UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON

SEDE VIRTUAL

CARRERA
LICENCIATURA EN INGENIERIA CIVIL
TESIS

SOMETIDA AL TRIBUNAL EXAMINADOR DE LA LICENCIATURA PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERIA CIVIL

TÍTULO DE LA TESIS

OPTIMIZACIÓN DEL USO DE AGUA EN OBRAS CIVILES MEDIANTE SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y REUTILIZACIÓN EN OBRA CIVILES YA CONSTRUIDAS.

NOMBRE DE LOS AUTORES:

- JOSUÉ CASTILLO ALVARADO.
- LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ MEJÍAS.

DIRECTORA DE TESIS:

Ing. Paola Vidal Rivera, MSc.

SAN CARLOS, COSTA RICA

JULIO, 2026.

TRIBUNAL EXAMINADOR

ING. BYRON GERARDO PÁEZ GONZÁLEZ MSC
PRESIDENTE

ING.PAOLA VIDAL RIVERA MSC
TUTOR ACADEMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ING. OSCAR ALBERTO SÁNCHEZ ZÚÑIGA
LECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN JURADA

Yo Josué Antonio Castillo Alvarado cédula de identidad [redacted] estudiante de la carrera de Licenciatura en ingeniería civil de la Universidad de Isaac Newton, declaro bajo fe de juramento y conscientes de las responsabilidades de los civiles y penales en este acto, que este Trabajo Final de Investigación es de mi autoría y es presentado con la finalidad de obtener el grado de Licenciatura y tiene como título "Optimización del uso de agua en obras civiles mediante sistemas de captación y reutilización en obra civiles ya construidas".

Declaro que en él no se han reproducido informaciones parciales o totales de otros autores, como si fueran de mi propia autoría, por el contrario, se han destacado en el uso de citas textuales las informaciones de otros autores, consignando su origen. Debido a lo anterior, libero a la Universidad Isaac Newton de cualquier responsabilidad en caso de que la declaración sea falsa.

Además, por este medio, autorizo la consulta de esta investigación para fines académicos por parte de la comunidad de usuarios de la Biblioteca de la Universidad Isaac Newton, bajo las modalidades de préstamo interno y a domicilio, así como su inclusión en repositorios o bases de datos digitales que la Universidad considere oportunas.

Entregado en las oficinas de la Dirección Administrativa de la Universidad Isaac Newton ubicada en San Carlos a los veinte tres días del mes de julio del 2026.

Firma _____
Josué Antonio Castillo Alvarado
Cédula [redacted]

DECLARACIÓN JURADA

Yo Luis Enrique Sánchez Mejías cédula de identidad [redacted] estudiante de la carrera de Licenciatura en ingeniería civil de la Universidad de Isaac Newton, declaro bajo fe de juramento y conscientes de las responsabilidades de los civiles y penales en este acto, que este Trabajo Final de Investigación es de mi autoría y es presentado con la finalidad de obtener el grado de Licenciatura y tiene como título "Optimización del uso de agua en obras civiles mediante sistemas de captación y reutilización en obra civiles ya construidas".

Declaro que en él no se han reproducido informaciones parciales o totales de otros autores, como si fueran de mi propia autoría, por el contrario, se han destacado en el uso de citas textuales las informaciones de otros autores, consignando su origen. Debido a lo anterior, libero a la Universidad Isaac Newton de cualquier responsabilidad en caso de que la declaración sea falsa.

Además, por este medio, autorizo la consulta de esta investigación para fines académicos por parte de la comunidad de usuarios de la Biblioteca de la Universidad Isaac Newton, bajo las modalidades de préstamo interno y a domicilio, así como su inclusión en repositorios o bases de datos digitales que la Universidad considere oportunas.

Entregado en las oficinas de la Dirección Administrativa de la Universidad Isaac Newton ubicada en San Carlos a los veinte tres días del mes de julio del 2026.

Firma _____
Luis Enrique Sánchez Mejías
Cédula [redacted]

CARTA DEL TUTOR

Quesada, 23 de Julio del 2026.

Señores

Universidad Isaac Newton

Presente

Estimados señores:

En mi calidad de tutor designado a la Tesis elaborada por el estudiante Josué Antonio Castillo Alvarado, titulada “Optimización del uso de agua en obras civiles mediante sistemas de captación y reutilización en obra civiles ya construidas”, durante el período 2026, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

Ing. Paola Vidal Rivera

Tutora de Tesis

Docente de la Universidad Isaac Newton

CARTA DEL TUTOR

Quesada, 23 de Julio del 2026.

Señores

Universidad Isaac Newton

Presente

Estimados señores:

En mi calidad de tutor designado a la Tesis elaborada por el estudiante Luis Enrique Sánchez Mejías, titulada "Optimización del uso de agua en obras civiles mediante sistemas de captación y reutilización en obra civiles ya construidas", durante el período 2026, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

Ing. Paola Vidal Rivera

Tutora de Tesis

Docente de la Universidad Isaac Newton

CARTA DEL LECTOR

Quesada, 23 de Julio del 2026.

Señores

Universidad Isaac Newton

Presente

Estimados señores:

En mi calidad de lector designado a la Tesis elaborada por el estudiante Josué Antonio Castillo Alvarado, titulada “Optimización del uso de agua en obras civiles mediante sistemas de captación y reutilización en obra civiles ya construidas”, durante el período 2026, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

Ing. Mauricio Martínez Esquivel

Lector de Tesis

Docente de la Universidad Isaac Newton

CARTA DEL LECTOR

Quesada, 23 de Julio del 2026.

Señores

Universidad Isaac Newton

Presente

Estimados señores:

En mi calidad de lector designado a la Tesis elaborada por el estudiante Luis Enrique Sánchez Mejías, titulada “Optimización del uso de agua en obras civiles mediante sistemas de captación y reutilización en obra civiles ya construidas”, durante el período 2026, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

Ing. Mauricio Martínez Esquivel

Lector de Tesis

Docente de la Universidad Isaac Newton.

DEDICATORIA

A nuestros padres, porque todo lo que somos se lo debemos a ellos, por su esfuerzo, sacrificio y por inculcarnos desde siempre la importancia del estudio y la superación personal.

A nuestras familias, quienes, con su apoyo constante, consejos y motivación han sido un pilar fundamental a lo largo de este proceso.

AGRADECIMIENTOS

A Dios,

por darnos la sabiduría, fortaleza y constancia necesarias para culminar esta importante etapa académica.

A la profesora Ing. Paola Vidal Rivera, M.Sc.,

por su acompañamiento académico, orientación y recomendaciones, que enriquecieron significativamente el desarrollo de este trabajo.

Al personal de la Universidad Isaac Newton,

por su apoyo institucional y por contribuir en nuestra formación profesional a lo largo de la carrera.

Finalmente, a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron en este proceso, nuestro más sincero agradecimiento.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 1
1.1 Planteamiento del problema de investigación 2
1.1.1 Contexto 3
1.1.2 Justificación 4
1.1.3 Problema de investigación 5
1.1.4 Estado del arte 6
1.2 Objetivos de la investigación 6
1.2.1 Objetivo general 7
1.2.2 Objetivos específicos 7
1.3 Las variables 7
1.3.1 Variables 7
1.3.2 Categorías de análisis 8
1.3.3 Matriz de la investigación 9
1.4 Alcances 10
1.5 Formulación de la hipótesis de la investigación 11
CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO 12
2.1 Recurso hídrico y su importancia 12
2.1.1 Disponibilidad del recurso hídrico en Costa Rica 12
2.1.2 Importancia del agua en el desarrollo urbano. 14
2.1.3 Consumo de agua en edificaciones residenciales 14
2.2 Definición de aguas residuales 15
2.2.1 Características de las aguas residuales 15
2.2.2 Contaminantes del agua residual 15
2.2.3 Generalidades del tratamiento de agua residual 16
2.3 Parámetros del agua residual para reúso 16
2.3.1 Parámetros universales de análisis obligatorio 17
2.3.2 Parámetros de análisis obligatorio para el reúso de aguas residuales ordinarias 17
2.3.3 Límites máximos para el reúso de aguas residuales ordinarias 18
2.3.4 Mediciones rutinarias y análisis periódicos 19

2.4 Disposición de las aguas residuales tratadas 21
2.4.1 Vertido a cuerpo de agua 21
2.4.2 Vertido al alcantarillado sanitario 21
2.4.3 Reutilización del agua tratada 22
2.5 Valor económico del agua residual 22
2.6 Análisis de la regulación aplicable en materia de vertido de aguas residuales 23
2.6.1 Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Decreto N.o 39887-S-MINAE 23
2.6.2 Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales Decreto N.o 33601-MINAE-S 24
2.6.3 Reglamento del canon ambiental por vertidos Decreto N.o 42128- MINAE-S 26
2.6.4 Política Nacional de Saneamiento 27
2.7 Sistemas de tratamiento de aguas residuales 28
2.7.1 Sistemas de filtración 28
2.7.2 Tratamiento biológico 28
2.7.3 Sedimentación 29
2.7.4 Desinfección 29
2.8 Usos y aplicaciones de las aguas residuales tratadas 29
2.8.1 Descarga de inodoros 29
2.8.2 Riego de jardines 30
2.8.3 Limpieza de exteriores 30
2.9 Sistemas de captación de aguas pluviales 30
2.9.1 Cálculo del volumen de captación de agua de lluvia 31
2.10 Métodos de tratamiento para limpieza del agua de lluvia captada 32
2.10.1. Filtración 32
2.10.2 Cloración 32
2.10.3 Adición de carbón activado granular 32
2.10.4 Purificación con luz ultravioleta 32
2.11 Componentes de un sistema de aprovechamiento de agua 33
2.11.1 Superficie de captación 33
2.11.2 Canaletas 33

2.11.3 Bajantes 34
2.11.4 Filtros 34
2.11.5 Tanque de almacenamiento 34
2.11.6 Sistema de bombeo 34
2.11.7 Red de distribución 35
2.11.8 Importancia en el diseño del sistema 35
2.12 Criterios de diseño de sistemas de captación 35
2.12.1 Pendiente de canaletas 35
2.12.2 Capacidad del tanque de almacenamiento 36
2.12.3 Sistema de filtrado 36
2.12.4 Distribución del agua 36
2.13 Sistemas de almacenamiento de agua 37
2.13.1 Tipos de tanques de almacenamiento 37
2.13.2 Criterios para el dimensionamiento del tanque 38
2.14. Objetivos de desarrollo sostenible 39
2.14. 1 ¿Qué son los Objetivos de Desarrollo Sostenible? 39
2.14.2 Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento 39
2.14.3 Metas del Objetivo 6 40
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO 41
3.1 Tipo de investigación y enfoque 41
3.2 Consideración de variables e hipótesis 41
3.3 Fuentes de información 42
3.4 Unidad de análisis, población y muestra 42
3.5 Recolección de la información 43
3.6 Análisis de los datos 43
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS 46
4.1 Características del proyecto y del sitio 46
4.1.1 Descripción del proyecto 46
4.1.2 Características del conjunto de apartamentos 46
4.1.3 Planta de distribución del proyecto 47

