

## Diseño y evaluación de un sistema de recolección de agua pluvial mediante techos verdes en edificaciones urbanas

### *Design and evaluation of a rainwater harvesting system using green roofs in urban buildings*

**María Gabriela Soria Pugo\***  
Universidad Técnica de Ambato  
Ambato - Ecuador  
mg.soria@uta.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0001-9045-0870>

**Willian Patricio Sarango Jumbo**  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito - Ecuador  
wsarangoj@est.ups.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0000-5792-0367>

**Verónica Valeria Yépez Martínez**  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito - Ecuador  
vyepez@ups.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-2790-7211>

**Doris Alexandra Andrade Sandoval**  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito - Ecuador  
dandrades@ups.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0008-3654-8285>

\*Correspondencia: mg.soria@uta.edu.ec

#### Cómo citar este artículo:

Soria, M., Sarango, W., Yépez, V., & Andrade, D. (2025). Diseño y evaluación de un sistema de recolección de agua pluvial mediante techos verdes en edificaciones urbanas. *Esprint Investigación*, 4(1), 477-497. <https://doi.org/10.61347/ei.v4i1.124>

**Recibido:** 4 de abril de 2025

**Aceptado:** 12 de mayo de 2025

**Publicado:** 19 de mayo de 2025

**Copyright:** Derechos de autor 2025 María Gabriela Soria Pugo, Willian Patricio Sarango Jumbo, Verónica Valeria Yépez Martínez, Doris Alexandra Andrade Sandoval.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

**Resumen:** La recolección de agua pluvial resulta fundamental para optimizar el uso de este recurso, reducir inundaciones y promover prácticas sustentables, especialmente en regiones con alta precipitación como Ecuador. Los techos verdes permiten una retención de la precipitación en mayor tiempo, es decir, evitan inundaciones en los sistemas de recolección, el volumen recolectado es aproximadamente igual en mayor tiempo. El objetivo del estudio fue diseñar y evaluar un sistema ecológico de captación, almacenamiento y distribución de agua pluvial mediante techos verdes, para su uso en inodoros y emergencias contra incendios en edificaciones urbanas. La metodología incluyó un análisis hidrológico basado en datos meteorológicos y curvas IDF, selección de vegetación adecuada, diseño de capas del techo verde y dimensionamiento de sistemas de conducción conforme a normativas, garantizando la eficiencia hidráulica y la calidad del agua. Los principales resultados demostraron que el sistema propuesto puede retener y regular eficazmente la escorrentía durante eventos de precipitación, prolongando el tiempo de concentración y evitando sobrecargas en las redes de captación. La capacidad de almacenamiento, dimensionada en 0,089 m<sup>3</sup>, permite cubrir necesidades de uso en inodoros y emergencias contra incendios, disminuyendo aproximadamente un 62.5 % el consumo de agua potable. Además, se diseñó un sistema hidráulico que asegura la correcta conducción del agua, manteniendo velocidades y presiones recomendadas, lo que garantiza la durabilidad y eficiencia del sistema. Este enfoque contribuye significativamente a la gestión sostenible del recurso hídrico, promoviendo beneficios adicionales como la regulación térmica, la mejora de la calidad del aire y la reducción del impacto ambiental.

**Palabras clave:** Almacenamiento, aprovechamiento, flujo, precipitación, techo verde.

**Abstract:** Rainwater harvesting is essential for optimizing the use of an abundant resource, reducing flooding, and promoting sustainable practices, especially in regions with high precipitation such as Ecuador. Green roofs allow for extended retention of rainfall, meaning they prevent overloading of collection systems by spreading out runoff over a longer period—while the total volume collected remains approximately the same. The objective of this study was to design and evaluate an ecological system for the collection, storage, and distribution of rainwater using green roofs, intended for use in toilet flushing and fire emergency response in urban buildings. The methodology included a hydrological analysis based on meteorological data and IDF curves, selection of appropriate vegetation, design of green roof layers, and sizing of conveyance systems in accordance with regulations, ensuring hydraulic efficiency and water quality. The main results demonstrated that the proposed system can effectively retain and regulate runoff during rainfall events, prolonging the concentration time and preventing overloads in collection networks. The storage capacity, sized at 0.089 m<sup>3</sup>, meets the water demands for toilet use and fire emergencies, reducing potable water consumption by approximately 62.5%. Additionally, a hydraulic system was designed to ensure proper water conveyance, maintaining recommended flow velocities and pressures, which guarantees the durability and efficiency of the system. This approach significantly contributes to the sustainable management of water resources, while also offering additional benefits such as thermal regulation, improved air quality, and reduced environmental impact.

**Keywords:** Flow, green roof, precipitation, storage, utilization.

## 1. Introducción

La disponibilidad de un volumen de agua de reserva para emergencias es fundamental en cualquier vivienda o edificación, especialmente para sistemas contra incendios y uso en inodoros, de acuerdo con la norma ecuatoriana NEC-11 "Hidrosanitaria NHE AGUA" (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011). Cuando este volumen de reserva se obtiene mediante la recolección de agua pluvial, se genera un impacto positivo en el medio ambiente al aprovechar un recurso gratuito y abundante en muchas regiones del país.

Ecuador, uno de los 10 países con mayor cantidad de precipitación en el mundo, recibe en promedio 245 días de lluvia al año (Mohorte, 2021). En la región costa, las precipitaciones pueden superar los 2000 mm, mientras que en la sierra y la Amazonía alcanzan más de 1500 mm y 4500 mm, respectivamente (Varela & Ron, 2023). Para diseñar sistemas eficientes de recolección y almacenamiento deben ejecutarse análisis hidrológicos que predigan los máximos niveles de precipitación y cuantificar la escorrentía, utilizando datos recopilados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y estadísticas hidrológicas.

Las construcciones urbanas en Ecuador típicamente emplean estructuras porticadas y cubiertas en losa de hormigón, las cuales, si no son tratadas adecuadamente, pueden presentar problemas como carbonatación y lixiviación (Toirac, 2004). En este contexto, los techos verdes surgen como una solución sustentable para la recolección y control del agua de lluvia. Estos techos permiten una retención prolongada de la precipitación, regulan el flujo de agua, evitan sobrecargas en los sistemas de recolección durante eventos extremos y ofrecen beneficios ambientales, como la regulación de humedad, control de inundaciones, regulación térmica y mejora de la calidad del aire (Rhodes, 2012; Rodríguez, 2023).

