
Estudio de viabilidad de un sistema de captación de agua lluvia en Guamaní – Quito

Feasibility study of a rainwater harvesting system at Guamani – Quito

Isaac Simbaña ¹, William Quitiaquez ², Leonidas Ramírez ³, David Saquina ⁴.

Resumen:

Al sur de Quito, en la parroquia de Guamaní, se presenta desabastecimiento de agua. Debido a esta problemática, se planteó la investigación para considerar la viabilidad técnica y económica del diseño de un sistema de recolección de agua lluvia. Se analizó las precipitaciones mensuales y volumen de agua capaz de captarse en un lugar establecido. El diseño propuesto consideró el consumo de una vivienda familiar promedio, de cuatro integrantes, con un requerimiento de 150 L por persona. La demanda mensual para una familia es de 18 m³ de agua y el volumen captado anualmente en la parroquia fue 6.68 m³, en promedio. El ahorro máximo se presentaría en abril y el mínimo en julio, consumiendo 6.10 y 17.21 m³ de agua potable, respectivamente. Los costos de implementación llegarían a USD 460.76 y se generaría un ahorro mensual promedio de USD 115.50, presentando un tiempo de recuperación de cuatro años, aproximadamente.

Palabras clave: Agua lluvia, abastecimiento de agua, demanda de agua, sistema de recolección.

Abstract:

There is a water shortage in Guamaní, to the south of Quito. Due to this problem, this investigation was proposed to consider the technical and economic viability of designing a rainwater harvesting system. Monthly rainfall and volume of water capable of capturing in an established place were analyzed. The proposed design has considered the consumption of an average family home with four members, requiring 150 L per person. The monthly demand for a family is 18 m³ of water, and the average volume captured annually in Guamaní was 6.68 m³. The maximum savings would occur in April and the minimum in July, consuming 6.10 and 17.21 m³ of potable water,

¹ Instituto Superior Universitario Sucre, Magíster en Métodos Matemáticos y Simulación Numérica en ingeniería, Ingeniero Mecánico, <https://orcid.org/0000-0002-3324-3071>.

² Universidad Politécnica Salesiana, Ph.D. en Ingeniería, Magíster en Gestión de Energías, Magíster en Ingeniería, Ingeniero Mecánico, <https://orcid.org/0000-0001-9430-2082>.

³ Universidad Politécnica Salesiana, Magíster en Mecánica, Ingeniero Mecánico, <https://orcid.org/0000-0003-2569-2974>.

⁴ Instituto Superior Universitario Sucre, Ingeniero Mecánico, <https://orcid.org/0000-0001-8353-1621>
Autor de correspondencia: isimbana@tecnologicosucre.edu.ec

respectively. The implementation cost would reach USD 460.76, and an average monthly saving of USD 115.50 would be generated, with a recovery time of four years, approximately.

Keywords: Rainwater, supply water, storage system, water demand.

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 01 diciembre 2022.

Aprobado para publicación: 14 diciembre 2022.

Introducción

El aumento de la población a nivel mundial y los constantes cambios climáticos en muchas ciudades, genera situaciones críticas de inconformidad para la calidad de vida del ser humano. Por esto, el racionamiento se vuelve escaso y siendo de interés para los investigadores en la generación de diferentes sistemas de purificación de agua de lluvia (Sánchez, Cohim, & Kalid, 2015). Ante esta problemática, es necesario propuestas tecnológicas que aumenten la cantidad de agua dulce, con calidad aceptable y sin riesgo ambiental. Las distintas tareas realizadas por el hombre han provocado una alteración en el entorno, obteniendo niveles de contaminación en el agua, llegando a no ser apta para el consumo humano. Por esta razón, Balcazar et al. (2019) concluyen que los procesos para el tratamiento del agua son cada vez más difíciles.

Las aplicaciones de aprovechamiento de agua lluvia principalmente son dos, los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) y los sistemas de captación de agua pluvial en techos (SCAPT) (Torres R. , 2019). La revisión de la literatura que aborda este tema ha particularizado en el agua de lluvia para su uso en cisternas de inodoros, riego de áreas verdes, limpieza de pisos, lavado de vehículos, contra incendios y lavado de ropa. Se componen de varios elementos que tienen como función, captar, conducir, filtrar y almacenar el agua lluvia. Sin embargo, bajo determinadas circunstancias, como en edificios, se agregan dispositivos con el propósito de bombear y distribuir.

Chacón et al. (2014) diseñaron un sistema de captación de agua lluvia para la producción de pepino persa en un invernadero ubicado en México. El sistema presentó un área de captación de 1 000 m² y una precipitación neta anual de 40 mm, obteniendo como resultados la obtención de 541.7 m³. De esta manera, se llega a satisfacer al 100% la demanda hídrica, existiendo un excedente del 6% de la demanda necesaria. Por lo que se concluyó que, este sistema es una solución viable para los efectos generados por la sequía y la sobre explotación de mantos acuíferos para la generación de alimentos.

