

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis: "Captación de Aguas Lluvias y Diseño de Biofiltro para Tratamiento de aguas grises como uno de los sistemas para viviendas unifamiliares sostenibles"

AUTOR:

Autor: Jorge Ignacio Flores Chicaiza

Director: Ing. Patricio Castro

Quito, enero 2026

Resumen

La presente tesis analiza y documenta el diseño técnico de un sistema integrado de captación y almacenamiento de aguas lluvias y tratamiento de aguas grises mediante biofiltro, aplicado a una vivienda unifamiliar ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). El estudio se desarrolla en respuesta a la creciente presión sobre los sistemas convencionales de abastecimiento de agua potable y saneamiento, agravada por el crecimiento urbano, la variabilidad climática y la necesidad de una gestión más eficiente del recurso hídrico a escala predial.

El proyecto se enmarca en el contexto de una vivienda unifamiliar tipo, localizada en el entorno urbano de DMQ, cuyas condiciones hidrológicas, climáticas y pluviométricas tomadas de las estaciones de monitoreo de la Empresa Metropolitana Agua Potable y Saneamiento permiten evaluar la viabilidad técnica de sistemas descentralizados de gestión del agua. Desde la perspectiva de la ingeniería civil, se analizan los principios hidráulicos, hidrológicos y sanitarios que sustentan el diseño del sistema propuesto, así como su articulación con la normativa nacional y municipal vigente.

La metodología aplicada contempla la revisión normativa, el desarrollo del marco teórico, el diseño técnico de los sistemas de captación de aguas lluvias y tratamiento de aguas grises, y la evaluación de su viabilidad técnica, ambiental y económica. Los resultados evidencian que la integración de ambos sistemas constituye una alternativa viable para reducir el consumo de agua potable, disminuir las descargas al sistema de alcantarillado y contribuir a una gestión más sostenible del recurso hídrico en viviendas unifamiliares del DMQ.

La tesis demuestra que la aplicación de soluciones técnicas descentralizadas para la gestión del agua es compatible con los criterios de sostenibilidad urbana y puede ser replicable en contextos residenciales similares, aportando a la resiliencia hídrica urbana y al uso eficiente de los servicios básicos.

Palabras clave

Captación de aguas lluvias

Tratamiento de aguas grises

Gestión hídrica sostenible

Ingeniería civil

Vivienda unifamiliar

Biofiltro

Resiliencia hídrica urbana

Abstract

This thesis analyzes and documents the technical design of an integrated system for rainwater harvesting and storage, combined with greywater treatment through a biofilter, applied to a single-family dwelling located in the Metropolitan District of Quito (DMQ). The study responds to the increasing pressure on conventional drinking water supply and sanitation systems, exacerbated by urban growth, climate variability, and the need for more efficient water resource management at the household level.

The project is developed within the context of a real single-family dwelling located in the Guápulo area, whose topographic, climatic, and urban conditions allow for the evaluation of the technical feasibility of decentralized water management systems. From a civil engineering perspective, the study examines the hydraulic, hydrological, and sanitary principles that support the design of the proposed system, as well as its alignment with current national and municipal regulations.

The applied methodology includes a regulatory review, the development of the theoretical framework, the technical design of the rainwater harvesting and greywater treatment systems, and the evaluation of their technical, environmental, and economic feasibility. The results demonstrate that the integration of both systems constitutes a viable alternative for reducing potable water consumption, decreasing discharges to the sewer system, and

contributing to more sustainable water resource management in single-family dwellings within the DMQ.

This thesis demonstrates that the application of decentralized technical solutions for water management is compatible with urban sustainability criteria and can be replicated in similar residential contexts, contributing to urban water resilience and the efficient use of basic services.

Keywords Self-sufficient housing

Rainwater harvesting

Greywater treatment

Sustainable water management

Civil engineering

Single-family housing

Biofilter

Urban water resilience

Contenido

Resumen	2
Capítulo 1: Introducción y Planteamiento del problema	8
1.1 Introducción.....	8
1.2 Planteamiento del problema.....	9
1.3 Objetivos	11
1.3.1 Objetivo general	11
1.3.2 Objetivos específicos	11
1.4 Alcance y delimitaciones	11
1.5 Justificación técnica y contextual	12
1.6 Estructura del documento.....	14
Capítulo 2: Marco teórico y conceptual.....	15
2.1 Introducción al marco normativo	15
2.2 Normativa municipal aplicable.....	16
2.3 Normativa nacional aplicable.....	18
2.4 Normativa ambiental.....	19
2.5 Referentes técnicos internacionales	20
2.6 Articulación normativa y alcance del marco legal	20
Capítulo 3: Marco Teórico	21
3.1 Introducción al marco teórico	21
3.2 Hidrología aplicada a la captación de aguas lluvias	22
3.2.1 Precipitación y escorrentía superficial	22
3.2.2 Método racional para el cálculo del caudal de diseño	22
3.2.3 Volumen de escorrentía y balance hídrico	¡Error! Marcador no definido.
3.3 Principios hidráulicos de conducción y almacenamiento.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3.1 Conducción por tuberías a presión y a gravedad.....	23
3.3.2 Almacenamiento y regulación de caudales	23
3.4 Aguas grises: características y clasificación	24
3.5. Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSS)	24
3.5.1. Tipología de Flujo Horizontal	¡Error! Marcador no definido.
3.6. Mecanismos de Remoción de Contaminantes	¡Error! Marcador no definido.
3.6.1. El Sustrato (Medio Filtrante)	25
3.6.2. Microbiología y Biopelícula	25
3.6.3. El Rol de las Macrófitas y la Rizosfera	26

3.7. Cinética de Remoción y Efecto de la Temperatura	26
3.7.1. Modelo Cinético de Primer Orden (Modelo de Reed)	¡Error! Marcador no definido.
3.7.2. Determinación del Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	¡Error! Marcador no definido.
3.7.3. El Efecto Térmico en Quito (Ecuación de Arrhenius).....	¡Error! Marcador no definido.
3.8 Tratamiento de aguas grises mediante biofiltros	¡Error! Marcador no definido.
3.8.1 Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.....	¡Error! Marcador no definido.
3.8.2 Cinética de remoción de contaminantes	¡Error! Marcador no definido.
3.8.3 Tiempo de retención hidráulica.....	¡Error! Marcador no definido.
3.9 Integración conceptual de los sistemas lluvia-gris	28
3.10. Filtrado Final Con filtro granular y carbón activado	29
3.11. Filtración Mecánica (Arena y Grava).....	29
3.12. Adsorción Química (Carbón Activado).....	30
3.13. Acción Biológica (Filtros de Arena Lenta).....	30
3.14. Criterios de Diseño Hidráulico	¡Error! Marcador no definido.
3.15. Introducción técnica del sistema de filtración	¡Error! Marcador no definido.
3.15.1 Flujo en medios porosos.....	30
Cálculo del Área (A_f): $A_f = Q_{max}V_f$	31
3.15.2 Pérdida de carga en filtros granulares.....	31
3.15.3 Procesos de adsorción en carbón activado	33
3.16. Consideraciones específicas para la ciudad de Quito	37
Capítulo 4: METODOLOGÍA	39
4.1 Enfoque y tipo de investigación.....	39
4.2 Alcance de la investigación	39
4.3 Diseño metodológico general	39
4.4 Revisión bibliográfica y marco normativo.....	40
4.5 Caracterización del caso de estudio	40
4.5.1 Ubicación y contexto	¡Error! Marcador no definido.
4.5.2 Características de la vivienda	¡Error! Marcador no definido.
4.6 Determinación de variables y parámetros de diseño.....	41
4.6.1 Sistema de captación de aguas lluvias	41
4.6.2 Sistema de tratamiento de aguas grises	41
4.7 Metodología para el diseño del sistema de captación de aguas lluvias.....	43

4.8 Metodología para el diseño del sistema de tratamiento de aguas grises	43
4.9 Técnicas de análisis y procesamiento de datos	43
Capítulo 5: Diseño y cálculo del Sistema Integrado de captación de aguas lluvias y tratamiento de aguas grises.....	44
5.1 Introducción.....	44
5.2 Datos generales de diseño	45
5.2.1 Parámetros generales del caso de estudio	46
5.3 Diseño del sistema de captación de aguas lluvias	47
5.3.1 Datos pluviométricos.....	47
5.3.2 Cálculo del caudal de escorrentía (Método racional).....	52
5.3.3 Diseño de canaletas y bajantes.....	53
5.3.4 Cálculo del volumen de almacenamiento.....	59
5.4 Diseño del sistema de tratamiento de aguas grises	71
5.4.2 Caracterización del afluente	76
5.4.3 Diseño del biofiltro (humedal subsuperficial).....	78
5.4.3 Calculo de parámetros de biofiltro	81
5.4.5 Verificación de calidad del efluente	84
Capítulo 6: Resultados y análisis	97
6.1 Introducción.....	97
6.2 Resultados del sistema de captación de aguas lluvias	98
6.2.1 Volumen potencial de agua captada	98
6.2.2 Cobertura de la demanda no potable	98
6.3 Resultados del sistema de tratamiento de aguas grises	99
6.3.1 Eficiencia de remoción de contaminantes	99
6.3.2 Usos posibles del agua tratada	99
6.4 Integración funcional de los sistemas	100
6.5 Evaluación de cumplimiento normativo.....	100
6.6 Análisis comparativo con sistema convencional.....	101
6.7 Discusión técnica.....	101
Capítulo 7: Análisis de Costos del Sistema Integrado de Agua en Vivienda Unifamiliar (Quito).....	102
Capítulo 8: Conclusiones y recomendaciones.....	107
8.1 Conclusiones	107
8.2 Recomendaciones técnicas.....	108
8.3 Recomendaciones para futuros estudios.....	109

Referencias bibliográficas.....	110
Anexos	113

Capítulo 1: Introducción y Planteamiento del problema

1.1 Introducción

En las últimas décadas, el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) ha experimentado un crecimiento urbano sostenido que, sumado a los efectos progresivos del cambio climático, ha incrementado de manera significativa la presión sobre los sistemas convencionales de abastecimiento de agua potable y saneamiento. La expansión de áreas urbanizadas, el aumento de la demanda hídrica y la creciente variabilidad en los regímenes de precipitación han puesto en evidencia la necesidad de adoptar enfoques alternativos que permitan una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico a escala predial.

Este escenario de presión estructural se ha visto reforzado por la ocurrencia de eventos que han afectado la continuidad y confiabilidad de los servicios básicos, como racionamientos de agua potable, interrupciones prolongadas de servicios, crisis sociales con paralización del transporte y la cadena de suministro, así como fenómenos naturales recurrentes, entre ellos lluvias intensas, incendios forestales y sismos. Estas condiciones han evidenciado la vulnerabilidad del modelo habitacional urbano y la necesidad de fortalecer la resiliencia desde el ámbito de la vivienda.

En este contexto, la captación y almacenamiento de aguas lluvias, así como el tratamiento y aprovechamiento de aguas grises mediante sistemas naturales como los biofiltros, se consolidan como estrategias técnicas viables para reducir el consumo de agua potable, disminuir los caudales descargados a los sistemas de alcantarillado y mitigar los impactos ambientales asociados a la urbanización. Diversos estudios han demostrado que la gestión integrada de estos flujos hídricos contribuye a mejorar la eficiencia del uso del agua y a fortalecer la resiliencia hídrica de las viviendas unifamiliares (Chow , 1988; Metcalf & Eddy, 2014).

A nivel local, el Distrito Metropolitano de Quito ha incorporado disposiciones normativas orientadas a la gestión sostenible del agua. La Ordenanza Metropolitana N.º 048 establece la obligatoriedad de implementar sistemas de captación y almacenamiento de aguas

lluvias en edificaciones nuevas. No obstante, si bien esta normativa regula de manera específica la gestión de aguas lluvias, no desarrolla de forma integral la articulación técnica entre la captación de aguas lluvias y el tratamiento, lo que limita el aprovechamiento conjunto de ambos procesos dentro de la vivienda unifamiliar.

El presente estudio se desarrolla a partir del análisis de una vivienda unifamiliar tipo, en la zona urbana del DMQ. El área pretendida de alrededor de 400 m² presenta una topografía irregular (típica de la ciudad), con un régimen pluviométrico promedio de aproximadamente 960 mm/año y una densidad habitacional media–alta. Estas condiciones hacen viable la implementación de sistemas de captación y almacenamiento de aguas lluvias, tanto por la disponibilidad del recurso como por la necesidad de controlar la escorrentía superficial (EPMAPS, 2023).

Desde la perspectiva de la ingeniería civil, la investigación se centra en el diseño técnico de un sistema integrado de captación de aguas lluvias y tratamiento de aguas grises mediante biofiltro, considerando principios hidráulicos, hidrológicos y sanitarios, así como el marco normativo vigente del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) y las ordenanzas municipales aplicables. El objetivo es demostrar la viabilidad técnica, funcional y replicable de este tipo de sistemas como una alternativa concreta para mejorar la gestión del recurso hídrico en viviendas unifamiliares del DMQ, contribuyendo a la sostenibilidad hídrica urbana y a la resiliencia frente a los desafíos climáticos y de provisión de servicios básicos.

1.2 Planteamiento del problema

En el Distrito Metropolitano de Quito, la gestión del recurso hídrico a nivel predial se basa predominantemente en el uso de agua potable para actividades que no requieren dicha calidad, como el riego de áreas verdes, la limpieza exterior y las descargas sanitarias. Esta práctica genera un uso ineficiente del recurso hídrico y una sobrecarga innecesaria de los sistemas de abastecimiento y alcantarillado.

Adicionalmente, la falta de integración entre los sistemas de captación de aguas lluvias y los sistemas de tratamiento de aguas grises ocasiona que volúmenes significativos de agua potencialmente reutilizable sean descartados sin aprovechamiento, incrementando la escorrentía superficial y el impacto sobre los cuerpos receptores. Esta situación

contrasta con los principios de sostenibilidad y gestión integral del recurso hídrico promovidos por la normativa nacional y las políticas ambientales vigentes.

Frente a este escenario, surge la necesidad de diseñar un sistema integrado que permita gestionar de manera eficiente las aguas lluvias y las aguas grises dentro de la vivienda unifamiliar, garantizando el cumplimiento normativo y contribuyendo a la reducción del consumo de agua potable y de los impactos ambientales asociados.

En Quito, gran parte del consumo de agua potable se destina a usos no potables, como el riego, la limpieza o las descargas sanitarias, representando una ineficiencia estimada entre el 40 % y el 60 % (EPMAPS, 2023). Simultáneamente, las aguas grises domésticas son vertidas directamente al alcantarillado, generando sobrecarga hidráulica y desperdicio de un recurso potencialmente reutilizable.

En respuesta a estas problemáticas, el Municipio de Quito, mediante la Ordenanza Metropolitana N.º 048-2022, exige la instalación de sistemas de captación y almacenamiento de aguas lluvias en edificaciones nuevas. Sin embargo, esta ordenanza aún no articula de manera integral la gestión conjunta de aguas lluvias y aguas grises, lo que representa un vacío técnico en la normativa local (Municipio de Quito, 2022).

En este contexto, los biofiltros surgen como una alternativa sostenible para el tratamiento natural de aguas grises domésticas, permitiendo su reutilización en actividades no potables y reduciendo el impacto ambiental asociado a las descargas (Metcalf & Eddy, 2014; Kadlec & Wallace, 2009). El enfoque de gestión hídrica integrada a escala predial, promovido por la Política Urbana Nacional 2023–2036 (MIDUVI, 2023), plantea precisamente la necesidad de soluciones descentralizadas en edificaciones sostenibles.

De esta manera, la captación de aguas lluvias combinada con el tratamiento de aguas grises mediante biofiltro constituye una estrategia viable para el diseño de viviendas unifamiliares sostenibles en Quito, en concordancia con los lineamientos del proyecto ELEMENTAL–PUCE (2024).

El problema central que aborda esta investigación es:

¿Cómo diseñar un sistema integral que permita gestionar de forma eficiente las aguas lluvias y las aguas grises dentro de una vivienda unifamiliar sostenible en Quito, cumpliendo los estándares técnicos, sanitarios y ambientales vigentes?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema integrado de captación y almacenamiento de aguas lluvias y un sistema de tratamiento de aguas grises mediante biofiltro, como uno de los sistemas aplicables a viviendas unifamiliares sostenibles en el Distrito Metropolitano de Quito, conforme a la normativa técnica y ambiental vigente.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar el marco normativo nacional y local aplicable a la captación de aguas lluvias y al tratamiento de aguas grises en el Distrito Metropolitano de Quito.
- Desarrollar el sustento teórico hidráulico, y sanitario que respalda el diseño de los sistemas propuestos.
- Dimensionar técnicamente el sistema de captación, conducción y almacenamiento de aguas lluvias para una vivienda unifamiliar tipo.
- Diseñar el sistema de tratamiento de aguas grises mediante biofiltro, garantizando la calidad del efluente para usos no potables.
- Evaluar la viabilidad técnica, ambiental y económica del sistema integrado propuesto.

1.4 Alcance y delimitaciones

El presente trabajo se desarrolla para una vivienda unifamiliar tipo ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito, diseñada para una familia de cinco integrantes, emplazada en un predio que dispone del espacio físico adecuado para la implementación de sistemas descentralizados de gestión hídrica. El estudio se enfoca exclusivamente en la captación, conducción y almacenamiento de aguas lluvias, así como en el tratamiento y aprovechamiento de aguas grises domésticas provenientes de duchas, lavamanos y lavanderías, excluyendo expresamente las aguas negras.

El estudio se limita a:

- Captación, conducción, almacenamiento y aprovechamiento de aguas lluvias.
- Tratamiento de aguas grises domésticas (duchas, lavamanos y lavandería).
- Evaluación técnica, ambiental y económica del sistema integrado.

Se excluye el tratamiento de aguas negras y el diseño estructural detallado de componentes civiles.

El alcance del trabajo comprende el análisis normativo aplicable, el sustento teórico hidráulico, el diseño técnico de los sistemas propuestos y la evaluación de su viabilidad técnica, ambiental y económica. No se aborda el diseño estructural detallado de las obras civiles asociadas, limitándose este aspecto a criterios generales de implantación y estabilidad, conforme a la normativa vigente.

1.5 Justificación técnica y contextual

La vivienda no constituye únicamente un espacio físico, sino que representa una unidad básica de resiliencia urbana, especialmente en contextos andinos como el Distrito Metropolitano de Quito, donde confluyen amenazas naturales —como sismos y eventos climáticos extremos— con presiones sociales y urbanas que afectan la continuidad y confiabilidad de los servicios básicos. En este escenario, la gestión del recurso hídrico a escala habitacional adquiere un rol estratégico, dada la dependencia histórica de sistemas centralizados de abastecimiento y saneamiento que presentan vulnerabilidades frente a escenarios de estrés o interrupción.

El crecimiento urbano sostenido del DMQ, sumado a la variabilidad climática y a los cambios en los patrones de precipitación, ha incrementado la presión sobre los sistemas convencionales de agua potable y alcantarillado. Esta situación hace necesario el desarrollo de soluciones técnicas descentralizadas que permitan optimizar el uso del agua, reducir la demanda de la red pública y mitigar los impactos asociados a la escorrentía superficial y a la descarga de aguas residuales domésticas.

En este contexto, la vivienda unifamiliar sostenible, constituye un caso de estudio pertinente, al tratarse de una edificación tipo, que incorpora sistemas de captación y almacenamiento de aguas lluvias, así como el tratamiento y reúso de aguas grises para usos no potables. Desde la perspectiva de la ingeniería civil y sanitaria, el proyecto permite analizar la viabilidad técnica y funcional de un sistema integrado de gestión hídrica a escala predial, orientado a mejorar la eficiencia en el uso del recurso agua y a reducir la dependencia de los sistemas centralizados de abastecimiento y saneamiento.

La presente tesis se justifica en tanto documenta y analiza una el funcionamiento, aportando conocimiento aplicado y herramientas técnicas al campo profesional de la ingeniería civil. El estudio propone un modelo de gestión hídrica que contribuye al acceso eficiente al agua para usos no potables, a la reducción de caudales descargados al sistema de alcantarillado y al control de la escorrentía superficial, aspectos relevantes en zonas urbanas con pendientes pronunciadas y alta impermeabilización del suelo.

Tabla 1
Normativas aplicables por subsistema y componente de la vivienda

Subsistema / Componente	Normativa nacional	Normativa municipal (DMQ)	Normativa internacional
Captación y drenaje de aguas lluvias	NEC-HS, INEN 1108:2014	Ordenanza Metropolitana N.º 048-2022	ASCE, OMS
Tratamiento y reúso de aguas grises	INEN 2149:2013, MAATE 061/2021	Ordenanza 213-A (control ambiental en construcción)	OMS (WHO), ISO 30500
Gestión hídrica y saneamiento	NEC-HS, MIDUVI	PMDOT 2021–2033	ODS 6, ODS 11

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

Asimismo, el cumplimiento de la normativa nacional y municipal vigente valida técnicamente la propuesta y fortalece su potencial de replicabilidad en otros contextos

urbanos y periurbanos del país. La articulación entre la Norma Ecuatoriana de la Construcción, la normativa emitida por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) y las ordenanzas municipales del Distrito Metropolitano de Quito garantiza que el sistema propuesto se enmarque dentro de criterios técnicos, sanitarios y ambientales legalmente exigibles, consolidando su viabilidad operativa y legal.

1.6 Estructura del documento

El documento se organiza en ocho capítulos. El Capítulo 1 presenta la introducción, el planteamiento del problema, los objetivos y el alcance del estudio. El Capítulo 2 desarrolla el marco normativo aplicable a la captación de aguas lluvias y al tratamiento de aguas grises en el Distrito Metropolitano de Quito. El Capítulo 3 expone el marco teórico que sustenta los fundamentos físicos y matemáticos utilizados en el diseño. El Capítulo 4 describe la metodología empleada. El Capítulo 5 presenta el diseño técnico del sistema integrado. El Capítulo 6 analiza los resultados obtenidos y su discusión. El Capítulo 7 evalúa los aspectos económicos y ambientales del proyecto. Finalmente, el Capítulo 8 presenta las conclusiones y recomendaciones.

Capítulo 2: Marco teórico y conceptual

2.1 Introducción al marco normativo

El diseño de sistemas de captación de aguas lluvias y tratamiento de aguas grises en viviendas unifamiliares requiere un sustento normativo que garantice su viabilidad técnica, legal, sanitaria y ambiental. En el contexto del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), este sustento se construye a partir de disposiciones municipales, normativas nacionales y estándares técnicos que regulan la gestión del agua, el saneamiento y la edificación sostenible.

La normativa vigente establece criterios obligatorios y recomendaciones técnicas orientadas a la reducción del consumo de agua potable, la gestión adecuada de aguas residuales domésticas y el aprovechamiento de fuentes alternativas como el agua lluvia. En este sentido, el marco normativo constituye la base legal y técnica que orienta el diseño de los sistemas propuestos, asegurando su coherencia con las políticas públicas de sostenibilidad hídrica y ordenamiento territorial (MIDUVI, 2011).

Este marco normativo constituye la base de validez técnica y legal del proyecto, y garantiza su coherencia con la Política Urbana Nacional 2023–2036 y con los principios de sostenibilidad establecidos en la Agenda Hábitat 2036.

Para efectos del presente estudio, la normativa se organiza jerárquicamente de acuerdo con su ámbito de aplicación y nivel de obligatoriedad, tal como se presenta en la Tabla 2. Esta jerarquización permite asegurar que el sistema propuesto cumpla de manera simultánea con las exigencias municipales, nacionales y ambientales, evitando incompatibilidades normativas durante su eventual implementación.

Tabla 2

Jerarquía normativa aplicable a la captación de aguas lluvias y tratamiento de aguas grises en el Distrito Metropolitano de Quito

Nivel	Instrumento normativo	Aplicación principal
Municipal	Ordenanza Metropolitana N.º 048–2022	Captación, almacenamiento y control de aguas lluvias
Municipal	Estándar de edificabilidad C3.3.1	Condiciones prediales y redes separativas
Nacional	Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC 2011, Cap. 16	Diseño hidráulico y sanitario en edificaciones
Técnica	INEN 1108 / INEN 2149	Calidad de agua no potable y tratamiento de aguas grises
Ambiental	TULSMA	Límites permisibles para descargas y protección ambiental
Estratégico	Política Urbana Nacional 2023–2036 / Agenda Hábitat 2036	Lineamientos de sostenibilidad y gestión integral del recurso hídrico

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

2.2 Normativa municipal aplicable

En el ámbito local, el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito ha incorporado instrumentos normativos orientados a promover la gestión sostenible del agua en edificaciones. En este marco, la Ordenanza Metropolitana N.º 048–2022 establece la obligatoriedad de implementar sistemas de captación y almacenamiento de aguas lluvias en edificaciones nuevas y ampliaciones mayores dentro del DMQ, reconociendo el potencial del recurso pluvial como complemento al abastecimiento convencional y como una medida para reducir la escorrentía superficial y mitigar riesgos de inundación (Municipio de Quito, 2022).

Entre los aspectos más relevantes de esta ordenanza para el presente estudio se destacan los siguientes:

- Exigencia de sistemas de captación y almacenamiento de aguas lluvias a nivel predial.
- Definición de volúmenes mínimos de retención, en función del área de captación y las condiciones específicas del predio.
- Requerimiento de separación absoluta de caudales entre aguas lluvias y aguas residuales.
- Control del tiempo de vaciado y del caudal de descarga hacia el sistema público de alcantarillado.

Asimismo, el Estándar de Edificabilidad C3.3.1 (Suelo Residencial) regula las condiciones técnicas de implantación predial y uso de suelo en edificaciones residenciales del Distrito Metropolitano de Quito. Este instrumento normativo incorpora disposiciones específicas para el manejo de aguas lluvias y aguas residuales, estableciendo criterios para la separación de redes, la gestión de escorrentías y la correcta implantación de sistemas hidráulicos a nivel predial (Municipio de Quito, 2023).

Para efectos del presente estudio, el Estándar de Edificabilidad C3.3.1 (Suelo Residencial) establece, entre otros aspectos relevantes, los siguientes lineamientos:

- La obligatoriedad de redes separativas para aguas lluvias y aguas residuales en predios residenciales.
- Condiciones mínimas para la implantación de tanques de almacenamiento y sistemas de tratamiento de aguas a nivel predial.
- Lineamientos para la verificación técnica de estos sistemas durante el proceso de licenciamiento municipal.