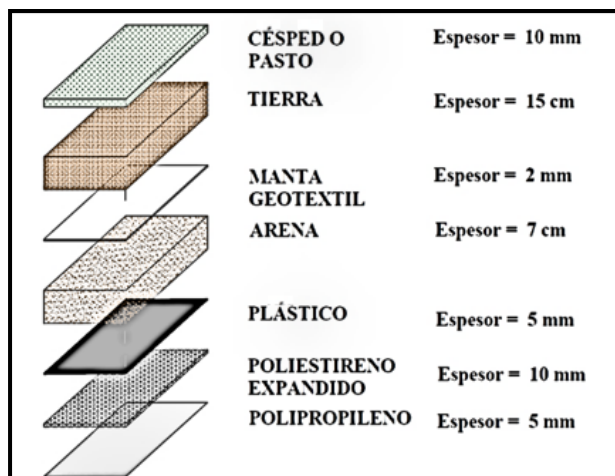
Los techos verdes representan una solución innovadora y ecológica que consiste en la incorporación de una capa de vegetación sobre la cubierta o losa de un edificio, funcionando como un sistema biológico que gestiona el agua pluvial, mejora la eficiencia térmica y promueve la biodiversidad urbana (López-González et al., 2020). Estos sistemas están conformados por varias capas, que incluyen desde un aislamiento impermeable y una capa de retención de agua, hasta el sustrato y la vegetación (López et al., 2022). La selección de la vegetación que se instala en un techo verde depende de factores como las preferencias del usuario, las condiciones climáticas de la zona y la carga estructural que puede soportar la edificación.

Para determinar qué tipo de vegetación es la más adecuada, Minke (2021) analiza variables como la carga estructural que representa cada tipo de cobertura y el presupuesto estimado para su implementación. Según su experiencia, y complementando la recomendación de Permacultura Holística (2023), algunos de los tipos de cubierta más comunes y sus correspondientes tratamientos de impermeabilización son: huertas con plantas pequeñas, flores y plantas ornamentales, pastizales o césped, y plantas de ambientes secos y rocosos. Después de un análisis técnico, se concluye que la opción más adecuada para un techo verde en términos de peso propio y mantenimiento es la cubierta de pasto o césped. Esta opción no solo resulta eficiente desde un punto de vista ecológico, sino económicamente accesible. En la figura 1 se presenta un esquema de las capas que conforman un techo verde con cubierta de pasto.

Sin embargo, aunque el agua recolectada mediante techos verdes no es apta para consumo humano directo, puede utilizarse en sistemas sanitarios como inodoros y en redes contra incendios, contribuyendo a reducir el consumo de agua potable y a promover prácticas sostenibles en las edificaciones.

**Figura 1**

*Capas que conforman el techo verde*



Una vez que se capte la precipitación en el techo verde, el caudal es conducido hasta un tanque de almacenamiento mediante una red de tuberías. Es importante que en el agua pluvial captada se evite la introducción de materia o desechos que perjudiquen su calidad, por lo cual se hace uso de sumideros de rejilla. Durante su recorrido por las tuberías, el caudal exhibe valores de presiones y velocidades que deben ser comparados con valores sugeridos en la Norma Hidrosanitaria NHE Agua (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011).

En Ecuador, caracterizado por su alta precipitación y fenómenos recurrentes como El Niño, la implementación de estructuras de recolección, almacenamiento y distribución de aguas pluviales ofrece múltiples beneficios. Estas soluciones mejoran la calidad de vida al facilitar el acceso a agua potable en zonas rurales con escaso recurso hídrico o afectadas por cortes en el suministro convencional. Además, en situaciones de emergencia o contingencias, el agua pluvial complementa la red principal, cubre necesidades básicas y puede ser empleada en la lucha contra incendios.

El presente estudio diseña y evalúa un sistema ecológico de captación, almacenamiento y distribución de agua pluvial, a partir de la utilización de techos verdes como elemento clave, para su uso en inodoros y en emergencias contra incendios en edificaciones urbanas. Se realiza un análisis integral que considera la capacidad de retención y regulación de precipitación proporcionada por los techos verdes, la caracterización de la precipitación en la zona de Riobamba y las condiciones hidráulicas del sistema de conducción.

La importancia del estudio radica en que los techos verdes permiten una mayor retención prolongada de la precipitación, evitando sobrecargas en los sistemas de recolección tradicionales y contribuyendo a una gestión más sostenible del recurso hídrico. Además, este enfoque promueve la reducción del consumo de agua potable, fomenta prácticas sustentables, disminuye el impacto ambiental y aumenta la resiliencia de las edificaciones frente a eventos de precipitación intensa y emergencias.

## 2. Metodología

El estudio empleó un enfoque integral que combinó análisis meteorológico, diseño técnico y evaluación de la eficiencia del sistema de techos verdes para la recolección y almacenamiento de agua pluvial. En primer lugar, se realizó un análisis del contexto meteorológico y la caracterización de la precipitación en la zona de Riobamba, Ecuador, utilizando datos recolectados por el INAMHI y las curvas IDF

(intensidad, duración, frecuencia). Este análisis determinó las intensidades de precipitación en función del tiempo y la frecuencia, fundamentales para dimensionar adecuadamente el sistema de captación. Se optó por el método hidrológico, considerando variables como la superficie de captación, propiedades del suelo y distribución temporal de la precipitación, en lugar del método racional, para un diagnóstico más preciso en la zona.

Posteriormente, se seleccionó la tipología adecuada de vegetación para el techo verde, considerando variables estructurales y de peso, en línea con las recomendaciones de Minke (2021) y de Permacultura Holística (2021). La opción más viable fue la cubierta de pasto o césped, debido a su bajo peso y mantenimiento, además de su eficiencia ecológica y accesibilidad económica. Se diseñó el esquema de capas del techo verde, incluyendo impermeabilización, sustrato, vegetación y sistemas de retención de agua.

El proceso de captación del agua se ejecutó mediante la implementación de rejillas que evitan la entrada de residuos que contaminen el agua recolectada. Estas conducen el agua hacia un sistema de almacenamiento, cuya capacidad fue dimensionada en función de las precipitaciones máximas estimadas, garantizando condiciones hidráulicas adecuadas que cumplen con las normas sanitarias ecuatorianas y estándares internacionales en presión y velocidad del flujo. Además, se diseñaron sistemas de conducción con tuberías protegidas y rejillas para asegurar la calidad del agua y un eficiente transporte hasta los tanques de reserva.

Por último, se evaluaron los resultados a través de un análisis hidráulico del sistema, considerando variables como presión, caudal y rendimiento de retención del techo verde, buscando confirmar que estos cumplen con los requisitos normativos y objetivos de sostenibilidad planteados. Se realizaron también análisis comparativos entre diferentes escenarios de precipitación, evaluando la capacidad del sistema para afrontar eventos extremos climáticos.

### 3. Resultados y discusión

#### Contexto meteorológico y caracterización de la precipitación

Para determinar la precipitación en función de la intensidad, el método de hidrograma unitario es más apropiado que el método racional, debido a que considera más variables de diseño (características de la cuenca, propiedades del suelo y distribución temporal de la precipitación).

La intensidad se analiza hidrológicamente de los datos recolectados por el INAMHI (2018). Con estas ecuaciones se construye las curvas IDF. Una vez analizadas se determina la profundidad de la precipitación y se relaciona con la Ecuación 1.