El estudio de las precipitaciones para el diseño de sistema en una finca ubicada en la llanura sur en Cuba fue presentado por Ricardo et al. (2020). Se diseñó un sistema de recolección de agua lluvia, teniendo como datos una precipitación promedio anual de agua lluvia de 1543 mm y un área de captación de 261 m². El sistema ha sido capaz de almacenar 237.4 m³ en los meses de más lluvia, mientras que el año restante de sequía se almacenó 78.23 m³. Entonces, se garantiza el suministro de agua durante los meses de sequías, para uso doméstico, de una familia de 6 personas y abasto para 282 animales.

Aguilar y Carreón (2018) desarrollaron el análisis de viabilidad de un sistema de captación de agua lluvia para el departamento de psicología de una escuela ubicada en México. El muestreo identificó a cinco personas, cada una consume 25 L, en promedio, teniendo un área de captación de 110 m². Se llegó a determinar un volumen máximo de captación de 20.75 m³ y un volumen mínimo de 3.80 m³, siendo de junio

a septiembre los meses de más captación. Se determinó que la implementación del sistema SCALL es viable, ya que permite el ahorro del consumo de agua potable.

La validación de un prototipo de sistema captación de agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano fue presentada por Avelar et al. (2019). La investigación se desarrolló en Achotes, México, teniendo como objetivo abastecer de agua a 11 familias. En el sector, se identificó una precipitación media anual de 939.8 mm y el prototipo evaluado presenta un área de captación de 18 m². De esta manera, cada familia aprovecha 17 m³ de agua cada año, aproximadamente. Los autores afirmaron que, el diseño fue adecuado para proveer de agua al sector, obteniendo una recepción positiva por la comunidad, debido a la comodidad, versatilidad del funcionamiento y facilidad de implementación.

Chino, Velarde y Espinoza (2016) desarrollaron un sistema de captación de agua lluvia para el consumo humano en una comunidad en Perú. Para el sistema se consideró una familia de cuatro integrantes, con un consumo 73 m³, aproximadamente. El área de captación fue 120 m² y la precipitación neta de 721.44 mm. El estudio determinó que, en los meses de diciembre a marzo la familia consume 24.2 m² y el volumen restante es almacenado en una cisterna. De esta manera, Por lo tanto, se concluyó que el sistema permite abastecer los requerimientos de agua de la población. Además, los parámetros de la calidad de agua están dentro de los niveles permitidos por los estándares nacionales de calidad ambiental.

Esta revisión de la literatura ha permitido evidenciar que, el aprovechamiento de agua fluvial es útil y necesario para el ser humano, además de contribuir al desarrollo sustentable. La tabla 1 se observa el estudio realizado por diferentes autores con el propósito de mostrar las formas de recolección de agua fluvial y los parámetros definidos para mejorar su implementación.

Tabla 1

Investigaciones realizadas con diferentes métodos de recolección agua lluvia.

	Chacón et al. (2014)	Ricardo et al. (2020)	Aguilar y Carrión (2018)	Avelar et al. (2019)	Chino, Velarde y Espinoza (2016)
País de desarrollo	Cuba	México	México	México	Perú
Precipitación media anual [mm]	40	1 543	---	939.8	721.44
Área de captación [m ²]	1 000	261	110	18	120
Volumen máximo captado [m ³]	541.7	237.4	20.75	45	73
Volumen mínimo captado [m ³]	---	78.23	3.80	---	---

Fuente: Autores.

El objetivo de esta investigación es analizar la factibilidad de la implementación de una propuesta de solución tecnológica, con la implementación al utilizar un SCALL en la ciudad de Quito. Se enfatiza en el aprovechamiento de recursos renovables como alternativa sustentable para el ahorro de agua potable. También se toman en cuenta los beneficios que implica utilizar este sistema, considerando la capacidad de abastecimiento para una familia promedio compuesta de cuatro personas.

Este documento está presentado de la siguiente manera, la metodología describe las características del sistema, la síntesis de diferentes parámetros meteorológicos y el planteamiento de modelos matemáticos a utilizarse. Los resultados presentan el análisis de los valores obtenidos, que se complementan con la discusión, donde se plantea la viabilidad del diseño propuesto. Por último, las conclusiones plasman el criterio de los autores luego del análisis de resultados.

Metodología

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, utilizado para determinar la precipitación y el volumen captado de agua lluvia. Ha sido complementado cualitativamente, mediante el diseño de componentes estructurales para la implementación del sistema.

Además, se ha considerado un diseño experimental, con el volumen de agua captado como variable y la influencia de otros factores, la precipitación, temperatura ambiente, costos. El método inductivo-deductivo ha sido aplicado en la revisión del estado del arte acerca de estos sistemas, proponiendo una alternativa que considera los requerimientos y el criterio profesional de los autores.