Estas disposiciones municipales constituyen un marco obligatorio para el diseño del sistema de captación de aguas lluvias propuesto en la presente investigación, particularmente en lo relacionado con la gestión de escorrentía y la reducción de descargas al sistema público de alcantarillado.

2.3 Normativa nacional aplicable

A nivel nacional, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2011) constituye el principal marco técnico para el diseño de instalaciones hidrosanitarias en edificaciones. En particular, el Capítulo 16, correspondiente a Drenaje pluvial y redes separativas, establece los lineamientos para el diseño hidráulico de sistemas de drenaje pluvial y redes separativas, definiendo criterios para el dimensionamiento de sistemas de evacuación de aguas lluvias, pendientes mínimas, materiales y disposiciones de seguridad sanitaria (MIDUVI, 2011).

Para el presente proyecto, los aspectos más relevantes establecidos en este capítulo incluyen:

- Criterios para la determinación del caudal de diseño, basados en la intensidad, duración y frecuencia de la precipitación.
- Aplicación del método racional para el cálculo de caudales en áreas de captación pequeñas.
- Valores recomendados de coeficientes de escorrentía, en función del tipo de superficie.
- Requisitos de pendientes mínimas, velocidades de autolimpieza y profundidades de enterramiento para tuberías.
- Exigencia de separación total entre redes pluviales y redes sanitarias.

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108: Requisitos para agua de uso no potable

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 establece los requisitos mínimos de calidad del agua destinada a usos no potables, tales como riego, limpieza exterior y descargas sanitarias. Esta norma define los parámetros de calidad que debe cumplir el agua reutilizada, con el objetivo de garantizar condiciones adecuadas de salubridad y prevenir riesgos para la salud de los usuarios.

En el contexto del presente estudio, la **Norma INEN 1108: Requisitos para agua de uso no potable** constituye la referencia técnica para la evaluación de la calidad del agua lluvia almacenada, así como del agua tratada proveniente del sistema de tratamiento de aguas grises. Su aplicación permite verificar que la reutilización del recurso hídrico para usos no

potables se realice dentro de límites aceptables desde el punto de vista sanitario, en concordancia con la normativa nacional vigente (INEN, 2014).

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2149: Tratamiento y calidad de aguas grises para reúso

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2149 regula los parámetros de calidad y los niveles de tratamiento requeridos para la reutilización de aguas grises, en función del uso final del agua tratada. Esta norma establece tres niveles de tratamiento —primario, secundario y terciario—, definidos de acuerdo con la eficiencia del proceso de remoción de contaminantes y la calidad del efluente obtenido.

Para el sistema propuesto en la presente investigación, el tratamiento de aguas grises mediante biofiltro se diseña para alcanzar, como mínimo, un tratamiento secundario. Este nivel permite la reutilización del efluente en usos no potables, cumpliendo con los límites establecidos para parámetros como demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), sólidos suspendidos totales (SST), aceites y grasas, y potencial de hidrógeno (pH), conforme a lo dispuesto en la normativa INEN 2149 (INEN, 2013).

2.4 Normativa ambiental

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) establece los límites permisibles para descargas de efluentes líquidos al ambiente, así como disposiciones relacionadas con la protección de los recursos hídricos y el control de la contaminación. Si bien el presente estudio no contempla descargas directas a cuerpos de agua, los parámetros establecidos en el TULSMA constituyen un referente para evaluar la calidad del efluente tratado y su adecuación para usos no potables (MAE, 2015).

La normativa ambiental vigente promueve el uso eficiente del agua y la implementación de tecnologías de bajo impacto ambiental, en concordancia con los principios de sostenibilidad y prevención de la contaminación.

2.5 Referentes técnicos internacionales

Como complemento a la normativa nacional y local, el presente trabajo toma como referencia lineamientos y guías técnicas internacionales, entre las que se destacan:

- **EPA (Environmental Protection Agency):** Guías para el tratamiento descentralizado de aguas residuales.
- **OMS (Organización Mundial de la Salud):** Recomendaciones para el reúso seguro del agua.
- **ASCE (American Society of Civil Engineers):** Manuales de diseño hidráulico y drenaje urbano.

Estos referentes, si bien no son utilizados de manera directa como normativa obligatoria, constituyen la base técnica sobre la cual se estructuran muchas de las disposiciones de la normativa nacional vigente. En este sentido, se emplean como apoyo técnico en la formulación del marco teórico y en la validación conceptual del diseño propuesto.

2.6 Articulación normativa y alcance del marco legal

El conjunto de normas municipales, nacionales y ambientales analizadas permite establecer un marco legal coherente para el diseño de sistemas de captación de aguas lluvias y tratamiento de aguas grises en viviendas unifamiliares del Distrito Metropolitano de Quito. La articulación de estas disposiciones garantiza que el sistema propuesto cumpla con los requerimientos técnicos y legales vigentes, evitando conflictos normativos y facilitando su eventual implementación.

El presente marco normativo delimita el alcance legal del estudio y constituye la base para la aplicación de los criterios técnicos desarrollados en los capítulos posteriores, asegurando que el diseño del sistema integrado responda a las exigencias de sostenibilidad hídrica y ordenamiento territorial promovidas a nivel local y nacional.

Capítulo 3: Marco Teórico

3.1 Introducción al marco teórico

El presente capítulo desarrolla el sustento teórico que fundamenta el diseño del sistema integrado de captación y almacenamiento de aguas lluvias y el tratamiento de aguas grises mediante biofiltro aplicado a viviendas unifamiliares sostenibles. Se abordan los principios físicos, hidrológicos, hidráulicos y sanitarios que rigen el comportamiento del agua en cada una de las etapas del sistema, estableciendo la base conceptual y matemática que se emplea posteriormente en el desarrollo del diseño técnico.

El marco teórico se estructura de manera secuencial, partiendo de los fundamentos de la hidrología aplicada a la captación de aguas lluvias, continuando con los principios hidráulicos de conducción y almacenamiento, y culminando con la teoría asociada al tratamiento de aguas grises mediante humedales artificiales o biofiltros.

Figura 1

Esquema General de la Captación, Conducción y Almacenamiento del Agua Lluvia.



Fuente: *Elaboración propia (2025).*

3.2 Hidrología aplicada a la captación de aguas lluvias

3.2.1 Precipitación y escorrentía superficial

La precipitación constituye la principal fuente de aporte hídrico en las ciudades para la implementación de los sistemas de captación de aguas lluvias. Desde el punto de vista hidrológico, no toda la precipitación que incide sobre una superficie se transforma en escorrentía, ya que una fracción se pierde por infiltración, evaporación e intercepción (Chow et al., 1988).

La relación entre la precipitación y la escorrentía se expresa mediante el coeficiente de escorrentía (C), el cual depende del tipo de superficie, su pendiente y el grado de impermeabilización. En superficies impermeables típicas de cubiertas de viviendas, los valores de C suelen oscilar entre 0,80 y 0,95, conforme a la NEC 2011.

3.2.2 Método racional para el cálculo del caudal de diseño

Para áreas pequeñas, como las cubiertas de viviendas unifamiliares, el método racional constituye una herramienta adecuada para estimar el caudal máximo de escorrentía generado por un evento de lluvia. Este método se expresa mediante la ecuación:

$$Q = C \times I \times A$$

donde:

(Q) = caudal máximo de escorrentía (m³/s)

(C) = coeficiente de escorrentía

(I) = intensidad de lluvia correspondiente al período de retorno seleccionado (m/s)

(A) = área de captación (m²)

La intensidad de lluvia se obtiene a partir de las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (I–D–F) oficiales del Distrito Metropolitano de Quito. Para efecto prácticos se pueden tomar los datos registrados en la estación meteorológica más cercana a nuestro sitio de interés.

3.2.3 Conducción por tuberías a presión y a gravedad

El diseño hidráulico de las tuberías de conducción de aguas lluvias se basa en principios de flujo uniforme y permanente. En sistemas que operan a gravedad, la capacidad hidráulica se evalúa mediante la ecuación de Manning:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

donde:

(V) = velocidad media del flujo (m/s)

(n) = coeficiente de rugosidad de Manning

(R) = radio hidráulico (m)

(S) = pendiente hidráulica (–)

Esta ecuación permite verificar que las velocidades de flujo sean suficientes para garantizar la autolimpieza de las tuberías, conforme a los criterios establecidos en la NEC 2011 Capítulo 16.

3.3.2 Almacenamiento y regulación de caudales

Los tanques de almacenamiento cumplen la función de regular los caudales captados, reduciendo los picos de escorrentía y asegurando la disponibilidad de agua para usos no potables. Desde el punto de vista hidráulico, el tanque actúa como un sistema de almacenamiento–descarga, donde el caudal de salida se controla mediante orificios, válvulas o vertederos (Chow et al., 1988).

La regulación de caudales es un aspecto clave para cumplir con los requisitos de control de escorrentía establecidos por la normativa municipal.

El volumen de agua lluvia captada se determina integrando el caudal de escorrentía en el tiempo. Para fines de diseño, se emplea un balance hídrico que relaciona la oferta de agua lluvia con la demanda interna y las pérdidas del sistema (Mays, 2004).

El volumen de almacenamiento requerido se expresa como:

$$V = (Q_{entrada} - Q_{salida}) \times \Delta t$$

Este balance permite definir el volumen útil del tanque de almacenamiento, considerando periodos de lluvia, consumo no potable y condiciones de vaciado establecidas por la Ordenanza Metropolitana N.º 048.

3.3 Aguas grises: características y clasificación

Las aguas grises corresponden a las aguas residuales domésticas generadas en duchas, lavamanos y lavanderías, excluyendo las aguas provenientes de inodoros. Estas aguas presentan una carga orgánica moderada y una baja concentración de patógenos en comparación con las aguas negras (Metcalf & Eddy, 2014).

Desde el punto de vista sanitario, el caudal de aguas grises se estima como un porcentaje del consumo total de agua potable, típicamente entre el 50 % y el 70 %, dependiendo de los hábitos de consumo de los usuarios.

- Las aguas grises se definen como el efluente doméstico que no contiene excretas humanas, proveniente de duchas, lavabos, lavadoras y fregaderos (Otterpohl, 2020). En el contexto de Quito, estas representan entre el 60% y 70% del volumen total de aguas residuales.
- Composición química: Se caracterizan por la presencia de tensoactivos (detergentes), sólidos suspendidos (fibras y cabello) y materia orgánica biodegradable.
- Parámetros críticos: Los indicadores principales para su estudio son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (*DBO*), la Demanda Química de Oxígeno (*DQO*) y los Sólidos Suspendidos Totales (*SST*).

3.3.1 Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSS)

Un humedal artificial es un sistema de ingeniería diseñado para aprovechar los procesos naturales que involucran la vegetación, el sustrato y las poblaciones microbianas de flujo subsuperficial horizontal, que combinan procesos físicos, químicos y biológicos para la remoción de contaminantes para tratar aguas residuales (Kadlec & Wallace, 2008).

En los sistemas de flujo horizontal subsuperficial (HAFSS-H), el agua residual circula a través de un medio granular de forma horizontal, manteniéndose por debajo de la superficie del sustrato. Esto evita la proliferación de vectores y malos olores, factores críticos en zonas urbanas de alta densidad como Quito (García & Corzo, 2008).

En estos sistemas, el agua fluye a través de un medio granular saturado, donde se producen procesos de sedimentación, filtración, adsorción y biodegradación de la materia orgánica.

La purificación en el biofiltro no depende de un solo factor, sino de la interacción de tres componentes:

El Sustrato (Medio Filtrante)

El sustrato cumple dos funciones físicas: soporte para la vegetación y superficie de fijación para la biopelícula bacteriana. La transferencia de masa y la filtración mecánica ocurren en los intersticios del material granular (Stefanakis et al., 2014).

Ley de Darcy, gobierna el flujo hidráulico a través del medio poroso:

$$Q = Kh \times Ac \times s$$

Donde

Q es el caudal,

Kh la conductividad hidráulica,

Ac el área transversal

s la pendiente.

Microbiología y Biopelícula

La mayor parte de la degradación de la materia orgánica es realizada por microorganismos adheridos al sustrato. Estos forman una biopelícula que metaboliza los compuestos de carbono (DBO) mediante procesos de oxidación.

El Rol de las Macrófitas y la Rizosfera

Las plantas (macrófitas) no actúan principalmente por absorción de nutrientes, sino por la transferencia de oxígeno desde las hojas hasta las raíces (rizosfera) a través del parénquima aerífero. Este proceso crea microzonas aeróbicas en un medio generalmente anaeróbico, permitiendo la nitrificación y la degradación de tensoactivos (Vymazal, 2011).

3.3.2 Cinética de Remoción y Efecto de la Temperatura

El diseño del biofiltro (humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal) para las aguas grises se basa en modelos cinéticos de primer orden (Modelo Reed) para la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

La eficiencia de tratamiento se determina mediante la concentración inicial (C_0) y la concentración final (C) tras un tiempo de retención hidráulica (TRH). La ecuación general se expresa como:

$$C_e = C_0 \cdot e^{-K_T \cdot TRH}$$

O, en su forma logarítmica utilizada para el cálculo del área requerida:

$$\ln\left(\frac{C_e}{C_0}\right) = -K_T \cdot TRH$$

Donde:

C_0 = Concentración inicial (afluente).

C_e = Concentración final (efluente).

K_T = Constante de remoción corregida por temperatura (1/día).

TRH = Tiempo de retención hidráulica (días).

El TRH es un parámetro de diseño clave y se define en función del volumen efectivo de poros del medio filtrante (V_{poros}) y el caudal medio diario (Q) de aguas grises:

$$TRH = \frac{V_{\text{poros}}}{Q}$$

donde:

V_{poros} = volumen efectivo de poros del medio filtrante (m^3)

Q = caudal medio diario de aguas grises ($\text{m}^3/\text{día}$)

En zonas andinas como Quito, la temperatura promedio influye directamente en la constante de degradación (K_T). Según la ecuación de Arrhenius, la actividad bacteriana disminuye a menores temperaturas, lo que exige tiempos de retención hidráulica (TRH) más prolongados que en zonas costeras (U.S. EPA, 2000).

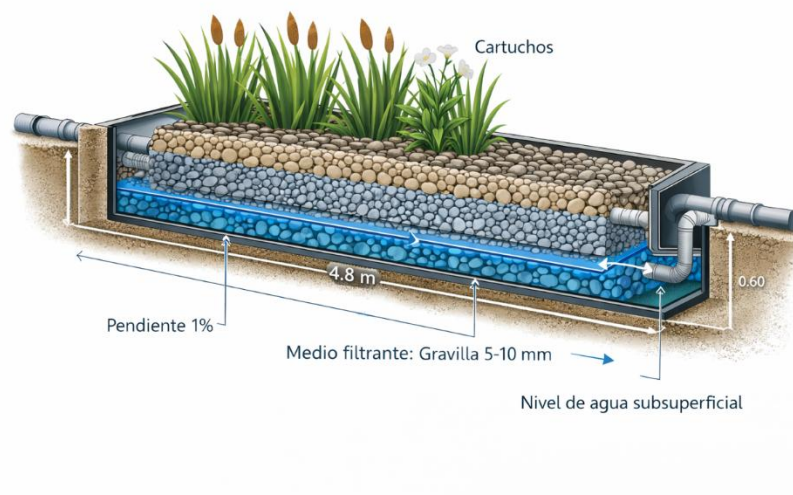
La actividad bacteriana, responsable de la mayor parte de la degradación de la materia orgánica, disminuye a menores temperaturas, lo que exige ajustes en el diseño

La corrección de la constante de remoción (K_{20}) a la temperatura de operación (T) se realiza mediante la ecuación de Arrhenius simplificada o similar, usando un coeficiente θ (típicamente 1.06 para estos sistemas):

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)}$$

Figura 2

Esquema de Biofiltro Flujo Horizontal



Fuente: Elaboracion Propia

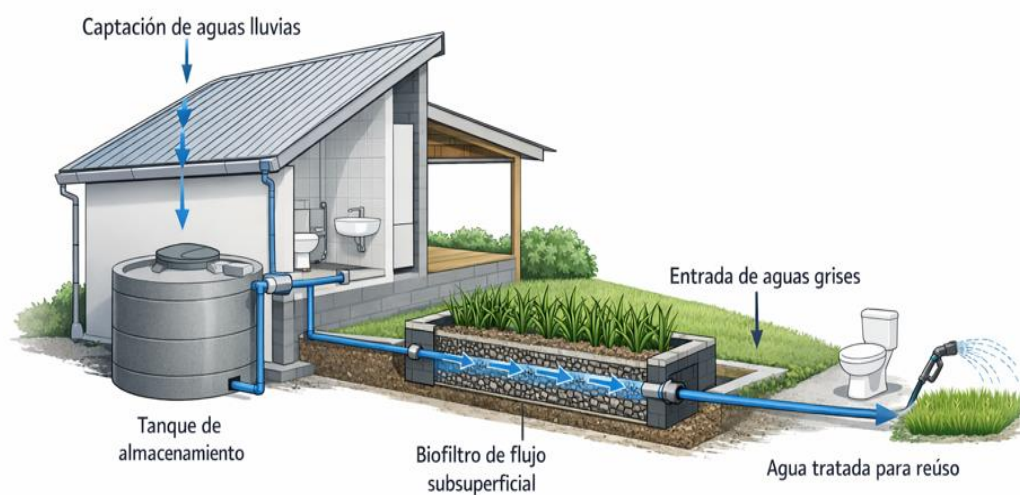
3.4 Integración conceptual de los sistemas lluvia-gris

El reúso de aguas grises y la captación de agua lluvia para usos no potables se enmarca en el concepto de **Economía Circular del Agua** y la **Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)**. El tratamiento in situ reduce la carga en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) municipales y disminuye el estrés hídrico sobre las fuentes superficiales (UNESCO, 2021).

Desde un enfoque de sostenibilidad, la integración de los sistemas de captación de aguas lluvias y tratamiento de aguas grises permite maximizar el aprovechamiento del recurso hídrico dentro de la vivienda unifamiliar. Ambos sistemas operan de manera complementaria, suministrando agua tratada para usos no potables y reduciendo simultáneamente la demanda de agua potable y los volúmenes de descarga al entorno.

Figura 3

Esquema de Integración de los Sistemas



Fuente: *Elaboración propia*

3.5. Filtrado Final Con filtro granular y carbón activado

La filtración multicapa, compuesta por grava, arena de sílice y carbón activado granular (CAG), permite remover sólidos suspendidos, turbidez, compuestos orgánicos y microorganismos, asegurando agua apta para usos domésticos y potencial potabilización previa desinfección. Este enfoque se alinea con los principios de resiliencia hídrica urbana y sostenibilidad ambiental (OMS, 2017).

Grava: Actúa como la capa de filtración (lecho de drenaje), reteniendo las partículas más grandes y permitiendo que el agua fluya sin obstrucciones. Gradación de 1/8" a 1/2" para evitar el arrastre de finos hacia los drenes inferiores.

Arena (gruesa a fina): La arena atrapa partículas suspendidas más pequeñas, reduciendo significativamente la turbidez del agua. Un filtro lento de arena también puede ayudar a eliminar microorganismos y materia orgánica. Tamaño efectivo (d_{10}) entre 0.45-0.55mm y $C_u < 1.6$

Carbón Activado: Es fundamental para la purificación, ya que adsorbe toxinas, químicos, pesticidas y compuestos orgánicos, mejorando el olor, color y sabor del agua

La ciencia detrás de un filtro de arena, grava y carbón activado para agua de lluvia se basa en tres principios fundamentales que ocurren de manera simultánea:

- Filtración Mecánica (Arena y Grava)

Este es el proceso físico de separar sólidos de un líquido.

Retención por tamaño: A medida que el agua atraviesa las capas de grava y arena, las partículas suspendidas (tierra, insectos, hojas) quedan atrapadas en los espacios o poros entre los granos.

Gradiente de porosidad: El diseño suele colocar los materiales más gruesos (grava) al inicio para capturar residuos grandes, seguidos de capas más finas (arena) que atrapan partículas microscópicas, reduciendo la turbidez del agua.

- Adsorción Química (Carbón Activado)

A diferencia de la arena, el carbón activado no solo "atrapa" por tamaño, sino que atrae sustancias a nivel molecular.

Atracción de superficie: El carbón se "activa" para crear millones de poros diminutos, lo que le otorga una superficie interna inmensa (hasta 1,000 m² por gramo).

Fuerzas de Van der Waals: Mediante este proceso químico, contaminantes orgánicos, pesticidas, cloro y químicos que generan mal olor o sabor se adhieren físicamente a las paredes del carbón. Es la barrera principal contra químicos disueltos que la arena no puede detener.

- Acción Biológica (Filtros de Arena Lenta)

Si el filtro se usa de manera continua, se desarrolla una capa biológica conocida como Schmutzdecke en la superficie de la arena.

Degradación natural: Microorganismos benignos colonizan el filtro y se alimentan de materia orgánica, bacterias y parásitos presentes en el agua de lluvia, mejorando la purificación de forma natural.

Efectividad: Este proceso puede eliminar hasta el 99% de ciertos parásitos y bacterias, aunque requiere un flujo lento y constante para mantenerse activo.

3.5.1 Flujo en medios porosos

El flujo de agua a través de medios granulares se describe mediante la Ley de Darcy:

$$Q = K \times A \times i$$

Donde:

(Q): caudal (m³/s)

(K): coeficiente de permeabilidad (m/s)

(A): área transversal del filtro (m²)

(i): gradiente hidráulico (adimensional)

Velocidad de Filtración (V_f): Se establece un rango de 5 a 12 m/h (Darcy, 1856; Metcalf & Eddy, 2014).

Cálculo del Área (A_f):

$$A_f = \frac{Q_{max}}{V_f}$$

3.5.2 Pérdida de carga en filtros granulares

La ecuación de Carman-Kozeny modela la pérdida de carga (caída de presión) en flujos a través de medios porosos, como lechos de partículas, relacionando la caída de presión con la velocidad del fluido, viscosidad, porosidad del lecho y el tamaño de partícula, a menudo usando un número de Reynolds bajo flujo laminar. No es la ecuación principal para tuberías simples, que usan Darcy-Weisbach o Manning, sino para flujos difusos en materiales como filtros o rocas.

Fórmula General (forma simplificada):

$$\Delta P = \frac{150\mu Lv(1 - \epsilon)^2}{D_p^2 \epsilon^3}$$

O en términos de pérdida de carga (altura de fluido, h_f):

$$h_f = \frac{KLv(1 - \epsilon)^2}{D_p^2 \epsilon^3}$$

Donde:

ΔP o h_f : Caída de presión o pérdida de carga.

μ (mu): Viscosidad dinámica del fluido.

L : Longitud del medio poroso.

v : Velocidad superficial del fluido (velocidad en el espacio vacío).

ϵ (épsilon): Porosidad del lecho (fracción del volumen que es espacio vacío).

D_p : Diámetro equivalente de las partículas.

K : Constante de Kozeny (aproximadamente 150, o 5×30).

(Carman, 1937; Fair & Geyer, 1954).

Ecuación de Pérdida de Carga (Ciencia del proceso)

Para justificar la altura del tanque, utiliza la Ecuación de Fair-Hatch para medios granulares:

$$h_L = \frac{k \cdot V^2 \cdot L \cdot (1-\epsilon)}{g \cdot \psi \cdot \epsilon^3} \cdot \frac{1}{d_e}$$

Donde

es la porosidad y la esfericidad del grano).

h_L : pérdida de carga (m).

k : constante empírica de Fair–Hatch (≈ 1 para arenas limpias).

V : velocidad de filtración (m/s).

L : longitud del medio granular (m).

g : aceleración de la gravedad (9,81 m/s²).

ψ : esfericidad del grano (adimensional).

ϵ : porosidad del medio (fracción de volumen vacío).

d_e : diámetro efectivo de las partículas (m).

3.5.3 Procesos de adsorción en carbón activado

El carbón activado granular remueve compuestos orgánicos mediante adsorción. Los modelos más usados son:

Isoterma de Freundlich:

La isoterma de Freundlich es un modelo matemático empírico utilizado en química y ciencias ambientales para describir el proceso de adsorción. Este modelo explica cómo las moléculas de un gas o líquido (adsorbato) se adhieren a la superficie de un material sólido (adsorbente) a una temperatura constante.

La relación matemática se expresa mediante la siguiente fórmula exponencial:

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n}$$

Donde:

q_e : Cantidad de adsorbato retenido por unidad de masa del adsorbente (capacidad de adsorción).

C_e : Concentración del adsorbato en el fluido una vez alcanzado el equilibrio (o presión P en el caso de gases).

K_F : Constante de Freundlich relacionada con la capacidad de adsorción del sistema.

n : Factor de intensidad de la adsorción o heterogeneidad de la superficie. Generalmente, un valor de $1/n$ entre 0.1 y 1 indica un proceso favorable.

Características Principales

Superficies Heterogéneas: Freundlich asume que la superficie del adsorbente es rugosa o tiene sitios de energía variable.

Adsorción Multicapa: Sugiere que el adsorbato puede acumularse en varias capas sobre la superficie.

Linealización: Para facilitar el cálculo de las constantes, la ecuación suele transformarse a su forma logarítmica:

$$\log(q_e) = \log(K_F) + \frac{1}{n} \log(C_e)$$

lo que produce una línea recta al graficar los datos.

Este modelo es ampliamente utilizado para diseñar sistemas de purificación de agua (como el uso de carbón activado para eliminar contaminantes), filtración de gases y estudios de retención de nutrientes en suelos

Isoterma de Langmuir: Relaciona la cantidad de sustancia adsorbida con la concentración (o presión) del adsorbato en equilibrio a una temperatura constante (Crittenden et al., 2012).

$$q = \frac{q_{max} \cdot K_L \cdot C}{1 + K_L \cdot C}$$

q : Cantidad de adsorbato adsorbido por unidad de masa de adsorbente en el equilibrio (por ejemplo, mg/g).