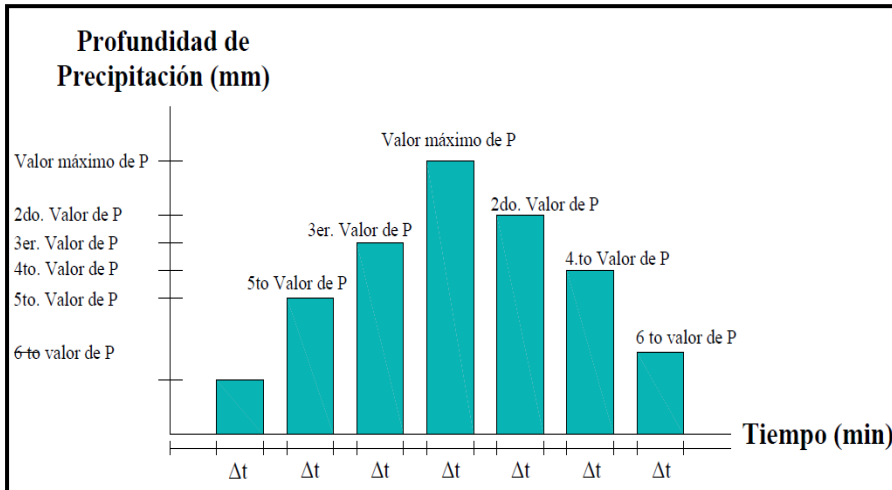
$$P = I * \Delta t \quad (1)$$

Donde  $P$  es la profundidad de la lluvia en ( $mm$ ).  $I$  es la intensidad de la precipitación en ( $mm/h$ ).  $\Delta t$  es el intervalo de la duración de la lluvia en ( $h$ ).

La profundidad de precipitación calculada se va acumulando en cada intervalo de tiempo. Para determinar este incremento se usa la ecuación 2. Donde  $\Delta P$  es el incremento de la capa de agua en cada intervalo en ( $mm$ ).  $P_{i+1}$  es la profundidad de precipitación en el intervalo de tiempo ( $mm$ ).  $P_i$  es la profundidad en el intervalo de tiempo anterior ( $mm$ ).

$$\Delta P = P_{i+1} - P_i \quad (2)$$

El hietograma representa la distribución de la profundidad de precipitación en un intervalo de tiempo determinado. Para su construcción se debe organizar la profundidad de manera que el primer valor (máximo) este en el centro, el segundo a la derecha, el tercero a la izquierda, el cuarto a la derecha y así sucesivamente, hasta que se distribuyan todos los valores (figura 2).

**Figura 2***Hietograma de precipitación*

### Caracterización del sitio y superficies de captación

El dimensionamiento y evaluación de un sistema de captación de agua de lluvia mediante techos verdes requiere una comprensión detallada de las características hidrológicas del sitio, así como de las propiedades físicas de las superficies involucradas. En este contexto, la profundidad de exceso de precipitación se define como la cantidad de agua que, tras incidir en la superficie, no logra infiltrarse en el sustrato del techo verde y, en consecuencia, se acumula como escorrentía. La determinación de este valor es fundamental para estimar el volumen de agua colectado de manera eficiente y segura, evitando desbordamientos o saturaciones del sistema.

La profundidad de exceso es la profundidad de precipitación que desciende en un sitio y no se infiltra. Para determinar la infiltración se hace uso del método *SCS* para abstracciones. La retención máxima del suelo  $S$  se calcula con la ecuación 3 en (mm). Donde  $CN$  es el número de curva que depende del tipo de techo verde (*pastizal*) y el tipo de suelo (*Grupo C*), para este tipo de techo verde el valor del número de curva  $CN = 86$ ; se debe ajustar este valor de  $CN$  dependiendo del tipo de curva. En esta investigación se usa el tipo  $CN II$ , debido a que se presenta precipitaciones regulares en todo el año. Por lo tanto, no hay variación en el ajuste.

$$S = \frac{2540}{CN} - 25,4 \quad (3)$$

La precipitación, que no se infiltra, se acumula como escorrentía directa; este exceso, se determina con la ecuación 4. Donde  $P_e$  es la escorrentía directa (mm).  $P$  es la densidad de la precipitación (mm).  $S$  es la retención máxima del suelo (mm).

$$P_e = \frac{(P-0.2*S)^2}{P+(0.8*S)} \quad (4)$$

### Profundidad de escorrentía y balance de energía calórica aplicable a la evapotranspiración

Se realizó un balance de energía de la cuenca, con el fin de determinar la pérdida de profundidad de precipitación por evaporación y evo-transpiración. La evaporación se determina mediante la ecuación 5, deducida por Chow et al. (1994).

$$E_r = \frac{R_n}{l_v * \rho_w} \quad (5)$$

Donde  $E_r$  evaporación ( $mm/día$ ).  $R_n$  radiación neta ( $kWh/m^2$ ).  $\rho_w$  densidad del agua ( $kg/m^3$ ).  $l_v$ , en ( $kJ/kg$ ), corresponde calor latente que depende de la temperatura, ecuación 6. Donde  $T$  es la temperatura promedio del sector en ( $°C$ ).

$$l_v = 2.501 * 10^6 - 2.370 * T \quad (6)$$

Cevallos-Sierra & Ramos-Martin (2018) en su investigación, sugiere en el país  $R_n = 3.8 \frac{kWh}{m^2}$ . En tanto, Portilla (2018) indica que la temperatura en la región presenta media de  $16 °C$ .

La evapo-transpiración del techo verde se realiza mediante la ecuación 7 en ( $mm$ ). El valor de  $k_c = 0.35$ , corresponde a poca cobertura vegetal (Allen et al., 1998). El valor de  $k_s = 1$ , para suelo humedecido (WEAP21, 2025).  $E_{tr} = 3.8 (mm)$  corresponde a la evotranspiración del césped (cultivo de referencia).

$$E_t = k_s * k_c * E_{tr} \quad (7)$$

Por lo tanto, el balance de energía está presente por la ecuación 8. Donde  $P$  482 representa la profundidad de escorrentía que existe en la cuenca ( $mm$ ).

$$P = P_e - E_r - E_t \quad (8)$$

### Flujo, volumen utilizable e hidrograma

La escorrentía directa se transforma en flujo mediante la ecuación 9.

$$q_0 = (i - f) * L_0 * \cos\theta \quad (9)$$

Donde  $q_0$  es el flujo de la precipitación excedente ( $m^3/s$ ).  $i$  es la intensidad de la cuenca ( $m/s$ ).  $\theta = \tan^{-1}(S)$ , donde  $S$  es la pendiente ( $m/m$ ).  $L_0$  es la longitud de la cuenca ( $m$ ).  $f$  es el factor de fricción de Darcy-Weisbach. Se debe trabajar primeramente con  $f = 0$ , después calcular  $q_0$  y a través del número de Reynolds relacionar estas variables, ecuación 10 y 11.  $Re$  es el número de Reynolds para régimen de flujo,  $\nu$  es la viscosidad cinemática del agua que depende de la temperatura.