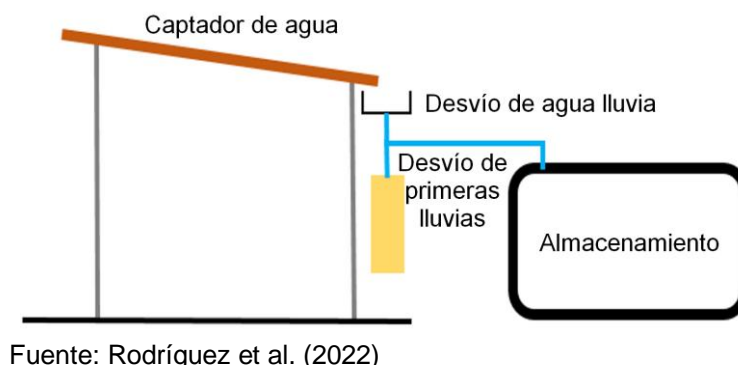
Descripción del sistema

El sistema de captación de agua lluvia (SCALL) consiste en interceptar, recolectar y almacenar agua lluvia, utilizado a nivel domiciliario. Está formado por diferentes elementos para su correcto funcionamiento, como una superficie de captación de agua, un sistema de recolección y distribución.

También consta de un desviador de primeras lluvias y, finalmente, un sistema de almacenamiento, como tanques o cisternas. Además, dependiendo de las aplicaciones que se le vaya a dar, se utilizan filtros para obtener agua de mejor calidad.

La figura 1 esquematiza un diagrama del sistema SCALL, siendo muy versátil y adaptable a zonas urbanas y rurales, con bajo costo de construcción. Debido a esto, los sistemas SCALL se han convertido en una forma eficiente y amable con el medio ambiente para la reutilización del agua lluvia.

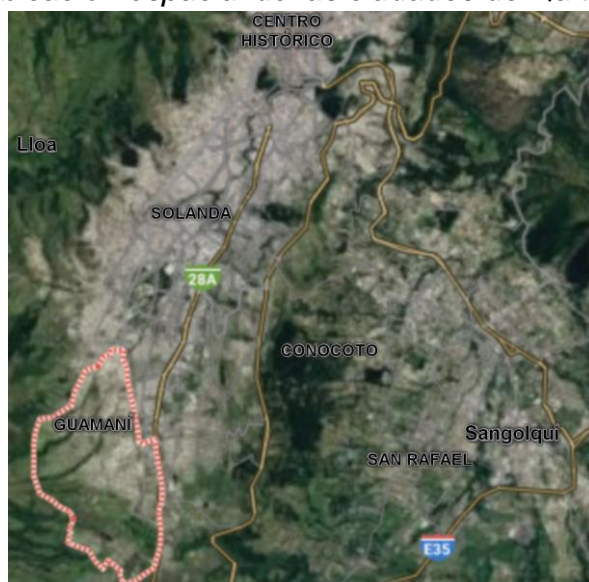
Figura 1
Sistema de captación de agua lluvia (SCALL)



Precipitaciones en la ciudad de Quito

Quito está situada en la vertiente interandina de la Cordillera Occidental, alineada de sur a norte por más de 50 km, flanqueada por el volcán Pichincha a 4680 msnm y el Atacazo por el oeste, además del sistema de Puengasí–Guanguiltagua al este (Seidel, Perugachi, García, & González, 2019). La figura 2 presenta la ubicación espacial de la ciudad, se asienta sobre una llanura lacustre que ocupa el eje de la depresión a una cota promedio de 2800 msnm, y que corresponde a una planicie relacionada con una falla geológica longitudinal de 45 km (Villacis & Marrero, 2017).

Figura 2
Ubicación espacial de las ciudades de Quito



Fuente: NASA (2022).

Villacis y Marrero (2017) analizaron las precipitaciones en la ciudad de Quito, mencionando que en décadas recientes y en diferentes zonas del Ecuador, el clima ha tenido un comportamiento anómalo. Es decir, ha traído como resultado la variabilidad en el comportamiento de parámetros, como la humedad, neblina, las temperaturas máximas y mínimas, las alturas pluviométricas. En el caso específico

de la precipitación, se detectan variaciones persistentes en su comportamiento multianual, con respecto a los valores máximos y mínimos, así como el adelanto y/o retardo de los períodos lluviosos que eventualmente están siendo precedidos por períodos de sequía.

En Quito, la temporada de lluvia es fresca y nublada, mientras que la temporada seca es cómoda y parcialmente nublada. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía entre 9 a 19 °C y rara vez baja a menos de 7 °C o sube a más de 21 °C.

La tabla 2 presenta las diferentes temperaturas y precipitaciones medias de todos los meses del año. Se visualiza que los meses de febrero, marzo y abril se encuentran los mayores niveles de precipitación media, donde la temperatura ronda los 10 °C. La Administración Nacional Atmosférica y Oceanica (NOAA, por sus siglas en inglés) (2022), indica que, en los meses de junio, julio y agosto, se obtiene los valores más bajo de la precipitación media, con valores de temperatura media que van desde los 9 a 20°C.

Tabla 2

Datos climáticos y precipitación media de la ciudad de Quito

Mes	T_{max} / T_{min} [°C]	Precipitación Media [mm]
Enero	19 / 9	120
Febrero	19 / 10	137
Marzo	19 / 9	163
Abril	19 / 10	189
Mayo	19 / 9	116
Junio	19 / 9	56
Julio	19 / 8	22
Agosto	20 / 9	32
Septiembre	20 / 9	84
Octubre	20 / 9	130
Noviembre	19 / 9	120
Diciembre	19 / 9	104

Fuente: NOAA (2022).