C : Concentración (para líquidos) o presión parcial (para gases) del adsorbato en la fase fluida en el equilibrio.

q_{max} : Capacidad máxima de adsorción, que representa la cantidad máxima de adsorbato que puede formar una monocapa completa en la superficie del adsorbente (por ejemplo, mg/g). Es un parámetro que se determina experimentalmente.

K_L : Constante de Langmuir (o constante de afinidad), relacionada con la energía de interacción entre el adsorbato y la superficie del adsorbente. Un valor alto indica una fuerte interacción.

El modelo de Langmuir se basa en varias suposiciones clave:

La superficie del adsorbente es homogénea (todos los sitios de adsorción son idénticos).

La adsorción ocurre en sitios específicos y solo puede formarse una monocapa (las moléculas no se acumulan en múltiples capas).

Las moléculas adsorbidas no interactúan entre sí.

La adsorción es un proceso reversible y dinámico (equilibrio entre las velocidades de adsorción y desorción).

Este modelo es ampliamente utilizado para describir el comportamiento de la adsorción, especialmente en sistemas donde se forma una sola capa molecular sobre una superficie sólida.

Comparación de Medios Filtrantes

Según los valores de la AWWA (2012/2026), la elección del material altera drásticamente el tamaño de la planta:

Tabla 3

Especificaciones técnicas de los materiales filtrantes

Medio	Tamaño efectivo (D10)	Coefficiente de uniformidad (Cu)	Porosidad típica	Normativa
Grava	2 – 5 mm	< 2	0,35 – 0,40	ASTM C33
Arena de sílice	0,45 – 0,55 mm	< 1,7	0,40 – 0,45	AWWA B100
Carbón activado granular	0,8 – 1,2 mm	< 2	0,45 – 0,55	AWWA B604

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

Arena (Filtración Lenta): Con tasas de 0.1 a 0.3 m/h, este sistema prioriza la acción biológica (capa Schmutzdecke). Requiere grandes extensiones de terreno.

Carbón Activado Granular - CAG (Filtración Rápida): Con tasas de 5 a 15 m/h, permite procesar el mismo volumen de agua en un área hasta 50 veces menor que un filtro de arena lenta, enfocándose en la adsorción de contaminantes orgánicos.

Valores típicos: 0,1 – 0,3 m³/m²·h para arena y 5 – 15 m³/m²·h para CAG (AWWA, 2012).

Fundamento del Retro lavado

Esta sección detalla el proceso crítico para evitar la colmatación del filtro y garantizar su longevidad operativa mediante el retro lavado. El sistema requiere retro lavado (backwashing) para remover partículas acumuladas.

El retro lavado consiste en hacer circular agua en sentido ascendente (contracorriente) para expandir el lecho filtrante. Este proceso suspende las partículas de arena o carbón, permitiendo que el flujo arrastre los sedimentos atrapados hacia el drenaje.

La Velocidad de Fluidización (V_{mf})

Para que el lecho se limpie eficazmente, el flujo de agua debe alcanzar la velocidad mínima de fluidización. En este punto, la fuerza de arrastre del agua iguala el peso sumergido de las partículas, haciendo que el lecho se comporte como un fluido.

Según la ecuación de Fair & Geyer:

$$V_{mf} = \frac{d_p^2 \cdot (\rho_p - \rho) \cdot g}{18 \cdot \mu}$$

d_p (Diámetro de partícula): Es el factor más influyente, ya que la velocidad necesaria aumenta con el cuadrado del diámetro.

$\rho_p - \rho$ (Diferencia de densidad): Los medios más pesados (como la arena) requieren velocidades de lavado mucho más altas que los medios ligeros (como el carbón antracita).

μ (Viscosidad): Depende de la temperatura del agua. En invierno (agua más fría/viscosa), la fluidización ocurre más fácilmente que en verano.

Frecuencia: Aunque el estándar es de 48 a 72 horas, en la práctica moderna se utilizan sensores de pérdida de carga (presión). Si la resistencia al paso del agua supera un límite establecido, el retro lavado se activa automáticamente.

Expansión del lecho: Un diseño hidráulico eficiente busca una expansión del lecho de entre el 20% y el 50% durante el lavado para asegurar que todas las partículas de suciedad sean liberadas. (Fair & Geyer, 1954).

Tabla 4
Espesores de las capas del lecho filtrante

Componente	Espesor Recomendado	Función en Quito
Arena	0,7 m	Remoción mecánica de sólidos y ceniza volcánica.
Carbón Activado (CAG)	0,5 m	Adsorción de contaminantes orgánicos y control de sabor/olor.

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

3.16. Consideraciones específicas para la ciudad de Quito

1. Influencia de la Temperatura y Viscosidad (μ)

A una temperatura media de 14 °C, el agua es más viscosa que en climas tropicales. Según la ecuación de Fair & Geyer vista anteriormente, una mayor viscosidad (μ) incrementa la resistencia al flujo.

Consecuencia: Se genera una mayor pérdida de carga (caída de presión) inicial, lo que reduce el tiempo de carrera del filtro antes de requerir un retro lavado.

2. Altitud y Presión Atmosférica

A 2.850 msnm, la presión atmosférica es aproximadamente un 30% menor que al nivel del mar. Esto afecta la solubilidad de los gases. En procesos de filtración, existe un mayor riesgo de liberación de burbujas de aire dentro del lecho filtrante (bloqueo por aire), lo que puede causar "caminos preferenciales" y reducir la eficiencia de remoción.

3. Desafío del Material Volcánico

Quito está rodeada de volcanes activos (como el Pichincha o el Cotopaxi). La presencia de ceniza volcánica (partículas angulares y abrasivas) o material particulado urbano fino puede colmatarse rápidamente la superficie del filtro.

La recomendación de aumentar la profundidad de la arena a 0,7 m actúa como un margen de seguridad para capturar estos sólidos suspendidos sin saturar el lecho prematuramente.

Para compensar los efectos de la altitud y la temperatura en Quito, se proponen los siguientes espesores de lecho:

Capítulo 4: METODOLOGÍA

4.1 Enfoque y tipo de investigación

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, dado que se fundamenta en la aplicación de principios hidráulicos y sanitarios, así como en el uso de formulaciones matemáticas para el diseño de sistemas de captación de aguas lluvias y tratamiento de aguas grises mediante biofiltro. Este enfoque permite analizar variables medibles como precipitación, caudales, volúmenes y tiempos de retención, garantizando resultados técnicamente verificables.

El estudio también puede ser clasificada como una investigación aplicada, en tanto propone una solución técnica concreta orientada a la gestión eficiente del recurso hídrico en una vivienda unifamiliar. Finalmente, se enmarca como una investigación de diseño, al desarrollar y dimensionar sistemas específicos conforme a criterios técnicos y normativos vigentes

4.2 Alcance de la investigación

El alcance del estudio se limita al diseño técnico de dos sistemas principales:

1. Sistema de captación, conducción y almacenamiento de aguas lluvias
2. Sistema de tratamiento de aguas grises mediante biofiltro (humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal)

Ambos sistemas se plantean como componentes de una vivienda unifamiliar sostenible, ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito, para una familia tipo de cinco integrantes.

No se contempla:

- El tratamiento de aguas negras
- El diseño estructural detallado de elementos o partes de los sistemas
- El análisis de calidad de agua potable

4.3 Diseño metodológico general

La metodología aplicada se estructura en cinco fases secuenciales que garantizan coherencia entre el análisis teórico, el diseño técnico y la evaluación de resultados. En una primera fase se realiza la revisión bibliográfica y normativa, con el fin de identificar los criterios técnicos y legales aplicables al proyecto. Posteriormente, se desarrolla la

caracterización del caso de estudio, considerando variables climáticas, hidrológicas y funcionales del predio.

En la tercera fase se determinan los parámetros hidráulicos e hidrológicos necesarios para el dimensionamiento de los sistemas, utilizando información pluviométrica y criterios de diseño establecidos en la literatura técnica. La cuarta fase corresponde al diseño técnico de los sistemas de captación de aguas lluvias y tratamiento de aguas grises, mientras que la quinta fase se orienta a la evaluación técnica, ambiental y económica del sistema integrado propuesto.

- **Fase 1:** Revisión bibliográfica y normativa
- **Fase 2:** Caracterización del caso de estudio
- **Fase 3:** Determinación de parámetros hidráulicos e hidrológicos
- **Fase 4:** Diseño técnico de los sistemas
- **Fase 5:** Evaluación técnica, ambiental y económica

Cada fase se desarrolla de manera interdependiente, asegurando la trazabilidad metodológica.

4.4 Revisión bibliográfica y marco normativo

La revisión bibliográfica se realizó a partir de fuentes técnicas especializadas en hidráulica, hidrología y saneamiento, incluyendo libros, manuales técnicos y publicaciones académicas. De igual manera, se analizaron normas nacionales y municipales vigentes relacionadas con la captación de aguas lluvias, el tratamiento de aguas residuales domésticas y la edificación sostenible.

Entre los principales instrumentos normativos considerados se encuentran la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2011, las normas INEN relacionadas con calidad de agua y drenaje, y la Ordenanza Metropolitana N.º 048-2022 del Distrito Metropolitano de Quito, que regula la gestión de aguas lluvias en edificaciones (MIDUVI, 2011; INEN, 2013; Municipio de Quito, 2022).

4.5 Caracterización del caso de estudio

El caso de estudio corresponde a una vivienda unifamiliar ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito, seleccionada como referencia para el diseño del sistema integrado

de captación de aguas lluvias y tratamiento de aguas grises. La caracterización considera aspectos climáticos, como la precipitación media anual, así como condiciones físicas del predio relacionadas con la topografía, el área de cubierta y la disponibilidad de espacio para la implantación de sistemas descentralizados.

Esta caracterización permite adaptar los criterios de diseño a las condiciones específicas del sitio, asegurando la funcionalidad y la viabilidad técnica del sistema propuesto dentro del contexto urbano analizado.

- **Tipo:** Vivienda unifamiliar
- **Número de habitantes:** 5 personas
- **Área de cubierta disponible para captación:** 120 m²
- **Espacio disponible para biofiltro:** área verde o patio posterior

4.6 Determinación de variables y parámetros de diseño

4.6.1 Sistema de captación de aguas lluvias

Variables principales:

- Precipitación media mensual (mm)
- Intensidad de lluvia (mm/h)
- Área efectiva de captación (m²)
- Coeficiente de escorrentía (–)
- Demanda de agua no potable (L/día)

Parámetros de diseño:

- Volumen útil de almacenamiento
- Caudal de conducción

4.6.2 Sistema de tratamiento de aguas grises

Variables principales:

- Caudal diario de aguas grises (m³/día)
- Concentración de DBO₅ de entrada (mg/L)
- Tiempo de retención hidráulica (días)

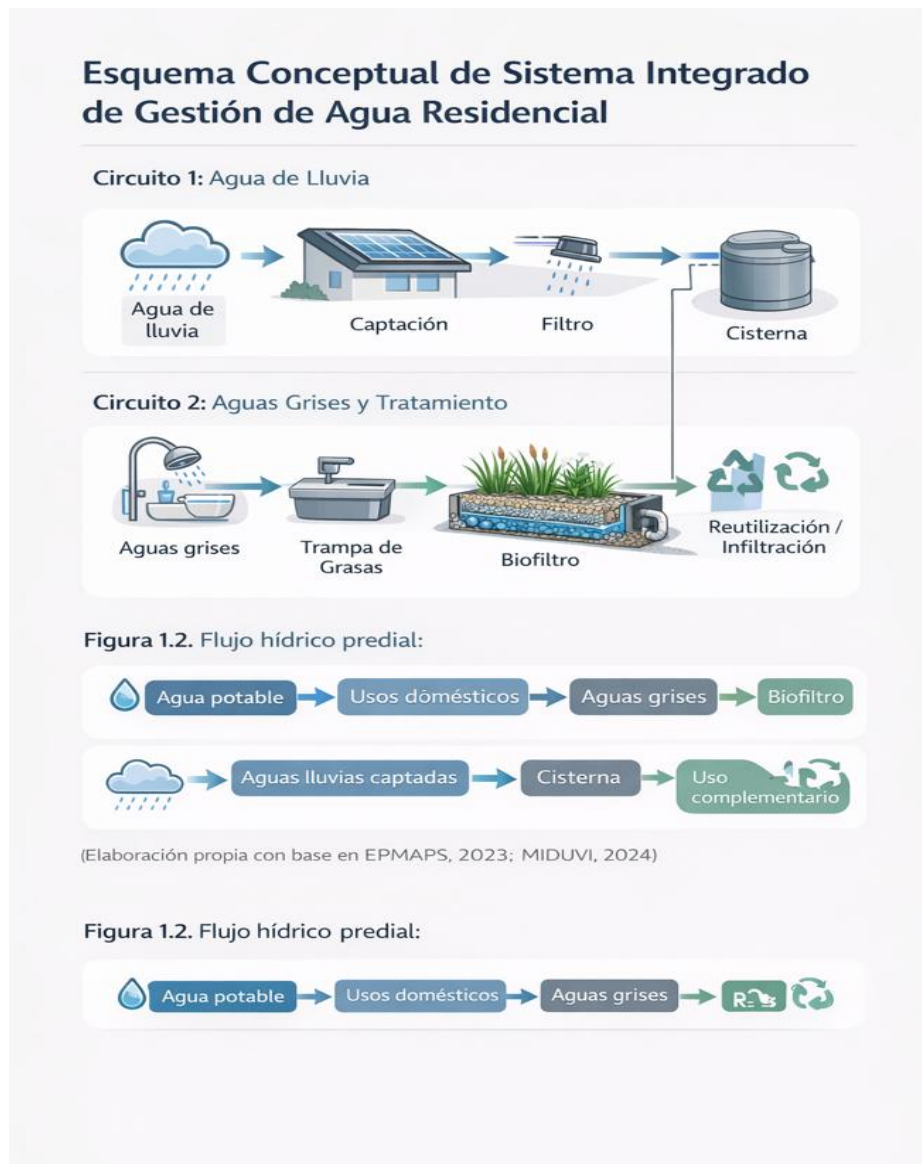
- Área del biofiltro (m²)

Parámetros de diseño:

- Porosidad del medio filtrante
- Tipo de vegetación
- Pendiente del lecho

Figura 4

Esquema Conceptual del Flujo del Recurso Hídrico



Fuente: *Elaboración propia (2025).*

4.7 Metodología para el diseño del sistema de captación de aguas lluvias

El diseño del sistema de captación se desarrolla mediante los siguientes pasos metodológicos:

- Análisis de datos pluviométricos del DMQ
- Cálculo del caudal de escorrentía (método racional)
- Verificación hidráulica de tuberías
- Determinación del volumen de almacenamiento mediante balance hídrico

4.8 Metodología para el diseño del sistema de tratamiento de aguas grises

El diseño del biofiltro se realiza siguiendo una metodología ampliamente validada en la literatura técnica:

- Estimación del caudal de aguas grises generado
- Definición de la calidad del afluente
- Selección del tipo de humedal artificial
- Cálculo del tiempo de retención hidráulica
- Dimensionamiento del área del biofiltro mediante cinética de primer orden

4.9 Técnicas de análisis y procesamiento de datos

Los cálculos se realizan mediante:

- Ecuaciones analíticas
- Tablas de verificación normativa
- Comparación con valores recomendados en la literatura

Capítulo 5: Diseño y cálculo del Sistema Integrado de captación de aguas lluvias y tratamiento de aguas grises.

5.1 Introducción

En este capítulo se desarrolla el diseño técnico detallado del sistema integrado de captación y almacenamiento de aguas lluvias y del sistema de tratamiento de aguas grises mediante biofiltro, aplicado a una vivienda unifamiliar ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito.

En DMQ, las familias tienden a ser pequeñas, siendo los hogares de tres personas los más comunes, seguidos por los de cuatro, indicando una tendencia hacia la disminución del tamaño familiar, según datos recientes del Censo de 2022.

Tabla 5
Conformación de los hogares según el número de personas.

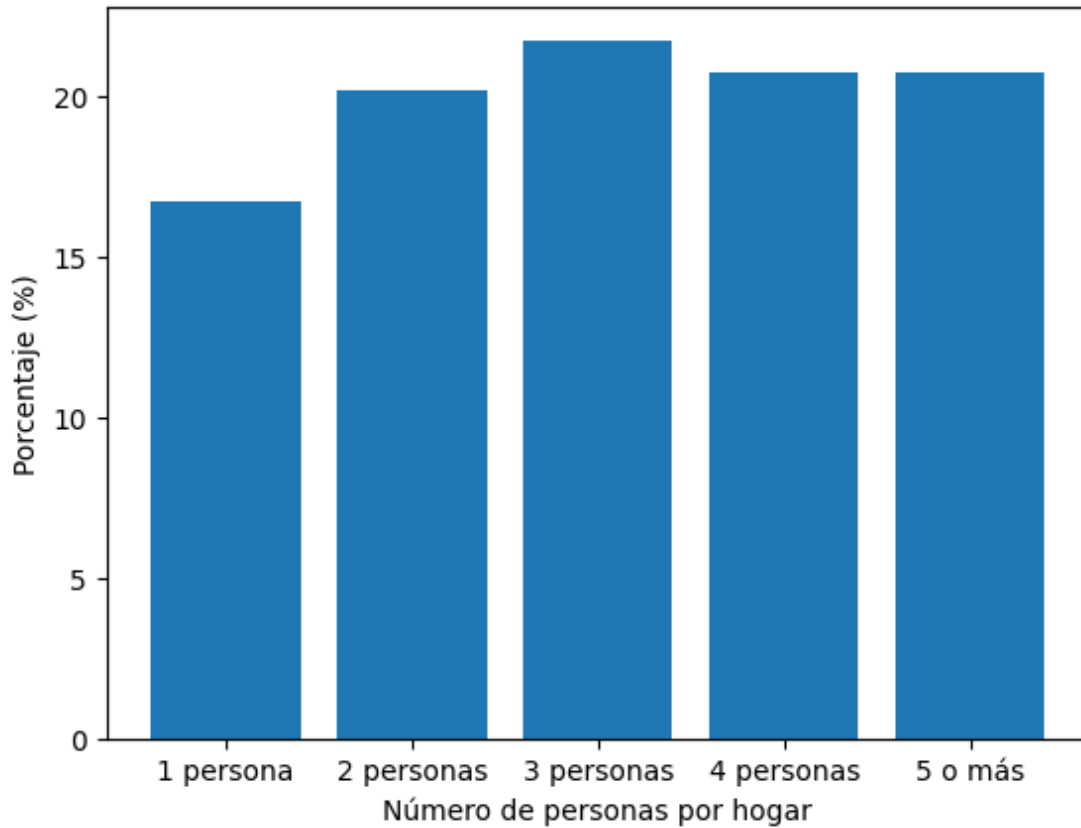
	Total nacional	Urbana	Rural
Total de hogares	5188402	3299452	1888950
1 persona	16,7%	17,1%	16,0%
2 persona	20,2%	20,0%	20,5%
3 persona	21,7%	21,8%	21,6%
4 persona	20,7%	20,9%	20,4%
5 persona o más	20,7%	20,2%	21,5%

Fuente: Censo 2022, *Elaboración propia, 2025.*

En síntesis, si bien no existe un valor único que defina a la familia “típica” en la ciudad de Quito, la evidencia estadística indica que los hogares tienden a ser pequeños, conformados generalmente por 3 a 4 integrantes, lo que refleja una transición hacia estructuras familiares más diversas y de menor tamaño. No obstante, dado que esta variación no representa una diferencia significativa para el alcance del presente estudio, se adopta como escenario de diseño un hogar de 5 personas, criterio que permite incorporar de manera conservadora la presencia de adultos mayores, visitas frecuentes o huéspedes temporales, sin alterar sustancialmente los resultados del análisis.

Figura 5

Distribución de hogares según número de personas (Censo 2022)



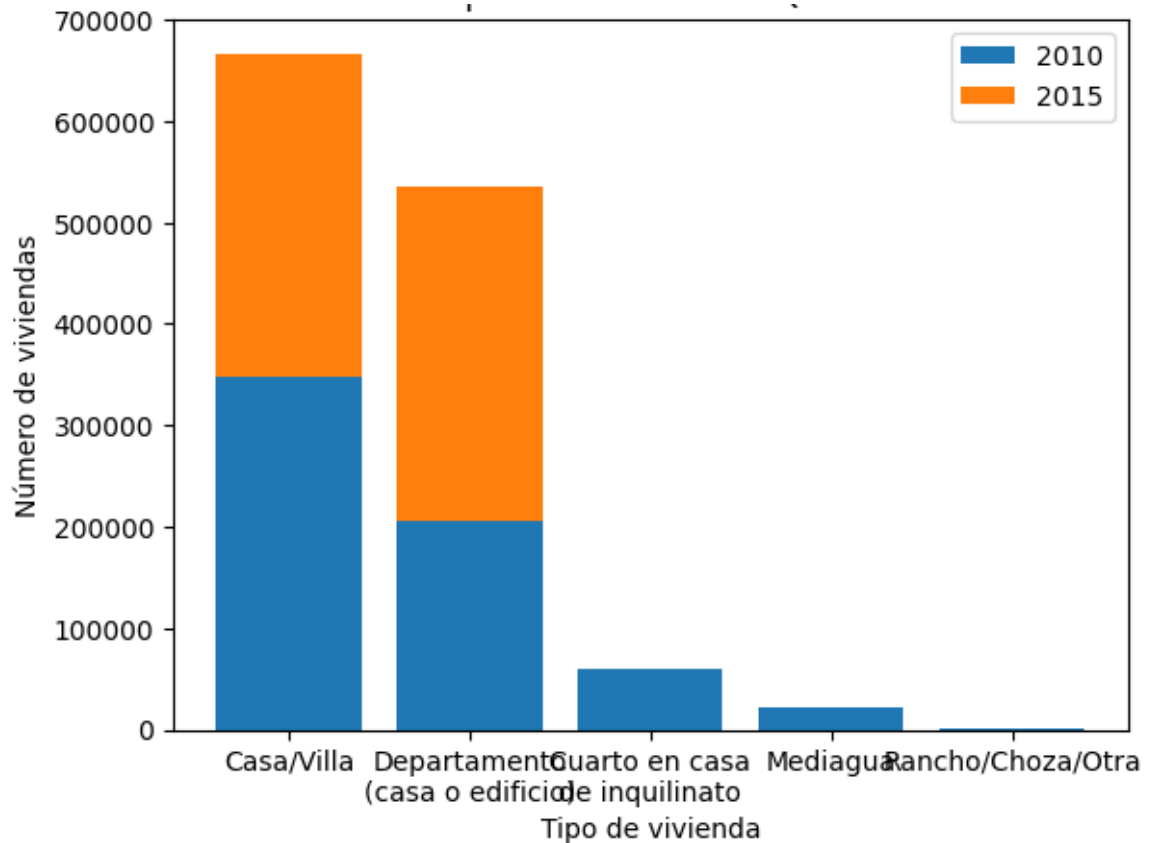
Fuente: Censo 2022, *Elaboración propia, 2025.*

5.2 Datos generales de diseño

El análisis se centra en una vivienda unifamiliar sostenible. De acuerdo con la información presentada en el documento “Quito Cómo Vamos”, aproximadamente un tercio de las viviendas en la ciudad de Quito corresponden a este tipo de tipología habitacional, lo que justifica su selección como caso de estudio representativo para el presente análisis.

Figura 6

Tipos de vivienda en Quito (comparación 2010 y 2015)



Fuente: Adaptado de 3. Vivienda, por Quito Cómo Vamos (2021).

<https://quitocomovamos.org/wp-content/uploads/2021/05/3.VIVIENDA.pdf>

5.2.1 Parámetros generales del caso de estudio

Tabla 6

Parámetros generales de la vivienda

Parámetro	Valor
Ubicación	Distrito Metropolitano de Quito
Tipo de vivienda	Unifamiliar
Número de habitantes	5
Área de cubierta	120 m ²
Uso del agua tratada	No potable

Fuente: Censo 2022, *Elaboración propia*, 2025.

5.3 Diseño del sistema de captación de aguas lluvias

5.3.1 Datos pluviométricos

El Distrito Metropolitano de Quito cuenta con una de las redes de monitoreo hidrometeorológico más robustas del país, gestionada principalmente por la **EPMAPS** y el **FONAG**, con supervisión técnica del **INAMHI**.

Mapas y Visores en Tiempo Real (2026)

Para visualizar la ubicación de las estaciones y los datos actuales de lluvia, se puede acceder a los siguientes recursos oficiales:

Visor del INAMHI: Mapa interactivo nacional que permite filtrar por estaciones meteorológicas, hidrológicas y automáticas en la zona de Quito.

Geovisor FONAG: Plataforma especializada que muestra la red de estaciones en las cuencas que abastecen a Quito, enfocándose en zonas de importancia hídrica.

Portal Climática EPMAPS: Sistema de telemetría que ofrece reportes diarios, mensuales y comparativos entre las estaciones de la ciudad.

La red integrada para el DMQ se distribuye aproximadamente de la siguiente manera:

Entre 84 y 96 puntos de monitoreo, incluye estaciones **meteorológicas** (miden múltiples variables), **pluviométricas** (específicas para lluvia) e **hidrométricas** (nivel de ríos).