$$Re = \frac{4q_0}{\nu} \quad (10)$$

$$y = \left( \frac{f * q_0^2}{8 * g * S_0} \right)^{1/3} \quad (11)$$

Como la precipitación cae sobre una superficie rugosa, el factor de fricción se independiza del número de Reynolds y depende solo de la rugosidad de la superficie (Chow et al. 1994) para flujo turbulento se estipula utilizando la ecuación 12.

$$y = \left( \frac{\eta^{0.6} * q_0}{S_0^{0.3}} \right) \quad (12)$$

Donde  $y$  es el exceso de profundidad de escorrentía ( $mm$ ).  $\eta$  es el valor de rugosidad de Manning.  $q_0$  es el flujo que se produce de la profundidad de escorrentía ( $m^3/s$ ).  $S_0$  es la pendiente promedio de la cuenca ( $m/m$ ). La cantidad de agua almacenada se relaciona con el flujo mediante la ecuación 13, de continuidad en un sistema hidrológico.

$$dS = I * dt - Q * dt \quad (13)$$

Donde  $S$  es el volumen de almacenamiento ( $m^3$ ).  $I$  es el flujo de entrada ( $m^3/s$ ) y  $Q$  el flujo de salida ( $m^3/s$ ). El hidrograma unitario sintético permite analizar la variación de flujo en cada punto de la cuenca. Se lo determina mediante la ecuación 14.

$$q_p = \frac{C * A}{T_p} \quad (14)$$

Donde  $q_p$  es el caudal pico.  $C = 0.208$  en S.I. El área de la cuenca es  $A$  en ( $km^2$ ).  $P$  es la precipitación de exceso ( $mm$ ).  $T_p$  es el tiempo pico se lo calcula con la ecuación 15.  $t_r$  corresponde al intervalo de tiempo de análisis. El tiempo de retardo  $t_p$  es el 60 % del tiempo de concentración de la cuenca.

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (15)$$

### Análisis de demanda de los usuarios

Para determinar cuánto volumen de agua necesita el usuario (demanda) se hace uso de la Norma Hidrosanitaria Ecuatoriana y las normas de diseño de la Empresa de Alcantarillado y Agua Potable de la Ciudad de Riobamba (EMAPAR, 2024). El caudal medio se calcula con la ecuación 16.

$$Q_{md} = Dot * Hab \quad (16)$$

Donde  $Q_{md}$  caudal medio diario ( $L/s$ ).  $Dot$  es la dotación en ( $L/hab/dia$ ).  $Hab$  número de habitantes en la vivienda.  $Tiempo$  tiene un valor de 86400 s, que corresponde a un día. Debido a que el consumo de agua no es lineal en el tiempo, se determina el caudal máximo diario con la ecuación 17. El caudal máximo horario corresponde a los picos de consumo a lo largo de un día se lo determina con la ecuación 18.

$$Q_{MD} = k1 * Q_{md} \quad (17)$$

$$Q_{HD} = k2 * Q_{md} \quad (18)$$

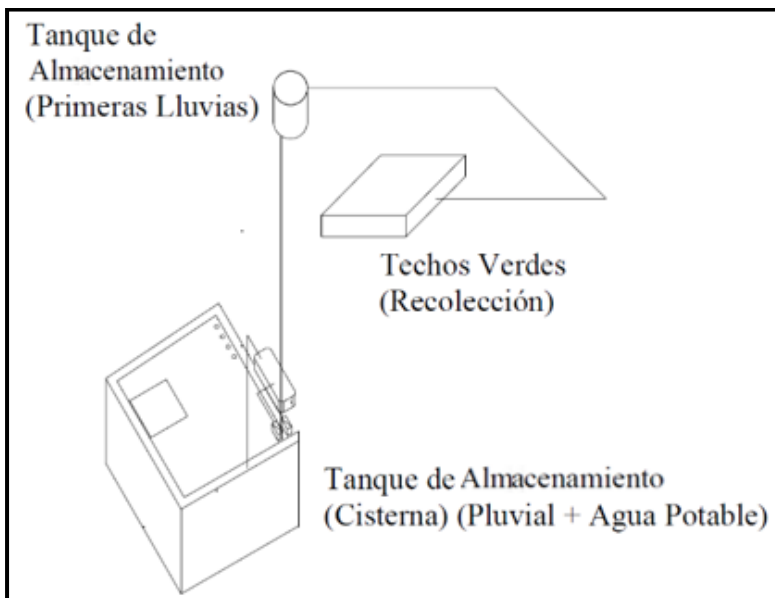
Los valores  $k_1$  y  $k_2$  son coeficientes de mayoración, una recomendación la plantea la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS, 2025) con valores de  $1,1 < k_1 < 1,4$ ; y  $1,3 < k_2 < 1,9$ .

### Almacenamiento

El volumen de precipitación recolectado por el techo verde desciende hasta un tanque de almacenamiento tipo cisterna (figura 3).

**Figura 3**

*Esquema de recolección distribución y almacenamiento*



El volumen de agua pluvial que necesita el usuario para los inodoros se determina mediante la ecuación 19. El volumen mínimo para incendios que recomienda la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011), está en función del área de construcción total, recomienda un valor para edificios de hasta  $4000 \text{ m}^2$  de  $18 \text{ m}^3$ .