Nota: T es temperatura.

Consumo diario de agua de una persona

La tabla 3 contiene las diferentes actividades cotidianas que realiza una persona promedio durante un día normal. Por ello, es necesario añadir un sistema que permita una sostenibilidad de este recurso en actividades domésticas que no requieran agua potable como suministro de conservación del recurso de agua. Los datos son correspondientes a la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS).

Tabla 3
Consumo de agua diario por persona según actividad

Actividad	Consumo [%]
Inodoro	31.5
Ducha	29.5
Lavado de ropa	12.3
Lavado de platos	6.2
Higiene personal	6.2
Jardinería	4.8
Limpieza	4.1
Otras actividades	2.7
Beber y cocinar	2.7

Fuente: Baquero (2013).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), manifiesta que una persona no debería consumir más de 110 litros de agua en todas las actividades que realizan. Sin embargo, estudios realizados en la ciudad de Quito muestran que el consumo es de 220 litros diarios por personas. Normalmente el agua que se origina en los pajonales que rodea la ciudad, una de esas fuentes es la laguna salve Facche y tarda más de siete horas en purificarse desde su captación.

Durante la etapa seca, el consumo de la ciudad aumenta en un 20%, se reflejan una demanda de agua del 7.66 m³. El consumo de 200 a 220 L de agua por día y viendo el crecimiento de alrededor de 20 litros se debe a que en los diferentes meses secos las personas consumen una mayor cantidad del líquido vital. Torres et al. (2020) indican que, el agua no es únicamente para cubrir sus necesidades, sino también para regar plantas, lavar el carro, asentar el polvo, entre otras funciones.

Costo del consumo de agua potable

Según EPMAPS Quito (2019), el costo del consumo de agua de penderá de los metros cúbicos consumidos. La tabla 4 presenta los diferentes costos por el consumo doméstico mensual de agua potable en un medidor Se define el consumo desde 0 m³ hasta más 18 m³, donde, dependiendo del consumo, se establece una tarifa básica y una tarifa por metro cubico.

Tabla 4
Consumos doméstico, oficial y municipal vigente a partir de consumos de 2015

Rango de consumo					
0 – 11 m ³		12 – 18 m ³		> 18 m ³	
Tarifa básica [USD]					
0.00	0.31	3.41	0.43	6.42	0.72

Fuente: EPMAPS Quito (2019).

Nota: El cargo fijo por conexión es de USD 2.10.

Modelos matemáticos en SCALL

Para el análisis de un sistema de captación de agua, es necesario obtener datos de precipitación media y precipitación neta. Para esto, se utiliza la ecuación 1 presentada por Imteaz y Shadeed (2022), donde se especifica la cantidad de agua lluvia con una precipitación media mensual igual o mayor a 40 mm, valores utilizados en este trabajo:

$$P_N = \sum_{j=1}^n P_m \cdot k ; P_m \geq 40 \text{ mm} \quad (1)$$

Donde, P_N es la precipitación neta, P_m es la precipitación media mensual, k es un coeficiente adimensional con el valor de 0.85. El diseño SCALL está dirigido a calcular el volumen captado de agua (V_{agua}) capaz de ser recogido en cierta superficie y así cubrir la demanda de sus habitantes mediante la ecuación utilizada por Freni y Liuzzo (2019):

$$V_{\text{agua}} = \frac{P_m \cdot A_e \cdot C_E}{1000} \quad (2)$$

Donde P_m es la precipitación neta mensual, A_e es el área efectiva de captación y C_E es el coeficiente de escurrimiento adimensional. Para determinar demanda mensual de agua (D_a), López, Cavazos y Vera (2016) utilizaron la siguiente ecuación:

$$D_a = \frac{C_a \cdot O_v \cdot D_m}{1000} \quad (3)$$

Donde C_a es el consumo de agua por habitante y D_m son los días del mes. Bashar, Karim e Imteaz (2018) definieron el caudal de recolección de la canaleta (Q_c) como:

$$Q_c = 0.277 \cdot A_e \cdot I_{ll} \quad (4)$$

Donde I_{ll} es la intensidad de agua lluvia y el valor de 0.277 es el factor de conversión. Finalmente, Riaño (2019) determinó la velocidad con que se transporta el agua a la canaleta (V_c) después de la recolección en el área, prevista con anterioridad, como:

$$V_c = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Donde n es el coeficiente de rugosidad del material de la canaleta, R es el radio hidráulico de canaleta y S es la pendiente. Para determinar el caudal que puede transportar la canaleta (\dot{Q}_c) se utilizó el modelo planteado por Kuok y Chiu (2020):

$$\dot{Q}_c = A_T \cdot V_c \quad (4)$$

Parámetros del diseño

Para el diseño de un sistema SCALL se considera los valores de la tabla 5, donde se asume un área superficial de 70 m² y el material de la superficie es concreto con un factor de escurrimiento de 0.9. Se ha considerado un consumo de 150 L debido a

que el agua que se obtiene mediante SCALL no es para consumo humano (Rosero, García, Sempértegui, & Miño, 2015).