4.1.4 Tabla de área de apartamentos 48
4.1.5 Área de huella 49
4.1.6 Diseño de sitio 50
4.1.7 Ubicación y localización del proyecto 51
4.1.8 Características del terreno 51
4.1.9 Forma y linderos 52
4.1.10 Proyecto en terreno y cobertura 53
4.1.11 Topografía 53
4.1.12 Disponibilidad de agua para el proyecto 53
4.1.13 Modelo 3D del proyecto 54
4.2 Componentes del sistema hidráulico y sanitario 55
4.2.1 Canaletas de captación 55
4.2.2 Caja de registro pluvial 55
4.2.3 Caja de registro aguas negras 56
4.2.4 Trampa de grasas 57
4.2.5 Desagüe de piso 57
4.2.6 Columna de ventilación 58
4.2.7 Salida de lavamanos 58
4.2.8 Salida de inodoro 59
4.2.09 Golpe de ariete 59
4.2.10 Sistema de drenaje 60
4.2.11 Conexión Medidor a red potable 61
4.2.12 Simbología mecánica 61
4.2.13 Tuberías de conducción 62
4.2.14 Sistema de bombeo y filtrado básico para retener sólidos y sedimentos 62
4.2.15 Tanque de almacenamiento de agua pluvial 63
4.3 Análisis del consumo de agua 64
4.3.1 Población de diseño 64
4.3.2 Dotación de agua potable 64
4.3.3 Consumo total de agua 64

4.3.4 Distribución del consumo (potable vs no potable) 65
4.4 Generación de aguas residuales 66
4.4.1 Volumen potencial de captación de aguas residuales. 66
4.4.2 Estimación de aguas residuales 67
4.4.3 Separación de aguas grises y negras 68
4.4.4 Potencial de reutilización aguas residuales. 69
4.5 Sistema hidráulico propuesto 69
4.5.1 Planta tratamiento PTAR 70
4.5.2 Sistema de tanque séptico y drenaje para aguas negras 72
4.6 Presentación de resultados 73
4.6.1 Modelado tridimensional del sistema de tuberías de proyecto 73
4.6.2 Volumen de consumo de agua en el proyecto 74
4.6.3 Volumen residual de agua en el proyecto 74
4.7 Generación aguas residuales 75
4.8 Dimensionamiento de tanque séptico 76
4.8.1 Desfogue de tanque séptico (drenaje) 76
4.9 Dimensionamiento de sistema PTAR 77
4.9.1 Desfogue de planta de tratamiento PSTAR 78
4.10 Reutilización de aguas residuales tratadas 78
4.11 Análisis de captación y reutilización de agua 79
4.11.1 Condiciones climáticas del sitio 79
4.11.2. Precipitación en la zona de estudio 79
4.11.3 Volumen potencial de captación de agua de lluvia: 80
4.11.4 Relación entre captación pluvial y consumo de agua no potable 81
4.12 Volumen potencial de reutilización de aguas grises: 82
4.13 Relación entre captación residual y consumo de agua no potable 82
4.13.1 Generación de aguas sanitarias 84
4.13.2 Conducción mediante tuberías sanitarias 85
4.13.3 Caja de registro 85
4.13.4 Tubería de conducción sanitaria 85

4.13.5 Tratamiento en tanque séptico 85
4.13.6 Disposición final 85
4.14 Esquema proceso de aguas grises 86
4.14.1 Generación de aguas grises 87
4.14.2 Recolección y conducción 88
4.14.3 Pretratamiento 88
4.14.4 Tratamiento básico 88
4.14.5 Almacenamiento 88
4.14.6 Reutilización 88
4.14.7 Beneficio del sistema 88
4.15 Esquema funcional captación agua de lluvia 89
4.15.1 Captación del agua pluvial 90
4.15.2 Conducción del agua 90
4.15.3 Pretratamiento (filtrado inicial) 90
4.15.4 Almacenamiento 91
4.13.5 Distribución 91
4.15.6 Uso del agua captada 91
4.15.7 Beneficio del sistema 91
4.16. Ahorro de agua potable esperado: 92
4.17 Análisis y discusión de los resultados para las variables o categorías de análisis 93
4.18 Aceptación o rechazo de la hipótesis 94
4.19 Planos del sistema hidráulico 95
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 96
5.1 Conclusiones 96
5.2 Recomendaciones 97
6. BIBLIOGRAFÍA 98
7. ANEXOS 101
7.1 Diseño mecánico de la red de captación y distribución de agua 101

LISTA DE CONTENIDOS DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del trabajo de investigación 45
Figura 2. Planta de distribución arquitectónica 1° nivel 47
Figura 3. Planta de distribución arquitectónica 2° nivel 48
Figura 4Área por apartamento Fuente: Elaboración REVIT. 48
Figura 5. Planta de área de cobertura del proyecto en el terreno 49
Figura 6. Diseño de sitio de proyecto, donde se muerta la construcción existente, construcción nueva y el acceso hasta el miso..... 50
Figura 7. Ubicación del proyecto 51
Figura 8. Área total del terreno según su plano catastro. 51
Figura 9. Forma de propiedad según plano catastro.. 52
Figura 10. Ubicación de proyecto en propiedad.. 53
Figura 11. Vista de modelo 3D, proyecto a desarrollar. 54
Figura 12. Detalle de captación pluvial por canoa.. 55
Figura 13. Detalle de caja de registro pluvial. 56
Figura 14. Detalle caja de registro aguas negras. 56
Figura 15. Detalle de trampa de grasas. 57
Figura 16. Detalle desagüe de piso. 57
Figura 17.Detalle de ventilación con salida a techo..... 58
Figura 18. Detalle de salida de aguas de lavamanos. 58
Figura 19. Detalle de salida de agua de inodoros 59
Figura 20. Detalle de golpe de ariete. Fuente: 60
Figura 21. Detalle de sistema de filtración de drenaje. 60
Figura 22. Detalle de acometida potable. 61
Figura 23. Tabla de simbología mecánica. 62
Figura 24. Detalle de sistema de bomba y filtrado. 63
Figura 25. Tanques de almacenamiento de agua pluvial 63
Figura 26 . Gráfico de consumo de agua (m^3/día)..... 66

Figura 27. Captación de aguas residuales (m³/día) 67
Figura 28. Captación flujo de agua residuales. 68
Figura 29. Sección de Planta PTAR..... 70
Figura 30. Diagrama de proceso de la PTAR 71
Figura 31. Sección típica de tanque séptico 72
Figura 32. Modelado de red mecánica potable y residual..... 73
Figura 33. Caudal promedio mensual de agua de lluvia (Estación Damas – Quepos) 79
Figura 34. Modelo de cubierta de proyecto 81
Figura 35. Esquema de proceso de agua sanitarias (inodoros). 84
Figura 36. Esquema de proceso de agua residual 87
Figura 37. Esquema de proceso de agua pluvial. 90

LISTA DE CONTENIDOS DE CUADROS

Cuadro 1. Matriz de investigación para la optimización del uso del agua en obras civiles..... 9
Cuadro 2. Porcentajes consumo de agua..... 14
Cuadro 3. Límites máximos permisibles para el reúso de aguas residuales ordinarias 18
Cuadro 4. Frecuencia de toma de muestra con base en el tipo de reúso..... 20
Cuadro 5.Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio.22
Cuadro 6. Coeficiente de escorrentía. 32
Cuadro 7. Cuadro de áreas por espacio de apartamento. 48
Cuadro 8. Cuadro de áreas del proyecto. 50
Cuadro 9. Captación de aguas residuales (m³/día)..... 66
Cuadro 10 . Esquema de proceso de agua residual 85
Cuadro 11 . Esquema de proceso de agua residual 89
Cuadro 12.. Esquema de proceso de agua residual 91

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, algunos países han empezado a experimentar escasez de recursos hídricos y Costa Rica no es la excepción. Según el Informe de las Naciones Unidas sobre estos recursos, se prevé que en el año 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial de agua del 40 % en un escenario climático en que todo siga igual (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2015).

El agua es un recurso natural indispensable para el desarrollo de las actividades humanas y productivas, incluyendo el funcionamiento de las obras civiles una vez que estas se encuentran en operación. En este contexto, el consumo de agua es significativo debido a actividades como el uso sanitario, el riego de áreas verdes, la limpieza de espacios y otras demandas propias del funcionamiento cotidiano de la infraestructura. Sin embargo, en muchos casos, este recurso es utilizado sin una adecuada planificación, lo que evidencia la necesidad de establecer estrategias que permitan su uso eficiente durante la fase operativa de los proyectos.

En la actualidad, el crecimiento urbano, el aumento de proyectos de infraestructura y los efectos del cambio climático han incrementado la presión sobre las fuentes de agua potable. Esta situación hace necesaria la implementación de estrategias sostenibles que permitan optimizar su uso, especialmente durante la fase operativa, donde el consumo de agua es continuo y permanente.

Entre estas estrategias destacan los sistemas de captación de aguas pluviales y la reutilización de aguas residuales tratadas, los cuales representan una alternativa viable para reducir el consumo de agua potable en la operación de las obras civiles y mejorar la eficiencia en el uso del recurso hídrico.

En este contexto, la presente investigación se orienta a proponer estrategias para optimizar el uso del agua en obras civiles, mediante la implementación de sistemas de captación, almacenamiento, tratamiento y reutilización dentro del sitio constructivo, con el fin de favorecer su aprovechamiento durante la fase operativa del proyecto. A través de un enfoque técnico y ambiental, se busca demostrar la viabilidad operativa y ecológica de estos sistemas, que contribuyan a una gestión más eficiente y responsable del agua.

Asimismo, este estudio pretende generar lineamientos prácticos que puedan ser aplicados en proyectos de diferentes escalas durante su operación, fomentando una cultura de sostenibilidad en el sector de la ingeniería civil. De esta manera, se espera que los resultados obtenidos sirvan como referencia para profesionales, empresas constructoras e instituciones, promoviendo prácticas que reduzcan el impacto ambiental y fortalezcan el desarrollo sostenible.

1.1 **Planteamiento del problema de investigación**

En la actualidad, muchas obras civiles en su fase operativa no cuentan con sistemas formales de captación y reutilización de aguas pluviales o residuales, lo que conlleva al desaprovechamiento de un recurso que podría ser utilizado de manera eficiente. Esta situación refleja una limitada incorporación de lineamientos técnicos y de gestión hídrica orientados al uso sostenible del agua durante la operación de la infraestructura.

Como consecuencia, se mantiene una alta dependencia de fuentes de agua potable para satisfacer demandas que podrían ser cubiertas mediante el aprovechamiento de recursos alternativos, lo que incrementa los costos operativos y genera una mayor presión sobre las fuentes hídricas disponibles.

Ante este panorama, surge la necesidad de analizar y proponer estrategias que permitan optimizar el uso del agua en obras civiles, mediante la implementación de sistemas de captación, almacenamiento, tratamiento y reutilización del recurso hídrico, orientados a su aprovechamiento durante la fase operativa del proyecto.

Para ello, resulta fundamental realizar un análisis técnico del comportamiento hídrico de la infraestructura, que permita estimar el volumen de agua de lluvia aprovechable y el caudal de aguas residuales generadas, con el fin de diseñar una propuesta integral que optimice el uso del agua, reduzca los costos operativos y minimice el impacto ambiental.

