moderan temperaturas y vientos; retardan el escurrimiento superficial; oxigenan el aire reteniendo carbono, retienen polvo atmosférico y amortiguan la contaminación sonora y visual; son de fácil cultivo, adaptados al clima local y resisten plagas y enfermedades (Ochoa de la Torre, 1999). Se proponen

árboles que presentan un crecimiento compatible con ancho de calles, un comportamiento previsible de raíces, y responden a la necesidad de confort térmico de un clima subtropical húmedo.

En las veredas orientadas al norte se recomiendan crespón (*Lagerstroemia indica*), lapachillo (*Handroanthus chrysotrichus*) y pata de vaca (*Bauhinia variegata*), estas especies son caducifolias, lo que permite dar sombra densa durante el verano y deja pasar el sol en invierno cuando pierden el follaje, favoreciendo el calentamiento natural de las fachadas. En veredas con orientación sur, donde el objetivo es atenuar los vientos fríos sin oscurecer en exceso, se pueden combinar especies perennes y caducifolias. Por ello se proponen las mismas especies anteriormente mencionadas, pero se agrega el paraíso (*Melia azedarach* Umbraculifera), de follaje perenne, funcionando muy bien para las dimensiones de vereda y calzada. Es importante combinar especies para una buena cobertura y atraer fauna nativa (Grau y Kortsarz, 2017).

CONCLUSIONES

Ante el escenario de cambio climático y frente a los episodios de lluvias que se registran actualmente en nuestra provincia, es necesaria la gestión sustentable de aguas pluviales en contextos urbanos locales. Dadas las características del sistema propuesto, es importante considerar la participación de los vecinos, tanto en la etapa de ejecución como de mantenimiento. Estas actividades, además de brindar una solución sustentable, ayudan a tomar un rol activo ante los problemas ambientales y fortalecen los vínculos sociales de la comunidad barrial.

En los relevamientos se pudo observar la inadecuada gestión del agua de lluvia en el barrio, con la presencia permanente de agua en las calles y en los espacios verdes, el anegamiento de calles durante las tormentas estivales y la obra inconclusa de una laguna de laminación planteada en el proyecto original. En consonancia con lo observado, los vecinos señalaron el impacto negativo que estos problemas tienen en la calidad de vida en el barrio. Como posible solución, se ha propuesto un SUDS, con el fin de reducir el caudal de agua que escurre al actual sistema urbano de desagüe, disminuir y ralentizar la escorrentía hacia los barrios que se ubican aguas abajo. La incorporación de superficie permeable en las veredas y en las cubiertas de las viviendas, logra disminuir un 50% la escorrentía de agua de lluvia en el barrio, y se logra incorporar 6500m² de superficie permeable, con un incremento del 65% de superficie verde en el espacio público, frente a cada vivienda. El caudal total estimado para una tormenta característica, puede ser gestionado a través de las zanjas de biorretención y conductuales, lo que resulta en una reducción del 50% en el volumen de inundación.

Las estrategias propuestas propician la integración de la naturaleza y la biodiversidad en el barrio. Si bien en la fase de diseño es difícil medir el nivel futuro de biodiversidad ya que depende de factores como el mantenimiento y el proceso gradual, natural de los ecosistemas, hay algunos factores que apoyan el desarrollo de la biodiversidad. La heterogeneidad del hábitat que se crea a través de los componentes abióticos y bióticos del sistema, está asociada con un alto grado de diversidad biológica y puede utilizarse como un indicador de la biodiversidad en la fase de diseño. Las condiciones para la biodiversidad se crean a través de la vegetación y la microbiología de los suelos, de esta manera, el diseño implementado, posteriormente proporciona una plataforma para la diversidad de aves, insectos y especies vegetales. Otro aporte importante se relaciona con las soluciones innovadoras de infraestructura verde que ayudan a crear una identidad, además, el verde urbano aporta importantes servicios de regulación del microclima, la provisión de hábitat y el control de la contaminación.

Es importante señalar la necesidad de incorporar el SUDS en las normativas, tanto municipales como del IPVDU, para ser integrado en el diseño del espacio urbano. Su implementación constituye una estrategia de prevención primaria que permitirá mejorar la gestión del agua pluvial, almacenar y asegurar la disponibilidad de agua para la vegetación y mejorar la biodiversidad a través de procesos ecológicos. A su vez, la cantidad y variedad de vegetación mejoran la evaporación y la infiltración, lo que posteriormente afecta positivamente la calidad del agua que recarga los acuíferos de la zona. El aumento de la biodiversidad impacta positivamente en la sustentabilidad, en la calidad paisajística del lugar, y en el micro clima; aspectos importantes para mejorar la calidad de vida de los vecinos.