Tabla 5

Propiedades del diseño

Propiedades	Valor	Unidad
Área Superficial	70	m ²
Factor de escurrimiento	0.9	N/A
Consumo de diario de agua por persona	150	L
Intensidad de lluvia	0.0797	m·h ⁻¹
Rugosidad de la canaleta	0.009	μm
Pendiente	2	%
Precipitación máxima diaria	13	mm

Fuente: Rosero et al. (2015).

Según datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2019) la intensidad de lluvia en la ciudad capital para un período de recuperación de 10 años y en un tiempo de 15 minutos es de 0.0797 m·h⁻¹. El Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC, 2021) indica que el tamaño promedio de una familia en el Ecuador es de 3.9, aproximando el valor a 4 persona por vivienda

Resultados

Para determinar la viabilidad del sistema SCALL, es necesario conocer los valores de volumen captado y la demanda mensual. Para realizar este análisis, se utilizaron los valores de la precipitación media de la tabla 2 y las propiedades de la tabla 5. Además de la aplicación de las ecuaciones para obtener los siguientes resultados que se presentan a continuación. La tabla 6 muestra que, los meses de febrero, marzo y abril es cuando se obtuvo la mayor cantidad de volumen captado. Los valores van desde 8.6 hasta 11.9 m³. Mientras que, junio, julio y agosto son los meses con la menor captación de agua lluvia, de 1.38 hasta 3.52 m³. Entonces, la demanda mensual está de 18 y 18.6 m³, siendo únicamente el mes de febrero el de demanda mensual de 16.2 m³, esto debido a que es el mes con la menor cantidad de días.

Tabla 6

Volumen captado y demanda mensual

Mes	Volumen captado [m ³]	Demanda mensual [m ³]	Consumo total [m ³]
Enero	7.560	18.6	11.040
Febrero	8.631	16.2	7.569
Marzo	10.269	18.6	8.331
Abril	11.907	18.0	6.093
Mayo	7.308	18.6	11.292



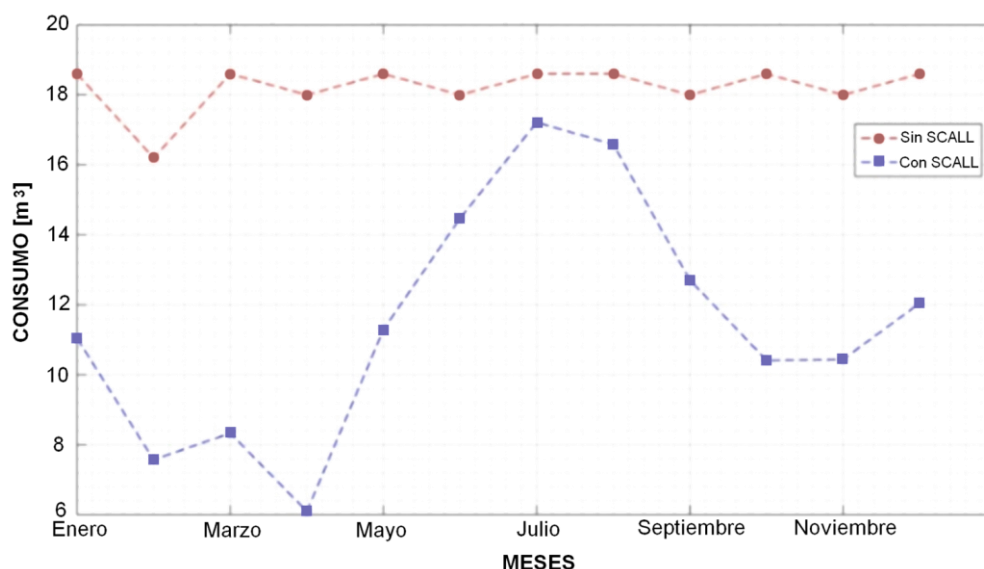
Junio	3.528	18.0	14.472
Julio	1.386	18.6	17.214
Agosto	2.016	18.6	16.584
Septiembre	5.292	18.0	12.708
Octubre	8.190	18.6	10.410
Noviembre	7.560	18.0	10.440
Diciembre	6.552	18.6	12.048

Fuente: Autores.

Para realizar el análisis económico del sistema SCALL, se utilizaron los valores de la tabla 4, incluyendo los rangos del costo de consumo de agua potable donde se tiene un costo fijo de USD 2.10 por la conexión. Estos valores van cambiando en función de la cantidad de agua potable consumida. Al analizar los resultados obtenidos de la demanda mensual y consumo total, se utilizaron diferentes rasgos de consumo. La figura 3 permite observar la comparativa entre el consumo de agua potable al utilizar el sistema SCALL y sin éste. El mes de abril genera el mayor ahorro de agua potable, con un consumo de 6.093 m³. Mientras que, en los meses de junio, julio y agosto, el ahorro es insignificante teniendo un consumo de agua potable desde 14.47 hasta 17.21 m³. Entonces, se afirma que los meses restantes se alcanzaría un ahorro mayor a los 5.3 m³.