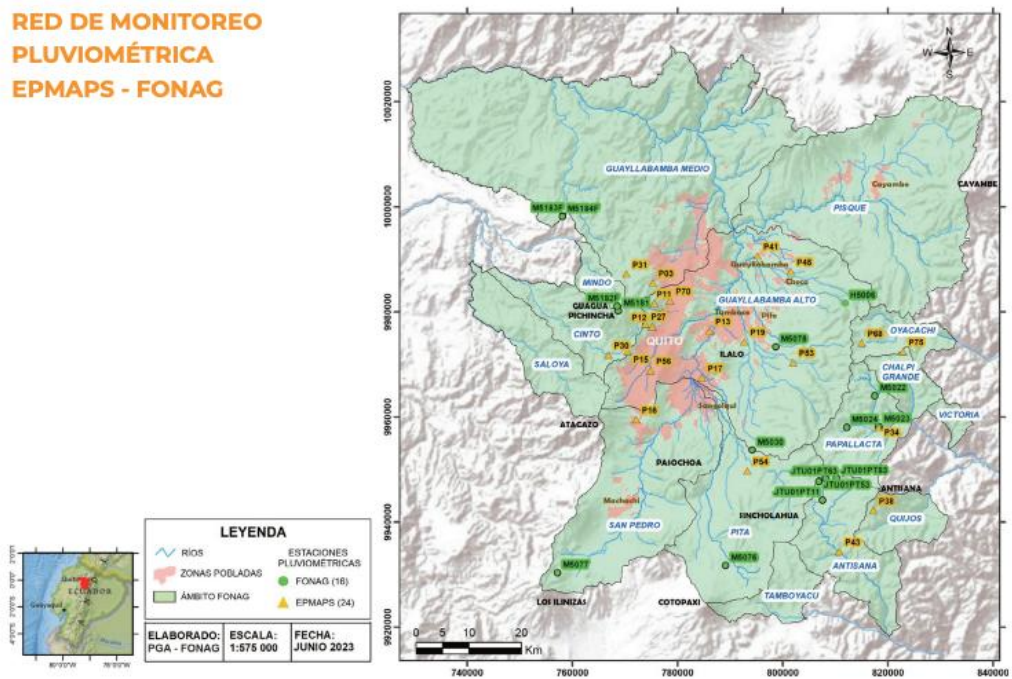
Cerca del **60%** de estas estaciones transmiten datos en tiempo real mediante telemetría, permitiendo alertas tempranas.

Ubicación Estratégica

Las estaciones están distribuidas para cubrir la variabilidad climática de la ciudad, desde las laderas del Pichincha hasta los valles (Tumbaco, Los Chillos) y las zonas rurales. Esto es crucial debido a que las precipitaciones pueden variar drásticamente entre el norte y el sur de la capital

Figura 6

Red de monitoreo Pluviométrica EPMAPS-FONAG

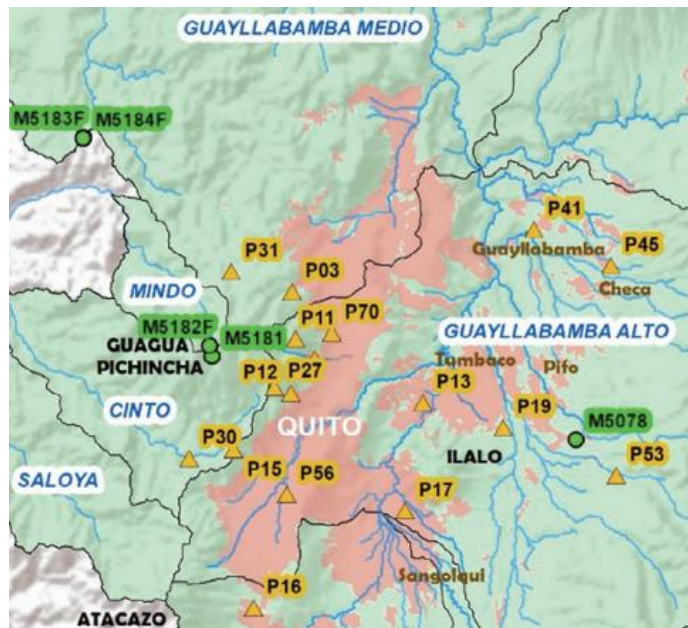


Fuente: Tomado de Anuario Hidrometeorológico 2022, por Fondo para la Protección del Agua (FONAG, 2022).

En el gráfico de Distribución espacial de la precipitación anual se observa que las zonas con mayores niveles de precipitación se concentran principalmente en el noroccidente, correspondiente al área de bosque húmedo, así como en el sector aledaño a Papallacta. Al centrarse en la ciudad de Quito, se evidencia que los valores de precipitación son inferiores en comparación con dichas zonas, especialmente dentro del área urbana consolidada. Por esta razón, para el presente análisis se utilizan exclusivamente los datos provenientes de estaciones pluviométricas ubicadas dentro del área urbana del Distrito Metropolitano de Quito, a fin de garantizar la representatividad de los resultados.

Figura 7

Red de monitoreo Pluviométrica EPMAPS-FONAG

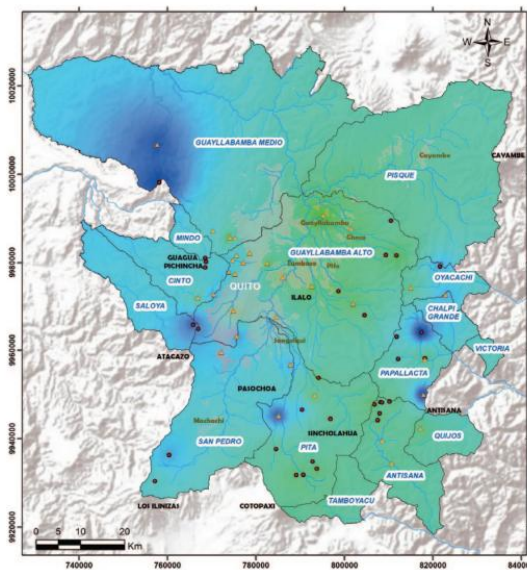
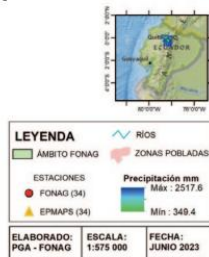


Fuente: Tomado de Anuario Hidrometeorológico 2022, por Fondo para la Protección del Agua (FONAG, 2022).

Figura 8

Red de monitoreo Pluviométrica EPMAPS-FONAG

4. Distribución espacial de la lluvia anual 2022 de todas las estaciones meteorológicas y pluviométricas de la Red Integrada EPMAPS - FONAG que se muestran en este anuario.



Fuente: Tomado de Anuario Hidrometeorológico 2022, por Fondo para la Protección del Agua (FONAG, 2022).

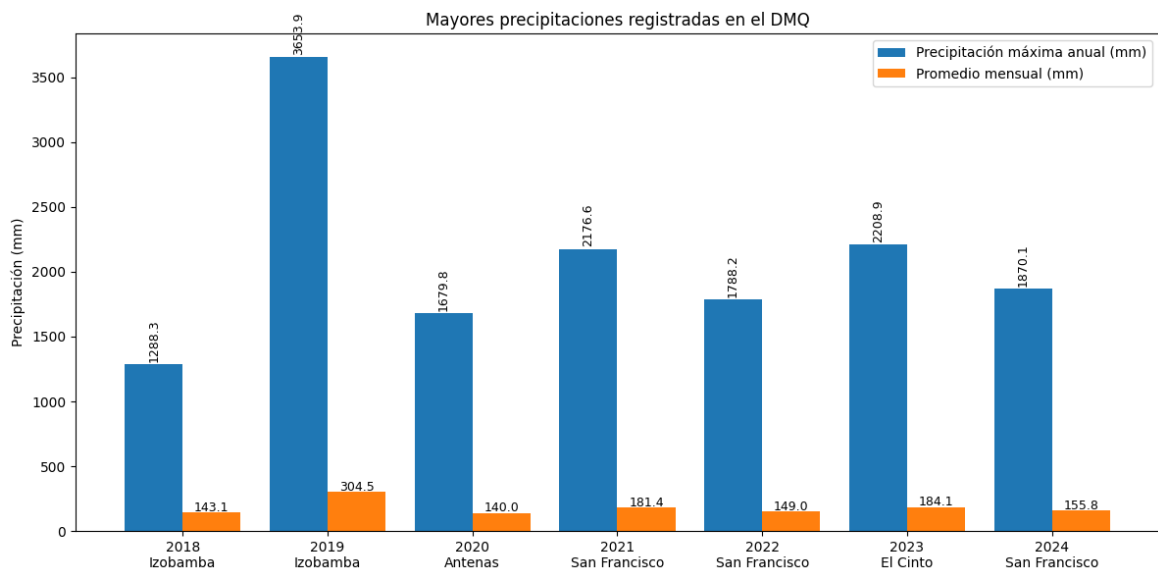
Los datos de precipitación utilizados corresponden a registros oficiales empleados en estudios hidrológicos del Distrito Metropolitano de Quito (véanse anexos). Al analizar las estaciones pluviométricas del DMQ, se identifican los valores máximos de precipitación registrados en cada año, lo que permite determinar que el mayor acumulado corresponde a la estación San Francisco, con un valor de 453,9 mm registrado entre los meses de marzo y abril de 2024.

No obstante, al revisar el conjunto completo de datos (véanse anexos) se evidencia que dichos valores no son representativos del comportamiento pluviométrico habitual del distrito, sino que podrían estar asociados a fenómenos meteorológicos puntuales que no forman parte del alcance del presente estudio.

Con el propósito de diseñar un sistema óptimo y representativo de las condiciones promedio del DMQ, no se adopta como valor de diseño el máximo registrado. En su lugar, se utiliza un valor promedio mensual representativo a escala distrital, equivalente a 179,7 mm de precipitación mensual, que para efectos de cálculo se aproxima a 180 mm/mes.

Figura 9

Mayores precipitaciones registradas en el DMQ



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Tabla 7
Precipitación (mm)

2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024		
IZOBAMBA	IZOBAMABA	ANTENAS	SAN FRANCISCO	SAN FRANCISCO	EL CINTO	SAN FRANCISCO		
99,7	135,2	138,9	115,1	138,1	224,8	92,1		
170,9	242,1	184,4	148,9	162,1	87,0	291,9		
203,8	320,9	240,5	287,9	231,5	303,6	180,1		
174,8	197,3	250,6	380,3	199,2	328,5	453,9		
168,7	120,2	96,0	219,9	141,7	208,7	216,1		
21,5	80,1	83,1	102,5	234,6	16,4	80,7		
	30,8	46,8	25,8	78,4	96,6	29,5		
	2,3	76,8	86,0	74,8	144,7	4,3		
	75,4	65,7	155,7	71,3	57,6	35,7		
62,2	151,1	115,0	297,4	251,1	248,9	193,5		
327,9	182,9	150,6	186,5	76,6	163,5	38,0		
58,8	96,6	231,4	170,6	128,8	328,6	254,3		
1288,3	3653,9	1679,8	2176,6	1788,2	2208,9	1870,1	PROMEDIO ACUMULADO ANUAL	PROMEDIO MENSUAL
143,1	304,5	140,0	181,4	149,0	184,1	155,8		

Fuente: Fondo para la Protección del Agua (FONAG, 2022). Anuario hidrometeorológico 2022.

Para efectos de simplificación del análisis, se asume que sobre la superficie de captación no existe infiltración, al tratarse de una superficie impermeable. Asimismo, se considera que las pérdidas por evaporación son mínimas y prácticamente despreciables a escala anual. Bajo estos supuestos, la intensidad de lluvia considerada para el diseño del sistema de captación corresponde a 2 095,1 mm/año

5.3.2 Cálculo del caudal de escorrentía (Método racional)

Dado que el diseño corresponde a una vivienda unifamiliar ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito, no resulta metodológicamente apropiado emplear una ecuación de intensidad de lluvia asociada a una estación pluviométrica específica. Por esta razón, en el presente estudio se adopta un valor promedio representativo, obtenido a partir de las estaciones que registraron las mayores precipitaciones de manera recurrente a lo largo de los años analizados.

Se aplica la ecuación:

$$Q = C \times Pm \times A$$

Donde:

C = 0,90 (cubierta impermeable, NEC 2011)

Pm= precipitación promedio anual 2095 mm/año

A = 120 , m2

$$Q = 0,90 \times 2095 \frac{mm}{año} \times \frac{1 m}{1000mm} \times 120 m^2$$

$$Q = 226,26 \frac{m^3}{año}$$

$$Q = 226,26 \frac{m^3}{año} \times \frac{año}{12 meses} = 18,86 \frac{m^3}{mes}$$

este valor correspondería a la máxima cantidad de agua que podría ser captada con una superficie de 120 m2.

5.3.3 Diseño de canaletas y bajantes

Para dimensionar una canaleta de lluvia se debe calcular el caudal de diseño basado en la intensidad máxima de lluvia (no el promedio anual) y luego aplicar la fórmula de Manning para determinar la capacidad de transporte de la sección.

En la última década (2016-2026), Quito ha registrado eventos de lluvia con intensidades extremas que han superado los récords históricos previos, particularmente en los años 2021, 2022 y el reciente 2025.

- **Récords de intensidad y volumen**

Mayor Intensidad Horaria (Puntual): En diciembre de 2021, la estación de Iñaquito registró la lluvia más intensa en 20 años, alcanzando 64.3 mm en un solo evento. En términos de diseño, esto representa una intensidad que puede superar los 100-120 mm/h en intervalos cortos de 15 minutos.

Récord de Precipitación Diaria (Volumen): El 31 de enero de 2022, durante el evento que provocó el aluvión de La Gasca, se registraron 75 mm de lluvia en un solo día, una cifra que cuadruplicó el pronóstico esperado para esa jornada (19 mm).

Mes más Lluvioso en 18 años: Octubre de 2025 se convirtió en el octubre con mayor acumulación de agua de las últimas casi dos décadas, superando los registros históricos de 2007.

Información tomada de la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito (2025), reportes de prensa y boletines técnicos de octubre, en los que se identifica dicho mes como el más lluvioso de los últimos 18 años, superando los acumulados históricos del período 2007–2024.

- **Valores de diseño para el DMQ**

Para cálculos de ingeniería y drenaje en Quito, se utilizan las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) proporcionadas por el INAMHI:

Periodo de retorno de 10 años: La intensidad máxima esperada para una duración de 5 a 10 minutos oscila entre 110 y 130 mm/h.

Variabilidad Geográfica: Las intensidades más altas suelen registrarse en el sur de la ciudad y en las laderas del volcán Pichincha debido al efecto orográfico.

Para el presente trabajo se adopta como referencia el valor máximo esperado, con el propósito de considerar un escenario de precipitación intensa de 130 mm/h, aun cuando este valor supera el comúnmente utilizado en diseños convencionales (100 mm/h).

Caudal Pluvial

El cálculo del caudal pluvial según la normativa de INVIAS (Instituto Nacional de Vías de Colombia) se rige principalmente por el Manual de Drenaje para Carreteras, actualizado en versiones recientes hasta 2025 para integrar criterios de sostenibilidad y gestión del riesgo.

Métodos de Cálculo

Para determinar el caudal de diseño Q el manual establece el uso del Método Racional para áreas de drenaje pequeñas

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$$

C : Coeficiente de escorrentía 0,9

I : Intensidad de la lluvia 130 mm/h

A : Área de la cuenca en hectáreas.

$$A = 120 \text{ m}^2 \times \frac{1 \text{ ha}}{10000 \text{ m}^2} = 0,012 \text{ ha}$$

$$Q = \frac{0,9 \times 130 \times 0,012}{360} = 0,0039 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 3,9 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Dimensionamiento Geométrico

Ancho mínimo: Para canaletas de recolección en cubiertas, se manejan dimensiones estándar de entre 100 mm y 150 mm de ancho para áreas pequeñas. No obstante, el diseño debe garantizar que el nivel del agua no supere el 80% de la altura total de la canaleta.

Sección mínima: Una regla de diseño recomendada es mantener al menos 0.8 cm² de sección transversal por cada 1 m² de área de techado proyectada horizontalmente.

$$S_{min} = 0,8 \times 120 = 96 \text{ cm}^2$$

Parámetros Hidráulicos y Pendientes

Tabla 8.

Parámetros de diseño hidráulico para el sistema de captación de aguas lluvias

Parámetro	Valor mínimo / criterio de diseño	Fuente de referencia
Pendiente	1,0 % (recomendada) / 0,5 % (mínima)	Memoria hidrosanitaria de Quito
Velocidad	≥ 0,6 m/s	Norma técnica EPMAPS
Diámetro de bajantes	100 mm (4 pulgadas)	Sistema de captación SIESCO
Almacenamiento	5,00 m ³ (mínimo según área del lote)	Ordenanza PUGS – Municipio de Quito

Fuente: Elaboración propia con base en normativa y documentos técnicos del Distrito Metropolitano de Quito.

Pendiente mínima: Se establece una pendiente mínima de 1% para asegurar el correcto drenaje y evitar el estancamiento de sedimentos. En casos excepcionales de canaletas de gran sección, la pendiente no debe ser inferior al 0.5%.

Velocidad de autolimpieza: La velocidad del flujo no debe ser inferior a 0.6 m/s. Este valor es crítico para garantizar que el agua arrastre los sólidos (hojas, polvo, sedimentos) y no se obstruya el sistema.

Si la velocidad máxima recomendada en la canaleta es 1 m/s y se recomienda que sea mayor a 0,6 m/s se toma como promedio 0,8 m/s la velocidad del agua en la canaleta, por tanto se tiene;

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0,0039 \frac{m^3}{s}}{0,8 \frac{m}{s}} = 0,004875 m^2 \times \frac{10000 cm^2}{1 m^2} = 48,75 cm^2$$

Para asegurar que la canaleta no se desborde, su capacidad de transporte debe ser mayor al caudal calculado

$$Q_{canal} > Q_{diseño}$$

La fórmula de Manning para canales abiertos es:

$$V = \frac{1}{n} \times R_h^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

n : Rugosidad del material (PVC = 0.012, Metal = 0.013)

R_h : Radio hidráulico (Área de la sección / Perímetro mojado).

S : Pendiente de la canaleta (se recomienda mínimo 0.01, es decir, 1%).

$$R_h = \left(\frac{V \times n}{S^{1/2}} \right)^{3/2}$$

$$R_h = \left(\frac{0,8 \times 0,013}{0,01^{1/2}} \right)^{3/2} = 0,03353 m$$

$$R_h = \frac{\text{Area}}{\text{Perimetro Mojado}} \rightarrow \text{Perimetro Mojado} = \frac{48,75 \text{ cm}^2}{3,353 \text{ cm}} = 14,53 \text{ cm}$$

$$A = b \times h \quad \text{y} \quad P = b + 2h \rightarrow 48,75 = b \times h \quad \text{y} \quad 14,53 = b + 2h$$

$$h = 5,23 \quad \text{y} \quad b = 9,32$$

Por lo tanto, se adopta una canaleta con una base de 10 cm y una altura de 15 cm, a fin de permitir una instalación estándar. No obstante, el nivel real del agua en operación no superará los 7 cm, lo que garantiza un adecuado margen de seguridad hidráulica.

$$Q_{\text{canal}} = V \times A = 0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,07 \text{ m} \times 0,10 \text{ m} = 0,0056 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 5,6 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$5,6 \frac{\text{l}}{\text{s}} > 3,9 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Cálculo del Diámetro del Bajante según Carga Hidráulica

FAO (2013): En su manual "Captación y almacenamiento de agua de lluvia", recomienda que los bajantes tengan una capacidad mayor al caudal de diseño para permitir la evacuación de aire y evitar el efecto "sifón".

Para un área de 120 m² y una intensidad de 130 mm/h, el caudal es 3.9 l/s. Los bajantes verticales se seleccionan según su capacidad de carga:

Tabla 9.

Parámetros de diseño hidráulico para el sistema de captación de aguas lluvias

Diámetro Nominal (pulg/mm)	Capacidad Máxima (l/s) - Según IPC	Capacidad Recomendada (FAO)
2" (50 mm)	1.45 l/s	No recomendado para techos principales
3" (75 mm)	4.35 l/s	Límite máximo para el proyecto
4" (110 mm)	9.46 l/s	Ideal (Factor de seguridad 3:1)

Fuente: Elaboración propia con base en normativa y documentos técnicos del Distrito Metropolitano de Quito.

Procedimiento de Selección - Caudal calculado (3,9 l/s)

Recomendación: un bajante de 110 mm soporta hasta 9,46 l/s y trabajaría al 35% de su capacidad, lo cual es óptimo según la FAO para evitar que el aire atrapado obstruya el flujo del agua lluvia. Si se decide usar 2 bajantes de 75 mm, cada uno se encargaría de 60 m² (1.95 l/s cada uno), lo que garantiza un sistema extremadamente eficiente y difícil de obstruir.

Ficha Técnica de Instalación (Estándar PVC)

Tipo de Tubería: PVC para aguas lluvias (serie liviana o reforzada según la altura del edificio).

Conexión Canaleta-Bajante: El embudo de recepción (boqueta) debe tener un diámetro 20% mayor que el tubo del bajante para evitar el efecto de remolino (vórtice).

Velocidad de flujo: En bajantes verticales, el agua alcanza rápidamente su velocidad terminal (aprox. 4 a 5 m/s). Por ello, el codo de entrega en la base debe ser de 45° o de radio largo para evitar la rotura del tubo por impacto hidráulico.

Interceptor de primeras aguas

Con el propósito de almacenar el agua lluvia en las mejores condiciones posibles de calidad, se recomienda desechar las denominadas “primeras aguas”, correspondientes a los primeros 1 a 2 mm de precipitación de cada evento de lluvia captado. Este volumen resulta adecuado, con base en la experiencia práctica y la literatura técnica, para arrastrar los sedimentos y partículas que se acumulan sobre las cubiertas de captación.

Cabe recordar que 1 mm de precipitación equivale a 1 litro de agua por cada metro cuadrado de superficie de captación, lo que permite estimar de manera directa el volumen a desechar en función del área de la cubierta.

$$V_{int} = A \times \frac{1 \text{ l}}{\text{m}^2} = 120 \text{ m}^2 \times \frac{1 \text{ l}}{\text{m}^2} = 120 \text{ l} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 0,12 \text{ m}^3$$

5.3.4 Cálculo del volumen de almacenamiento

Demanda de agua no potable

En el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), la demanda de agua para usos no potables (aquellos que no requieren calidad de consumo humano como riego, descarga de inodoros y limpieza) representa aproximadamente el 40% al 50% del consumo total doméstico.

A pesar de que el agua distribuida por la EPMAPS es 100% potable, los hábitos de consumo en la ciudad no discriminan su uso, provocando que agua tratada con altos costos se utilice en actividades secundarias.

Desglose de la Demanda de Agua No Potable

Basado en estudios de caracterización de consumo residencial en ciudades andinas y reportes técnicos de Quito:

Descarga de Inodoros: Representa entre el 25% y 30% de la demanda diaria por hogar. Este es el principal rubro sustituible por sistemas de captación de agua lluvia o reúso de aguas grises.

Limpieza y Lavado de Ropa: Equivale a un 15% a 20% del consumo. Aunque el lavado de ropa requiere cierta calidad, para limpieza de pisos y exteriores no es necesaria la potabilidad.

Riego de Áreas Verdes y Lavado de Autos: En sectores como los Valles (Cumbayá, Tumbaco, Los Chillos), este uso puede elevar la demanda no potable hasta un 20% adicional durante el verano (veranillos).

EPMAPS (2025-2026): La empresa advierte que el desperdicio en usos no esenciales (riego, lavado de aceras) durante periodos secos es el factor principal que obliga a implementar cronogramas de racionamiento en sectores altos como Calderón y San Antonio.

Estudios de Hábitos de Consumo (2021): Reportes técnicos indican que el quiteño promedio consume unos 185 litros diarios (en periodos de alto desperdicio), de los cuales gran parte se pierde por no diferenciar el uso según la calidad del agua.

FAO (2013) / Normativas de Construcción: Manuales técnicos para la región sugieren que el aprovechamiento de agua lluvia puede cubrir hasta el 100% de la demanda de riego y descargas sanitarias, reduciendo la presión sobre la red pública en un 50%.

En resumen, de los 142 a 180 litros diarios que consume un habitante en Quito, entre 60 y 90 litros podrían ser cubiertos con fuentes no potables si se implementan sistemas de captación como el que se está proponiendo.

Consumo estimado:

Dotación Neta (uso no potable) = 75 L/hab·día

Personan = 5 habitantes

$$Q_d = \# P_s \times DN = 5 \text{ hab} \times 75 \frac{\text{l}}{\text{hab dia}} \times \frac{30 \text{ dias}}{1 \text{ mes}} \times \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}} = 11,25 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

Captación estimada:

$$P_{mi} = \text{Precipitacion mes} \times A \times C = 134,8 \frac{\text{mm}}{\text{mes}} \times 120 \text{ m}^2 \times 0,9 \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 14,6 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

$$P_{aguas} = V_{int} \times 30 \text{ dias} = 0,12 \text{ m}^3 \times 30 \text{ dias} = 3,6 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

$$\text{Precipitacion Mensual captada} = P_{mi} - P_{aguas} = 14,6 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} - 3,6 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} = 11 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

Tabla 10

Balance hídrico mensual para el dimensionamiento del volumen de reserva.

VOLUMEN DE REGULACION (DIMENSIONAMIENTO DE RESERVA DE AGUA LLUVIA)												
mes	Precipitación mm/mes	A m2	C adimensional	Oferta Promedio			Demanda Base			Balance m3		
				Mensual m3/mes	Primeras Aguas m3/mes	Mensual Util m3/mes	Acumulado m3	Mensual m3/mes	Acumulado m3			
ene	134,8	120,0	0,9	14,6	3,6	11,0	11,0	11,25	11,25	-0,3		
feb	183,9	120,0	0,9	19,9	3,6	16,3	27,2	11,25	22,5	4,7		
mar	252,6	120,0	0,9	27,3	3,6	23,7	50,9	11,25	33,75	17,2		
abr	283,5	120,0	0,9	30,6	3,6	27,0	77,9	11,25	45	32,9		
may	167,3	120,0	0,9	18,1	3,6	14,5	92,4	11,25	56,25	36,1		
jun	88,4	120,0	0,9	9,5	3,6	5,9	98,3	11,25	67,5	30,8		
jul	51,3	120,0	0,9	5,5	3,6	1,9	100,3	11,25	78,75	21,5		
ago	64,8	120,0	0,9	7,0	3,6	3,4	103,7	11,25	90	13,7		
sep	76,9	120,0	0,9	8,3	3,6	4,7	108,4	11,25	101,25	7,1		
oct	188,5	120,0	0,9	20,4	3,6	16,8	125,1	11,25	112,5	12,6		
nov	160,9	120,0	0,9	17,4	3,6	13,8	138,9	11,25	123,75	15,2		
dic	181,3	120,0	0,9	19,6	3,6	16,0	154,9	11,25	135	19,9		

Fuente: Elaboración propia, con base en datos pluviométricos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y criterios de diseño hidrosanitario urbano (Memoria Hidrosanitaria del Distrito Metropolitano de Quito; Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento – EPMAPS).