$$V_{\text{Regulación}} = \frac{Q_{md}}{T_{\text{tiempo Util}}} \quad (19)$$

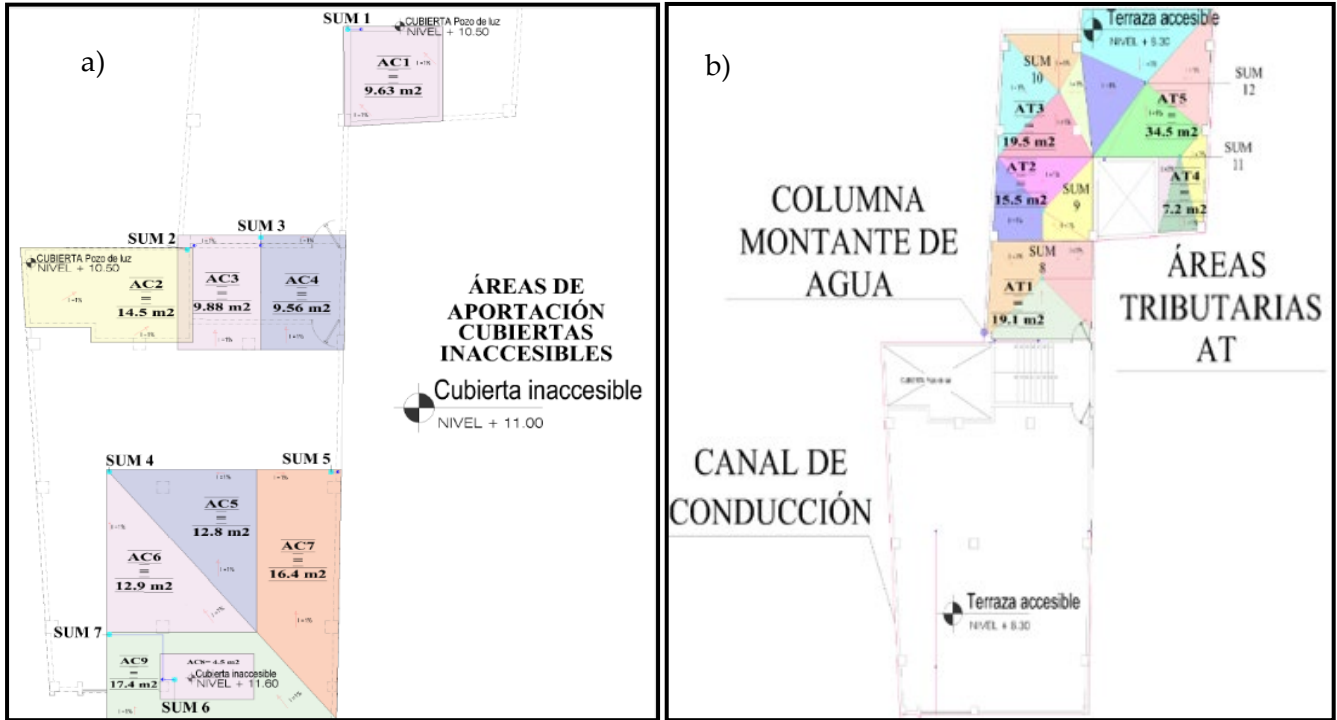
Donde  $V_{\text{Regulación}}$  es el volumen de agua que se necesita almacenar, para asegurar el abastecimiento en los inodoros ( $\text{m}^3$ ).  $Q_{md}$  caudal de demanda ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).  $T_{\text{tiempo Util}}$  representa al tiempo en que están funcionando cada aparato sanitario, como funcionan todo el tiempo a lo largo de un día  $T_{\text{tiempo Util}} = 86400 \text{ s}$ . Los volúmenes de agua de lluvia en la cisterna deben ser distribuidos por el medio de la red de tuberías para su análisis se usa el programa WaterCad.

### Diseño del sistema de recolección, almacenamiento y distribución

Los planos proporcionan las dimensiones y los espacios de la vivienda (figura 4 y tabla 1).

**Figura 4**

Planos de diseño de la edificación. a) Áreas de aportación cubiertas o inaccesibles. b) Áreas de aportación abierta o terraza accesible



**Tabla 1**

Dimensiones correspondientes de la terraza

		Área bruta	755,48 m <sup>2</sup>	
Rejilla de descarga	ID	Área	Pendiente	Long. Pto. Descarg
		m <sup>2</sup>	%	m
Rejilla 1	AC1	9,63	1,00	3,0
Rejilla 2	AC2	14,45	1,00	5,2
Rejilla 3	AC3	9,88	1,00	3,7
	AC4	9,56	1,00	7,1
Rejilla 4	AC5	12,77	1,00	5,3
	AC6	12,86	1,00	6,7
Rejilla 5	AC7	16,37	1,00	7,8
Rejilla 6	AC8	4,49	1,00	2,5

Rejilla 7	AC9	17,37	1,00	7,6
Rejilla 8	AT1	19,12	1,00	2,5
Rejilla 9	AT2	15,46	1,00	2,4
Rejilla 10	AT3	19,52	1,00	2,9
Rejilla 11	AT4	7,24	1,00	3,1
Rejilla 12	AT5	34,46	1,00	3,0
<b>Área total</b>		<b>203,18</b>		<b><math>m^2</math></b>
<b>Longitud promedio</b>		<b>4,5</b>		<b><math>m</math></b>
<b>Pendiente promedio</b>		<b>1,00</b>		<b>%</b>
		<b>0,01</b>		<b><math>m/m</math></b>

Con estos datos, correspondientes a la cuenca de estudio, se determinó el tiempo de concentración (tabla 2).

**Tabla 2**

*Tiempo de concentración para diferentes autores*

<b>Tiempo de concentración</b>	
Método	Tiempo (min)
Agres	1,400
SCS	1,480
Bransby Williams	0,008
Kirpich	0,374
Ventura-Heras	0,269
Passini	0,183
Dirección General de Carreteras (España)	0,709
<b>TIEMPO DE CONCENTRACIÓN</b>	<b>10</b>

### Curvas IDF

La intensidad de precipitación en la zona de Riobamba alcanza un valor máximo de 111.27 *mm/h* para un periodo de retorno de 30 años y una duración de 5 *minutos*. No obstante, para el diseño del sistema, se considerará un periodo de retorno de 25 años, en concordancia con la norma UNE 23500 (Normalización española, 2011) Para este escenario, la intensidad de precipitación máxima es de 107.15 *mm/h* en 5 *minutos*.

### Profundidad de precipitación (hietograma)

Debido a la gran cantidad de datos que representa el estudio para cada periodo de retorno, se presenta únicamente el más significativo. El exceso de profundidad de precipitación y su correspondiente hietograma se muestra en la tabla 3 y figura 5.

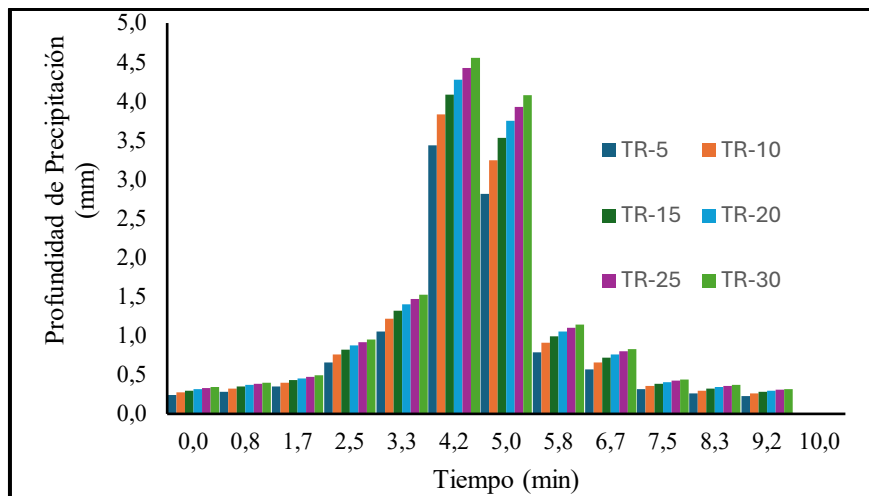
**Tabla 3**

*Profundidad de precipitación*

PERIODO DE RETORNO	DURACIÓN	INTENSIDAD	P (Densidad lluvia)	INCREMENTO DE LA CAPA DE AGUA
(años)	(min)	(mm/hr)	(mm)	(mm)
25	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,83	282,66	3,93	3,93
	1,67	194,22	5,39	1,47
	2,50	155,94	6,50	1,10
	3,33	133,45	7,41	0,92
	4,17	118,26	8,21	0,80
	5,00	151,66	12,64	4,43
	5,83	134,89	13,11	0,48
	6,67	121,86	13,54	0,43
	7,50	111,42	13,93	0,39
	8,33	102,84	14,28	0,36
	9,17	95,65	14,61	0,33
	10,00	89,53	14,92	0,31

**Figura 5**

*Hietograma de precipitación*



La distribución indica que la profundidad máxima ocurre en 4.2 min.