Figura 3

Consumo de la red de agua potable



Fuente: Autores.

La tabla 7 resume los resultados de manera comparativa, entre la implementación del sistema SCALL y sin utilizarlo. El mes de marzo y octubre se logran obtener un ahorro de USD 17.23 a 16.58, mientras que, en los meses de junio y septiembre el ahorro sería apenas USD 1.52 y 2.28.

Tabla 7
Análisis económico del sistema SCALL

Mes	Con SCALL [USD]	Sin SCALL [USD]	Ahorro [USD]
Enero	8.16	19.81	11.65
Febrero	2.35	10.38	8.03
Marzo	2.58	19.81	17.23
Abril	1.89	11.15	9.26
Mayo	8.27	19.81	11.55
Junio	9.63	11.15	1.52
Julio	10.81	19.81	9.00
Agosto	10.54	19.81	9.27
Septiembre	8.87	11.15	2.28
Octubre	3.23	19.81	16.58
Noviembre	3.24	11.15	7.91
Diciembre	8.59	19.81	11.22
		Ahorro Total	115.50

Fuente: Autores.

Con los datos obtenidos, se presentó un diseño de SCALL, iniciando con la selección de un tanque de almacenamiento de 1 m³. Solano et al. (2017) utilizan el valor más alto del volumen mensual captado, considerando que la demanda mensual es más alta que la del volumen captado.

Mediante la ecuación 2 y el valor de la precipitación máxima diaria, se obtuvo un volumen de captación máxima diaria de 0.819 m³. Al comparar este valor con la demanda diaria, de 0.6 m³, se obtiene una diferencia de 0.219 m³ en los meses con más precipitaciones. De esta manera, se afirma que, el tanque de 1 m³ es capaz almacenar todo el volumen captado.

Para la selección de la canaleta del sistema, se debe analizar el valor de caudal teórico que debe transportar la canaleta y el caudal real que es capaz transportar la canaleta seleccionada. Al utilizar la ecuación 4, se determinó como caudal teórico que debe de transporta la canaleta un valor de 1.55 L·s⁻¹.

Un limitante para este elemento es la falta de variedad en el mercado local, seleccionando una canaleta rectangular de PVC de 90 mm de alto y 120 mm de ancho. Con la ecuación 5, se determinó qué velocidad del agua en esta canaleta alcanza 2.942 m·s⁻¹ y utilizando la ecuación 6, se obtuvo que el caudal máximo real que puede transportar la canaleta es de 21.921 L·s⁻¹. Entonces, considerando estos valores, se llega a determinar que la selección de la canaleta es correcta.

Para realizar un análisis de factibilidad del SCALL, se realizó un estudio de costos que conlleva la implementación de éste. La tabla 8 describe los elementos utilizados para la construcción del sistema SCALL y el costo de cada uno de los componentes, obteniendo un costo total de USD 470.76.

Tabla 8

Costo del sistema SCALL

Elemento	Cantidad	Costo Unitario [USD]	Costo Total [USD]
Canal recolector 3 m	3	11.50	34.50
Unión de canal	2	5.38	10.76
Unión canal a bajante	1	6.73	6.73
Adaptador de bajante a tubo de alcantarilla	1	2.38	2.38
Soporte plástico de canal	9	1.00	9.00
Tapa izquierda y derecha	2	4.21	8.42
Tubo de desagüe Ø 75 mm	1	12.11	12.11
Tubo NPT Ø 12.7 mm x 6 m	1	30.00	30.00
T de desagüe	1	4.24	4.24
Codo de desagüe 90 °	1	2.62	2.62
Filtro purificador de agua	1	100.00	100.00
Tanque de 1000 m ³	1	200.00	200.00
Bomba de agua de 1/2 HP	1	40.00	40.00
		Total	460.76

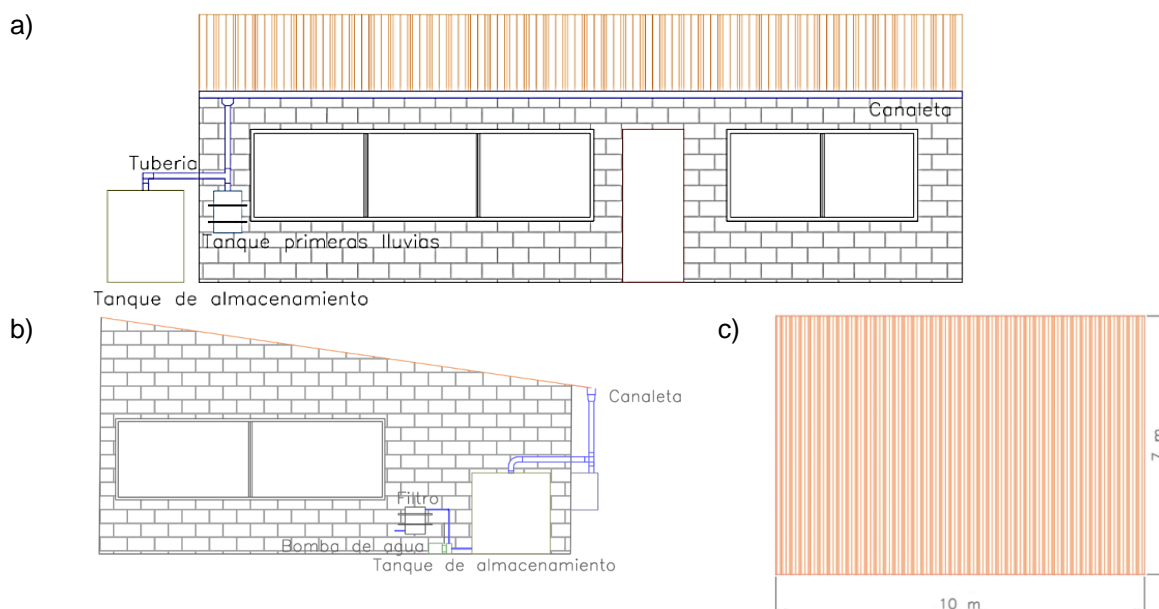
Fuente: Autores.