A partir de los datos tabulados se determina que el volumen máximo de almacenamiento requerido para un mes completo asciende a 36,4 m³. No obstante, la normativa municipal vigente establece que los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia deben dimensionarse para almacenar el volumen correspondiente a un evento pluvial, permitiendo posteriormente la evacuación controlada del excedente hacia el sistema de alcantarillado público.

En este sentido, no resulta necesario dimensionar el reservorio para cubrir la captación mensual máxima, sino para garantizar un manejo adecuado del evento de diseño y su descarga regulada. El volumen mínimo de almacenamiento exigido por el municipio es de 5 m³; sin embargo, este valor debe ser contrastado con el volumen efectivamente requerido para el reuso de agua lluvia en usos no esenciales, tales como riego de áreas verdes, limpieza de exteriores o descargas sanitarias.

Desde una perspectiva de sostenibilidad y seguridad hídrica en la ciudad de Quito, el tiempo óptimo de almacenamiento se define por la capacidad del sistema para cubrir la demanda durante periodos de déficit hídrico, considerando que la ciudad experimenta ciclos de sequía cada vez más prolongados, como los registrados a finales del año 2025.

En términos técnicos, existen dos enfoques principales para determinar el tiempo adecuado de almacenamiento:

1. El Periodo de Autonomía Crítico (15 a 21 días)

Desde una perspectiva de sostenibilidad urbana, un sistema de captación de agua lluvia en Quito debe garantizar una autonomía de 2 a 3 semanas.

Razón: Los cortes de agua o periodos de estiaje severo en sectores altos del DMQ suelen durar entre 7 y 15 días.

Cálculo: Si la demanda no potable es de 75 litros/persona/día y habitan 5 personas, necesitarías un almacenamiento de:

$$Va_1 = 75 \frac{l}{hab\ dia} \times 5\ hab \times 21\ dias \times \frac{m^3}{1000\ l} = 7,87\ m^3$$

2. El Ciclo de Estacionalidad (30 días de reserva)

Para que el sistema sea sostenible a largo plazo, la FAO (2013) y manuales de construcción sostenible sugieren dimensionar el tanque para el mes más seco.

En Quito, esto ocurre en julio o agosto, donde la precipitación puede caer a solo 20 mm.

Estrategia: El almacenamiento debe ser capaz de acumular el excedente de los meses lluviosos (como abril u octubre) para utilizarlo cuando no llueve. Un depósito dimensionado para 30 días de consumo permite amortiguar la variabilidad climática actual.

3. Consideraciones de Calidad del Agua (El "Tiempo Límite")

Sostenibilidad también implica salud. El agua lluvia almacenada no debe permanecer estática por periodos indefinidos:

Tiempo máximo recomendado: 6 meses. Pasado este tiempo, incluso en tanques oscuros y frescos, el agua puede desarrollar olores o pérdida de calidad si no tiene un sistema de recirculación o tratamiento.

Rotación constante: El diseño sostenible busca que el agua "entre y salga" continuamente. En Quito, dada la pluviosidad promedio de 2095 mm/año que se menciona, el tanque se llenará y vaciará varias veces al año, lo cual es ideal para mantener el agua oxigenada.

Por lo tanto, para un área de recolección de 120 m², el escenario más sostenible y técnicamente óptimo corresponde a un volumen de almacenamiento de 10 m³. Este volumen permite aprovechar de manera eficiente los 226.260 litros anuales de agua lluvia previamente determinados, reduciendo la dependencia de la red pública de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) en aproximadamente un 50 % anual, y alineándose con las metas de resiliencia climática y gestión integral del recurso hídrico del Distrito Metropolitano de Quito.

Estas recomendaciones se sustentan en los criterios de infraestructura verde establecidos en el Plan Maestro de Agua Potable y Saneamiento de Quito, así como en las directrices técnicas del manual de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013) sobre captación y aprovechamiento de agua de lluvia.

Para cubrir un volumen total de 10 m³ (10.000 litros) mediante tanques comerciales disponibles en el mercado ecuatoriano, existen tres configuraciones técnicas comúnmente utilizadas. Marcas líderes como Plastigama Wavin, Rival y Rotoplas ofrecen soluciones modulares y de gran capacidad, que permiten adaptar el sistema a las condiciones espaciales, constructivas y operativas del proyecto.

1. Opción de Tanque Único (Gran Formato)

Tanque de 10,000 Litros: Es un gigante de polietileno de alta densidad (PEAD).

Dimensiones aprox.: Diámetro de 2.30 a 2.40 metros y una altura de 2.50 a 2.80 metros.

Uso: Ideal para instalación en exteriores sobre una base de hormigón nivelada.

Marcas: Plastigama Wavin (Tanque Extra Fuerte) y Rival.

2. Opción Modular (Batería de Tanques)

Es la más recomendada para proyectos residenciales de 120 m² porque facilita el transporte y la limpieza. Puedes conectar dos tanques de 5,000 litros en paralelo (sistema de vasos comunicantes).

Ventajas: Si un tanque requiere mantenimiento, el otro sigue operativo. Son más fáciles de pasar por puertas o callejones.

Dimensiones (por unidad): Diámetro de 1.85 m y altura de 2.15 m aproximadamente.

Configuración: Se conectan por la parte inferior con tubería de PVC para que el nivel de agua sea igual en ambos.

3. Tanques para Cisterna (Bajo Tierra)

Si no deseas que el almacenamiento sea visible por estética o falta de espacio, existen tanques diseñados específicamente para ser enterrados.

Capacidad: Existen modelos de 5,000 y 10,000 litros.

Características: Tienen un diseño con nervaduras reforzadas para resistir la presión del suelo.

Referencia: La línea de Cisternas Rotoplas es muy común en el mercado local y garantiza que el agua no se contamine ni se filtre.

Tabla 11

Resumen Técnico de Selección

Tipo de Tanque	Capacidad	Espacio requerido	Instalación
Monobloque	10,000 L	Alto (2.8m)	Superficie nivelada
Batería (2x5k)	5,000 L c/u	Ancho (4m total)	Conexión en paralelo
Cisterna enterrada	10,000 L	Subsuelo	Excavación y relleno

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

Recomendación de Sostenibilidad

Para el sistema analizado se sugiere la Batería de 2 tanques de 5,000 litros. Esto te permite:

- Instalar un filtro de sedimentos antes del primer tanque.
- Tener un sistema de rebose más controlado hacia el alcantarillado pluvial.
- Mayor resiliencia: si un tanque sufre una fisura o contaminación, no pierdes toda tu reserva de 10 m³.

Diseño de cisterna

- Dimensionamiento y Capacidad
- El volumen de la cisterna depende de la demanda mensual de agua y la oferta pluvial de la región.
- Cálculo: Se basa en el área de captación (m²) multiplicado por la precipitación media anual (mm) y un coeficiente de escurrimiento.

Medidas comunes:

10,000 litros: Aproximadamente 4.00 m de largo x 2.20 m de ancho x 2.20 m de alto.

Cisterna de concreto: Se debe dejar un espacio libre de 30 cm entre el nivel máximo de agua y la tapa.

Materiales Recomendados

Para 2026, los materiales más utilizados por su durabilidad y costo-beneficio son:

Hormigón Armado: Es duradero y ayuda a neutralizar la acidez natural del agua de lluvia.

Polietileno de Alta Densidad (Rotoplas o similar): Opciones prefabricadas con capas antibacterianas y protección UV.

Ferrocemento: Una opción económica y adaptable para cualquier volumen en zonas rurales.

Mantenimiento y Calidad

Para asegurar que el agua sea apta para uso (riego, limpieza o sanitarios), el diseño debe incluir:

Pichancha Flotante: Una manguera con flotador que succiona el agua de la parte superior, evitando revolver sedimentos del fondo.

Tren de Filtración: Filtros de sedimentos y carbón activado para eliminar olores y sabores antes del uso doméstico.

Desinfección: Uso de cloro, ozono o plata coloidal para eliminar microorganismos.

Para el diseño y construcción de una cisterna de 10 m³ en Quito, se deben seguir las normativas de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) para estructuras de hormigón armado. Dado que se parte del supuesto que el suelo es competente, el diseño se enfoca en la contención de líquidos y la durabilidad hidrostática.

1. Dimensionamiento Geométrico

Para obtener un volumen útil de 10,000 litros (10 m^3), se recomiendan las siguientes dimensiones internas:

- Largo: 3.00 m
- Ancho: 2.25 m
- Altura de agua: 1.50 m
- Borde libre (aire): 0.30 m
- Altura total interna: 1.80 m
- Espesor de paredes y losas: 20 cm (mínimo recomendado para garantizar impermeabilidad y recubrimiento).

2. Especificaciones de Materiales

Hormigón ($f'c$): Resistencia mínima de 210 kg/cm^2 (21 MPa). Se debe usar un aditivo impermeabilizante integral en la mezcla para reducir la porosidad.

Acero de refuerzo (Fy): Grado 60 (4200 kg/cm^2).

Recubrimiento: Mínimo 5 cm para proteger el acero contra la corrosión en contacto con agua.

3. Diseño Estructural (Armado de Acero)

Al ser una estructura enterrada, las paredes deben resistir tanto el empuje del suelo (vacía) como el empuje del agua (llena).

Losa de Fondo: Doble malla de varilla de 12 mm cada 20 cm en ambos sentidos.

Muros: Doble malla (cara interna y externa) de varilla de 12 mm cada 20 cm tanto horizontal como verticalmente.

Losa de Tapa: Malla de varilla de 10 mm cada 20 cm. Debe incluir una escotilla de acceso de al menos 60x60 cm.

4. Proceso Constructivo Paso a Paso

Excavación: Realizar el hueco dejando un margen de 20-30 cm extra por lado para facilitar el encofrado exterior.

Replanteo: Colocar una capa de 5 cm de hormigón simple ($210\text{kg}/\text{cm}^2$) para nivelar y asentar el acero de refuerzo.

Armado y Colocación de Tuberías: Instalar la armadura de la losa de fondo y muros. Colocar las tuberías de succión, rebose y ventilación antes de fundir.

Fundición de Losa de Fondo: Se recomienda fundir la losa y un "arranque" de los muros de 15 cm simultáneamente para evitar juntas frías críticas en la base.

Encofrado y Fundición de Muros: Usar encofrado estanco. Vibrar correctamente el hormigón para evitar "hormigueros" o porosidad excesiva.

Curado: Mantener el hormigón húmedo por al menos 7 días para asegurar su resistencia e impermeabilidad.

Acabado e Impermeabilización: Aplicar un enlucido con mortero impermeabilizante en el interior. Se sugiere redondear las esquinas internas (medias cañas) para evitar acumulaciones de sedimentos.

5. Accesorios Necesarios

Ventilación: Tubo de PVC de 2" en forma de "U" invertida con malla mosquitera.

Rebose: Tubería de diámetro igual o mayor a la de entrada para evacuar excesos.

Succión: Ubicar la pichancho a 10-15 cm del fondo para no succionar lodos.

Paso 1: Geometría y Parámetros de Diseño

Se definen las dimensiones para un volumen útil de 10.12m^3 y las propiedades de los materiales:

Dimensiones internas:

Largo $L = 3.00\text{m}$,

Ancho $B = 2.25\text{m}$,

Altura de agua $h_w = 1.50\text{m}$,

Altura total $H = 1.80\text{m}$

Espesores (t): Paredes, losa de fondo y tapa = 0.20m

Materiales:

Hormigón $f'c = 21\text{Mpa}$ (210kg/cm^2), Acero $fy = 420\text{Mpa}$ (4200kg/cm^2).

Cargas:

Peso específico del agua $\gamma_w = 9.81\text{kN/m}^3$

Peso específico del suelo $\gamma_s = 18.0\text{kN/m}^3$

Sobrecarga de uso $q = 5.0\text{kN/m}^2$

Paso 2: Análisis de Empujes y Momentos

Se analizan los estados más críticos: cisterna llena (empuje hidrostático) y cisterna vacía (empuje de suelo).

Empuje Hidrostático Máximo (Ph):

$$P_h = \gamma_w \cdot h_w = 9.81 \cdot 1.50 = 14.72\text{kN/m}^2$$

Empuje de Suelo en Reposo (P_s): Considerando un coeficiente

$$K_0 = 0.5$$

$$P_s = K_0 \cdot \gamma_s \cdot H = 0.5 \cdot 18.0 \cdot 1.80 = 16.20 \text{ kN/m}^2$$

Momento de Diseño (M_u): Para una placa empotrada en la base, el momento máximo aproximado es:

$$M_u = 1.6 \cdot \frac{P_s \cdot H^2}{15} \approx 5.60 \text{ kNm/m}$$

Paso 3: Cálculo del Acero de Refuerzo

Se calcula el acero necesario para resistir los momentos y controlar la fisuración por retracción (importante en estructuras hidráulicas).

Cuantía mínima por durabilidad (A_{smin}): Según ACI 350, para exposición a líquidos:

$$A_{smin} = 0.003 \cdot b \cdot t = 0.003 \cdot 100 \cdot 20 = 6.0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Selección de varilla: Usando varillas de $\phi 12\text{mm}$ (Área = 1.13 cm^2):

Se adopta un espaciamiento de 15 cm para mayor seguridad y control de grietas.

Paso 4: Verificación por Flotación

Dado que la cisterna está en Quito (suelo competente, nivel freático generalmente profundo), se verifica que el peso propio de la estructura (W_{est}) sea mayor al empuje de flotación (E_f) si el suelo se satura:

$$W_{est} = 24 \text{ kN/m}^3 \cdot V_{\text{hormigon}} \approx 215 \text{ kN} > E_f$$

La estructura es estable por peso propio.

El diseño final de la cisterna de 10 m³ consiste en una estructura de hormigón armado con paredes y losas de 20 cm de espesor. El refuerzo estructural consiste en una doble malla (interna y externa) de varillas de 12 mm cada 15 cm en ambas direcciones (horizontal y vertical). El hormigón debe tener una resistencia de 21 MPa e incluir aditivo impermeabilizante integral para garantizar la estanqueidad.

5.4 Diseño del sistema de tratamiento de aguas grises

Para una vivienda unifamiliar de 5 personas en Quito, el volumen estimado de aguas grises se calcula con base en la dotación de agua potable y los coeficientes de retorno establecidos por la normativa local (EPMAPS). En Quito, la dotación técnica estándar para diseño es de aproximadamente 150 a 200 litros de agua potable por persona al día.

Generación de aguas grises: Se estima que entre el 70% y 80% del agua potable consumida se convierte en agua residual (coeficiente de retorno). De este total, aproximadamente el 70% son aguas grises (provenientes de duchas, lavabos y lavadoras, excluyendo el inodoro). En termino generales se puede decir que aproximadamente el 60% del agua consumida en una vivienda es desechada como aguas grises que podrían ser aprovechadas para un uso no potable.

Para elegir una solución, se evalúan tres alternativas principales para el tratamiento domiciliario de aguas grises:

Tabla 11
Tipo de tratamiento de aguas grises

Tecnología	Descripción	Ventajas	Desventajas
Plantas Compactas (PTAR)	Sistemas electromecánicos prediseñados.	Muy poco espacio requerido; alta eficiencia inicial.	Alto costo de energía y mantenimiento técnico especializado.
Humedal de Flujo Superficial	El agua circula sobre el sustrato (espejo de agua visible).	Estético, bajo costo.	Riesgo sanitario: atrae mosquitos, genera olores y riesgo de contacto.
Biofiltro de Flujo Subsuperficial	El agua circula bajo el sustrato (grava/arena).	Sin olores, sin mosquitos, seguro para niños/mascotas y bajo mantenimiento.	Requiere un área de diseño específica (aprox. 5-7 m ² para 5 personas).

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

¿Por qué se elige el sistema Subsuperficial en Quito?

La decisión técnica se basa en tres factores clave para el entorno de la capital:

Seguridad Sanitaria: Al no tener agua expuesta, se elimina el riesgo de proliferación de vectores (mosquitos) y malos olores, algo crítico en zonas densamente pobladas de Quito.

Estabilidad Térmica: El sustrato actúa como aislante frente a las bajas temperaturas nocturnas de los Andes, manteniendo activas las bacterias encargadas de la degradación de contaminantes.

Sostenibilidad y Costo: Es un sistema "pasivo" que no consume electricidad. Utiliza materiales locales (grava, arena y plantas nativas).

Fundamento en Normativa Local e Internacional

La selección no es solo técnica, sino que garantiza el cumplimiento legal vigente en 2026:

Local (Quito):

- **Estándar de Edificabilidad (RTAU v2.0, 2024-2026):** Exige que las viviendas unifamiliares prevean sistemas de tratamiento para la descarga de aguas residuales que cumplan con los límites de calidad antes de su vertido o reúso.
- **Ordenanza de Gestión de Residuos (Febrero 2026):** El cobro de la tasa de basura a través de la planilla de agua incentiva el reúso de aguas grises (riego/inodoros) para reducir el consumo total facturado y el vertido al alcantarillado.
- **Normas EPMAPS:** Define los criterios de diseño para sistemas descentralizados que no deben saturar la red pública combinada.

Internacional:

- **EPA (EE.UU.) y OMS:** Los manuales de la EPA (como el 832-F-00-023) son la referencia global para el diseño de humedales subsuperficiales por su eficiencia en la remoción de DBO y sólidos suspendidos (>90%).
- **ISO 46001:** Proporciona el marco para la gestión eficiente del agua en edificaciones, validando el reúso de aguas grises tratadas para fines no potables.

El diseño de un **Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal (HAFSS-H)** para una vivienda unifamiliar en Quito se basa en principios de ingeniería hidráulica y biotecnología ambiental.

1. Cinética de Degradación

La base científica para el dimensionamiento es la **Cinética de Primer Orden de Reed**, que relaciona la reducción de la materia orgánica (DBO_5) con el tiempo que el agua permanece en contacto con las raíces.

La Técnica: Para 5 personas, se requiere un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de **2 a 4 días**.

Base Científica: En Quito, la temperatura promedio del agua es de $\sim 15^\circ\text{C}$. Como la actividad bacteriana es sensible a la temperatura (ecuación de Arrhenius), se necesita un área ligeramente mayor que en la costa para compensar el metabolismo más lento de las bacterias en la altura. El área de **1.2 a 1.4 m² por persona** garantiza que la DBO_5 baje de 250 mg/L a menos de 30 mg/L (límite legal).

2. El Medio Poroso y la Ley de Darcy

El movimiento del agua a través de la grava no es aleatorio; sigue la **Ley de Darcy**, que gobierna el flujo en medios porosos.

La Técnica: Se utiliza gravilla de **5 a 10 mm** de diámetro con una porosidad del 35-40%.

Base Científica: Este tamaño de grano ofrece la superficie ideal para la formación de **biopelículas** (capas de bacterias nitrificantes y desnitrificantes). Si la piedra es muy grande, hay poca superficie de limpieza; si es muy fina (arena), el sistema se tapona (colmatación) debido a los tensoactivos del jabón.

3. Transferencia de Oxígeno por Rizosfera

A diferencia de un pozo séptico, que es puramente anaeróbico (sin aire y con mal olor), el biofiltro utiliza plantas macrófitas.

La Técnica: Selección de plantas con parénquima aerífero (tejidos con canales de aire).

Base Científica: Las raíces de plantas como la *Totora* actúan como "bombas de oxígeno". Transportan O_2 desde las hojas hasta las raíces (rizosfera), creando **microzonas aeróbicas** en un entorno sumergido. Esto permite la oxidación de contaminantes complejos y la transformación del amoníaco en nitratos (nitrificación), algo imposible en sistemas cerrados tradicionales.

4. Eliminación de Tensoactivos (Jabones)

Los tensoactivos presentes en las aguas grises de Quito son mayoritariamente aniónicos.

La Técnica: El sistema utiliza procesos combinados de **adsorción y biodegradación**.

Base Científica: Los tensoactivos se adhieren inicialmente a la superficie de la gravilla y al biofilm (adsorción). Posteriormente, las bacterias (especies de *Pseudomonas* y *Bacillus* que colonizan las raíces) rompen las cadenas de carbono de los detergentes, convirtiéndolos en CO_2 y agua.

5. Respaldo Normativo y de Investigación

Referencia Técnica: El diseño se alinea con el **Manual de Diseño de Humedales de la EPA (EPA/600/R-06/016)**, estándar internacional.

Contexto Local 2026: Se apoya en investigaciones de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y la Universidad Central, que han validado la eficiencia de remoción de estos sistemas en la zona de Quito, logrando hasta un 90% de eficiencia en Sólidos Suspendidos y un 85% en DBO_5 .

Legalidad: Cumple con la **Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2266** (manejo de productos químicos/jabones) y las regulaciones de descarga de la EPMAPS para el reúso seguro en riego clase B (jardines ornamentales).

5.4.1 Estimación del caudal de aguas grises

Tabla 12
Generación de aguas grises domesticas

Concepto	Valor por persona	Total (5 personas)
Consumo Agua Potable	175 L/día	875 L/día
Aguas Residuales Totales (80%)	140 L/día	700 L/día
Aguas Grises Generadas (70% de residuales)	98 L/día	490 L/día

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

5.4.2 Caracterización del afluente

La caracterización típica de las aguas grises en una vivienda de Quito se define por una alta biodegradabilidad y la presencia de contaminantes provenientes de productos de aseo personal y limpieza. Al no contener desechos del inodoro, estas aguas presentan una carga orgánica menor que las aguas negras, pero requieren atención por su contenido de tensoactivos y sólidos suspendidos.

Según la EPMAPS y Estándar de Edificabilidad, los parámetros típicos son:

1. Parámetros Fisicoquímicos Comunes

Tabla 13

Parámetros Fisicoquímicos de aguas grises domesticas

Parámetro	Rango Estimado (mg/L)	Observaciones
DBO ₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	150 – 250	Indica materia orgánica biodegradable (jabones, restos de piel).
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	250 – 500	Incluye materia orgánica no fácilmente biodegradable.
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	100 – 300	Cabellos, fibras de ropa y partículas de suciedad.
Aceites y Grasas	30 – 60	Principalmente de residuos de cocina o aceites corporales.
pH	6.5 – 8.5	Generalmente alcalino debido a los detergentes.
Fósforo Total	4 – 15	Proveniente de detergentes (aunque su uso se ha reducido por normativa).

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

2. Composición según la fuente

Las aguas grises se suelen subdividir para optimizar su tratamiento y reutilización:

Grises Claras (Duchas y Lavamanos): Poseen baja turbidez y menor carga orgánica. Son las más fáciles de reutilizar para riego o descarga de inodoros tras un filtrado simple.

Grises Oscuras (Lavadoras y Lavaplatos): Contienen altas concentraciones de químicos (tensoactivos), colorantes y, en el caso de la cocina, grasas y restos de alimentos, lo que eleva significativamente la DQO.

3. Aspectos Críticos

Biodegradabilidad: La relación DBO_5/DQO en Quito suele rondar el 0.4 - 0.5, lo que indica que son aguas muy aptas para sistemas de tratamiento biológico como biojardineras o humedales artificiales.

Temperatura: En el clima de Quito, las aguas de ducha mantienen una temperatura ligeramente superior a la ambiental ($\sim 20-25^\circ\text{C}$), lo que favorece procesos biológicos de tratamiento in situ.

Regulación: El Estándar de Edificabilidad de Quito exige que las nuevas construcciones prevean la separación de estas aguas para no saturar el sistema de alcantarillado combinado de la ciudad.

5.4.3 Diseño del biofiltro (humedal subsuperficial)

Para una vivienda de 5 personas en Quito, el sistema recomendado es un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal (HAFSS-H). Este sistema funciona como un "riñón artificial" donde el agua se purifica mientras circula lentamente a través de un medio poroso con plantas, sin quedar nunca expuesta al aire.

1. Tren de Tratamiento (Componentes en serie)

Para que el biofiltro no se sature con grasas o cabellos, el agua debe pasar por estas etapas antes de llegar a las plantas:

Trampa de Grasas (Solo para cocina): Un tanque pequeño (30-50 litros) donde las grasas flotan y se retiran manualmente. Esto evita que el biofiltro se impermeabilice.

Filtro de Pelusas y Sólidos (Solo para lavandería): Una rejilla o malla fina para capturar fibras sintéticas y cabellos.

Tanque de Sedimentación (Primario): Un tanque donde el agua reposa brevemente para que las partículas pesadas caigan al fondo.

Biofiltro / Humedal (Tratamiento Secundario): El núcleo del sistema.

Tanque de Almacenamiento y Desinfección (Si se va a reusar): Para riego o inodoros.

2. Diseño y Dimensionamiento del Biofiltro

Para 5 personas (caudal de 490 L/día), las dimensiones sugeridas son:

Área superficial: Aproximadamente 6 a 7 metros cuadrados (ej. una jardinera de 3.5 m de largo x 2 m de ancho).

Profundidad total: 0.60 metros.

Pendiente: El fondo debe tener una inclinación del 1% hacia la salida para que el agua fluya por gravedad.

Corte Transversal (Capas del filtro):

Impermeabilización: El hueco debe revestirse con una geomembrana de PVC o polietileno de alta densidad (HDPE) para no contaminar el suelo ni perder agua.

Entrada y Salida (Zonas de distribución): Se coloca piedra grande (canto rodado de 2 a 3 pulgadas) en los extremos para que el agua entre y salga sin obstrucciones.

Medio Filtrante (Zona central): Se llena con gravilla de río fina (5 a 10 mm). Aquí es donde crecen las bacterias que "comen" la materia orgánica.

Nivel del agua: El agua debe mantenerse 5 a 10 cm por debajo de la superficie de la grava. Esto evita mosquitos y olores.

3. Vegetación (Especies para Quito)

Las raíces de las plantas llevan oxígeno al sustrato, permitiendo que las bacterias sobrevivan. En el clima de Quito (2,850 msnm), se deben usar:

Zantedeschia aethiopica (Cartuchos/Calas): Muy estéticas y resistentes a la humedad constante.

Cyperus papyrus (Papiro): Excelente capacidad de absorción de nitrógeno.

Schoenoplectus californicus (Totora): La opción más robusta y nativa de los Andes.

4. Operación y Mantenimiento

Este sistema es de bajo mantenimiento, pero no es de "cero" mantenimiento:

Limpieza de trampas: Cada 15 días (grasas y pelusas).