Para futuros estudios se plantea la necesidad de profundizar el diseño adaptable al proceso hidrológico en los espacios verdes urbanos con el fin de crear su adecuación para diferentes situaciones de lluvia, como así también durante las posibles temporadas secas.

REFERENCIAS

- Adler, F. (2014). El futuro del agua en Tucumán. 1ª Ed. Yerba Buena. El Autor. Pp 30-43
<https://problemasdelagua.com.ar/el-futuro-del-agua-en-tucuman/>
- Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad. Ayuntamiento de Madrid. Dirección General de Gestión del Agua y Zonas Verdes. (2018) “Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos”. Portal Web del Ayuntamiento de Madrid. <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Medio-ambiente/Agua/SUDS-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible/> [consulta: 23 de mayo de 2025]
- Bazzano F. (2019). Predicción de lluvias máximas para diseño hidrológico. Desarrollo experimental en la Provincia de Tucumán. [Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Tucumán]. <https://www.facet.unt.edu.ar/posgrado/wp-content/uploads/sites/54/2020/10/BAZZANO-Flavia.pdf>
- Berland, A., Shiflett, S., Shuster, W., Garmestani, A., Goddard, H., Herrmann, D. y Hopton, M. (2017). El papel de los árboles en la gestión de aguas pluviales urbanas. *Paisaje y Planificación Urbana*, vol. 162, pp. 167–177. Accesible en <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.017>.
- Brito, C. (2025) En un día, Tucumán registró las lluvias previstas para todo el mes de marzo. *TD Tucumán Digital*. Recuperado de: <https://tucumandigital.com.ar/2025/03/08/tucuman-inundacion-tormentas/> [consulta: 8 de marzo de 2025]
- Brown, R.; Keath, N.; Wong, H. (2009). Gestión del agua urbana en las ciudades: regímenes históricos, actuales y futuros. *Cc. y tecnología del agua* 59. Pp.847–855. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.029>
- Cisterna, M.; Márquez Vega, G.; Atencia Gualda, S.; Villa, C.; Garbero, L.; Martínez, F. (2024) Espacio público y calidad de vida en un barrio de Yerba Buena, Tucumán. Evaluación cuali-cuantitativa. *Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente AVERMA*. Vol. 28. Pp. 93-104. <https://asades.org.ar/wp-content/uploads/2025/04/AVERMA-2024-.pdf>
- Código de Ordenamiento Urbano de Yerba Buena (COU), ordenanza 613/94. (2008). Municipalidad de Yerba Buena. Secretaria de obras públicas y dirección de planeamiento. https://www.catonline.org.ar/documentos/descargas/176/CODIGO_DE_ORDENAMIENTO_URBANO_DE_YERBA_BUENA.pdf
- Coutts, A., Tapper, N., Beringer, J., Loughnan, M. y Demuzere, M. (2013). Riego de nuestras ciudades: La capacidad del diseño urbano sensible al agua para favorecer la refrigeración urbana y mejorar el confort térmico humano en el contexto australiano. *Progreso en Geografía Física: Tierra y Medio Ambiente*, vol. 37, pp. 2–28. <http://dx.doi.org/10.1177/0309133312461032>
- Frantzeskaki, N., McPhearson, T., Collier, M., Kendal, D., Bulkeley, H., Dumitru, A., Walsh, C., Noble, K., Ordóñez, C., Oke, C., Pintér, L. (2019). Soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación al cambio climático urbano: vinculando la ciencia, la política y la práctica comunitaria para la toma de decisiones basada en la evidencia. *BioScience*, Vol. 69, N6, pp. 455–466. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz042>
- Gann, G., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C., Jonson, J., Dixon, K. (2019). Principios y estándares internacionales para la práctica de la restauración ecológica. *Restaurador Ecológico* 27, pp. 1-46. https://www.fs.usda.gov/rm/pubs_journals/2019/rmrs_2019_gann_g001.pdf
- González Del Tánago, M. (1989). Hidrología de cuencas pequeñas. Fórmula racional. Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología. Departamento de Ingeniería Forestal. E.T.S. de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. https://moodle.upm.es/enabierto/pluginfile.php/847/mod_label/intro/Tema11.pdf
- Google Earth. (s.f.). [Av. J. Fanzolato y calle A. Tosco. Yerba Buena. Tucumán]. Recuperado de <https://www.google.com/maps/search/Avenica+Juan+L.+Fanzolato+Yerba+Buena.+Tucum%C3%A1n> [consulta: 22 de junio de 2025]
- Grau, A., Kortsarz, A. (ed.) (2012). Guía de Arbolado de Tucumán. Universidad Nacional de Tucumán.
- Hoang, L.; Fenner, R. A. (2015). System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure. *Urban Water Journal*, 13, 739–758. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1036083> <https://doi.org/10.2166/wst.2009.029>