**Profundidad de escorrentía, flujo e hidrograma unitario**

El incremento de precipitación calculado presenta pérdidas por infiltración, evaporación y evo transpiración, se realiza el balance de energía (tabla 4).

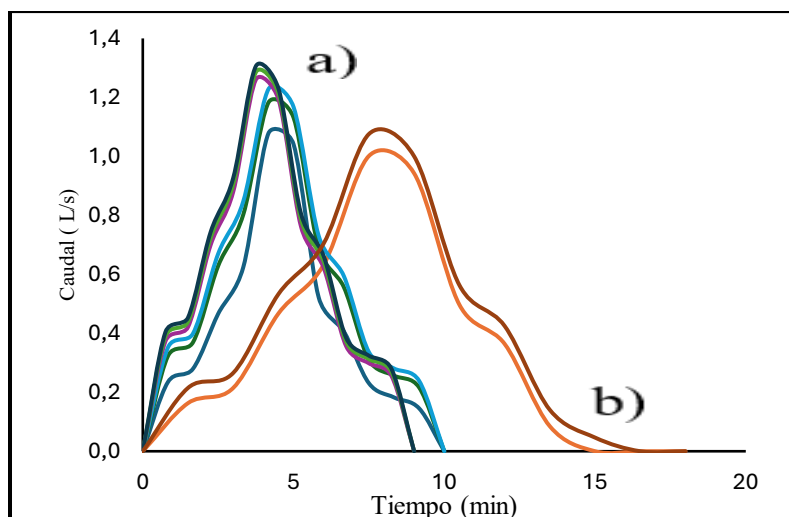
**Tabla 4**

*Profundidad de precipitación*

S 4,1 (mm)				
DURACIÓN	P EXCESO	Er	Et	PROF. DE PREC. TOTAL
(min)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0,00	0,26	0	0,12	0,1417
0,83	0,34	0,00760	0,12	0,2074
1,67	0,44	0,01520	0,12	0,3073
2,50	0,91	0,02281	0,12	0,7715
3,33	1,38	0,03041	0,12	1,2323
4,17	2,75	0,03802	0,12	2,5931
5,00	2,60	0,04562	0,12	2,4326
5,83	1,09	0,05323	0,12	0,9120
6,67	0,80	0,06083	0,12	0,6177
7,50	0,38	0,06844	0,12	0,1946

8,33	0,30	0,07604	0,12	0,0992
9,17	0,23	0,08365	0,12	0,0294
10,00	0,00	0,09125	0,12	0

Además, se presenta una distribución de flujo con techo y sin techo verde (figura 6). Se observa cómo el techo verde aumenta el tiempo de concentración.



### Volumen pluvial y volumen necesario

El volumen pluvial captado está en función de una duración de 10 *min* y se determina con base en las áreas de aportación de techos verdes hacia las rejillas de captación, dando un total de volumen máximo 0.089 m<sup>3</sup>.

En cambio, el volumen de demanda depende de los inodoros. Los valores de dotación de agua en inodoros son de 15 *L/hab/día*, asumiendo que una persona usa el inodoro alrededor de 5 veces por día, se necesita 75 *L/hab/día*. El número de habitantes se estipula a través del número de habitaciones siendo 3, en cada habitación existe camas dobles por lo tanto se asume 2 personas por habitación; con un total de 6 habitantes además se asume 1 visitante por día, total 7 habitantes. Como la edificación cuenta con 5 departamentos. El total, en toda la edificación, de habitantes es 35 habitantes (tabla 5).

**Tabla 5**

*Caudal de demanda*

N°. Depart.	N°. hab. por Depart.	N°. hab.	Dotación	Qmd	QMD	QMH
			<i>L/hab/día</i>	<i>L/s</i>	<i>L/s</i>	<i>L/s</i>
5	7	35	75	0,03	0,04	0,06

La simultaneidad a la hora de usar estos inodoros en edificaciones de más de un departamento se determina mediante la norma hidrosanitaria ecuatoriana; presenta las siguientes ecuaciones: 20, 21 y 22.

$$Q_{MP} = k_s * k_{ss} * \sum Q_i \quad (20)$$

$$K_s = \frac{1}{\sqrt{n-1}} + F * (0.04 + 0.04 * \log[\log(n)]) \quad (21)$$

$$k_{ss} = \frac{19+N}{10 * (N+1)} \quad (22)$$

Donde  $F$  es un valor que depende del tipo de edificación. La tabla 6 muestra estas variaciones de caudal.

**Tabla 6***Simultaneidad de caudales*

Montante	Nivel	Num. de salidas	Ks	Q. Columna montante de agua.	Kss	Qd
-	0,18	0	1,0	0,00	-	0,00
	2,90	3	0,7	0,46	0,7	0,32
2	5,60	3	0,7	0,23	1,0	0,23
	8,30	0	1,0	0,00	-	0,00
	0,18	3	0,7	0,69	0,5	0,38
	2,90	3	0,7	0,46	0,7	0,32
1	5,60	3	0,7	0,23	1,0	0,23
	8,30	0	1,0	0,00		0,00

Los diámetros recomendados por la norma hidrosanitaria (NEC 11), de las columnas montantes de agua, es 20 mm para edificios menores a 15 m de altura y caudales menores a 0.9 lt/s.

El volumen que necesita el usuario se deduce del principio de continuidad (tabla 7).

**Tabla 7***Volumen pluvial*

<b>Qmd</b>	0,38	L/s
<b>t útil regulación</b>	600	s
<b>V regulación</b>	0,02	m <sup>3</sup>

Debido a que el caudal pluvial es 0.089 m<sup>3</sup>/s el porcentaje de agua para llenar este tanque es solo del 20,387 % el otro 79,613 % llenarán el tanque cisterna usado para el sistema de incendios.