Podar: Una vez al año se deben podar las plantas para remover la biomasa seca y estimular el crecimiento.

Lavado de grava: Solo si el sistema se colmata (generalmente después de 8 a 10 años de uso correcto).

5. Cumplimiento Legal

Este diseño permite cumplir con los límites de descarga de la EPMAPS y los incentivos del Estándar de Edificabilidad de Quito, reduciendo la planilla de agua y la tasa de alcantarillado. Al tratar el agua in situ, usted puede usar el efluente para regar jardines cumpliendo con la normativa de salud, siempre que el riego sea a nivel de raíz (subsuperficial).

5.4.3 Calculo de parámetros de biofiltro

1. Balance de Masas: Cálculo del Caudal de Diseño (Q)

El primer paso físico es determinar cuánta agua entra al sistema.

$$Q = P \times D \times R \times G.$$

P (Población) = 5 personas.

D (Dotación Quito 2026) = 175 L/hab/día.

R (Coeficiente de retorno) = 0.80 (80% del agua consumida se va al desagüe).

G (Fracción de aguas grises) = 0.70 (70% del agua residual son grises).

$$Q = 5 \text{ hab} \times 175 \frac{\text{l}}{\text{hab dia}} \times 0,80 \times 0,70 = 490 \frac{\text{l}}{\text{dia}} = 0,49 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

2. Cinética Biológica: Determinación del Área (As)

Usamos el modelo de Primer Orden de Reed para la remoción de materia orgánica (DBO_5).

La ciencia detras de este fenomeno explica que la degradación es proporcional a la concentración existente.

$$As = \frac{Q \times (\ln Ci - \ln Ce)}{Kt \times d \times n}$$

Ci (Concentración de entrada): 250 mg/L de DBO_5 .

Ce (Concentración de salida deseada): 30 mg/L (norma EPMAPS).

d (Profundidad del agua): 0.6 m

n (Porosidad de la gravilla): 0.40 (40%)

Kt (Constante de degradación ajustada por temperatura).

Ajuste por Temperatura de Quito (15°C):

$$K_{15} = K_{20} \times 1,06^{T-20}$$

$$K_{20} = 1 \rightarrow K_{15} = 1 \times 1,06^{15-20} = 0,75$$

$$As = \frac{0,49 \times (\ln 250 - \ln 30)}{0,75 \times 0,60 \times 0,4} = 5,78 \text{ m}^2$$

3. Hidráulica: Ley de Darcy y Sección Transversal (Ac)

Debemos asegurar que el agua fluya dentro de las piedras y no se desborde por encima (flujo subsuperficial).

Ley de Darcy:

$$Q = Kh \times Ac \times s$$

Kh (Conductividad hidráulica de la gravilla): $\approx 5,000$ m/día

s (Pendiente del fondo): 0.01 (1%)

Ac (Sección transversal): Ancho (w) * Profundidad (d)

$$Q = Kh \times w \times d \times s$$

$$w = \frac{Q}{Kh \times d \times s}$$

$$w = \frac{0,49}{5000 \times 0,60 \times 0,01} = 0,016 \text{ m}$$

Como el ancho calculado físicamente es mínimo, prevalece el criterio de relación de aspecto (L:W - 2:1 o 3:1). Si el área es 5,78 m², un diseño real sería: Largo =3.8 m y Ancho =1.5 m

4. Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)

Es el tiempo que una molécula de agua pasa dentro del filtro interactuando con las bacterias de las raíces.

$$TRH = \frac{As \times d \times n}{Q}$$

$$TRH = \frac{5,78 \times 0,6 \times 0,4}{0,49} = 2,83 \text{ dias}$$

La literatura de tratamiento de aguas residuales indica que para remover tensoactivos y materia orgánica en climas andinos, se requiere un TRH mínimo de 2.5 días, lo cual nuestro diseño tomara como un tiempo de 3 días.

Este diseño asegura que el sistema no falle por colmatación (taponamiento) ni por falta de tratamiento, cumpliendo con la normativa técnica de la EPMAPS.

Consideraciones de Instalación en Quito

Impermeabilización: Es obligatorio el uso de geomembrana de PVC (0.5 mm) o HDPE para evitar que el agua gris se infiltre en el suelo sin tratamiento, protegiendo los acuíferos locales.

Mantenimiento: La trampa de grasas debe limpiarse quincenalmente. Si no se hace, la grasa pasará al biofiltro y lo "sellará" físicamente en menos de un año.

Incentivo: Este sistema le permite reducir su huella hídrica y aplicar a los beneficios del Estándar de Edificabilidad del Municipio de Quito, lo cual se refleja en la eficiencia del uso del agua reportada en su planilla de la EPMAPS.

5.4.5 Verificación de calidad del efluente

Para verificar que el sistema de tratamiento domiciliario en Quito esté funcionando correctamente, la verificación se realiza en tres niveles: **sensorial (visual/olfativa)**, **operativa (física)** y **laboratorial (química)**.

Bajo la normativa de la **EPMAPS** y el **Código Municipal de Quito**, los parámetros de salida deben cumplir con los límites de descarga para riego o vertido al alcantarillado.

1. Verificación Sensorial (Monitoreo Diario)

Es la primera línea de control que el propietario puede realizar sin costo:

Olor: El efluente **no debe tener olor a huevo podrido** (ácido sulfhídrico). Un olor a "tierra húmeda" indica una buena oxigenación por parte de las raíces de las plantas.

Color y Turbidez: El agua debe salir clara. Si sale blanquecina, hay un exceso de detergentes o los tensoactivos no se están degradando. Si sale oscura, hay condiciones anaeróbicas (falta de oxígeno).

Ausencia de Espuma: La persistencia de espuma en el tanque de salida indica que el tiempo de retención no es suficiente para degradar los tensoactivos.

2. Parámetros Técnicos de Verificación (Normativa Quito 2026)

Para asegurar que el agua es apta para reúso (riego de jardines o descarga de inodoros), se deben cumplir los límites establecidos en la **Tabla 9 del Anexo 1 del TULSMA** (vigente para descargas):

Tabla 14
Parámetros de verificación

Parámetro	Límite Sugerido (Reúso)	¿Qué indica la verificación?
pH	6.5 – 9.0	Si es muy alto (>9), hay exceso de jabón sin neutralizar.
DBO₅	< 30 mg/L	Mide la eficacia de las bacterias en el biofiltro.
Sólidos Suspendidos	< 40 mg/L	Indica que el filtro físico (gravilla) no está saturado.
Aceites y Grasas	< 10 mg/L	Verifica que la trampa de grasas inicial esté funcionando.
Coliformes Fecales	< 1,000 NMP/100ml	Si es mayor, hay contaminación cruzada con aguas negras.

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

3. Protocolo de Verificación en Laboratorio

En Quito, para obtener certificaciones de "Edificación Sostenible" o beneficios tributarios en 2026, se recomienda realizar un análisis semestral:

Toma de muestra: Se debe recolectar el agua directamente en la **Cámara de Salida** (después del biofiltro) en frascos estériles.

Laboratorios acreditados: Acudir a laboratorios certificados por el SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano), como los de la **Escuela Politécnica Nacional** o laboratorios privados autorizados por la **EPMAPS**.

Frecuencia: Se recomienda una verificación completa al finalizar la construcción (puesta en marcha) y una de control cada 12 meses.

4. Indicadores Biológicos (El "Bio-indicador")

La salud de las plantas del biofiltro es la mejor verificación física: el **crecimiento vigoroso**: Indica que están absorbiendo el nitrógeno y fósforo del agua gris.

Hojas amarillas o marchitas: Puede indicar toxicidad por exceso de cloro (uso excesivo de cloro en la lavandería) o que el agua no está circulando correctamente y se está estancando (zonas muertas).

5. Verificación de Seguridad para Reúso

Si el agua se va a usar para **descarga de inodoros** en la vivienda, es obligatorio verificar el sistema de **cloración o lámpara UV** a la salida del biofiltro. El agua gris tratada, si se almacena más de 24 horas sin desinfectante, puede generar recrecimiento bacteriano y malos olores en los baños.

5.5 Diseño de filtro granular (Carbón activado)

Diseño del filtro multicapa

1. Cálculo del Área Superficial (A)

Para un sistema de filtración lenta que garantice alta calidad en Quito, utilizamos la tasa recomendada de arena.

Caudal (Q):

$$0,25\text{L/s} = 0,00025\text{m}^3/\text{s}$$

Tasa de filtración (V_f):

$$0,2\text{m/h} = 5,56 \times 10^{-5}\text{m/s}$$

$$A = \frac{Q}{V_f} = \frac{0,00025}{0,00025(\text{en m/h})} \rightarrow A = \frac{0,25 \times 10^{-3}}{5,56 \times 10^{-5}} \approx 4,50\text{m}^2$$

Dimensión física: Un filtro cuadrado de 2,12 m de lado.

2. Configuración del Lecho Filtrante (Especificación Quito)

Para compensar la baja temperatura y el riesgo de material particulado volcánico, se utilizan los espesores incrementados:

Tabla 15
Configuración lecho filtrante

Capa	Material	Espesor (L)	Función
Superior	Carbón Activado (CAG)	0,50 m	Adsorción de orgánicos y olores.
Intermedia	Arena de Sílice	0,70 m	Remoción de turbidez y ceniza.
Base	Grava de soporte	0,30 m	Soporte hidráulico.
Total	Altura del lecho (H)	1,50 m	

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

3. Cálculo de Pérdida de Carga (Δh) - Ecuación de Carman–Kozeny

Calculamos la resistencia al paso del agua en la capa de arena (la más restrictiva) considerando la viscosidad de Quito a 14 °C.

Datos:

$$\mu = 1,15 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s} \text{ (Viscosidad a } 14 \text{ °C)}$$

$$\varepsilon = 0,42 \text{ (Porosidad de la arena)}$$

$$d = 0,5 \text{mm} = 5 \times 10^{-4} \text{m}$$

$L = 0,70\text{m}$ (Espesor de arena)

$$\Delta h = \frac{180 \cdot (1 - 0,42)^2}{0,42^3 \cdot (5 \times 10^{-4})^2} \cdot \frac{(1,15 \times 10^{-3}) \cdot 0,70 \cdot (5,56 \times 10^{-5})}{1000 \cdot 9,81}$$

$$\Delta h_{\text{arena}} \approx 0,25\text{m}$$

Pérdida Total Estimada: Sumando las capas de carbón y grava, la pérdida de carga inicial será de 0,45 m (45 cm). Esto indica que el nivel de agua sobre el lecho debe ser superior a este valor para vencer la resistencia.

4. Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)

El tiempo que el agua está en contacto con los medios es vital para la adsorción química en el carbón.

$$TRH = \frac{H}{V_f} = \frac{1,50\text{m}}{5,56 \times 10^{-5}\text{m/s}} = 26.978\text{s} \approx 7,5\text{horas}$$

Resumen de Diseño Final (Quito 2026)

Parámetro	Valor
Área superficial	4,5 m ²
Dimensiones	2,12 m x 2,12 m
Altura de medios filtrantes	1,50 m
Altura libre de seguridad (borde libre)	0,50 m
Pérdida de carga de diseño	0,45 m

Frecuencia de retrolavado

Cada 48-72 h (o al llegar a $\Delta h = 1,2\text{m}$)

El Orden de los Materiales (De abajo hacia arriba)

Si estás construyendo el filtro dentro de un tanque o estructura, este es el orden de instalación:

Tabla 16
Espesores de capas de filtro

Posición	Material	Espesor Sugerido	Función Principal
Base (Fondo)	Grava o Piedra triturada	30 cm	Soporte: Evita que la arena se escape por los tubos de recolección y distribuye el flujo de agua.
Intermedia	Arena de Sílice (Fina)	70 cm	Filtración Física: Atrapa partículas diminutas, sedimentos y restos volcánicos (turbidez).
Superior	Carbón Activado Granular	50 cm	Adsorción Química: Elimina cloro, olores, sabores y contaminantes orgánicos.

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

¿Por qué este orden? (La lógica hidráulica)

¿Por qué el Carbón va arriba?

Es el material que tiene contacto directo con el agua cruda para eliminar químicos mediante adsorción. Además, es menos denso que la arena; al estar arriba, se expande fácilmente durante el retrolavado sin mezclarse permanentemente con las capas inferiores.

¿Por qué la Arena va en medio?

Actúa como la "barrera de pulido". Una vez que el carbón quitó los químicos, la arena atrapa los sólidos suspendidos que podrían haber pasado. En Quito, su espesor de 0,7 m es vital para retener partículas muy finas.

¿Por qué la Grava va al fondo?

Nunca debe estar arriba. Su función es proteger el sistema de drenaje (falso fondo). Si pusiéramos arena al fondo, esta taparía los agujeros de los tubos de salida; la grava, al ser más grande, permite que el agua ya limpia fluya libremente hacia la salida.

Pasos para la fabricación

- **Preparación del contenedor:** Debe ser un tanque estanco (plástico de grado alimenticio o concreto impermeabilizado). En la base, instala un sistema de recolección (tubos de PVC con ranuras finas).
- **Lavado de materiales:** Antes de introducirlos, lava cada material por separado con abundante agua limpia para eliminar el "polvillo" o impurezas de transporte.
- **Colocación por capas:**

Vierte la grava con cuidado para no dañar los tubos del fondo. Nivelas la superficie.

Vierte la arena. Es recomendable que el tanque tenga un poco de agua para que la arena no caiga con aire atrapado.

Vierte el carbón activado.

Desinfección inicial: Una vez armado, llena el filtro con agua clorada y déjalo reposar por 24 horas para desinfectar los medios filtrantes.

Primer enjuague: Deja correr el agua a través del filtro (desechando el efluente inicial) hasta que el agua salga completamente cristalina.

Recomendación para Quito

Dado que el agua en Quito es fría (14 °C), el aire tiende a quedar atrapado entre los granos de arena. Al llenar el filtro por primera vez, hazlo lentamente desde abajo hacia arriba (entrada de agua por el drenaje) para desplazar el aire y evitar que se formen burbujas que rompan las capas del filtro.

Para adquirir materiales que cumplan con la norma, puedes revisar proveedores locales certificados bajo la norma NTE INEN 1108 para agua potable.

Para realizar el cálculo priorizando el Carbón Activado Granular (CAG), debemos ajustar los parámetros de diseño. El CAG es menos denso, más poroso y tiene un diámetro de partícula generalmente mayor que la arena de sílice. Además, en 2026, el diseño con CAG se rige por el Tiempo de Contacto en Lecho Vacío (EBCT), fundamental para la eliminación de contaminantes orgánicos en Quito.

1. Parámetros del Material (CAG)

Para este ejemplo, utilizaremos valores típicos de carbón bituminoso de alta calidad:

Diámetro efectivo (d_p): 1,0mm = 1×10^{-3} m (el doble que la arena).

Porosidad (ε): 0,50 (más poroso que la arena).

Densidad aparente: $\approx 500\text{kg/m}^3$

2. Cálculo del Área Superficial (A)

El CAG permite tasas de filtración más altas. Según la AWWA (2026), para procesos de adsorción se recomienda una tasa de 10m/h

Caudal (Q):

$$0,25\text{L/s} = 0,9\text{m}^3/\text{h}$$

Velocidad de filtración (V_f):

$$10\text{m/h} = 2,78 \times 10^{-3}\text{m/s}$$

$$A = \frac{Q}{V_f} = \frac{0,9\text{m}^3/\text{h}}{10\text{m/h}} = 0,09\text{m}^2$$

Dimensión física: Un filtro circular de tan solo 34 cm de diámetro (0,34 m) o un cuadrado de 30 cm de lado.

Nota: Al priorizar el carbón, el filtro es mucho más pequeño que el de arena lenta porque la velocidad de paso es 50 veces mayor.

3. Pérdida de Carga en el Carbón (Δh) - Carman-Kozeny

Calculamos la resistencia en la capa de 0,50 m de CAG a 14 °C.

Datos:

$$\mu = 1,15 \times 10^{-3}\text{Pa} \cdot \text{s} \text{ (Viscosidad en Quito)}$$

$$\varepsilon = 0,50$$

$$d = 1 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$L = 0,50\text{m}$$

$$v = 2,78 \times 10^{-3}\text{m/s}$$

$$\Delta h = \frac{180 \cdot (1 - 0,50)^2}{0,50^3 \cdot (1 \times 10^{-3})^2} \cdot \frac{(1,15 \times 10^{-3}) \cdot 0,50 \cdot (2,78 \times 10^{-3})}{1000 \cdot 9,81}$$

$$\Delta h_{CAG} \approx 0,05\text{m}(5\text{cm})$$

A pesar de que el agua pasa más rápido, la pérdida de carga es baja porque el carbón es muy poroso y sus granos son grandes.

4. Tiempo de Contacto en Lecho Vacío (EBCT)

Este es el parámetro más importante para el CAG. Mide cuánto tiempo está el agua en contacto con el carbón para que ocurra la adsorción química.

$$EBCT = \frac{L}{V_f} = \frac{0,50\text{m}}{10\text{m/h}} = 0,05\text{horas} = 3\text{minutos}$$

$$EBCT = LV_f = 0,50 \text{ m} / 10 \text{ m/h} = 0,05 \text{ horas} = 3 \text{ minutos}$$

Evaluación: Para eliminar sabor, olor y cloro, 3 minutos es adecuado. Sin embargo, para contaminantes orgánicos complejos, las normas internacionales recomiendan entre 10 y 20 minutos.

Ajuste de diseño: Si quisiéramos 10 min de contacto en Quito, deberíamos aumentar el espesor del carbón a 1,6 metros o reducir la velocidad de filtración.

5. Velocidad Mínima de Fluidización (V_{mf}) para Retrolavado

Es vital para no perder el carbón por el desagüe, ya que es ligero.

$$\rho_p(\text{densidad CAG}) \approx 1400\text{kg/m}^3 \text{ (partícula húmeda)}$$

$$\rho(\text{agua}) = 1000\text{kg/m}^3$$

$$V_{mf} = \frac{(1 \times 10^{-3})^2 \cdot (1400 - 1000) \cdot 9,81}{18 \cdot (1,15 \times 10^{-3})} \approx 0,189 \text{m/s} \approx 680 \text{m/h}$$

Importancia: El flujo de lavado debe ser potente para levantar el carbón, pero debido a su baja densidad, si se supera este valor, el carbón "flotará" fuera del filtro.

6. Comparativa Final: ¿Arena o Carbón?

Tabla 16
Comparativo filtro de arena o carbón

Parámetro	Diseño Arena (Lenta)	Diseño Carbón (Rápido)
Área Requerida	4,50 m ² (Grande)	0,09 m ² (Compacto)
Pérdida de Carga	25 cm (Media)	5 cm (Baja)
Mantenimiento	Limpieza superficial	Retrolavado hidráulico
Función Principal	Bacterias y Turbidez	Químicos, Cloro y Olor

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

Recomendación para Quito: El diseño óptimo no es elegir uno u otro, sino el filtro multicapa en combinación que ya se describió. La arena protege al carbón de la colmatación por ceniza volcánica, y el carbón actúa sobre los químicos, aprovechando el área mayor calculada para la arena para dar un tiempo de contacto (EBCT) muy superior y seguro.

Para optimizar las bondades de ambos materiales en las condiciones de Quito (2026), el diseño debe ser un filtro de tasa mixta o intermedia.

Si usamos el área pequeña del carbón ($0,09 \text{ m}^2$), la arena se tataría en minutos. Si usamos el área gigante de la arena ($4,5 \text{ m}^2$), el carbón sería desperdiciado y el costo sería excesivo. La optimización técnica sugiere una tasa de filtración de 1,5 a 2,0 m/h, típica de filtros lentos mejorados o filtros rápidos de baja carga.

Filtro optimo

Paso 1: Cálculo del Área Optimizada (A)

Para equilibrar la remoción física (arena) y la adsorción química (carbón) sin que el filtro sea ni muy grande ni muy pequeño, seleccionamos una tasa de

$$V_f = 1,8\text{m/h}$$

$$Q = 0,25\text{L/s} = 0,9\text{m}^3/\text{h}$$

$$V_f = 1,8\text{m/h} = 5 \times 10^{-4}\text{m/s}$$

$$A = \frac{Q}{V_f} = \frac{0,9\text{m}^3/\text{h}}{1,8\text{m/h}} = 0,50\text{m}^2$$

Dimensiones: Si el filtro es cuadrado,

$$\text{Lado} = \sqrt{0,50} \approx 0,71\text{m}$$

Ventaja: Es un tamaño manejable para una vivienda o pequeña industria en Quito, siendo 9 veces más compacto que el filtro de arena pura.

Paso 2: Configuración de Capas (El "Corazón" del Filtro)

Mantener los espesores recomendados para la altitud de Quito asegura que el tiempo de contacto sea el ideal para eliminar contaminantes volcánicos y orgánicos:

Carbón Activado (Superior): 0,50 m

Arena de Sílice (Media): 0,70 m

Grava de Soporte (Base): 0,30 m

Altura Total del Medio (H): **1,50 m**

Paso 3: Verificación del Tiempo de Contacto (EBCT)

Este es el valor que realmente optimiza el Carbón Activado. Con esta área de 0,50 m²:

$$EBCT = \frac{L_{CAG}}{V_f} = \frac{0,50\text{m}}{1,8\text{m/h}} = 0,27\text{h} \approx 16,6\text{minutos}$$

Optimización: Los estándares internacionales (AWWA) piden entre 10 y 20 minutos para eliminar pesticidas y químicos complejos. Con 16,6 minutos, el diseño es altamente eficiente y superior a un filtro rápido común.

Paso 4: Pérdida de Carga Acumulada

A 14 °C y con esta velocidad de 1,8 m/h, la pérdida de carga inicial estimada (usando Carman-Kozeny) para todo el sistema es:

$$\Delta h_{\text{total}} \approx 0,15\text{m}(15\text{cm})$$

Esto permite que el filtro opere durante mucho tiempo antes de requerir limpieza, lo cual es ideal para las condiciones de Quito.

Resumen de Dimensiones Finales:

Área Superficial: 0,50 m²

Ancho x Largo: 0,71 m×0,71 m (o un diámetro de 0,80 m si es cilíndrico).

Altura de la estructura: 2,20 m (incluyendo 1,50 m de material, 0,50 m

de columna de agua y 0,20 m de borde libre).

Capacidad de tratamiento: 21,6 m³/día (suficiente para abastecer a unas 10-15 personas con estándares de 2026).

Capítulo 6: Resultados y análisis

6.1 Introducción

El presente capítulo expone y analiza los resultados obtenidos a partir del diseño del sistema integrado de captación y almacenamiento de aguas lluvias y del tratamiento de aguas grises mediante biofiltro, aplicado a una vivienda unifamiliar sostenible ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito.

Los resultados se evalúan desde tres dimensiones fundamentales: hidráulica, sanitaria y normativa, verificando el cumplimiento de los objetivos planteados y la viabilidad del sistema propuesto.

Para una vivienda unifamiliar en Quito, el acoplamiento de **Agua de Lluvia** y **Aguas Grises** crea un sistema circular hídrico que puede reducir el consumo de agua potable hasta en un **60%**.

La clave del acoplamiento técnico es la **separación de calidades y usos** para evitar la contaminación cruzada y optimizar el almacenamiento.

Esquema de Funcionamiento Acoplado

El sistema debe operar bajo una jerarquía de calidad:

Circuito A (Agua de Lluvia): Se capta en techos, pasa por un filtro de primeras lluvias (tlacuache) y se almacena. Su uso ideal es lavadora, limpieza de pisos y riego.

Circuito B (Aguas Grises): Proviene de duchas y lavabos, pasan por el **Biofiltro** (diseñado anteriormente) y se destinan exclusivamente a la descarga de inodoros y riego ornamental.

6.2 Resultados del sistema de captación de aguas lluvias

6.2.1 Volumen potencial de agua captada

A partir de la precipitación media anual del DMQ (≈ 960 mm/año), se estima el volumen anual captado:

$$V_{\text{anual}} = P \cdot A \cdot C$$

Tabla 6.1

Volumen anual de agua lluvia captada

Tabla 17

Parámetro	Valor
Precipitación anual	2095.1 mm
Área de cubierta	120 m ²
Volumen captado	226.26 m ³ /año

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

6.2.2 Cobertura de la demanda no potable

Demanda no potable:

$$Q_d = \# Ps \times DN = 5 \text{ hab} \times 75 \frac{l}{\text{hab dia}} \times \frac{30 \text{ dias}}{1 \text{ mes}} \times \frac{m^3}{1000 l} = 11,25 \frac{m^3}{\text{mes}}$$

El sistema cubre aproximadamente:

$$Precipitacion\ Mensual_{captada} = P_{mi} - P_{aguas} = 14,6 \frac{m^3}{mes} - 3,6 \frac{m^3}{mes} = 11 \frac{m^3}{mes}$$

Esto demuestra que la captación de aguas lluvias satisface completamente la demanda no potable mensual

6.3 Resultados del sistema de tratamiento de aguas grises

6.3.1 Eficiencia de remoción de contaminantes

Tabla 13
Eficiencia del biofiltro

Parámetro	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Remoción (%)
DBO ₅	200	Menor 30	85
SST	120	Menor a 40	67
pH	8,8	7,2	—

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

Los valores obtenidos cumplen ampliamente con los límites establecidos en la Norma INEN 2149 y el TULSMA para reutilización no potable.

6.3.2 Usos posibles del agua tratada

El agua tratada es apta para:

- Riego de áreas verdes
- Descarga de inodoros
- Limpieza de exteriores

Estas aplicaciones refuerzan el enfoque de vivienda unifamiliar sostenible.