- Lazarte Sfer, R. y Roger Paz, H. (2012) Variabilidad de extremos de precipitación puntual por efectos orográficos en el Gran S. M. de Tucumán. 1a ed. Editora. Editorial de la Universidad Nacional de Rosario, pag. 127 a 143.
https://www.fceia.unr.edu.ar/tallerpmaxima2011/III_Taller_Precipitaciones_Maximas_2011_DH_CURIHAM_FCEIA_CD.pdf
- Mak, C.; Scholz, M.; James, P. (2017) Sustainable drainage system site assessment method using urban ecosystem services. *Urban Ecosyst* 20, 293–307. <http://dx.doi.org/10.1007/s11252-016-0593-6>
- Manual Procedimientos de Ingeniería del WSUD para Aguas Pluviales, Melbourne Water y CSIRO-2005. C753 SuDS Manual. Recuperado de:
<https://www.stonnington.vic.gov.au/files/assets/public/planning-and-building/planning/strategic-planning/planning-scheme-background-documents/background-docs/wsud-engineering-procedures-stormwater-melbourne-water-and-csiro-2005-part-1.pdf>
- Mapa Topográfico [En Línea]. *Mapa topográfico Tucumán, altitud, relieve*. Mapa Interactivo.
<https://es-ar.topographic-map.com>
- McPhearson, T., Cook, E. M., Berbés-Blázquez, M., Cheng, C., Grimm, N. B., Andersson, E., Barbosa, O., Chandler, D. G., Chang, H., Chester, M. V., Childers, D. L., Elser, S. R., Frantzeskaki, N., Grabowski, Z., Groffman, P., Hale, R. L., Iwaniec, D. M., Kabisch, N., Kennedy, C., Troxler, T. (2022). Un marco de sistemas socioecológicos y tecnológicos para los servicios ecosistémicos urbanos. *One Earth*, 5 (5), 505-518. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.04.007>
- Municipalidad de Yerba Buena. (2019). Mapa de riesgo hídrico de Tucumán [Mapa]. 1:30.000. Yerba Buena. Municipalidad. Dirección de Planeamiento Urbano. https://www.yerbabuena.gob.ar/wp-content/uploads/2024/05/mapa_riesgo_hidrico.pdf
- Ochoa de la Torre, J. M. (1999). “*La vegetación como instrumento para el control microclimático*”. [Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya].
<https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/07150fff-15d2-429b-9620-a01b8363106d/content>
- Plan Nacional de Viviendas (2019). Estándares mínimos de calidad para viviendas de interés social (Revisión 2019). Sec. de Vivienda. Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda. Presidencia de la Nación. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/if-2019-72275570-apn-dnasyfmi.pdf>
- Puchulu, M. y Fernández, D. (2014). Características y Distribución Espacial de los Suelos de la Provincia de Tucumán. Geología de Tucumán 2014. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.
- Sabokrouhiyeh, N., Bottacin-Busolin, A., Tregnaghi, M., Nepf, H. y Marion, A. (2020). Variación en la eficiencia de remoción de contaminantes en humedales superficiales de agua libre con densidad de vegetación heterogénea. *Ingeniería Ecológica*, vol. 143, pp. 1–12.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105662>.

URBAN SPACES PLANNING FOR SUSTAINABLE RAINWATER MANAGEMENT. Case study: “126-HOUSING NEIGHBORHOOD” IN YERBA BUENA, TUCUMÁN.

ABSTRACT: In an increasingly urbanized global context, there is an urgent need to develop conceptual frameworks and empirical knowledge on the built environment for its sustainable adaptation to the ecosystem. Design strategies are presented to address the problems identified in the 126 Viviendas neighborhood, chosen as a case study. Built by the Provincial Institute of Housing and Urban Development (IPVDU-Tucumán), it is located in the municipality of Yerba Buena, near San Javier Hill, an area characterized by urban growth marked by infrastructure and road projects that have altered ecosystems and the natural landscape. Surveys, interviews, and analysis of planimetric documents identified problems related to inadequate stormwater management, a source of flooding in the neighborhood and its surroundings. Design strategies are proposed, taking into account the foothill ecosystems and integrating the neighborhood's green spaces, trees, walkways, roads, and sidewalks into a sustainable urban drainage system (SUDS). This proposal is considered an appropriate solution, offering significant benefits for the community and the environment. It is recommended that it be incorporated as a primary prevention strategy in municipal and IPVDU regulations.

Keywords: sustainable urban drainage, green infrastructure, design strategies.