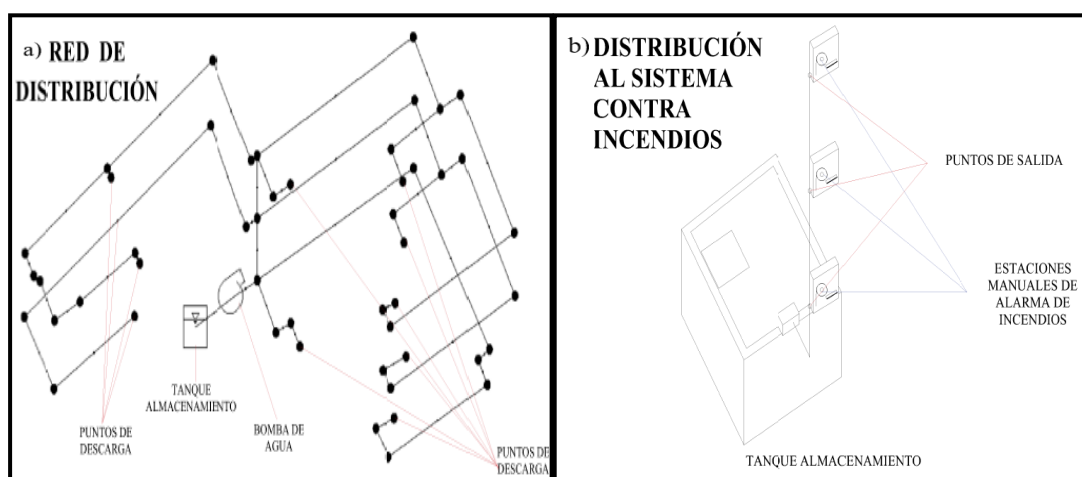
El volumen de incendios se determina por medio de la norma hidrosanitaria, la cual está en función de los metros cuadrados de construcción. Se recomienda  $5 L/m^2$ ; esta investigación toma como medidas medio ambiental  $12 m^3$ . Se destina un volumen de  $10 m^3$  para el sistema contra incendios, cumpliendo con la normativa mínima requerida, y  $2 m^3$  para fines de regulación, lo que contribuye a una gestión adecuada del recurso hídrico en situaciones de lluvia o demanda variable.

Se combina en el mismo tanque los volúmenes de regulación y de incendios a medida de ahorrar dimensiones de diseño innecesarias. Una vez planificado y verificado el volumen de almacenamiento para regulación se comprueban los valores de presiones en nodos y de las velocidades en las tuberías. Los modelos usados (figura 7) representan:

- a) Tanque inferior conectado a una bomba que distribuye el caudal pluvial hacia cada punto sanitario.
- b) Tanque conectado a una bomba conectada al sistema de incendios.

**Figura 7**

Redes de Diseño. WaterCAD. a) Distribución. b) Sistema contra incendios



Dada la abundante cantidad de datos, se muestra un resumen representativo de los parámetros hidráulicos de presión y velocidad como resultados de la modelación numérica, identificando principalmente nudos que representan los aparatos sanitarios más distantes con respecto a la ubicación de la bomba.

**Tabla 8**

Red de distribución del volumen pluvial. Análisis de caudal y velocidades

Tubería (Pipe)	P-5(1)	P-5(2)	P-5(7)	P-5(8)	P-5(9)	P-5(10)	P-5(11)	P-5(16)	P-5(17)	P-5(18)
<b>Diámetro (mm)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
<b>Caudal (L)</b>	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Velocidad (m/s)</b>	4,83	4,83	3,99	3,99	2	2	2	2	3,79	3,79

**Tabla 9***Red de distribución del volumen pluvia. Análisis de presiones*

Nudo	Elevación (m)	Presión (mH <sub>2</sub> O)
J-7	0,18	43,71
J-8	0,18	25,89
J-9	0,18	25,76
J-10	2,9	24,41
J-11	2,9	22,14
J-12	2,9	22,1
J-13	2,9	21,65
J-18	2,9	21,56
J-19	2,9	21,53
J-37	5,65	35,39
J-38	5,65	35,39
J-39	5,65	35,39
J-40	5,65	35,39
J-41	5,65	35,38

En las velocidades en la tabla 8 logran los valores recomendados gracias al sistema de bombeo. Este sistema esta principalmente diseñado para cumplir con las presiones recomendadas, se verifica estos valores en la tabla 9.

El sistema de conducción para caudal de incendios, diseñado mediante tuberías presurizadas, con una columna montante número 1 que conecta al nivel +0.18 se une con tuberías de PVC; la verificación de presiones y velocidades se muestra a continuación.

**Tabla 10***Sistema contra incendios. Análisis de presiones*

Nudo	Demanda (L/s)	Elevación (m)	Presión (m H <sub>2</sub> O)
J-4	1	0,18	30
J-5	1,03	1,38	28
J-6	1	2,90	26

J-7	2,5	4,10	25
J-8	2,5	5,60	23
J-9	2,5	6,80	22

**Tabla 11**

Sistema contra incendios. Análisis de presiones

Tub. (Pipe)	Diam. (mm)	Material	Q (L/s)	Veloc. (m/s)
P-2	50	Galvanized iron	5	2,55
P-3	50	Galvanized iron	5	2,55
P-4	50	Galvanized iron	5	2,55
P-5	50	Galvanized iron	5	2,55
P-6	50	Galvanized iron	2,5	1,27
P-7	50	Galvanized iron	2,5	1,27
P-8	50	Galvanized iron	-5	2,55

La red de conducción desde las rejillas de captación hasta el tanque inferior de almacenamiento se diseña mediante un sistema a superficie abierta por medio de una tubería semiabierta, el modelo se plantea en la tabla 12.

$$Qh = A/n * (D/4)^{(2/3)} * J^{(1/2)} \quad (22)$$

Donde  $Q$  caudal,  $A$  área,  $D$  diámetro y  $J$  pendiente. Todos corresponden a las unidades del sistema internacional.

**Tabla 12**

Área en función del diámetro equivalente (50 mm)

ID ÁREA	A*C $m^2$	Q PLUVIAL $L/s$	Q MAX RAMAL $L/s$
AC9	0,025	30	32,40

Con la ecuación 23, se comprueba que la velocidad en el ramal se ajuste a los recomendados.

$$v = \frac{Q}{A} \quad v = \frac{0,03 \text{ m}^3/s}{0,025 \text{ m}^2} = 1,17 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (23)$$

Para determinar la potencia de la bomba que necesita el sistema se hace uso de la ecuación 24. El cálculo se efectúa en el sistema de distribución (tabla 13) y sistema contra incendios (tabla 14).

$$p = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma_w}{\eta} \tag{24}$$

**Tabla 13**

*Dimensionamiento de la bomba hidráulica. Sistema de distribución*

<b>Qb</b> (Caudal)	0,0009	$m^3/s$
<b>ρ</b> (densidad)	1000	$Kg/m^3$
gravedad	9,8	$m/s$
eficiencia	80	%
<b>HB</b> (Carga)	25	$m$
$\gamma$ (Peso específico)	9800	$Kg/(m^2 * s)$
<b>P</b> (Potencia)	267	$Kg * m^2/s^3$
Considerando equivalencia de 1 HP = 745		W
<b>Potencia</b>	0,36	HP
La potencia teórica del motor de la bomba sería el inmediato superior		
<b>Potencia real de la bomba</b>	1,00	HP

**Tabla 14**

*Dimensionamiento de la bomba hidráulica. Sistema contra incendios*

<b>Q</b>	0,0050	$m^3/s$
<b>ρ</b>	1000	$Kg/m^3$
<b>g</b>	9,8	$m/s$
<b>ef</b>	80	%
<b>HB</b>	25	$m$
$\gamma$	9800	$Kg/(m^2 * s)$
<b>P</b>	1531	$Kg * m^2/s^3$
<b>P</b>	2,00	HP
<b>Potencia real de la bomba</b>		2,00

Los resultados en general muestran que se puede aprovechar el volumen pluvial acoplado a la red principal de agua potable como alternativa ecológica, es factible usar el volumen de precipitación almacenarlo y distribuirlo hacia los inodoros y en una emergencia contra incendios.