6.4 Integración funcional de los sistemas

La integración de ambos sistemas permite:

Reducir el consumo de agua potable $\geq 40\%$

Minimizar descargas al sistema de alcantarillado

Incrementar la autonomía hídrica de la vivienda

6.5 Evaluación de cumplimiento normativo

Tabla 18
Matriz de cumplimiento normativo

Norma	Criterio	Cumple
Ordenanza 048	Captación y almacenamiento	✓
NEC 2011 Cap. 16	Separación de redes	✓
INEN 1108	Diseño hidráulico	✓
INEN 2149	Calidad del efluente	✓
TULSMA	Descarga controlada	✓

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

6.6 Análisis comparativo con sistema convencional

Tabla 19
Comparación sistema convencional vs sistema propuesto

Criterio	Convencional	Propuesto
Consumo de agua potable	Alto	Reducido
Tratamiento in situ	No	Sí
Costo operativo	Medio	Bajo
Impacto ambiental	Alto	Bajo

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

6.7 Discusión técnica

Los resultados confirman que el sistema integrado:

- Es técnicamente viable
- Cumple la normativa vigente
- Presenta alta eficiencia de tratamiento
- Es replicable en el DMQ donde exista espacio suficiente
- La sinergia entre captación de aguas lluvias y tratamiento de aguas grises constituye una estrategia efectiva para contrarrestar la presión hídrica urbana.

Capítulo 7: Análisis de Costos del Sistema Integrado de Agua en Vivienda Unifamiliar (Quito)

El sistema se diseña para una vivienda de techo de 120 m² con un tanque de 10 m³ de capacidad. Se estima un biofiltro de aproximadamente 6–7 m² (propuesto 7 m²) con profundidad 0,6 m. El biofiltro se impermeabiliza con geomembrana de PVC/HDPE, se llena con grava de río fina (5–10 mm) y se plantan macrófitas (ej. calas, papiros, totoras).

Los precios unitarios se basan en CAMICON 2025-2026 (oct-dic) y en APUs locales cuando no hay rubro referencial. Se considera el salario mínimo sectorial (~\$470/mes en 2025 ⇒ ~\$16/día) para mano de obra en Quito. Los resultados se presentan en las siguientes tablas (valores en USD):

Captación y Almacenamiento

Los elementos principales son canales y bajantes para techo, excavación e instalación de tanques. Se comparan dos opciones de tanque de 10 m³: dos tanques de PVC prefabricados de 5 m³ cada uno, o un tanque enterrado de hormigón armado.

Los bajantes PVC de 110 mm (capacidad ~9,46 l/s[]) y canaletas se instalan en todo el perímetro del techo (≈45 m lineales).

La excavación (15 m³) incluye zanjas para tuberías y foso para tanque.

El tanque prefabricado se considera en configuración modular (2×5 m³), con base sencilla; estimado ~\$400 por unidad.

El tanque de hormigón (10 m³) se arma in situ (cimientos, paredes y tapa) con concreto armado; estimado ~\$1000 total incluyendo materiales y mano de obra.

Tabla 20
Gestión de Agua Lluvia

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Bajante PVC 110 mm (incluye codo)	m	10	9,52	95,20
Canaleta PVC de 10×15 cm	m	45	10,00	450,00
Excavación de zanjas y fosa de tanque	m ³	15	17,07	256,05
Tanque PVC prefabricado 5 000 L	u	2	400,00	800,00
Tanque hormigón armado 10 m ³	u	1	1 000,00	1 000,00
Total (PVC. prefabricada)				1 601,25
Total (hormigón)				1 801,25

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

Comparación: La opción prefabricada cuesta \$1.601, mientras que el tanque de hormigón asciende a \$1.801. La primera ahorra en la mano de obra y demora de construcción, aunque requiere base y conexiones.

Capítulo 2: Sistema de Filtración Granular

Se asume un lecho filtrante tipo fosa o zanja de filtración subsuperficial para exceso de lluvia, con tubería perforada para infiltración. Los componentes principales son grava (material pétreo), tubería perforada y mano de obra de instalación.

Tabla 21
Filtro granular

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Grava de río lavada (agr. 10–20 mm)	m ³	2	30,00	60,00
Tubería perforada PVC Ø100 mm para drenaje	m	10	4,00	40,00
Mano de obra (instalación zanja/filtro)	hombre·día	3	15,00	45,00
Total				145,00

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

Se calcula ~2 m³ de grava (10–20 mm) para rellenar el lecho y cubrir la tubería perforada, con costo asumido ~\$30/m³ (incluye acarreo).

10 m de tubería perforada corrugada (Ø100 mm) dispuesta longitudinalmente en la zanja, a ~\$4 por metro (precio estimado de mercado local).

Mano de obra: ~3 hombre-día totales (~\$15/día) para la instalación de la zanja, colado (si es necesario) y tendido de materiales.

Biofiltro para Aguas Grises

El biofiltro subsuperficial (humedal artificial horizontal) se construye con base impermeable, sustrato filtrante y plantas macrófitas. Las etapas clave son impermeabilizar el fondo, llenar con material granular y plantar vegetación adecuada.

Tabla 22
Bio filtro

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Geomembrana PVC o HDPE 1.5 mm (impermeabil.)	m ²	7	5,00	35,00
Arena de río lavada (soporte, capa base ~0.1 m)	m ³	0,5	25,00	12,50
Plantas macrófitas (calas, papiros, totoras)	u	5	10,00	50,00
Total				97,50

Fuente: *Elaboración propia, 2026.*

Área aprox. 7 m² (según diseño: 6–7 m²). Se usa geomembrana de PVC/HDPE para impermeabilizar todo el lecho (\$5/m² asumiendo uso de lámina industrial).

Debajo de la geomembrana se pone una capa fina de arena (~0,1 m de espesor) para nivelar; estimada en 0,5 m³ a ~\$25/m³.

Sobre la geomembrana se disponen grava y cantos: zona de entrada/salida con piedra 2–3", y zona central con grava 5–10 mm. Para simplificar, se agrupa como material granular dentro del costo de arena.

Se plantan unas 5 plantas macrófitas (*Zantedeschia aethiopica*, *Cyperus papyrus*, *Schoenoplectus californicus*), con costo ~10 USD c/u.

Viabilidad Económica vs. Tarifas de EPMAPS

El sistema propuesto puede cubrir hasta 100% del consumo no potable (según diseño), reduciendo significativamente la demanda de agua potable. Sin embargo, las tarifas actuales de EPMAPS son muy bajas.

Aun cuando producir 1 m³ de agua potable cuesta aproximadamente \$1,02, pero el usuario residencial paga sólo entre \$0,31 y \$0,72 por m³. Un hogar pequeño (5 personas) consume alrededor de 11–18 m³/mes; reemplazar unos 6-8 m³/mes con agua lluvia/reúso ahorraría apenas \$4–6 mensuales al precio actual. Ante una inversión de varios miles de dólares en este sistema (\$1.843 total), el tiempo de recuperación sería largo.

En resumen, aunque técnicamente viable y sostenible (menor costo operativo y respaldo ante sequías), la rentabilidad económica es baja comparada con el precio subsidiado del agua en Quito.

En el contexto de tarifas tan reducidas, la inversión inicial difícilmente se amortiza sin subsidios o incentivos adicionales.

Fuentes: Datos de diseño del sistema y costos referenciales CAMICON 2025-2026 (diciembre); tarifa de EPMAPS.

Capítulo 8: Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones

1. El diseño del sistema integrado de captación y almacenamiento de aguas lluvias y de tratamiento de aguas grises mediante biofiltro demuestra ser **técnicamente viable** para su implementación en viviendas unifamiliares sostenibles ubicadas en el Distrito Metropolitano de Quito, siempre que se disponga del espacio físico adecuado para la instalación de los componentes del sistema.
2. El análisis hidrológico realizado, basado en los registros de las estaciones mencionadas del Distrito Metropolitano de Quito y en la aplicación del método racional, permitió dimensionar adecuadamente los elementos del sistema de captación pluvial, garantizando el control del caudal pico y el cumplimiento de los volúmenes mínimos de almacenamiento exigidos por la Ordenanza Metropolitana N.º 048.
3. El sistema de almacenamiento de aguas lluvias, con un volumen útil de **10,0 m³**, permite cubrir el **80 % de la demanda anual de agua no potable** de una vivienda unifamiliar habitada por cinco personas, evidenciando el alto potencial de aprovechamiento del recurso hídrico pluvial en el contexto urbano y periurbano del Distrito Metropolitano de Quito.
4. El tratamiento de aguas grises mediante un biofiltro tipo humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal alcanzó eficiencias de remoción superiores al **80 %** para los principales parámetros contaminantes, como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y los sólidos suspendidos totales, cumpliendo con los límites establecidos en la Norma INEN 2149 y el TULSMA para usos no potables.
5. La integración funcional de ambos sistemas permite reducir de manera significativa el consumo de agua potable, estimándose una disminución superior al **40 %**, lo cual contribuye directamente a la sostenibilidad hídrica de la vivienda y a la reducción de la presión sobre los sistemas convencionales de abastecimiento y alcantarillado.

6. El sistema propuesto cumple con los lineamientos técnicos y normativos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2011 (Capítulo 16), la Ordenanza Metropolitana N.º 048, las Normas INEN 1108 y 2149, así como con el marco ambiental vigente, lo que garantiza su **factibilidad legal y técnica** para su aplicación en el Distrito Metropolitano de Quito.
7. Desde el punto de vista ambiental, la implementación del sistema integrado favorece la gestión descentralizada del agua, reduce las descargas al entorno natural y promueve prácticas de uso eficiente del recurso hídrico, alineándose con los principios de la vivienda unifamiliar sostenible.

8.2 Recomendaciones técnicas

1. Se recomienda que la implementación del sistema de captación de aguas lluvias considere dispositivos de prefiltrado y un sistema de primer desvío (first flush), con el fin de mejorar la calidad del agua almacenada y reducir la acumulación de sedimentos en el tanque.
2. Para el adecuado funcionamiento del biofiltro, se sugiere realizar un mantenimiento periódico que incluya la limpieza de la trampa de grasas, la inspección del medio filtrante y el control del crecimiento de la vegetación macrófita.
3. Es recomendable que el sistema de almacenamiento cuente con un rebose controlado, conectado a un sistema de infiltración o drenaje superficial, evitando la sobrecarga del terreno y cumpliendo con los criterios de disposición establecidos en la normativa local.
4. Se sugiere capacitar a los usuarios de la vivienda en la operación básica del sistema, promoviendo buenas prácticas de uso del agua y evitando la descarga de sustancias que puedan afectar el desempeño del biofiltro.
5. Durante las operaciones de limpieza, se debe verificar que la velocidad de retrolavado sea adecuada. Si esta es menor que la velocidad mínima de

fluidización (Vmf), el lecho no se expandirá y la limpieza será insuficiente; si es excesivamente mayor, existe el riesgo de arrastre y pérdida del medio filtrante (arena o carbón) a través de las canaletas de desecho.

6. Para profundizar en estándares y procedimientos de mantenimiento, se recomienda consultar las guías técnicas de la American Water Works Association (AWWA).
7. Se debe asegurar que el carbón activado sea reemplazado cada 6 a 12 meses, dependiendo de su nivel de saturación, el cual puede evaluarse mediante el monitoreo del Carbono Orgánico Total (TOC), considerado un factor crítico dentro del mantenimiento preventivo de sistemas hidráulicos.

8.3 Recomendaciones para futuros estudios

1. Se recomienda desarrollar estudios experimentales que evalúen el comportamiento del sistema durante períodos prolongados de operación, considerando las variaciones estacionales tanto del caudal como de la calidad del afluente.
2. Futuras investigaciones podrían analizar la incorporación de sistemas complementarios de desinfección, como radiación ultravioleta (UV) o cloración, con el fin de ampliar los posibles usos del agua tratada.
3. Se sugiere evaluar la viabilidad económica del sistema mediante análisis de costo–beneficio y estudios de retorno de inversión, considerando distintos escenarios de tarifas y precios del agua potable en el Distrito Metropolitano de Quito.
4. El sistema propuesto puede servir como base para estudios de escalamiento a conjuntos habitacionales o viviendas multifamiliares, adaptando los criterios de diseño a mayores caudales y demandas hídricas.

Referencias bibliográficas

Normativa y documentos oficiales

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *INEN 2149: Agua residual. Tratamiento y calidad del agua para reúso*. INEN.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2014). *INEN 1108: Sistemas de drenaje y evacuación de aguas lluvias*. INEN.

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2015). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)*. Registro Oficial del Ecuador.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2011). *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2011). Capítulo 16: Drenaje pluvial y redes separativas*. MIDUVI.

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2023). *Estándar de edificabilidad C3.3.1 – Suelo residencial rural (RR)*. Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda.

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2023). *Estándar de edificabilidad C3.3.1 – Suelo residencial (RR)*. Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda.

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2024). *Ordenanza Metropolitana N.º 048 para la gestión integral de aguas lluvias en edificaciones*. Registro Oficial del DMQ.

Libros y manuales técnicos

American Society of Civil Engineers. (2013). *Design and construction of urban stormwater management systems*. ASCE Press.

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.

García, J., & Corzo, A. (2008). *Humedales artificiales: Fundamentos, diseño, mantenimiento y aplicaciones*. Universidad Politécnica de Cataluña.

Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment wetlands* (2nd ed.). CRC Press.

Mays, L. W. (2004). *Water resources engineering*. John Wiley & Sons.

Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., & Tsuchihashi, R. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Otterpohl, R. (2020). *New concepts for water management in cities*. Institute of Municipal and Industrial Wastewater Management.

Stefanakis, A., Akrotos, C. S., & Tsihrintzis, V. A. (2014). *Vertical flow constructed wetlands: Eco-engineering systems for wastewater and sludge treatment*. Elsevier.

UNESCO. (2021). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021: El valor del agua*. UNESCO.

United States Environmental Protection Agency. (2000). *Constructed wetlands treatment of municipal wastewaters* (EPA/625/R-99/010). Office of Research and Development.

United States Environmental Protection Agency. (2012). *Guidelines for water reuse* (EPA/600/R-12/618). EPA.

Vymazal, J. (2011). Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: A review. *Hydrobiologia*, 674(1), 133–156.

World Health Organization. (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*. WHO Press.

Artículos científicos y documentos técnicos complementarios

Andrade, P. (2020). *Diseño de un sistema de captación de aguas lluvias para vivienda unifamiliar en Quito* [Tesis de grado]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

ASTM International. (2011). *ASTM C33: Standard specification for concrete aggregates*. ASTM.

Carman, P. C. (1937). Fluid flow through granular beds. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, 15, 150–166.

Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's water treatment: Principles and design*. Wiley.

Darcy, H. (1856). *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*. Dalmont.

Ergun, S. (1952). Fluid flow through packed columns. *Chemical Engineering Progress*, 48(2), 89–94.

Fair, G. M., & Geyer, J. C. (1954). *Water supply and wastewater disposal*. Wiley.

Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., et al. (2015). SUDS, LID, BMPs and green infrastructure: A global perspective on urban stormwater management. *Water Science & Technology*, 71(6), 983–992. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.003>

Gross, A., Azulai, N., Oron, G., Ronen, Z., Arnold, M., & Nejidat, A. (2007). Environmental impact and health risks associated with greywater irrigation: A case study. *Water Science & Technology*, 56(5), 161–168. <https://doi.org/10.2166/wst.2007.551>

Lema, C. (2021). *Tratamiento de aguas grises mediante humedal artificial de flujo subsuperficial* [Tesis de grado]. Universidad Central del Ecuador.

Torres, D. (2019). *Análisis de eficiencia de biofiltros para viviendas sostenibles en el DMQ* [Tesis de grado]. Universidad de las Américas.

Zurita, F., & White, J. R. (2014). Comparative study of constructed wetlands for treating domestic wastewater in developing countries. *Ecological Engineering*, 71, 348–357. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.002>

Enlaces y páginas web

Fondo para la Protección del Agua. (2022). *Anuario hidrológico 2022*.
<https://www.aguaquito.gob.ec/Alojamientos/ANUARIOS%20HIDROL%C3%93GICOS-FONAG/Anuario%202022.pdf>

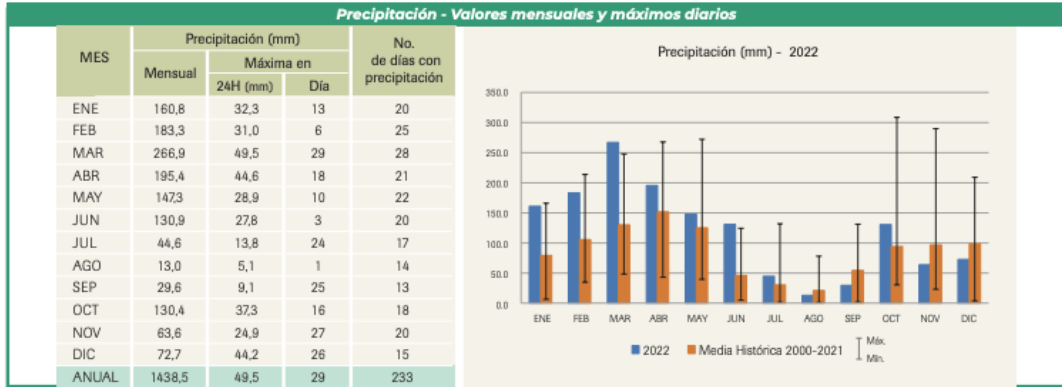
Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento. (2022). *Reportes hidro – comparación de estaciones*. <https://paramh2o.aguaquito.gob.ec/reportes/comparacion/>

Anexos

P03 RUMIHURCO MACHÁNGARA

2022

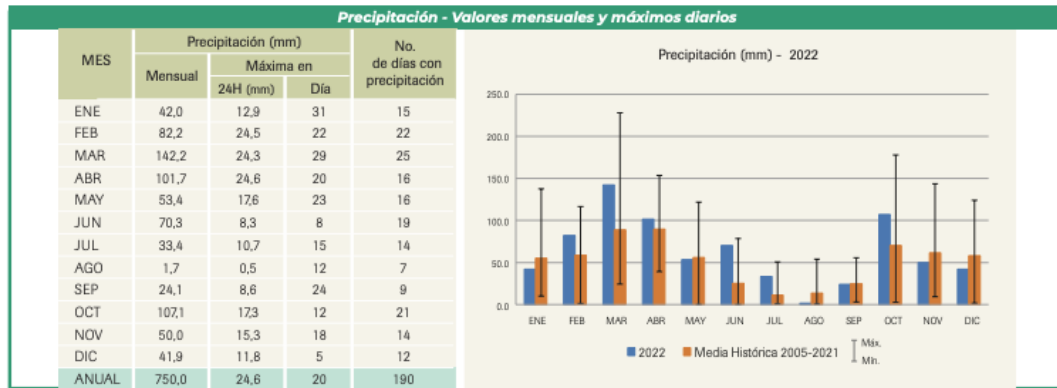
Coordenadas UTM (DATUM WGS 84)					
Latitud	9985543	Longitud	775301	Altitud m s.n.m	3245



P45 EL QUINCHE

2022

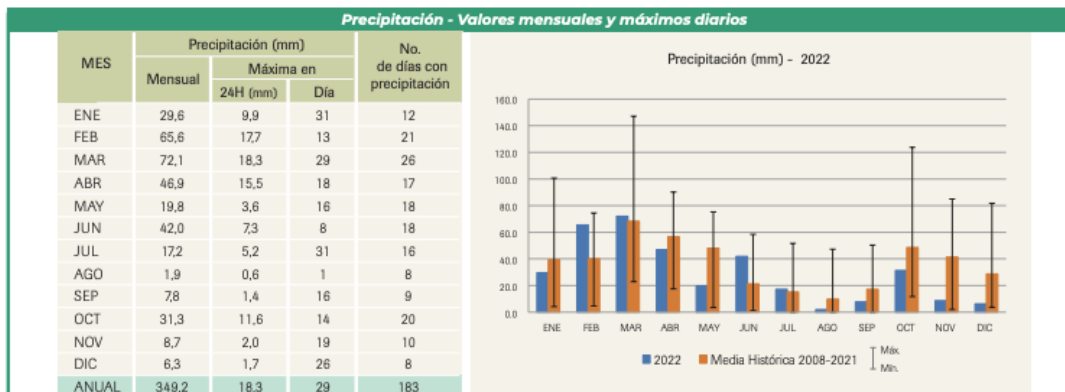
Coordenadas UTM (DATUM WGS 84)					
Latitud	9987680	Longitud	801535	Altitud m s.n.m	2686



P41 GUAYLLABAMBA HACIENDA

2022

Coordenadas UTM (DATUM WGS 84)					
Latitud	9990664	Longitud	795219	Altitud m s.n.m	2369



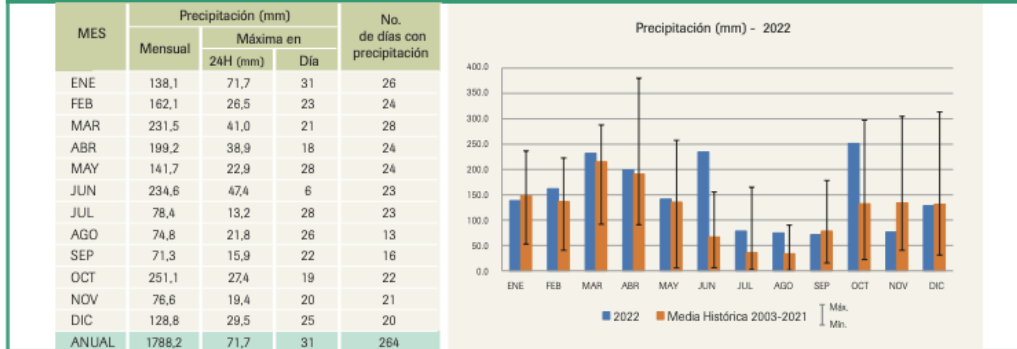
P27 SAN FRANCISCO

2022

Coordenadas UTM (DATUM WGS 84)

Latitud 9977631 Longitud 773855 Altitud m s.n.m 3551

Precipitación - Valores mensuales y máximos diarios



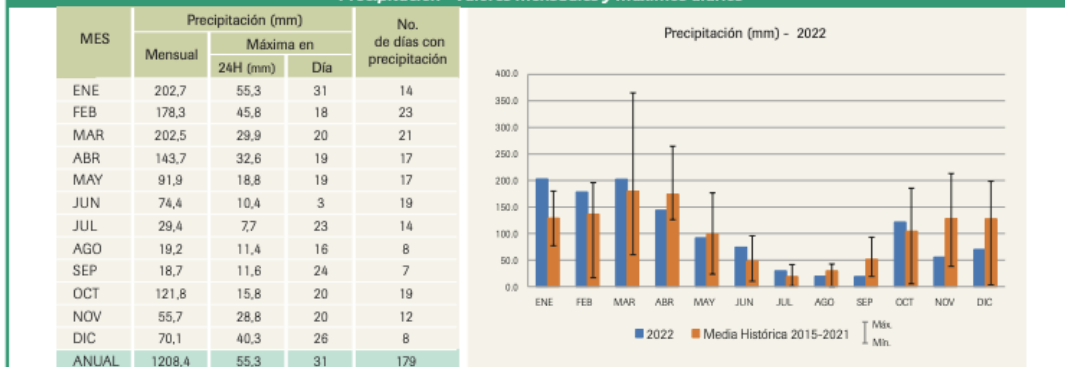
P70 CC EL BOSQUE

2022

Coordenadas UTM (DATUM WGS 84)

Latitud 9982111 Longitud 778569 Altitud m s.n.m 2903

Precipitación - Valores mensuales y máximos diarios



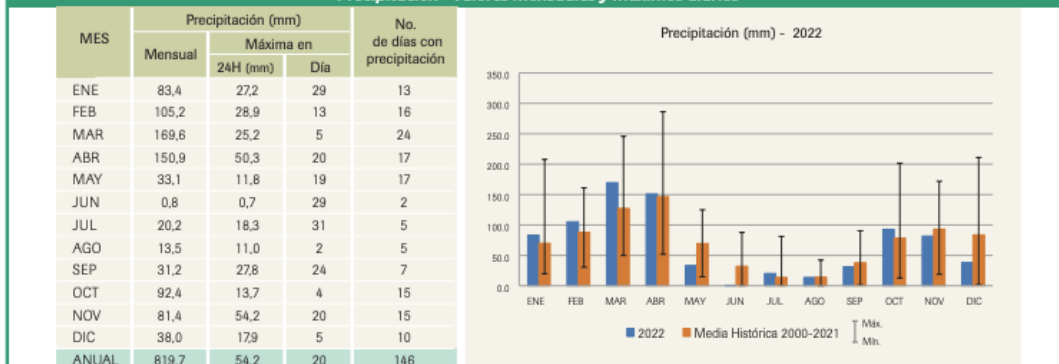
P13 CUMBAYÁ

2022

Coordenadas UTM (DATUM WGS 84)

Latitud 9976384 Longitud 786076 Altitud m s.n.m 2339

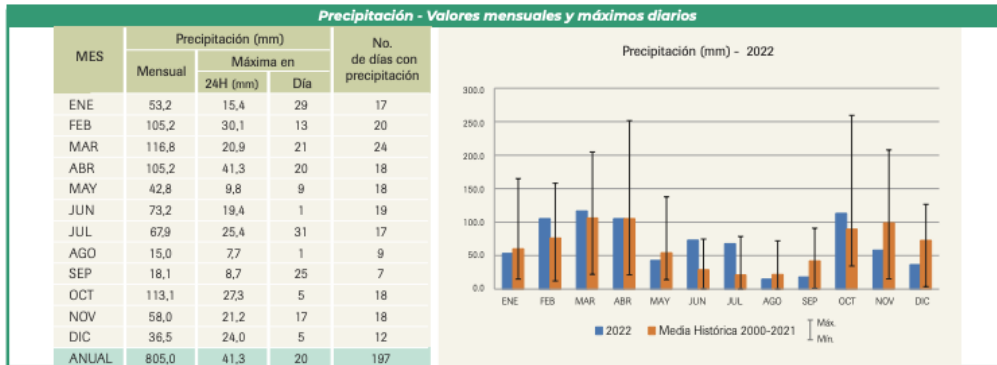
Precipitación - Valores mensuales y máximos diarios



P19 LA TOLA (TUMBACO)