1.1.1 **Contexto**

El proyecto se encuentra desarrollado sobre un terreno con una superficie construida de 270 m², localizado en el cantón de Quepos, provincia de Puntarenas, Costa Rica. La edificación ya construida corresponde a un conjunto habitacional conformado por ocho apartamentos, distribuidos en dos niveles con cuatro unidades por planta, lo que permite una organización espacial funcional y adecuada para su operación.

Cada unidad habitacional fue diseñada bajo criterios de habitabilidad y eficiencia, incorporando dos dormitorios con un área aproximada de 9 m² cada uno, garantizando condiciones apropiadas de ventilación e iluminación natural. Asimismo, dispone de servicios sanitarios acordes con la normativa vigente, lo que asegura condiciones adecuadas de salubridad para los usuarios.

El inmueble se encuentra actualmente en funcionamiento bajo un esquema de uso comercial destinado al alquiler, lo que implica una demanda constante de recursos, particularmente del agua, para suplir necesidades como el consumo doméstico, la higiene, el mantenimiento de áreas comunes y el riego de espacios exteriores.

En este contexto, la operación continua del proyecto genera un consumo hídrico significativo, lo que evidencia la importancia de incorporar estrategias orientadas a la optimización del uso del agua. La ausencia de sistemas integrados de captación y reutilización limita el aprovechamiento de fuentes alternativas, como el agua de lluvia y las aguas residuales tratadas, incrementando la dependencia de agua potable.

Por lo tanto, el análisis de este proyecto construido permite establecer una base técnica para la propuesta de sistemas de captación, almacenamiento, tratamiento y reutilización del recurso hídrico, orientados a mejorar la eficiencia en su uso durante la fase operativa, reducir costos asociados al consumo y promover una gestión más sostenible dentro del ámbito de la ingeniería civil.

1.1.2 Justificación

La creciente presión sobre los recursos hídricos ha generado la necesidad de replantear la forma en que se gestiona el agua en las edificaciones una vez que estas se encuentran en funcionamiento. En Costa Rica, el recurso hídrico ha sido reconocido como un elemento estratégico dentro de la planificación ambiental, promoviendo su uso eficiente en los distintos sectores productivos (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 1995). Sin embargo, en la práctica, muchas infraestructuras en operación continúan utilizando agua potable para satisfacer todas sus demandas, sin considerar alternativas que permitan optimizar su aprovechamiento.

En este sentido, la presente investigación adquiere relevancia al proponer estrategias orientadas a mejorar la eficiencia en el uso del agua en obras civiles ya construidas. La incorporación de sistemas de captación de aguas pluviales y reutilización de aguas residuales tratadas constituye una opción viable para disminuir la dependencia de fuentes convencionales, en concordancia con los lineamientos de la Política Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico, la cual promueve la reducción del desperdicio y el uso racional del agua en actividades que requieren un consumo significativo (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2016).

Desde una perspectiva técnica, la investigación permite identificar y aprovechar fuentes hídricas alternativas que pueden ser empleadas en distintas actividades propias del funcionamiento de la infraestructura, tales como el uso sanitario, la limpieza y el mantenimiento de áreas exteriores. Esto no solo contribuye a una disminución en el consumo de agua potable, sino que también representa una oportunidad para optimizar los costos asociados a la operación del proyecto.

Por otra parte, a nivel académico, el estudio fortalece el análisis del uso eficiente del agua en edificaciones en operación, aportando un enfoque que complementa otras áreas de sostenibilidad comúnmente abordadas en la ingeniería civil. La generación de una propuesta aplicable a proyectos de mediana y gran escala permite establecer un referente técnico que puede ser adaptado a distintas realidades, contribuyendo al desarrollo de soluciones más sostenibles en el sector.

En consecuencia, esta investigación aporta una base técnica y práctica para la implementación de estrategias de optimización hídrica en obras civiles en funcionamiento, promoviendo una gestión más eficiente del recurso, la reducción del impacto ambiental y el fortalecimiento de prácticas sostenibles en el contexto nacional.

1.1.3 Problema de investigación

En el contexto de las obras civiles en funcionamiento, el uso del agua suele realizarse sin una planificación integral orientada a la eficiencia del recurso hídrico, lo que genera consumos elevados y una alta dependencia de fuentes de agua potable. Esta situación no solo incrementa la presión sobre las fuentes disponibles, sino que también repercute directamente en los costos asociados a la operación de las infraestructuras.

Asimismo, se evidencia una limitada incorporación de sistemas de captación de aguas pluviales y reutilización de aguas residuales tratadas en edificaciones ya construidas, así como la ausencia de criterios técnicos claros que orienten su implementación durante la fase operativa. Esta condición restringe la adopción de prácticas sostenibles y disminuye las posibilidades de optimizar el uso del recurso hídrico en el funcionamiento cotidiano de las obras civiles.

Adicionalmente, se identifica una carencia de estudios que integren el análisis del consumo real de agua en infraestructuras en operación, junto con el diseño de sistemas de captación, almacenamiento, tratamiento y reutilización, así como la evaluación de los beneficios ambientales y económicos derivados de su aplicación. Esta falta de un enfoque integral limita la toma de decisiones técnicas y dificulta la incorporación de soluciones sostenibles en la gestión del agua.

En consecuencia, el problema de investigación se centra en la ausencia de estrategias técnicas aplicables que permitan optimizar el uso del agua en obras civiles ya construidas, mediante la implementación de sistemas de captación y reutilización dentro del sitio, considerando tanto el consumo real del recurso como su potencial de aprovechamiento durante la fase operativa.

A partir de lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿En qué medida la implementación de sistemas de captación de aguas pluviales y reutilización de aguas residuales permite reducir el consumo de agua potable en obras civiles durante su fase operativa?

1.1.4 Estado del arte

A nivel nacional, se han desarrollado investigaciones orientadas a cuantificar el consumo de agua en edificaciones en funcionamiento, evidenciando que este varía según el tipo de infraestructura, sus características de uso y la gestión operativa implementada, donde la ausencia de control puede derivar en un uso ineficiente del recurso hídrico (Castillo, 2021).

Por otra parte, el reúso del agua ha sido estudiado como una alternativa viable para disminuir la dependencia de fuentes de agua potable en infraestructuras en operación. Diversos análisis han evaluado la utilización de aguas residuales tratadas en actividades como servicios sanitarios, limpieza y mantenimiento de áreas exteriores, identificando un potencial significativo para su aprovechamiento, especialmente en zonas con limitaciones en la disponibilidad del recurso (ONU, 2017).

Asimismo, en Costa Rica existe un marco normativo que regula el reúso de aguas residuales, estableciendo parámetros de calidad para su aplicación. No obstante, se ha observado que, a pesar de contar con esta regulación, su implementación en edificaciones en funcionamiento continúa siendo limitada (Poder Ejecutivo, 2007).

Sin embargo, aunque existen estudios relacionados con el consumo de agua y el reúso del recurso, estos han sido abordados de manera fragmentada, analizando cada componente de forma independiente. Esta condición evidencia la ausencia de enfoques integrales que articulen el análisis del consumo real de agua en la operación, el diseño de sistemas de captación y reutilización, y la valoración de sus beneficios ambientales y económicos.

Por lo tanto, la presente investigación busca desarrollar un enfoque que integre elementos que contribuyendo a una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico en el ámbito de la ingeniería civil en Costa Rica.

1.2 **Objetivos de la investigación**

A continuación, se presentan el objetivo general y específicos de la investigación.

1.2.1 Objetivo general

- Proponer estrategias para optimizar el uso del agua en obras civiles, mediante la implementación de sistemas de captación y reutilización dentro del sitio constructivo, para su aprovechamiento durante la fase operativa del proyecto.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento del consumo de agua potable durante la fase operativa de una obra civil de ocho apartamentos ubicado en Quepos, Puntarenas, durante su fase operativa.

- Diseñar esquemas funcionales de captación y tratamiento básico de aguas lluvia y aguas residuales dentro del sitio constructivo, orientados a su uso en la operación de la infraestructura.

- Comparar el ahorro potencial y los beneficios ambientales de la propuesta en relación con el consumo convencional durante la etapa operativa.

1.3 Las variables

De acuerdo con los objetivos planteados, la presente investigación incorpora tanto variables de carácter cuantitativo como categorías de análisis de enfoque cualitativo, con el fin de abordar de manera integral la optimización del uso del agua en obras civiles durante su fase operativa.

1.3.1 **Variables**

Las variables cuantitativas permiten medir y analizar el comportamiento del recurso hídrico dentro de la infraestructura en operación, facilitando la evaluación del impacto de las estrategias propuestas.

- Consumo de agua potable (m^3/mes): volumen de agua utilizado en la operación de la edificación.
- Volumen de agua de lluvia aprovechable (m^3/mes): cantidad estimada de agua pluvial que puede ser captada y utilizada.

- Caudal de aguas residuales generadas (m^3/mes): volumen de aguas residuales disponibles para su tratamiento y reutilización.
- Porcentaje de reducción del consumo de agua potable (%): disminución estimada del consumo a partir de la implementación de los sistemas propuestos.
- Costo operativo asociado al consumo de agua (₡/mes): gasto económico relacionado con el uso del recurso hídrico en la fase operativa.
- Ahorro económico estimado (₡/mes): reducción en costos producto del aprovechamiento de fuentes alternativas de agua.

1.3.2 Categorías de análisis

Las categorías de análisis permiten interpretar aspectos técnicos, ambientales y operativos relacionados con la implementación de estrategias de optimización del uso del agua.

- Gestión eficiente del recurso hídrico: prácticas orientadas al uso racional del agua en la operación de la infraestructura.
- Sistemas de captación y reutilización: tecnologías y esquemas aplicables para el aprovechamiento de aguas pluviales y residuales tratadas.
- Viabilidad técnica: factibilidad de implementación de los sistemas propuestos en edificaciones ya construidas.
- Viabilidad ambiental: impacto positivo en la reducción del consumo de agua potable y disminución de la presión sobre fuentes hídricas.
- Viabilidad económica: relación entre costos de implementación y beneficios obtenidos durante la operación.
- Sostenibilidad en obras civiles: integración de prácticas responsables en el uso del agua dentro del funcionamiento de la infraestructura.

1.3.3 Matriz de la investigación

Cuadro 1. Matriz de investigación para la optimización del uso del agua en obras civiles

Objetivo específico	Variable / Categoría	Indicadores	Técnicas de recolección	Instrumentos
Evaluar el consumo de agua típico en obras civiles de tipo mediano y grande durante su fase operativa.	Consumo de agua potable. Caudal de aguas residuales generadas.	Metros cúbicos sobre mes consumido. Metros cúbicos sobre mes estimado.	Revisión documental y medición. Estimación técnica.	Facturación de agua y registros. Cálculos hidráulicos.
Diseñar esquemas funcionales de captación y tratamiento básico de aguas lluvia y aguas residuales dentro del sitio constructivo, orientados a su uso en la operación de la infraestructura	Sistema de captación de aguas pluviales. Volumen de agua de lluvia aprovechable.	Tipo de sistema propuesto. Metros cúbicos sobre mes estimado.	Análisis técnico. Cálculo hidrológico.	Planos y esquemas. Datos de precipitación.
Comparar el ahorro potencial y los beneficios ambientales de la propuesta en relación con el consumo convencional durante la etapa operativa.	Reducción del consumo de agua potable. Ahorro económico. Viabilidad ambiental. Viabilidad técnica.	Porcentaje de disminución. Costo sobre mes estimados. Nivel de impacto. Factibilidad de implementación.	Análisis comparativo. Análisis financiero. Análisis cualitativo. Evaluación técnica.	Modelos de cálculo. Proyección de costos. Criterios ambientales. Condiciones del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

1.4 Alcances

La presente investigación se enfoca en el análisis del uso del agua en obras civiles ya construidas, específicamente durante su fase operativa. El estudio considera el comportamiento del consumo hídrico asociado al funcionamiento cotidiano de la edificación, incluyendo actividades como el uso sanitario, la limpieza de espacios, el mantenimiento de áreas comunes y el riego de zonas exteriores.