Este análisis de costos asume que, el sistema cuenta con un filtro purificador y una bomba de agua, considerando todos los elementos que este sistema utiliza. Para el transporte del agua desde la canaleta hasta el tanque de almacenamiento, se ha seleccionado un tubo PVC de desagüe de 75 mm de diámetro. Mientras que, para el transporte del tanque hacia el domicilio, se plantea utilizar un tubo NPT de 12.7 mm.

La figura 4 presenta la vista frontal y lateral del diseño propuesto para la instalación del SCALL. El agua será recolectada por la canaleta, para que avance hasta un tanque de primeras lluvias que cumpliría con la función de evitar la recolección agua en malas condiciones.

Cuando este tanque esté lleno, el agua avanzará hasta el tanque de almacenamiento, cuya salida estará conectada a una bomba de agua que ayuda con la distribución. Por último, esta bomba será conectada a un filtro que permita el ingreso de agua a la casa, asegurando que ésta se encuentre en condiciones óptimas para su uso.

Figura 4
Vistas del sistema instalado.



Nota: a) vista frontal, b) vista lateral, c) vista superior.

Fuente: Autores.

Discusión

Del análisis de estos resultados, se llega a determinar que, ninguno de los meses ha logrado cumplir con la demanda mensual. Sin embargo, hay que considerar que se presentaría un ahorro significativo, en especial en los meses de con la mayor cantidad de volumen captado.

Se calculó, en promedio, una intensidad de lluvia de $0.0797 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ para un período de recuperación de 10 años y tiempo de 15 minutos. El máximo volumen captado que se determinó fue 11.91 m^3 , con ahorro de 66.17 % del consumo total de la vivienda. El ahorro mensual de agua supera los 5.30 m^3 de agua, a excepción del verano, junio, julio, agosto, llegando a generar un ahorro económico de USD 115.50 al año. Investigaciones relacionadas a la factibilidad de un sistema SCALL que se han mostrado en este documento, el principal objetivo es verificar la factibilidad de un sistema de recolección de agua lluvia eficiente, efectiva y viable, se pueda atenuar los escasos de agua y reducir costos económicos para una familia promedio en la ciudad de Quito parroquia Guamaní.

Con la revisión de la literatura, se identificó que el sistema alcanza un rendimiento aceptable, ya que, en trabajos que utilizaron un área de 110 m^2 , el volumen captado fue de 12 m^3 en promedio (Aguilar & Carrión, 2018). Por lo que, para el caso de estudio, con un área de 70 m^2 , se captaría un volumen de 6.68 m^3 , en promedio.

Con los resultados obtenidos de la tabla 7 y tabla 8, se determinó un tiempo aproximado de cuatro años para la recuperación del costo invertido en a la implementación del sistema SCALL. Es importante indicar la factibilidad para utilizarlo en la ciudad de Quito, esto debido a la durabilidad de los componentes con los que

está diseñado y facilidad que conlleva su implementación. Además de mitigar el impacto ambiental al proponer nuevas formas de recolección de agua amigables con el medio ambiente que favorecen a un desarrollo sustentable.

Conclusiones

Se determinó que los valores de volúmenes captados de lluvias máximas mensuales en los meses de febrero, marzo y abril, van desde 8.6 hasta 11.9 m³. Por lo que, en ninguno de los meses se logra cumplir con la demanda mensual, sin embargo, se alcanza un ahorro en el consumo de agua de hasta el 66 % en los meses donde se presenta un mayor volumen captado.

Luego del análisis económico, donde se planteó una comparativa entre usar el sistema SCALL y no utilizarlo, se determinó que el ahorro promedio del consumo de agua anual es del 41.36 %, estableciendo que el ahorro va desde USD 1.52 en el mes de junio hasta un ahorro económico de USD 17.58 en el mes de marzo.

Entonces, se afirma que es viable la implementación de un sistema de captación de agua lluvia (SCALL) para la ciudad de Quito parroquia Guamaní, debido a que se tiene un ahorro anual de aproximadamente USD 115.50. Al comparar este valor con el costo que implica la implementación de este sistema, USD 460.76, se evidenció que el valor invertido se lo recuperaría en aproximadamente 4 años.