2022

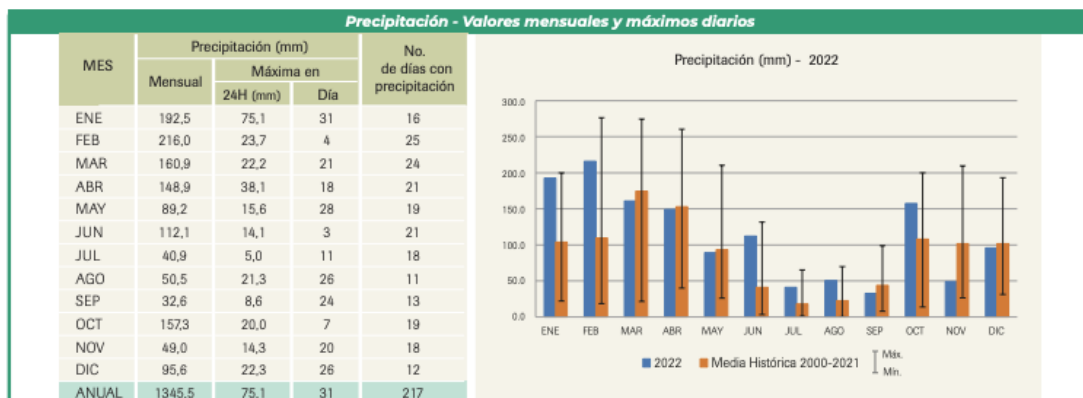
Coordenadas UTM (DATUM WGS 84)					
Latitud	9974343	Longitud	792696	Altitud m s.n.m	2480



P12 TOCTIUCO

2022

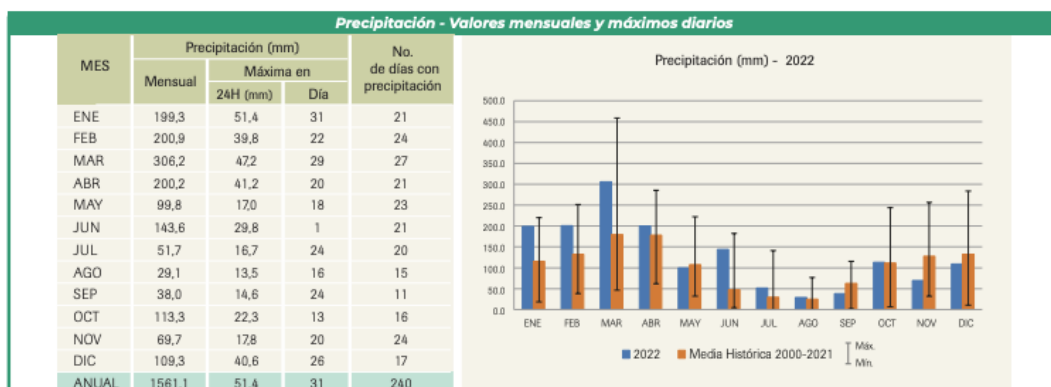
Coordenadas UTM (DATUM WGS 84)					
Latitud	9977178	Longitud	775237	Altitud m s.n.m	3232



P11 ANTENAS

2022

Coordenadas UTM (DATUM WGS 84)					
Latitud	9981632	Longitud	775602	Altitud m s.n.m	3800



P56 TANQUE SOLANDA

2022

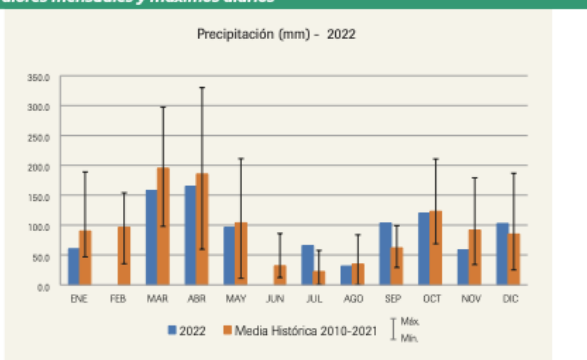
Coordenadas UTM (DATUM WGS 84)

Latitud	9968831	Longitud	774849	Altitud m s.n.m	2917
---------	---------	----------	--------	-----------------	------

Precipitación - Valores mensuales y máximos diarios

MES	Precipitación (mm)			No. de días con precipitación
	Mensual	Máxima en 24H (mm)	Día	
ENE	60,3	17,3	27	13
FEB	ND	ND	ND	ND
MAR	157,6	28,7	21	26
ABR	165,0	31,0	3	25
MAY	96,1	18,8	10	22
JUN	ND	ND	ND	ND
JUL	65,8	18,4	11	14
AGO	31,1	17,8	2	10
SEP	103,5	29,9	30	14
OCT	120,2	20,2	8	20
NOV	58,4	29,7	20	14
DIC	102,5	40,0	26	17
ANUAL	960,5	40,0	26	203

Nota: ND = Porcentaje de datos inferior al 80%



P15 EL CINTO

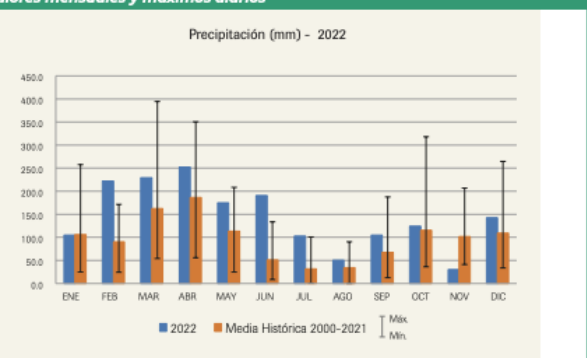
2022

Coordenadas UTM (DATUM WGS 84)

Latitud	9972531	Longitud	770496	Altitud m s.n.m	3273
---------	---------	----------	--------	-----------------	------

Precipitación - Valores mensuales y máximos diarios

MES	Precipitación (mm)			No. de días con precipitación
	Mensual	Máxima en 24H (mm)	Día	
ENE	104,8	44,4	27	21
FEB	222,2	32,5	6	26
MAR	229,4	44,6	21	29
ABR	252,2	34,1	10	25
MAY	174,9	43,8	18	29
JUN	190,6	21,3	2	27
JUL	102,7	25,0	11	20
AGO	50,6	15,5	2	20
SEP	105,0	20,9	29	17
OCT	124,3	19,6	19	20
NOV	30,2	5,6	3	19
DIC	142,4	28,3	25	22
ANUAL	1729,3	44,6	21	275



P17 EL TINGO

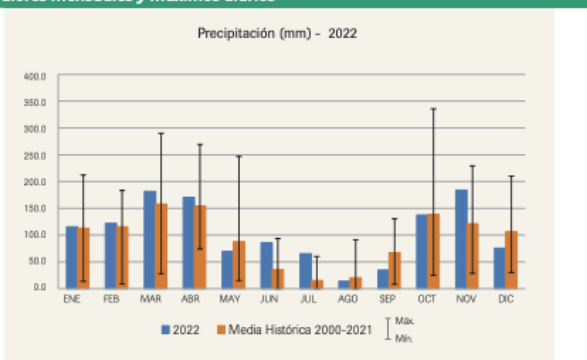
2022

Coordenadas UTM (DATUM WGS 84)

Latitud	9967503	Longitud	784610	Altitud m s.n.m	2483
---------	---------	----------	--------	-----------------	------

Precipitación - Valores mensuales y máximos diarios

MES	Precipitación (mm)			No. de días con precipitación
	Mensual	Máxima en 24H (mm)	Día	
ENE	115,6	34,9	14	17
FEB	122,1	19,6	6	20
MAR	181,7	38,8	13	19
ABR	170,2	33,0	18	21
MAY	69,4	16,3	10	18
JUN	85,7	12,5	5	20
JUL	65,3	17,8	11	14
AGO	13,7	11,7	1	6
SEP	34,8	12,4	29	11
OCT	137,4	26,8	4	20
NOV	184,0	33,3	12	20
DIC	75,7	34,6	5	12
ANUAL	1255,6	38,8	13	198



ESTACIONES UBICADAS DENTRO DE LA CUENCA SAN PEDRO

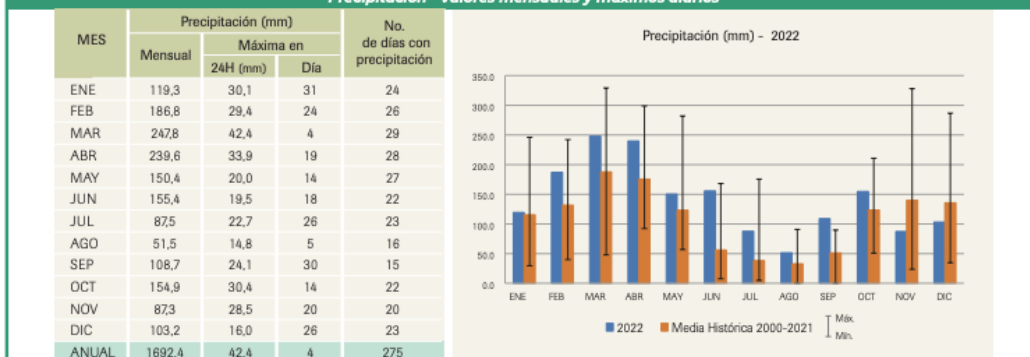
P16 IZOBAMBA

2022

Coordenadas UTM (DATUM WGS 84)

Latitud	9959515	Longitud	772129	Altitud m s.n.m	3046
---------	---------	----------	--------	-----------------	------

Precipitación - Valores mensuales y máximos diarios



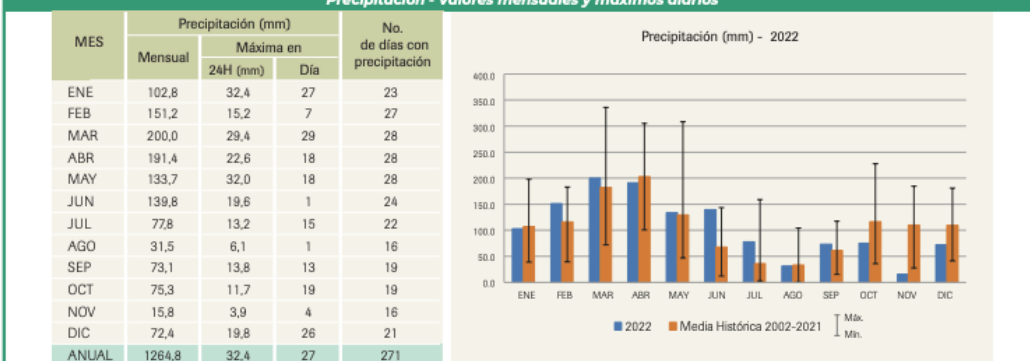
P30 SANTA ROSA

2022

Coordenadas UTM (DATUM WGS 84)

Latitud	9971789	Longitud	766845	Altitud m s.n.m	2913
---------	---------	----------	--------	-----------------	------

Precipitación - Valores mensuales y máximos diarios



REGISTRO PLUVIOMETRICO DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (2018-2024)

PRESPITACION MENSUAL (mm)

AÑO	MES	RUMIHURCO	EL CINTO	ANTENAS	TOCTIUCO	CUMBAYA	IZOBAMBA	EL TINGO	LA TOJA	SAN FRANCISCO	SANTA ROSA	GUAYLLABAMBA	EL QUINCHE	SOLANDA	CC EL BOSQUE	
2018	ene	91,8	84,5	169,1		118,6	99,7	88,1	81,5	144,2	99,8	33,0	83,5	101,8	122,0	
	feb	154,3	95,7	202,2	142,6	134,1	170,9	111,1	94,7	117,6	141,4	63,6	58,1	121,2	188,4	
	mar	108,6	85,5	102,3	112,7	75,2	203,8	117,1	103,0			24,7	82,2		89,5	
	abr	120,4	127,4	170,8	120,5	103,8	174,8	148,5	77,7	106,6		51,4	76,9		164,0	
	may	197,0	172,6	195,3	182,7	109,8	168,7		63,5	257,6	74,8	70,1	121,8		188,9	
	jun	4,4	22,4	16,6	15,0	28,1	21,5		15,5	37,2	21,4	8,8	11,5		13,5	
	jul	39,2	32,1	53,8	18,6	20,5		17,3	15,7	34,7	6,3	15,7	17,7		29,0	34,5
	ago	16,8	50,1		20,0	16,6		22,0	22,0	16,5	23,8		13,9		32,8	
	sept	72,5	39,6	63,3	31,4	31,6		26,3	26,3	18,7	28,1		29,0		32,3	35,7
	oct	21,9	49,9	21,8	13,8	22,6		62,2	105,3	90,6	22,3		25,1		68,8	5,3
	nov	206,0	113,6		209,7	152,0		327,9	229,2	189,8	304,8	154,9	60,7		166,7	213,2
	dic	5,0	37,6	10,6	31,3	1,8		58,8	39,5	3,7	45,4	55,8	3,9		29,3	3,3
ACUMULADO ANUAL	1037,9	911,0	1005,8	898,3	814,7	1288,3	904,4	904,4	770,9	1122,3	554,4	401,9	652,1	603,2	1038,3	
PROMEDIO MENSUAL	86,5	75,9	100,6	81,7	67,9	143,1	90,4	90,4	64,2	102,0	79,2	33,5	54,3	67,0	94,4	
2019	ene	71,2	85,2	115,1	137,4		135,2	117,7	75,3	145,9	85,7	64,7	69,7	114,0	102,1	
	feb	161,3		216,9	130,7	104,2	242,1	176,9	158,1	142,0	123,2	61,8	78,1	154,1	150,8	
	mar	150,3	157,9	330,0	262,4	147,8	320,9	264,7	192,3	173,1	178,0	66,6	108,2	219,7	60,1	
	abr	170,4	126,3	206,3	176,1		197,3	269,3	103,7	307,3		68,7	133,9	173,6	165,9	
	may	61,0	50,4	32,1	56,5		120,2	33,8		5,8	64,7	48,5	0,0	10,9	23,5	
	jun	24,6	23,2	38,1	31,0	14,6		9,2	11,9			33,4	15,4	11,7	10,2	
	jul	23,3	17,2	24,3	9,8	3,7		30,8	3,5	4,1	14,1	24,3	0,0	5,3	10,7	
	ago	3,0	0,2	0,2	0,4	0,0		2,3	0,1	0,0	2,5	0,4	0,0	0,5	0,3	0,0
	sept	48,0	37,5	57,4	39,8	69,1		75,4	88,7	50,2	41,3	39,9	0,0	49,9	65,0	48,9
	oct	70,1	170,6	111,6	71,5	67,0		151,1	117,1	73,5	173,0	146,3	31,5	76,9	141,5	52,6
	nov	175,8	132,7	256,7	168,2	126,1		182,9	216,7	111,3		113,5	82,8	119,6	179,2	182,0
	dic	139,0	125,2	263,7	147,7	81,8		96,6	182,0	88,6		123,9	42,6	75,0	151,0	172,3
ACUMULADO ANUAL	1184,5	1002,3	1753,0	1313,2	682,2	1778,0	1457,0	1570,1	933,2	1107,0	1012,5	516,1	783,1	1304,8	1073,5	
PROMEDIO MENSUAL	98,7	91,1	146,1	109,4	75,8	148,2	130,8	130,8	84,8	123,0	92,0	43,0	65,3	108,7	89,5	

REGISTRO PLUVIOMETRICO DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (2018-2024)

PRESPITACION MENSUAL (mm)

AÑO	MES	RUMIHURCO	EL CINTO	ANTENAS	TOCTIUCO	CUMBAYA	IZOBAMBA	EL TINGO	LA TOLA	SAN FRANCISCO	SANTA ROSA	GUAYLLABAMBA	EL QUINCHE	SOLANDA	CC EL BOSQUE
2020	ene	75,2	113,7	138,9	150,9	95,8		134,8	94,3		94,2	24,3	59,3		141,5
	feb	127,2		184,4	53,3			134,6	55,1	173,6	95,6		79,4		139,3
	mar	139,5	215,5	240,5	167,1		138,4	123,2	88,2	215,6	170,9		50,5	127,0	172,1
	abr	115,1	245,2	250,6	207,7	183,6	206,5	155,5	112,9		175,1	40,0	91,4	202,5	169,9
	may	80,7	115,6	96,0	47,8	41,5	185,8	47,2	20,5	70,5	86,5	45,0	56,0	56,9	64,7
	jun	52,8	78,1	83,1	66,8	65,7	33,6	56,9	20,3	155,6	65,9	18,0	33,6	51,9	37,5
	jul	24,5		46,8	44,3	28,3	63,6	25,4	34,3	97,6	74,6	13,1	25,7	57,6	41,6
	ago	51,7		76,8	36,4	39,5	46,6	91,3	56,6	60,5	64,1	25,3	54,0	53,7	37,2
	sept	30,2		65,7	98,9	69,8	23,8	103,0	42,7	128,4	65,1	16,7	22,6		59,6
	oct	46,5		115,0	67,7	50,6	50,8	74,2	60,9	117,4	48,0	36,5	32,6		61,3
	nov	89,4		150,6	99,7	132,2	65,7	79,1	106,8	134,3			96,5	98,6	139,9
	dic	117,2	214,3	231,4	193,2	110,5	132,8	210,1	88,9	313,6	166,2		97,5	164,6	120,2
ACUMULADO ANUAL	950,0	982,4	1679,8	1233,8	817,5	947,6	1235,3	781,5	1467,1	1106,2	218,9	27,4	699,1	812,8	1184,8
PROMEDIO MENSUAL	79,2	163,7	140,0	102,8	81,8	94,8	102,9	65,1	146,7	100,6			58,3	101,6	98,7
2021	ene	57,7	87,9	96,7	84,3	110,7	150,2	65,6	62,9	115,1	87,0		31,5	54,7	77,1
	feb	70,2	103,0	141,4	120,4	117,6		156,5	70,5	148,9	86,5	47,4	67,7	87,0	127,1
	mar	249,3	275,7	294,3	237,1	202,1	303,4	290,1	143,9	287,9	214,0	147,2	228,0	241,3	294,3
	abr	211,6	350,6	232,3	200,2	192,3	298,8	184,5	125,9	380,3	276,1	87,9	92,3	184,0	155,1
	may	144,3	163,3	202,2	119,1	47,5	152,3	175,3	64,4	219,9	131,6	47,8	92,8	115,1	124,6
	jun	83,3	133,6	118,7		57,8	168,0	73,6	55,0	102,5	89,6	30,1	35,4	35,4	84,6
	jul	12,1	46,8	21,0	17,1	0,6	13,0	5,6	36,3	25,8	37,4	2,4	5,7	37,7	6,8
	ago	41,0	87,0	66,5	41,4		49,4	59,1	72,1	86,0	43,3	3,3	3,8	83,7	42,7
	sept	98,3	187,6	107,4	82,3		61,5	99,3	47,5	155,7	117,5	3,4	41,7	72,8	93,2
	oct	176,7	318,1	243,9	200,0	201,6	210,7	335,9	297,4	297,4	212,3	123,8	177,9	210,7	185,6
	nov	95,2	201,2	179,3	128,6	80,0	231,3	135,0	139,2	186,5	138,1	80,3	107,2		151,7
	dic	150,1	150,1	269,5		127,1	286,7	36,6	89,5	170,6	134,4	46,3	52,9		198,5
ACUMULADO ANUAL	1389,8	2104,9	1973,2	1230,5	1137,3	1925,3	1617,1	1166,7	2176,6	1567,8	619,9	936,9	1122,4	1541,3	
PROMEDIO MENSUAL	115,8	175,4	164,4	123,1	113,7	175,0	134,8	97,2	181,4	130,7	56,4	78,1	112,2	128,4	

REGISTRO PLUVIOMETRICO DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (2018-2024)

PRESPITACION MENSUAL (mm)

AÑO	MES	RUMIHURCO	EL CINTO	ANTENAS	TOCTIUCO	CUMBAYA	IZOBAMBA	EL TINGO	LA TOLA	SAN FRANCISCO	SANTA ROSA	GUAYLABAMBA	EL QUINCHE	SOLANDA	CC EL BOSQUE	
2022	ene	109,5	104,8	199,3	192,5	83,4	119,3	115,6	59,2	138,1	102,8	29,6	42,0	60,3	202,7	
	feb	127,2	222,2	200,9	216,0	105,2	186,8	122,1	105,2	162,1	151,2	65,6	82,2		178,3	
	mar		229,4	306,2	160,9	169,6	247,8	181,7	116,8	231,5	200,0	72,1	142,2	157,6	202,5	
	abr		252,2	200,2	148,9	150,9	239,6	170,2	105,2	199,2	191,4	46,9	101,7	165,0	143,7	
	may	128,0	174,9	99,8	89,2	33,1	150,4	69,4	42,8	141,7	133,7	19,8	53,4	96,1	91,9	
	jun	100,8	190,6	143,6	112,1	0,8	155,4	85,7	73,2	234,6	139,8	42,0	70,3		74,4	
	jul	39,8	102,7	51,7	40,9	20,2	87,5	65,3	67,9	78,4	77,8	17,2	33,4	65,8	29,4	
	ago	9,5	50,6	29,1	50,5	13,5	51,5	13,7	15,0	74,8	31,5	1,9	1,7	31,1	19,2	
	sept	23,0	105,0	38,0	32,6	31,2	108,7	34,8	18,1	71,3	73,1	7,8	24,1	103,5	18,7	
	oct	136,1	124,3	113,3	157,3	92,4	154,9	137,4	113,1	251,1	75,3	31,3	107,1	120,2	121,8	
	nov	62,2	30,2	69,7	49,0	81,4	87,3	184,0	58,0	76,6	15,8	8,7	50,0	58,4	55,7	
	dic	46,9	142,4	109,3	95,6	38,0	103,2	75,7	36,5	128,8	72,4	6,3	41,9	102,5	70,1	
ACUMULADO ANUAL	783,0	1729,3	1561,1	1345,5	819,7	1692,4	1255,6	805,0	1788,2	1264,8	349,2	750,0	960,5	1208,4		
PROMEDIO MENSUAL	78,3	144,1	130,1	112,1	68,3	141,0	104,6	67,1	149,0	105,4	29,1	62,5	96,1	100,7		
2023	ene		224,8	289,5	226,8	118,7	32,8	231,0	119,4	280,4	167,7	64,8	143,7	190,1	214,6	
	feb		87,0	121,6	105,0	48,3	72,9	113,8	41,8	124,7	79,3	28,9	23,7	61,9	102,2	
	mar		303,6		188,1	159,3	184,2	185,4	142,6	230,0	241,7	134,2	149,1	160,0	275,3	
	abr		328,5	228,4	54,8	185,2	239,8	175,7	134,8	217,7	223,1		147,1	232,0	235,6	
	may	115,3	208,7	120,8	90,8	98,9	99,3	130,2	129,6	144,9	138,1	38,5	100,7	111,4	68,3	
	jun	20,8	16,4	67,9	14,2	1,6	25,0	0,7	0,9	24,4	31,9	1,1	0,7	14,3	15,3	
	jul	40,1	96,6	34,2	39,7	42,1		66,5	34,9	40,2	74,7	48,7	33,5	56,8	43,8	
	ago	19,1	144,7	58,2	69,3	23,0		34,4	8,2	60,6	74,8	4,0	8,9	66,0	32,4	
	sept	56,3	57,6	71,8	59,4	21,3		55,1	82,8	47,7	65,8	33,8	0,4	5,6	88,5	47,1
	oct	143,0	248,9	233,4		143,6		152,2	185,5	81,3	200,7	212,6	67,9	141,5	194,0	160,1
	nov	134,4	163,5		110,0	106,4		133,9	132,5	98,2	147,8	116,1	47,8	56,6	92,5	69,7
	dic	185,6	328,6	239,4	346,3	170,2		222,8	248,0	154,9	330,3	198,9	84,9	129,7	188,9	197,9
ACUMULADO ANUAL	714,6	2086,9	1465,2	1304,4	1118,6		1218,0	1586,5	994,3	1867,5	1592,7	521,2	942,8	1456,4	1462,3	
PROMEDIO MENSUAL	89,3	184,1	146,5	118,6	93,2		121,8	132,2	82,9	155,6	132,7	47,4	78,6	121,4	121,9	

REGISTRO PLUVIOMETRICO DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (2018-2024)

PRESPITACION MENSUAL (mm)

AÑO	MES	RUMIHURCO	EL CINTO	ANTENAS	TOCTIUCO	CUMBAYA	IZOBAMBA	EL TINGO	LA TOLA	SAN FRANCISCO	SANTA ROSA	GUAYLABAMBA	EL QUINCHE	SOLANDA	CC EL BOSQUE	
2024	ene	11,3	84,2	24,9	79,9		71,9	31,8	15,1	92,1	61,0	10,2	34,3		12,8	
	feb	121,0	146,6	196,7	293,3	152,4	187,9	104,3	128,0	291,9	131,7	83,8	122,8	201,1	146,6	
	mar	125,7	94,9	214,1	223,6	95,9	147,6	246,1	133,6	180,1	104,1	31,1	68,5	112,6	165,2	
	abr	208,2	203,5	292,6	337,7	291,6		286,1	189,9	453,9	156,5	82,5	123,4	165,9	260,7	
	may	84,3	198,8	131,0	157,6	53,7		86,8	41,1	216,1	191,5	39,5	59,0	153,4	62,8	
	jun	50,8	73,0	80,9	80,7	47,3		85,2	47,4	80,7	91,6	14,7	14,7	31,3	61,6	44,5
	jul	7,9	17,0	21,2	29,8	8,7		20,1	8,1	8,1	29,5	23,8	0,9	9,8	10,5	10,5
	ago	17,4	12,2	14,4	6,0	13,2	7,4	7,4	6,5	4,3	4,3	10,1	1,9	2,9	4,5	11,2
	sept	23,3	34,8	38,8	15,8	42,9	40,4	40,4	56,1	43,5	35,7	22,4	20,9	54,7	35,4	31,3
	oct	72,4	113,4	121,9		142,5	107,9	107,9	137,5	103,4	193,5	77,0	54,5	120,4	118,3	104,4
	nov	9,0	36,1	12,8		32,9	32,9	56,5	81,9	50,5	38,0	38,6	15,3	16,0	42,9	10,1
	dic	243,8	153,5	328,6	164,6			278,1		94,4	254,3	205,3	59,0	92,2	164,0	250,0
ACUMULADO ANUAL	975,1	1168,0	1477,9	1389,0	881,1	881,1	897,7	1142,4	859,3	1870,1	1113,6	414,3	735,3	1070,2	1110,1	
PROMEDIO MENSUAL	81,3	97,3	123,2	138,9	88,1	88,1	112,2	103,9	71,6	155,8	92,8	34,5	61,3	97,3	92,5	