El alcance del estudio se centra en la evaluación del consumo de agua potable y en la identificación del potencial de aprovechamiento de fuentes alternativas, tales como el agua de lluvia y las aguas residuales generadas en la operación de la infraestructura. A partir de este análisis, se desarrolla una propuesta de sistemas de captación, almacenamiento, tratamiento y reutilización del recurso hídrico, orientada a optimizar su uso dentro del inmueble.

La investigación se limita al análisis del recurso hídrico, sin incorporar otras variables relacionadas con la sostenibilidad, tales como el consumo energético, la gestión de residuos o el uso de materiales. Asimismo, no se abordan etapas previas al funcionamiento de la edificación, como el diseño o la construcción, dado que el enfoque del estudio se orienta exclusivamente a la operación del proyecto.

En cuanto a la información utilizada, se consideran datos cuantificables obtenidos a partir de registros de consumo, estimaciones técnicas y proyecciones relacionadas con el uso del agua en la edificación. Aquellos consumos que no puedan ser medidos con precisión se analizan de manera referencial, sin formar parte del componente cuantitativo principal.

Finalmente, se realiza una comparación entre el consumo convencional de agua potable y el consumo estimado bajo la implementación de los sistemas propuestos, con el propósito de determinar el ahorro potencial y los beneficios ambientales derivados. Los resultados buscan aportar una base técnica que contribuya a una gestión más eficiente del recurso hídrico en obras civiles en operación.

1.5 Formulación de la hipótesis de la investigación

La implementación de sistemas de captación de aguas pluviales y reutilización de aguas residuales tratadas en obras civiles permite reducir significativamente el consumo de agua potable durante la fase operativa, mediante el aprovechamiento de fuentes alternativas en actividades que no requieren calidad para consumo humano, tales como el uso sanitario, la limpieza de áreas comunes y el riego de zonas verdes.

Se plantea que, al incorporar estos sistemas dentro del funcionamiento de la infraestructura, es posible disminuir la dependencia de las fuentes convencionales de abastecimiento, optimizando el uso del recurso hídrico disponible y promoviendo una gestión más eficiente en la operación del proyecto.

Asimismo, se establece que la aplicación de estas estrategias genera beneficios ambientales, al contribuir a la reducción de la presión sobre las fuentes hídricas, y beneficios económicos, al disminuir los costos asociados al consumo de agua potable. De igual manera, se espera que la implementación de estos sistemas mejore la sostenibilidad del proyecto, al integrar prácticas de aprovechamiento del recurso hídrico que pueden ser replicadas en otras obras civiles en operación.

En este sentido, la hipótesis plantea que la incorporación de sistemas de captación, almacenamiento, tratamiento y reutilización del agua no solo reduce el consumo del recurso, sino que también representa una alternativa técnica viable para mejorar la eficiencia hídrica en edificaciones ya construidas.

CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO

2.1 Recurso hídrico y su importancia

El recurso hídrico constituye un elemento esencial para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas (CEPAL, 2021), debido a su participación en procesos biológicos, productivos y ambientales. Su importancia radica en que es un insumo fundamental para sectores como el abastecimiento de agua potable, la agricultura, la industria y la construcción, lo que lo convierte en un recurso estratégico para el desarrollo económico y social de los países.

Desde una perspectiva técnica, la gestión del recurso hídrico debe analizarse a partir de dos componentes principales: la oferta y la demanda. La oferta está determinada por factores como la precipitación, la evapotranspiración y el balance hídrico de las cuencas, mientras que la demanda depende de los diferentes sectores usuarios y su nivel de consumo. En este sentido, la disponibilidad del recurso no puede evaluarse de forma aislada, sino como el resultado de la interacción entre estos dos elementos (Adamson-Badilla & Masís, 2010).

De acuerdo con estudios realizados en Costa Rica, el análisis del recurso hídrico requiere la estimación de las demandas por sector y la evaluación de la oferta disponible en las cuencas hidrográficas, lo que permite comprender su comportamiento bajo distintos escenarios climáticos y económicos. Este enfoque es fundamental para la gestión integrada del recurso hídrico, ya que permite identificar posibles desequilibrios entre la oferta y la demanda, así como proyectar condiciones futuras del recurso (Adamson-Badilla & Masís, 2010) .

Asimismo, el incremento en la demanda de agua asociado al crecimiento poblacional, el desarrollo urbano y la expansión de actividades productivas ha generado una mayor presión sobre las fuentes disponibles. Esta situación evidencia la necesidad de implementar estrategias que promuevan el uso eficiente del recurso hídrico, especialmente en sectores como la construcción, donde el consumo de agua es constante y, en muchos casos, poco controlado.

2.1.1 Disponibilidad del recurso hídrico en Costa Rica

Costa Rica es un país que cuenta con una importante disponibilidad de recurso hídrico, favorecida principalmente por su régimen de precipitaciones y su ubicación geográfica. Sin

embargo, esta disponibilidad presenta variaciones espaciales y temporales, lo que implica que no todas las regiones del país cuentan con las mismas condiciones de acceso al agua.

El análisis de la disponibilidad hídrica en el país se basa en la relación entre la oferta y la demanda del recurso. Por un lado, la oferta hídrica se determina mediante el balance hídrico, el cual considera variables como la precipitación, la evapotranspiración y el escurrimiento. Por otro lado, la demanda se relaciona con el consumo de agua por parte de distintos sectores, tales como el consumo humano, la agricultura, la industria, el turismo y la generación de energía (Adamson-Badilla & Masís, 2010).

Según el estudio realizado por el Centro de Estudios Económicos y Ambientales (CIESA), la estimación de la disponibilidad hídrica en Costa Rica se desarrolla a partir del análisis de diferentes escenarios climáticos, incluyendo condiciones normales, secas y lluviosas. Esto permite identificar la variabilidad del recurso y evaluar su comportamiento ante posibles cambios en las condiciones climáticas, lo cual es especialmente relevante en el contexto del cambio climático (Adamson-Badilla & Masís, 2010).

Adicionalmente, el estudio señala que la demanda de agua en el país ha mostrado un crecimiento asociado al desarrollo económico y al incremento de actividades productivas, lo que genera una mayor presión sobre las fuentes hídricas. Esta situación resalta la importancia de implementar medidas de gestión que permitan optimizar el uso del agua y reducir su consumo, especialmente en sectores que presentan altos niveles de demanda, como es el caso del sector construcción.

En este contexto, la gestión eficiente del recurso hídrico en Costa Rica requiere no solo el conocimiento de su disponibilidad, sino también la implementación de estrategias que permitan un uso más sostenible del agua, tales como la captación de aguas pluviales y la reutilización de aguas residuales, las cuales representan alternativas viables para disminuir la presión sobre las fuentes tradicionales.

2.1.2 Importancia del agua en el desarrollo urbano.

El agua constituye uno de los recursos naturales más importantes para el desarrollo de las sociedades y el funcionamiento de las ciudades. En el ámbito urbano, el abastecimiento de agua potable es fundamental para garantizar condiciones adecuadas de salud, higiene y calidad de vida en la población.

El crecimiento poblacional y la expansión de las zonas urbanas han incrementado la demanda de agua potable ONU-Hábitat (2018), lo que ha generado presión sobre las fuentes naturales de abastecimiento. A esta situación se suman los efectos del cambio climático, que han provocado alteraciones en los patrones de precipitación y periodos de sequía más prolongados en diversas regiones.

Ante este escenario, se ha vuelto necesario promover estrategias que permitan optimizar el uso del recurso hídrico en las edificaciones, especialmente en el sector residencial, donde se concentra una parte importante del consumo de agua.

2.1.3 Consumo de agua en edificaciones residenciales

El consumo de agua en viviendas está asociado a diversas actividades domésticas, tales como la higiene personal, la limpieza del hogar, el lavado de ropa y la descarga de sanitarios García & López (2021).

Diversos estudios han estimado la distribución promedio del consumo de agua en una vivienda:

Cuadro 2. Porcentajes consumo de agua

Uso de agua	% aproximado
Duchas	25-30
Inodoros	30-35
Lavamanos	15-20
Lavadora	10-15
Otros usos	5-10

Fuente: Guía para el uso eficiente del agua, AyA (s.f.)

Estos datos evidencian que una parte significativa del consumo de agua potable se destina a actividades que no requieren agua con calidad potable, lo que abre la posibilidad de utilizar fuentes alternativas como agua de lluvia o aguas residuales tratadas.

2.2 Definición de aguas residuales

En Costa Rica, según el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N.o 33601, las aguas residuales son todas aquellas que han recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes físicos, químicos y bilógicos. Además, las aguas residuales pueden ser clasificadas según el uso a las cuales fueron sometidas: cuando es agua producto de usos domésticos se clasifica como agua residual de tipo ordinaria y cuando son aguas producto de usos distintos a los domésticos, como por ejemplo aguas producto de usos dentro de un centro hospitalario, serán clasificadas como aguas residuales de tipo especiales (Poder Ejecutivo, 2007).

2.2.1 Características de las aguas residuales

Las aguas residuales están compuestas, principalmente, por 99 % de agua y un 1 % de sólidos disueltos, suspendidos o coloidales. Verter aguas residuales sin tratar o con tratamiento inadecuado genera consecuencias que se clasifican en tres grupos, esto según el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (2017): efectos nocivos para la salud humana, efectos ambientales negativos y repercusiones desfavorables para las actividades económicas (ONU, 2017). El objetivo final de una debida gestión y tratamiento del agua residual es el control y la regulación de sus diversos flujos.

2.2.2 Contaminantes del agua residual

Los contaminantes del agua residual en función de la calidad o las características del agua se clasifican en físicos, químicos y biológicos. Estas impurezas, por el lado de las características químicas, deben su origen a contaminantes orgánicos e inorgánicos. Los contaminantes orgánicos dan como resultado la disminución del oxígeno, producto de la degradación biológica de los compuestos. En el caso de los contaminantes inorgánicos, el resultado es su posible efecto tóxico. La degradación biológica de sustancias orgánicas produce ácidos grasos, carbohidratos, aminoácidos e hidrocarburos; y las sustancias inorgánicas, en el caso de metales tóxicos, material

particulado como arcillas y sedimentos y microorganismos como bacterias y protozoos (Universidad Nacional, 2011).

2.2.3 Generalidades del tratamiento de agua residual

De los 52 000 000 de metros cúbicos día de aguas residuales que se recolectan en América Latina, se estima que solamente 3 100 000 metros cúbicos día, o el 6 %, reciben tratamiento adecuado antes de ser dispuestos en cuerpos de agua; son muy escasos los casos de estudio de reúsos de aguas residuales existentes (Oakley y Salguero, 2011).