El uso de los techos verdes mejora los tiempos de concentración en el sistema, se capta los mismos volúmenes de escorrentía directa en un intervalo de tiempo mayor, permitiendo que el sistema por canales o cunetas no colapse.

Las tuberías presurizadas no son recomendables como alternativa de conducción, debido a que no alcanzan las presiones necesarias que el sistema requiere para transportar el agua pluvial hasta el tanque inferior de almacenamiento. El recorrido por medio de tuberías de flujo a superficie libre de 5 cm, asegura las condiciones necesarias para que se cumplan las velocidades recomendadas en el sistema ecuación 24.

Las demandas están determinadas únicamente para inodoros conforme a la norma ecuatoriana. El volumen que necesita el usuario es  $0.02 m^3$ , los cálculos hidráulicos nos indican que antes de la implementación la edificación necesitaba  $0,05 m^3$ , el desconectar los inodoros y acoplarlos a otra red alterna representa un ahorro de agua potable del 62,5%; en estas edificaciones tipo.

El volumen de incendios recomendado por medio del inciso 1 de la norma NHE (depósitos), está en función de los metros cuadrados de construcción, se recomienda  $5 L/m^2$ . El tanque necesitaría  $5 m^3$ , sin embargo, es viable realizar tanques de almacenamiento de hasta  $10 m^3$  con estos niveles de precipitación.

Los sistemas de bombeo son recomendables en estas edificaciones tipo, debido a que el almacenamiento de agua en un nivel superior con distribución a gravedad no logra alcanzar las presiones necesarias. El sistema por bombeo en incendios se recomienda potencias de 2 HP en viviendas hasta de 3 pisos, para un tanque de almacenamiento de  $10 m^3$ .

#### 4. Conclusiones

Los resultados muestran que el sistema diseñado mediante techos verdes puede retener y regular eficazmente la escorrentía pluvial, disminuyendo el riesgo de inundaciones en la zona de captación y prolongando el tiempo de permanencia del agua. La capacidad de almacenamiento prevista permite abastecer el uso en inodoros y emergencias contra incendios, en coherencia con los objetivos del estudio. Asimismo, la selección de vegetación de pasto o césped contribuye a reducir la carga estructural y mantenimiento, permitiendo un sistema ecológico, económico y de bajo impacto ambiental.

En términos hidráulicos, se logró dimensionar las tuberías y rejillas de conducción para que las presiones y velocidades se mantuvieran dentro de los límites recomendados por la normativa, asegurando la eficiencia y durabilidad del sistema. La implementación del techo verde no solo favoreció la gestión sostenible del recurso hídrico, sino que aportó beneficios adicionales como la regulación térmica y la mejora de la calidad del aire. Así, el sistema cumplió con los objetivos propuestos de optimizar la recolección y uso del agua pluvial en edificaciones urbanas, promoviendo prácticas sustentables y resilientes frente a eventos climáticos extremos.

## Referencias

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements*. FAO. <http://www.fao.org/3/X0490E/X0490E00.htm>
- Cevallos-Sierra, J., & Ramos-Martin, J. (2018). Spatial assessment of the potential of renewable energy: The case of Ecuador. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1154-1165. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.015>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill.
- Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba [EMAPAR]. (2024). *Oficina virtual*. <https://www.epemapar.gob.ec/>
- Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito [EPMAPS]. (2025). *EPMAPS Agua de Quito*. <https://www.aguaquito.gob.ec/>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2018). *Determinación de ecuaciones de cálculo de intensidades máximas de precipitación*. <https://acortar.link/T6PmC6>
- López, N., Domínguez, C., Barreto, W., Méndez, N., López, L., Soria, M., Lizano, R., & Montesinos, V. (2020). Almacenamiento de agua de lluvia en medios urbanos utilizando techos verdes. *La Granja*, 32(2), 54-71. <http://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.05>
- López-González, B. G., Camacho, A. D., Martínez-Rodríguez, M. C., & Marcelino-Aranda, M. (2020). Techos verdes: una estrategia sustentable. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(3), 68-79. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v33i3.4389>
- Minke, G. (2021). *Techos verdes: planificación, ejecución, consejos prácticos*. Editorial EcoHabitar.
- Mohorte, A. (2021). Las ciudades más lluviosas de cada país del mundo, reunidas en estos mapas. *Xataka*. <https://acortar.link/0kOnXA>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción [NEC-11]. Norma Hidrosanitaria NHE AGUA., Capítulo 16, 2011.
- Normalización española [UNE-EN 50160]. (2011). Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución. <https://n9.cl/934f8y>
- Permacultura Holística. (9 de mayo de 2021). *¡Techo vivo explicado paso a paso! 6 años, 6 techos vivos y queremos compartirte nuestra experiencia* [Archivo de video]. YouTube. <https://n9.cl/5jla2s>
- Portilla, F. (2018). *Agroclimatología del Ecuador*. Ediciones Abya Yala. <https://lc.cx/7AELeM>
- Rhodes, M. (2012). *Implementación de un modelo de techo verde y su beneficio térmico en un hogar de Honda, Tolima (Colombia)* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/10554/8985>
- Rodríguez, I. A. (2023). *Estrategias pasivas en el diseño de la envolvente para el control de la temperatura interior en zonas de clima cálido húmedo: contribuciones a los sistemas de fachada de edificios residenciales en Sinaloa, México* [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Catalunya]. <http://hdl.handle.net/2117/399102>
- Toirac, J. (2004). Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón; origen y prevención. *Ciencia y Sociedad*, 29(1), 72-114. <https://doi.org/10.22206/cys.2004.v29i1.pp72-114>
- Varela, A., & Ron, S. (2022). *Geografía y clima del Ecuador*. Bio Web. <https://acortar.link/e3tn6U>
- WEAP21. (2025). *Potential and Actual Crop Evapotranspiration (ETc and ETa)*. <https://acortar.link/uVpyEl>

---

## Transparencia

### Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés que influyan en la objetividad de este estudio.

### Fuente de financiamiento

No se recibieron fondos financieros de ninguna organización que pudiera tener interés en los resultados presentados.

### Contribución de autoría

María Gabriela Soria Pugo: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Willian Patricio Sarango Jumbo: Conceptualización, metodología, validación, análisis formal, investigación, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, recursos, supervisión.

Verónica Valeria Yépez Martínez: Conceptualización, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, recursos.

Doris Alexandra Andrade Sandoval: Conceptualización, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, recursos.

Los autores contribuyeron activamente en el análisis de los resultados, revisión y aprobación del manuscrito final.