Referencias

- Aguilar, M., y Carrión, J. J. (2018). Análisis de viabilidad de un sistema de captación de agua lluvia en la ENMSGTO. *Jóvenes en la Ciencia*, 4(1), 3144-3148.
- Avelar, J., Sánchez, J., Domínguez, A., Lobato, C., y Macilla, O. (2019). Validación de un prototipo de sistema captación de agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano. *Idesia*, 37(1), 53-59.
- Balcazar, L., Khalidou, M., Díaz, C., Quentin, E., y Minga, S. (2019). Modelado de caudales diarios en una cuenca del sur del Ecuador con precipitación y temperatura estimadas por satélite. *Agrociencia*, 53(4), 465-486.
- Baquero, M. (2013). Water saving and reuse in the building in the city of Cuenca, Ecuador. *Estoa*, 1(3), 3-4.
- Bashar, M., Karim, R., y Imteaz, M. (2018). Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting: A comparative study within six major cities of Bangladesh. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, 146-154. doi:10.1016/j.resconrec.2018.01.025
- Chacón, J., Valdés, E., Anaya, M., Gutiérrez, D., Asanza, M., y Martínez, L. (2014). Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia para producción de pepino persa (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero en Michoacán (México). *UTCiencia*, 1(1), 6-19.

- Chino, M., Velarde, E., y Espinoza, J. (2016). Captación de agua de lluvia en cobertura de viviendas rurales para consumo humano en la Comunidad de Vilca Maquera, Puno-Perú. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 18(3), 365-373.
- EPMAPS Quito. (2019). *Pliego Tarifario*. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de <https://www.aguaquito.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Pliego-Tarifario-EP-MAPS-05.2019.pdf?fbclid=IwAR0bjYya3cueFmp3I7VWYyJ4b4w7n2D0eal6JM1gFuFCCG6VoPmfPkxsflr4>
- Freni, G., y Liuzzo, L. (2019). Effectiveness of Rainwater Harvesting Systems for Flood Reduction in Residential Urban Areas. *Water*, 11, 1-14. doi:10.3390/w11071389
- Imteaz, M., y Shadeed, S. (2022). Superiority of water balance modelling for rainwater harvesting analysis and its application in deriving generalised equation for optimum tank size. *Journal of Cleaner Production*, 32, 130991. doi:10.1016/j.jclepro.2022.130991
- INAMHI. (2019). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*. Recuperado el 08 de Enero de 2022, de https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf
- INEC. (2021). *Documento Metodológico de las Estadísticas de Edificaciones (ESED)*. Recuperado el 6 de Febrero de 2022, de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2021/10.%202021_ESED_Documento_metodologico.pdf
- Kuok, K., y Chiu, P. (2020). Optimal rainwater harvesting tank sizing for different types of residential houses: Pilot study in Kuching, Sarawak. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(1), 541-554.
- Lopez, J., Cavazos, R., y Vera, J. (2016). Evaluación de un sistema de captación de agua de lluvia en la. *Ingeniería Revista Académica*, 20(1), 3-5.
- National Aeronautics and Space Administration. (2022). *Latitude-Longitude Finder*. Recuperado el 24 de Enero de 2022, de <https://mynasadata.larc.nasa.gov/basic-page/looking-latitude-longitude-finder>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2022). *National Centers for Environmental Information*. Recuperado el 17 de Junio de 2022, de <https://www.ncdc.noaa.gov/>
- Riaño, F. (2019). Froude, Manning y Reynolds aportan a la hidráulica en el siglo XIX. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(2), 110-124.
- Ricardo-Calzadilla, M., Gómez, A., Fernández, R., Cutie, V., y Martínez, O. (2020). Estudio de las precipitaciones para el diseño de sistema. *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(2), 28-36.
- Rodrigues, A., Mendoca, A., Perella, J., y Nogueira, M. (2022). Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103475. doi:10.1016/j.scs.2021.103475

- Rosero, J., García, J., Sempértegui, B., y Miño, W. (2015). *Una mirada histórica a la estadística del Ecuador*. Quito: INEC.
- Sánchez, A., Cohim, E., y Kalid, R. (2015). A review on physicochemical and microbiological. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 2-5.
- Seidel, H., Perugachi, C., García, I., y González, M. (2019). La relación entre la precipitación en Ecuador y la temperatura superficial del mar en el Océano Pacífico. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 2(1), 22-34. doi:10.54140/raop.v2i1.22
- Solano, C., Gonzaga, F., Espinoza, F., y Espinoza, J. (2017). Sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico en la Isla Jambelí, cantón Santa Rosa. *Cumbres*, 3(1), 151-159.
- Torres, R. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(2), 125-139.
- Torres, S., Tapia, I., Goetschel, L., y Pazmiño, E. (2020). Análisis físico - químico e influencia de los minerales disueltos en el sabor del agua potable, de las principales plantas de tratamiento de Quito. *Enfoque UTE*, 11(4), 57-70. doi:10.29019/enfoqueute.v11n4.533
- Villacis, E., y Marrero, N. (2017). Precipitaciones extremas en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha- Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(2), 102-113.