En la actualidad, las aguas residuales son vistas como un recurso no muy valioso; incluso, y con mucha frecuencia, se ven como una carga que debe eliminarse o una molestia que debe ignorarse. Esta percepción debe cambiar para reflejar correctamente su valor: las aguas residuales son una fuente potencialmente accesible y sostenible de agua para diferentes usos, según la perspectiva desde la que se vea o el uso que se les quiera dar, como por ejemplo producción de energía, nutrientes en cultivos, materia orgánica utilizable como abonos naturales y otros subproductos útiles (Smith, 2019).

Una adecuada gestión de las aguas residuales, como la reutilización segura del agua y otros como recuperación de cuerpos de agua altamente alterados, ofrece muchas oportunidades para el medio ambiente: “Esto es especialmente cierto en el contexto de una economía circular, donde el desarrollo económico se equilibra con la protección de los recursos y la sostenibilidad ambiental, y donde una economía más limpia y sostenible tiene un efecto positivo en la calidad del agua” (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2017, párr. 3).

2.3 Parámetros del agua residual para reúso

Actualmente, en Costa Rica se cuenta con el Decreto N.o 33601-MINAE-S Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, el cual es el marco regulatorio de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Además, este tiene como objetivo la protección de la salud pública y del ambiente, a través de una gestión ambientalmente adecuada de las aguas residuales.

El Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, en su artículo 27, habla de las condiciones en las cuales se permite el reúso, e indica que “se permitirá el reúso de aguas residuales tratadas de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas

de Tratamiento de Aguas Residuales vigente" (Poder Ejecutivo, 2007). Además, dicho artículo es muy enfático al indicar que en ningún caso se podrán utilizar estas aguas tratadas para el consumo humano.

2.3.1 Parámetros universales de análisis obligatorio

En todas las aguas residuales de tipo ordinario se deberán analizar los siguientes parámetros universales, según legislación vigente en Costa Rica (Poder Ejecutivo, 2007):

a) Caudal: Volumen de un líquido que pasa por un punto en un tiempo determinado.

b) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

c) Demanda Química de Oxígeno (DQO): Determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

d) Potencial de hidrógeno (pH): Parámetro que indica la concentración de iones de hidrógeno.

e) Grasas y aceites (GyA).

f) Sólidos sedimentables (SSed): Materiales de cualquier tamaño que no se mantienen suspendidos.

g) Sólidos suspendidos totales (SST): Materiales de cualquier tamaño que se mantienen suspendidos.

h) Sustancias activas al azul de metileno (SAAM).

i) Temperatura (T).

2.3.2 Parámetros de análisis obligatorio para el reúso de aguas residuales ordinarias

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de análisis obligatorio para el reúso de aguas residuales ordinarias serán los siguientes, según legislación vigente en Costa Rica (Poder Ejecutivo, 2007):

a) Caudal. “El término caudal significa: volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado. Un caudal se calcula mediante la siguiente fórmula: Q=V/t, siendo Q (caudal), V (volumen) y t (tiempo). Normalmente se mide el volumen en litros y el tiempo en segundos” (Valdivielso, 2010, párr. 2-3).
b) Coliformes fecales (CF). Es un “subgrupo de bacterias coliformes totales que se encuentran en grandes cantidades en los intestinos y excremento de los humanos y animales” (North Carolina Public Health, 2009, párr. 1). Se utilizan como indicadores de microorganismos que pueden estar presentes en el agua y causar enfermedades.
c) Nematodos intestinales (NI). “son parásitos que infectan frecuentemente al hombre y a sus animales domésticos. Cuando el hospedador se infecta, a menudo por ingestión de huevos infecciosos, el parásito se establece en su nicho intestinal” (Else, 2016, párr. 1). Pueden representar una problemática muy alta al necesitarse solo un huevo para infectar a las personas, por lo que se debe controlar la presencia de este parámetro.

2.3.3 Límites máximos para el reúso de aguas residuales ordinarias

Cualquier agua residual ordinaria que sea reusada deberá cumplir con las características microbiológicas establecidas en el siguiente cuadro 3 dado a continuación.

Cuadro 3. Límites máximos permisibles para el reúso de aguas residuales ordinarias

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES ORDINARIAS		
TIPO DE REÚSO	**PARÁMETROS**	
	Nematodos intestinales (promedio aritmético Coliformes Fecales N.º De huevos por litro)	(NMP/100 mL)
Tipo 1	1	1 000
Tipo 2	1	10 000
Tipo 3	1	1 000[2]
Tipo 4	1	10 000[3]
Tipo 5	1	_ _ _ _[4]
Tipo 6	1	10 000

Tipo 7	1	_ _ _ _
Tipo 8	1	1 000

Fuente: Poder Ejecutivo (2007).

2.3.4 Mediciones rutinarias y análisis periódicos

Es importante destacar que, según el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales lo que son parámetros de análisis obligatorios se dividirán en dos grupos, entre los cuales el primero será los muestreos, mediciones y análisis rutinarios, mismos que pueden ser efectuados por personal capacitado o bien el operar de la PTAR, o si se gusta un laboratorio habilitado. El según grupo serán los muestreos, mediciones y análisis periódicos, los cuales únicamente pueden y deben ser realizados por un laboratorio habilitado y acreditado en sus respectivos ensayos (Poder Ejecutivo, 2007, p. 53).

Las frecuencias mínimas de muestreo y análisis de aguas residuales de tipo ordinario serán con base en el caudal de los efluentes de sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario; para caudales superiores a 100 metros cúbicos día la medición rutinaria será mensual y para caudales inferiores a 100 metros cúbicos día la medición rutinaria será semanal. En lo que respecta a análisis periódicos, para caudales superiores a 100 metros cúbicos día la medición rutinaria será semestral y para caudales inferiores a 100 metros cúbicos día la medición será trimestral (Poder Ejecutivo, 2007).

Por otro lado, las aguas que serán reutilizadas, las mediciones rutinarias y los análisis periódicos tendrán frecuencias mínimas requeridas para la toma de muestras y la realización de los análisis de laboratorio para el control operativo del reúso de aguas residuales, tanto ordinarias como especiales, se hará tal y como se indica en siguiente cuadro 4.

Cuadro 4. Frecuencia de toma de muestra con base en el tipo de reúso.

PARÁMETRO	FRECUENCIA POR TIPO DE REÚSO		
	Tipos 1, 3 y 6	**Tipos 2, 4 y 5**	**Tipos 7 y 8**
Mediciones Rutinarias: Caudal. pH. Sólidos Sedimentables. Temperatura.	Quincenal	Mensual	Trimestral
Análisis Periódico: Caudal. pH. Sólidos Sedimentables. Temperatura. Demanda Bioquímica de Oxígeno Demanda Química de Oxígeno Grasas y aceites. Sólidos suspendidos Totales. Coliformes fecales. Nematodos intestinales.	De acuerdo a la frecuencia definida para el reporte operacional		

Fuente: Poder Ejecutivo (2007).

2.4 Disposición de las aguas residuales tratadas

2.4.1 Vertido a cuerpo de agua

Un vertido a cuerpo de agua se da cuando la planta de tratamiento tiene la posibilidad de verter sus aguas a un cauce de dominio público de flujo permanente. Un cauce de dominio público será un río, quebrada, arroyo, manglar, humedal, mar abierto, entre otras categorías.

El tipo de cuerpo de agua de dominio público y su caracterización (permanente o intermitente) está delimitado en la cartografía nacional; cuando existan dudas de ambas, se podrá tramitar ante la Dirección de Agua la solicitud de dictamen de cuerpo de agua, con el fin de definir si el cuerpo de agua es del dominio público y además su caracterización (permanente o intermitente) (Dirección de Agua, 2021).

Es importante mencionar que los permisos de vertido a cauce de dominio público en Costa Rica son tramitados ante la Dirección de Agua, dependencia del Ministerio de Ambiente y Energía, pero cuando el vertido se quiera realizar a un humedal o manglar, debidamente delimitado dentro de categoría de Área Silvestre Protegida, se deberá realizar una audiencia en la oficina Subregional del Área de Conservación, Sistema Nacional de Áreas de Conservación respectiva (Dirección de Agua, 2021).

2.4.2 Vertido al alcantarillado sanitario

El alcantarillado sanitario está defino dentro el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales Decreto N.o 33601-MINAE-S como una red pública de tuberías que se utilizan para recolectar y transportar las aguas residuales hasta su punto de tratamiento y vertido (Poder Ejecutivo, 2007). En Costa Rica, los alcantarillados sanitarios son administrados por el Ente Administrador de Alcantarillado Sanitario (EAAS). Entre los que se pueden mencionar están el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Municipalidades, Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios, Servicios Públicos de Heredia, entes privados, entre otros. Los parámetros universales de análisis obligatorio de cualquier agua residual que sea vertida en un alcantarillado sanitario deberán cumplir con los límites señalados en la tabla 5 (Poder Ejecutivo, 2007).

Cuadro 5. Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio.

Parámetro	Límite Máximo
DBO	300 mg/L
DQO	750 mg/L
Sólidos suspendidos	300 mg/L
Sólidos sedimentables	5 ml/l
Grasas/aceites	50 mg/L
Potencial hidrógeno	6 a 9
Temperatura	15°C≤T ≤ 40°C
Sustancias activas al azul de metileno	5 mg/L

Fuente: Poder Ejecutivo (2007).

2.4.3 Reutilización del agua tratada

El reúso de agua residual, en palabras muy sencillas, será el aprovechamiento de un efluente para diversos fines, siempre y cuando estén autorizados. Es lastimoso, pero en Costa Rica no se cuenta con un registro o estudios en relación con cuánta agua se reutiliza en el país por año, dato que se encuentra en manos del Ministerio de Salud, ente encargo de regular y aprobar los diferentes reúsos.

2.5 Valor económico del agua residual

Aunque la valoración económica de la gestión de aguas residuales es compleja, sigue siendo una herramienta importante para orientar a los responsables de las políticas y a los inversionistas a tomar las mejores decisiones informadas. Un análisis financiero de la gestión de aguas residuales analiza su oferta y demanda público-privadas y puede sustentar la toma de decisiones desde el punto de vista de un operador privado o de una planta de tratamiento administrada por los entes públicos autorizados. Un análisis económico del agua residual puede analizar los costos y beneficios más amplios para la sociedad y proporciona información para que las políticas públicas apoyen las mejoras en la gestión de las aguas residuales.

La recolección, el tratamiento y el vertimiento o reúso adecuado de las aguas residuales pueden generar importantes beneficios ambientales y para la salud de un país. Sin embargo, debido a que algunos de estos beneficios no tienen un precio de mercado, tradicionalmente no han sido

considerados en el análisis financiero de los proyectos de tratamiento de aguas residuales; por lo tanto, se han subestimado los beneficios totales (Jaramillo, 2007). Varias metodologías permiten la valoración de la oferta y la demanda en la gestión adecuada de aguas residuales; este proyecto que plantea un reúso de las aguas residuales busca dar un valor agregado a nivel económico a esa agua residual, que minuto a minuto es vertida a un cuerpo de agua y que no genera mayor impacto en el medio.

2.6 Análisis de la regulación aplicable en materia de vertido de aguas residuales

Actualmente, en el país se cuenta con una institucionalidad que ha permitido que los niveles de cobertura de saneamiento sean altos con respecto a otros países de Latinoamérica. Además, cada institución tiene debidamente reglamentado su accionar en el tema del saneamiento.

2.6.1 Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Decreto N.o 39887-S-MINAE

El presente reglamento tiene como principal objetivo proteger la salud pública y el ambiente, mediante una gestión racional y ambientalmente adecuada de las aguas residuales (Poder Ejecutivo, 2018). Tendrá su aplicabilidad en lo que corresponde al manejo de las aguas residuales que, independientemente de su origen, sean vertidas o reutilizadas en cualquier parte del país.

Para construir y operar un sistema de tratamiento de aguas residuales, con la única excepción de los tanques sépticos unifamiliares que infiltren en el terreno, es fundamental que el interesado cuente con los permisos de ubicación y de construcción, que deberán ser tramitados en la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud.

EI permiso de ubicación de una PTAR deberá solicitarse ante la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud, mediante nota acompañada con la razón de ser más importante del proyecto, que será la disposición final propuesta para las aguas residuales tratadas (Poder Ejecutivo, 2018). Además, es importante recordar que el vertido se puede realizar en un alcantarillado sanitario, infiltración en el terreno, vertido en un medio receptor del dominio público (de ser necesario con la fuente dictaminada), descarga mediante emisario submarino, reúso y evaporación. Dicho permiso tendrá una vigencia de un año a partir de la fecha de expedición.

2.6.2 Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales Decreto N.o 33601-MINAE-S

El Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales tiene por objetivo la protección de la salud pública y del ambiente, a través de una gestión ambientalmente adecuada de las aguas residuales. Es de suma importancia destacar que todo ente generador (proyecto que produzca agua residual) deberá dar el debido tratamiento a sus aguas residuales para que cumplan con las disposiciones del reglamento en mención y se eviten así perjuicios al ambiente y a la salud.

Dicho reglamento establece ciertos lineamientos de acatamiento obligatorio, como lo es confeccionar reportes operacionales, ningún ente generador está eximido de presentarlos (no considera como entes generadores a las viviendas unifamiliares). Los reportes deberán ser presentados periódicamente a la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud, cuando el efluente es vertido a un cuerpo receptor, alcantarillado sanitario o reusado (Poder Ejecutivo, 2007). Entiéndase que de ser viable el reúso propuesto del agua de la PTAR, se deberán realizar los respectivos trámites ante la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud.

Para efectos de un control y seguimiento del presente reglamento, en su artículo 6 se menciona la creación del Comité Técnico del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales,

el cual estará integrado por un máximo de dos representantes, titular y suplente, con una duración en sus cargos por espacio de dos años como mínimo, y de orientación técnica afín al contenido del presente reglamento, provenientes de cada una de las siguientes instituciones:

a) Ministerio de Salud.

b) Ministerio del Ambiente y Energía.

c) Ministerio de Agricultura y Ganadería.

d) Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

e) Consejo Nacional de Rectores.

f) Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.

g) Colegio de Químicos de Costa Rica.

h) Colegio de Ingenieros Químicos y Profesionales Afines de Costa Rica.

i) Colegio de Microbiólogos y Químicos Clínicos de Costa Rica.

j) Asociación Costarricense de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental.

k) Unión Costarricense de Cámaras y Asociaciones de la Empresa Privada.

l) Cámara Nacional de Agricultura y Agroindustria.

m) Federación Costarricense para la Conservación del Ambiente.

n) Colegio de Biólogos de Costa Rica. (Poder Ejecutivo, 2007)

En el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, en su artículo 28, se detallan los tipos de reúso y se clasifican según los siguientes tipos:

- Tipo 1: Reúso urbano. Riego de zonas en donde haya acceso del público (por ejemplo, en zona verdes, campos de golf, parques, plazas deportivas y cementerios), lavado de automóviles, inodoros, combate de incendios y otros usos con similar acceso o exposición al agua.

- Tipo 2: Riego con acceso restringido. Cultivo de césped, silvicultura y otras áreas donde el acceso del público es prohibido o restringido.

- Tipo 3: Reúso agrícola en cultivos de alimentos que no se procesan previo a su venta. Riego superficial o por aspersión de cualquier cultivo comestible que no se procese previo a su venta, incluyendo aquellos que se consumen crudos.

- Tipo 4: Reúso agrícola en cultivos de alimentos que se procesan previo a su venta. Riego de cultivos que, previo a su venta al público, han recibido el procesamiento físico o químico necesario para la destrucción de los organismos patógenos que pudieran contener.

- Tipo 5: Reúso agrícola en cultivos no alimenticios. Riego de pastos de piso, forrajes, cultivos de fibras y semillas, y otros cultivos no alimenticios.

- Tipo 6: Reúso recreativo. Reúso en cuerpos de agua artificiales donde pueda existir un contacto ocasional (por ejemplo: pesca, canotaje y navegación).

- Tipo 7: Reúso paisajístico. Aprovechamientos estéticos donde el contacto con el público no es permitido, y dicha prohibición esté claramente rotulada.

- Tipo 8: Reúso en la construcción. Compactación de suelos, control del polvo, lavado de materiales, producción de concreto. (Poder Ejecutivo, 2007)

El reúso que se plantea desarrollar en el presente trabajo es el tipo 1 y de tipo 8, al estudiar su factibilidad con las aguas residuales tratadas de la PTAR, por medio de un análisis de condiciones técnicas y legales.

El Permiso Sanitario de Funcionamiento es un requisito indispensable para que una PTAR pueda operar; una vez iniciada su operación, todo ente generador que descargue sus aguas residuales a cuerpos receptores, alcantarillados sanitarios o las reúse, tendrá un plazo de tres (3) meses para presentar su primer reporte operacional ante el Ministerio de Salud y la renovación del permiso sanitario de funcionamiento, independientemente de la disposición de las aguas residuales, es requisito haber presentado los reportes operacionales y haber cumplido con las disposiciones que establece este reglamento; así como contar con la certificación de la calidad del agua (Poder Ejecutivo, 2007).

2.6.3 Reglamento del canon ambiental por vertidos Decreto N.o 42128- MINAE-S

El Reglamento del canon ambiental por vertidos tiene como principal objetivo la regulación del canon por uso del recurso hídrico para verter sustancias contaminantes; se fundamenta en el principio base de que quien contamina paga, sin excepción alguna. Además, este reglamento pretende el objetivo social de alcanzar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, de conformidad con lo establecido en el artículo 50 de la Constitución Política, a través del cobro de una contraprestación en dinero a quienes usen el servicio ambiental de los cuerpos de agua de dominio público para introducir, transportar y eliminar desechos líquidos originados en el vertimiento puntual (Poder Ejecutivo, 2008).

Es importante resaltar que, para efectos del presente trabajo, se busca un reúso total o parcial del agua de la, por lo cual se planteará una reducción o exoneración del canon ambiental por

vertidos. Lo antes mencionado se sustenta en el artículo 24 del reglamento, que indica explícitamente que "Quedan exoneradas del permiso de vertidos todas aquellas personas físicas o jurídicas, públicas o privadas, cuyas aguas residuales sean:

a. Descargadas en un alcantarillado sanitario.
b. Reusadas según lo establecido en el Reglamento que regula el vertido y uso de aguas residuales.
c. Descargadas a un tanque séptico con drenaje para infiltración al subsuelo.
d. Entregadas a un tercero para su tratamiento y vertimiento final.
e. Aquella disposición de aguas residuales en un medio diferente a un cuerpo de agua, previa autorización del Ministerio de Salud, según directriz o decreto emitido pata tal efecto (Poder Ejecutivo, 2008).

2.6.4 Política Nacional de Saneamiento

La Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales se convierte en el primer referente para definir lo que se espera del sector en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales plantean, entre otras cosas, garantizar que las aguas residuales no afecten el medio ambiente gracias al uso de sistemas de tratamientos individuales o colectivos.

Según indica el AyA (2006), la Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales (PNSAR) se constituye en la propuesta de intervención del Estado y sus instituciones que orienta, propone e implementará un conjunto de acciones para asegurar el desarrollo pleno y la calidad de vida de los habitantes del país, procurando resolver problemas públicos relevantes, como es el saneamiento de las aguas residuales, por medio de la toma de decisiones con visión de corto, mediano y largo plazo. (p. 13)

Según se menciona, en la política existen diversos entes que operan o brindan el servicio de tratamiento de aguas residuales dentro del territorio nacional. En lo que respecta al trato de las aguas residuales ordinarias, se señalan: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Servicios Públicos de Heredia, Municipalidades y ASADAS (AyA, MINAE y MS, 2016). En cuanto al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado, opera al menos 20 sistemas de tratamiento de aguas residuales (hay varios sistemas en proceso de recepción), pero en ninguno de todos los sistemas se menciona que el reúso sea la disposición final.

En la Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales, se mencionan algunos de los principales hallazgos que se desprenden del análisis de la problemática del agua residual en el país. Entre ellos destacan: desarticulación entre los roles y competencias de las instituciones del sector, fuertes limitaciones en la gestión de las aguas residuales, una insuficiente participación ciudadana, las coberturas de alcantarillado nacionales bajas, coberturas en tanques sépticos son altas, falta de sistemas adecuados de tratamiento, entre otros.

2.7 Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Para garantizar su reutilización segura, las aguas residuales deben someterse a procesos de tratamiento que reduzcan su carga contaminante. Estos tratamientos pueden variar en complejidad según el uso final del agua y las condiciones del proyecto (López & Martínez, 2020).

2.7.1 Sistemas de filtración

Los sistemas de filtración constituyen el método más básico de tratamiento. Consisten en la remoción de sólidos suspendidos mediante el paso del agua a través de medios filtrantes como grava, arena o filtros sintéticos. Este proceso permite retener partículas gruesas, cabellos y sedimentos, mejorando la calidad física del agua.

En algunos casos, se incorporan filtros de carbón activado para reducir olores, color y compuestos químicos disueltos. Estos sistemas son de fácil implementación y bajo costo, aunque requieren mantenimiento periódico para evitar la saturación de los materiales filtrantes.

2.7.2 Tratamiento biológico

El tratamiento biológico se basa en la acción de microorganismos que degradan la materia orgánica presente en el agua. Este proceso puede desarrollarse en sistemas como biofiltros, reactores aeróbicos o humedales artificiales.

Los humedales construidos, por ejemplo, utilizan plantas acuáticas y sustratos naturales para favorecer la actividad microbiana, logrando una depuración más eficiente del agua. Este tipo de tratamiento permite reducir significativamente la DBO, los sólidos suspendidos y algunos contaminantes químicos, produciendo un efluente de mejor calidad para su reutilización.

En sistemas más completos, el tratamiento puede incluir etapas adicionales como desinfección (mediante cloración o radiación ultravioleta), especialmente cuando el agua será utilizada en aplicaciones con mayor riesgo de contacto humano.

2.7.3 Sedimentación

La sedimentación es un proceso en el cual las partículas más pesadas presentes en el agua se depositan en el fondo de un tanque debido a la acción de la gravedad. Este método permite separar sólidos suspendidos que no fueron retenidos en la etapa de filtración.

Generalmente se realiza en tanques o cámaras de sedimentación, donde el agua permanece en reposo durante un tiempo determinado para facilitar la decantación de los sólidos. Es un proceso sencillo que contribuye a mejorar la calidad del agua antes de su tratamiento posterior.

2.7.4 Desinfección

La desinfección es una etapa final del tratamiento que tiene como objetivo eliminar o inactivar microorganismos patógenos que puedan estar presentes en el agua. Este proceso es especialmente importante cuando existe riesgo de contacto humano. Entre los métodos más utilizados se encuentran la cloración y la radiación ultravioleta (UV). La desinfección no elimina sólidos ni materia orgánica, por lo que debe aplicarse después de las etapas previas de tratamiento.

2.8 Usos y aplicaciones de las aguas residuales tratadas

Una vez tratadas, las aguas residuales pueden ser reutilizadas en diversas actividades que no requieren agua potable, contribuyendo a la optimización del recurso hídrico dentro de la edificación (Smith, 2019).

2.8.1 Descarga de inodoros

El uso de aguas residuales para la descarga de sanitarios representa uno de los mayores potenciales de ahorro, ya que esta actividad puede constituir entre un 25% y 35% del consumo

total de agua en una vivienda. Su implementación permite reducir significativamente el uso de agua potable en actividades de bajo requerimiento sanitario.

2.8.2 Riego de jardines

El agua tratada puede utilizarse en el riego de áreas verdes, siempre que cumpla con condiciones mínimas de calidad. Es recomendable evitar el riego por aspersión en este caso, priorizando sistemas por goteo o infiltración para minimizar el contacto directo con las personas.

2.8.3 Limpieza de exteriores

Las aguas residuales pueden emplearse en actividades como el lavado de patios, aceras, parqueos y otras superficies exteriores, donde no se requiere agua de calidad potable.

2.9 Sistemas de captación de aguas pluviales

La captación de aguas pluviales es una estrategia que permite aprovechar el agua proveniente de la precipitación para su uso en distintas actividades donde no se requiere agua potable. Este sistema consiste en la recolección, conducción y almacenamiento del agua de lluvia, generalmente a través de superficies como techos, canaletas y sistemas de almacenamiento (MINAE, 2020).

En el contexto de la construcción sostenible, la captación de aguas pluviales representa una alternativa eficiente para reducir la dependencia de fuentes tradicionales de abastecimiento. De acuerdo con Castillo (2021), la incorporación de prácticas sostenibles en la construcción busca minimizar el impacto ambiental mediante el uso eficiente de los recursos, dentro de los cuales el agua ocupa un papel fundamental.

Por lo tanto, la captación de aguas pluviales se presenta como una estrategia viable para optimizar el uso del recurso hídrico, especialmente en regiones con alta precipitación, donde su implementación puede generar un impacto significativo en la reducción del consumo de agua potable.

Generalmente, estos sistemas están compuestos por los siguientes elementos:

Área de captación (techos o cubiertas)

Sistema de conducción (canaletas y tuberías)

Sistema de filtrado

Tanque de almacenamiento

Sistema de distribución

El aprovechamiento de agua de lluvia puede reducir significativamente el consumo de agua potable en actividades como:

Riego de jardines

Limpieza de áreas comunes

Descarga de sanitarios

2.9.1 Cálculo del volumen de captación de agua de lluvia

Para estimar el volumen potencial de agua que puede captarse se utiliza la siguiente fórmula:

$V=P \times A \times CV$

Donde:

V = volumen de agua captada (m^3)

P = precipitación media (m)

A = área de captación (m^2)

CV = coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía depende del tipo de superficie del techo.

Cuadro 6. Coeficiente de escorrentía.

Tipo de superficie	Coeficiente
Teja	0.80 - 0.90
Concreto	0.70 – 0.80
Metal	0.90 – 0.95

Fuente: García & López (2021).

Esta fórmula permite estimar la cantidad de agua de lluvia que puede ser aprovechada en una edificación durante un periodo determinado.

2.10 Métodos de tratamiento para limpieza del agua de lluvia captada

2.10.1. Filtración

La filtración es un proceso de separación sólido-líquido que se utiliza en los sistemas de tratamiento de agua para disminuir la concentración de sólidos suspendidos (partículas) que se encuentran en ella. Existen varios tipos de filtros y cada uno de ellos tiene su aplicación dependiendo del tamaño y concentración de partículas que a retener. (Carbotecnia, 2023)

2.10.2 Cloración

La cloración se puede realizar mediante gas cloro licuado, solución de hipoclorito sódico, gránulos de hipoclorito cálcico (pastilla) y por medio de generadores de cloro in situ. La finalidad principal de la cloración es la desinfección microbiana. (Zúñiga & Samperío, 2019)

2.10.3 Adición de carbón activado granular

El uso del carbón activado en el tratamiento del agua para consumo humano ha sido ampliamente investigado primordialmente con interés para la remoción de contaminantes orgánicos en el abastecimiento de agua. (Arana, 2016)

2.10.4 Purificación con luz ultravioleta

Según Álvarez y López (2018), el tratamiento y desinfección de agua a través de luz ultravioleta, garantiza la eliminación de patógenos entre un 99.9% y el 99.99%. Para lograr esto,

la luz ultravioleta debe poder atravesar perfectamente el flujo de agua a tratar. La luz UV no cambia las propiedades del agua, es decir, no altera químicamente la estructura del fluido a tratado.

2.11 Componentes de un sistema de aprovechamiento de agua

Un sistema de aprovechamiento de agua pluvial está conformado por un conjunto de elementos interrelacionados que permiten captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir el agua de lluvia para su uso posterior. La correcta integración y diseño de estos componentes es fundamental para garantizar la eficiencia, funcionalidad y durabilidad del sistema, especialmente cuando se pretende incorporarlo dentro de un proyecto arquitectónico o de ingeniería.

A continuación, se describen los principales componentes que conforman un sistema completo:

2.11.1 Superficie de captación

La superficie de captación es el área donde se recoge el agua de lluvia, siendo comúnmente las cubiertas o techos de las edificaciones. Este componente es determinante en la cantidad de agua que puede recolectarse, ya que depende de su extensión, pendiente y material.

Materiales como láminas metálicas, tejas o superficies impermeables favorecen una mayor eficiencia de captación, mientras que superficies porosas o con alta rugosidad pueden generar pérdidas. Además, es importante considerar la limpieza de esta superficie para evitar la contaminación del agua recolectada.

2.11.2 Canaletas

Las canaletas son elementos instalados en los bordes de la cubierta que permiten recolectar y conducir el agua de lluvia hacia los puntos de bajada. Su diseño debe garantizar una adecuada pendiente para evitar estancamientos y posibles desbordamientos.

Generalmente están fabricadas en materiales como PVC, aluminio o acero galvanizado, y deben dimensionarse en función de la intensidad de lluvia y el área de captación.

2.11.3 Bajantes

Los bajantes son tuberías verticales encargadas de transportar el agua desde las canaletas hasta los sistemas de filtración o almacenamiento. Su ubicación y diámetro deben diseñarse para manejar adecuadamente el caudal generado durante eventos de lluvia intensa.

Es recomendable incluir elementos como rejillas o dispositivos de primera descarga para evitar el ingreso de sólidos gruesos o contaminantes iniciales al sistema.

2.11.4 Filtros

Los filtros tienen la función de remover impurezas presentes en el agua captada, tales como hojas, polvo, sedimentos y otros residuos. Pueden ser de distintos tipos, desde filtros simples de malla hasta sistemas más complejos con múltiples etapas de filtración.

Esta etapa es fundamental para mejorar la calidad del agua y proteger los componentes posteriores del sistema, como el tanque de almacenamiento y las bombas.

2.11.5 Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento es el elemento donde se acumula el agua recolectada para su uso posterior. Puede ser elevado, superficial o subterráneo, dependiendo de las condiciones del proyecto. Su capacidad debe definirse con base en el volumen de captación, la demanda de agua y la frecuencia de lluvias. Además, debe contar con sistemas de rebose, ventilación y acceso para limpieza y mantenimiento.

2.11.6 Sistema de bombeo

El sistema de bombeo se utiliza cuando el agua almacenada no puede distribuirse por gravedad. Este componente permite impulsar el agua hacia los puntos de consumo dentro de la edificación.

La selección de la bomba debe considerar factores como la altura de elevación, el caudal requerido y la presión necesaria. En algunos casos, se incorporan sistemas automáticos que regulan su funcionamiento según la demanda.

2.11.7 Red de distribución

La red de distribución es el conjunto de tuberías que transporta el agua desde el tanque de almacenamiento hasta los puntos de uso, como inodoros, sistemas de riego o áreas de limpieza.

Es importante que esta red sea independiente de la red de agua potable para evitar contaminaciones cruzadas. Asimismo, debe estar correctamente señalizada y diseñada conforme a las normativas vigentes.

2.11.8 Importancia en el diseño del sistema

El conocimiento y correcta definición de estos componentes permite desarrollar propuestas técnicas integrales que pueden ser representadas en planos constructivos, facilitando su implementación en proyectos reales. Además, este apartado sirve como base para el desarrollo del diseño del sistema de aprovechamiento de aguas pluviales planteado en la investigación.

2.12 Criterios de diseño de sistemas de captación

El diseño de un sistema de captación de aguas pluviales requiere la definición de criterios técnicos que garanticen su eficiencia, funcionalidad y viabilidad dentro del proyecto. Estos criterios permiten establecer parámetros de diseño que posteriormente se traducen en cálculos hidráulicos, dimensionamiento de componentes y representación en planos constructivos.

A continuación, se describen los principales criterios que deben considerarse en el diseño de estos sistemas:

2.12.1 Pendiente de canaletas

La pendiente de las canaletas es un aspecto fundamental para asegurar el flujo adecuado del agua captada desde la superficie de cubierta hacia los bajantes. Una pendiente insuficiente puede generar estancamientos, acumulación de sedimentos y desbordamientos, mientras que una pendiente excesiva puede provocar velocidades altas que reduzcan la eficiencia de captación.

En términos generales, se recomienda diseñar las canaletas con pendientes mínimas que permitan el escurrimiento continuo del agua por gravedad, garantizando su evacuación eficiente durante eventos de lluvia intensa. Este criterio debe integrarse con el análisis de la intensidad de precipitación y el área de captación.

2.12.2 Capacidad del tanque de almacenamiento

La capacidad del tanque es uno de los elementos más importantes del sistema, ya que define la cantidad de agua que puede almacenarse para su uso posterior. Su dimensionamiento debe basarse en un equilibrio entre el volumen de agua captada y la demanda del usuario.

Para su cálculo se consideran variables como:

a. Área de captación
b. Precipitación media de la zona
c. Coeficiente de escorrentía
d. Consumo estimado de agua no potable

Un tanque sobredimensionado puede implicar costos innecesarios, mientras que uno subdimensionado limita la eficiencia del sistema. Por lo tanto, su diseño debe responder a criterios técnicos y condiciones específicas del proyecto.

2.12.3 Sistema de filtrado

El sistema de filtrado es esencial para garantizar la calidad del agua recolectada y proteger los componentes del sistema. Su diseño debe considerar el tipo y cantidad de contaminantes esperados, así como el uso final del agua.

En sistemas básicos, se emplean filtros de malla o rejillas para retener sólidos gruesos. En diseños más completos, se incorporan filtros de arena, grava o dispositivos de primera descarga que eliminan los contaminantes iniciales arrastrados por la lluvia.

La selección del sistema de filtrado debe equilibrar eficiencia, costo y facilidad de mantenimiento, especialmente en proyectos residenciales.

2.12.4 Distribución del agua

La distribución del agua almacenada debe diseñarse en función del tipo de uso previsto dentro de la edificación. Este criterio incluye la definición de la red de tuberías, presión requerida y puntos de consumo.

En sistemas donde la topografía lo permite, se prioriza la distribución por gravedad mediante tanques elevados. En caso contrario, se requiere la incorporación de sistemas de bombeo que aseguren el suministro adecuado.

Además, es indispensable que la red de agua pluvial sea independiente de la red de agua potable, con el fin de evitar riesgos de contaminación cruzada. La correcta señalización y diferenciación en planos es clave en este aspecto.

2.13 Sistemas de almacenamiento de agua

El almacenamiento del agua captada constituye un componente esencial dentro de los sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales, ya que permite regular la disponibilidad del recurso y garantizar su uso en periodos de baja precipitación. La correcta selección del tipo de tanque y su dimensionamiento influyen directamente en la eficiencia y funcionalidad del sistema.

2.13.1 Tipos de tanques de almacenamiento

Tanques elevados:

Los tanques elevados se ubican a una altura superior respecto al nivel de consumo, generalmente sobre estructuras o torres. Su principal ventaja es que permiten distribuir el agua por gravedad, reduciendo o eliminando la necesidad de sistemas de bombeo. Esto contribuye a un menor consumo energético y mayor confiabilidad en el suministro. Sin embargo, requieren una estructura resistente y pueden representar mayores costos constructivos.

Tanques superficiales:

Estos tanques se colocan directamente sobre el nivel del suelo. Son de fácil instalación, mantenimiento y acceso, lo que los hace una opción común en viviendas unifamiliares y proyectos de pequeña escala. No obstante, suelen requerir sistemas de bombeo para la distribución del agua y pueden estar más expuestos a variaciones térmicas o contaminación si no cuentan con protección adecuada.

Tanques subterráneos:

Los tanques subterráneos se instalan por debajo del nivel del terreno, lo que permite optimizar el uso del espacio superficial y mejorar la estética del proyecto. Además, mantienen una

temperatura más estable del agua y reducen la exposición a contaminantes externos. Como desventaja, presentan mayores costos de construcción, impermeabilización y mantenimiento, así como la necesidad de sistemas de bombeo para su operación.

2.13.2 Criterios para el dimensionamiento del tanque

El dimensionamiento adecuado del tanque de almacenamiento es fundamental para asegurar la eficiencia del sistema de captación de aguas pluviales. Este proceso debe considerar los siguientes factores:

Volumen de captación:

Se refiere a la cantidad de agua que puede recolectarse a partir de la superficie de captación (generalmente techos), en función del área disponible, el coeficiente de escorrentía y la intensidad de precipitación. Este valor permite estimar el potencial de abastecimiento del sistema.

Demanda de agua:

Corresponde al consumo requerido por los usuarios para usos específicos, como riego, descarga de inodoros, limpieza, entre otros. Es fundamental definir claramente los usos del agua pluvial para calcular el volumen necesario de almacenamiento.

Frecuencia de lluvias:

La distribución temporal de las precipitaciones influye directamente en el tamaño del tanque. En zonas con lluvias frecuentes, se pueden utilizar tanques de menor capacidad, mientras que en regiones con periodos prolongados de sequía se requiere mayor volumen de almacenamiento para garantizar el abastecimiento continuo.

Espacio disponible en la edificación:

Las condiciones físicas del proyecto determinan el tipo y tamaño del tanque que puede instalarse. Factores como el área disponible, la topografía del terreno y las restricciones constructivas influyen en la selección del sistema más adecuado.

2.14. Objetivos de desarrollo sostenible

2.14. 1 ¿Qué son los Objetivos de Desarrollo Sostenible?

El lento crecimiento económico mundial, las desigualdades sociales y la degradación ambiental característicos de la realidad actual presentan desafíos sin precedentes para la comunidad internacional. En efecto, existe un cambio de época: la opción de continuar con los mismos patrones de producción, energía y consumo ya no es viable, lo que hace necesario transformar el paradigma de desarrollo dominante en uno que lleve a la vía del desarrollo sostenible, inclusivo y con visión de largo plazo (Naciones Unidas, 2020).

Frente a estos desafíos, los 193 Estados Miembros de las Naciones Unidas, junto con un gran número de actores de la sociedad civil, el mundo académico y el sector privado, entablaron un proceso de negociación abierto, democrático y participativo, que resultó en la proclamación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, con sus Objetivos de Desarrollo Sostenible, en septiembre de 2015. La Agenda 2030, así como la Agenda de Acción de Addis Abeba de la Tercera Conferencia Internacional sobre la Financiación para el Desarrollo y el Acuerdo de París sobre cambio climático, aprobados por todos los Estados Miembros también en 2015, presentan una oportunidad sin igual para la región (Naciones Unidas, 2020).

2.14.2 Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento

El Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, propuesto por las Naciones Unidas, tiene como finalidad garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. Este objetivo se vincula directamente con la presente investigación, ya que promueve el uso eficiente del recurso hídrico y el aprovechamiento de fuentes alternativas en edificaciones en funcionamiento.

En el contexto del proyecto analizado, correspondiente a un conjunto habitacional ubicado en el cantón de Quepos, la implementación de sistemas de captación de aguas pluviales y reutilización de aguas residuales tratadas permite reducir la dependencia de agua potable en actividades que no requieren calidad para consumo humano, tales como la descarga de inodoros, el riego de áreas verdes y la limpieza de espacios comunes. De esta manera, se contribuye a una gestión más eficiente del recurso hídrico durante la fase operativa de la edificación.

Asimismo, el tratamiento adecuado de las aguas residuales generadas en la infraestructura permite su posible reúso conforme a la normativa vigente, disminuyendo la presión sobre las fuentes naturales y favoreciendo la sostenibilidad del sistema. Este enfoque se alinea con los principios del saneamiento seguro, orientados a la protección de la salud pública y del ambiente.

A nivel global, problemáticas como la escasez de recursos hídricos, la contaminación del agua y el acceso limitado a servicios de saneamiento continúan afectando el desarrollo de las poblaciones, especialmente en contextos vulnerables. Se estima que, para el año 2050, al menos una de cada cuatro personas vivirá en países afectados por escasez crónica de agua dulce (Naciones Unidas, 2020).

2.14.3 Metas del Objetivo 6

Entre las principales metas del Objetivo 6 que se relacionan con la presente investigación, se destacan las siguientes:

a. Mejorar la calidad del agua, mediante la reducción de la contaminación y el incremento del tratamiento y reúso de aguas residuales. Esta meta se vincula directamente con la propuesta de reutilización de aguas residuales tratadas en actividades operativas de la edificación.
b. Aumentar el uso eficiente del recurso hídrico, reduciendo el consumo de agua potable mediante la implementación de sistemas alternativos, como la captación de aguas pluviales.
c. Promover tecnologías de reutilización segura del agua, lo cual se refleja en la propuesta técnica de tratamiento y aprovechamiento de aguas residuales dentro del proyecto.

Estas metas evidencian la importancia de incorporar estrategias sostenibles en la gestión del agua a nivel local, contribuyendo al cumplimiento de compromisos globales en materia ambiental y de desarrollo sostenible (Naciones Unidas, 2020).

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación se orienta al análisis del consumo de agua en una edificación en funcionamiento, con el propósito de proponer estrategias que permitan optimizar el uso del recurso hídrico durante su fase operativa. En este sentido, se plantea la implementación de sistemas de captación de aguas pluviales y reutilización de aguas residuales, con el fin de reducir la dependencia de agua potable en actividades que no requieren calidad para consumo humano. A partir de este enfoque, el estudio busca no solo caracterizar el comportamiento del consumo de agua dentro de la edificación, sino también evaluar el potencial de aprovechamiento de fuentes alternativas y su impacto en la eficiencia del uso del recurso.

3.1 Tipo de investigación y enfoque

La investigación se clasifica como de tipo descriptiva–aplicada, ya que se basa en el análisis de una situación real para posteriormente plantear una propuesta técnica orientada a mejorar la eficiencia en el uso del agua. En este caso, el estudio se desarrolla a partir de una edificación habitacional ubicada en el cantón de Quepos, lo que permite identificar patrones de consumo y establecer criterios para la optimización del recurso hídrico en condiciones reales.

Asimismo, el enfoque metodológico es de carácter mixto, dado que integra tanto el análisis de datos cuantitativos como cualitativos. Desde la perspectiva cuantitativa, se realiza la estimación del consumo de agua potable, así como el cálculo del volumen potencial de captación de agua de lluvia y la generación de aguas residuales dentro de la edificación. Estos elementos permiten dimensionar técnicamente los sistemas propuestos y evaluar su impacto en la reducción del consumo. Por otra parte, el enfoque cualitativo se orienta a valorar la viabilidad de la propuesta, considerando aspectos como la factibilidad técnica, las condiciones de implementación y los beneficios ambientales asociados al uso eficiente del recurso hídrico, tal como se plantea en el enfoque metodológico inicial.

3.2 Consideración de variables e hipótesis

Las variables y la hipótesis de la investigación fueron definidas en el capítulo primero en función de los objetivos planteados. En el presente apartado, dichas variables se retoman como base para el desarrollo del análisis técnico, permitiendo evaluar el comportamiento del consumo

de agua en la edificación y el impacto de las estrategias propuestas. En este sentido, la investigación se orienta a determinar en qué medida la implementación de sistemas de captación de aguas pluviales y reutilización de aguas grises incide en la reducción del consumo de agua potable durante la fase operativa, manteniendo coherencia con el planteamiento general del estudio.

3.3 Fuentes de información

La investigación se fundamenta principalmente en el uso de fuentes de información secundarias, ya que se basa en datos teóricos, parámetros técnicos y criterios de diseño previamente establecidos en la literatura especializada. Entre estos se incluyen dotaciones de consumo de agua por persona, coeficientes de generación de aguas residuales y parámetros utilizados para el dimensionamiento de sistemas de captación, almacenamiento y tratamiento.

Asimismo, se recurre a documentos técnicos, normativa nacional, guías institucionales y artículos científicos relacionados con la gestión del recurso hídrico, la captación de aguas pluviales y la reutilización de aguas residuales. Esta información permite sustentar los cálculos realizados y garantizar que la propuesta se desarrolle bajo criterios técnicos adecuados, tal como se describe en el enfoque metodológico planteado.

3.4 Unidad de análisis, población y muestra

La unidad de análisis corresponde a una edificación habitacional ubicada en el cantón de Quepos, conformada por ocho apartamentos en funcionamiento, la cual se utiliza como caso de estudio para el desarrollo de la investigación. En este sentido, no se considera una población y muestra en el sentido estadístico tradicional, dado que el estudio no se basa en la aplicación de encuestas ni en la recolección de datos a partir de individuos.

Por el contrario, el análisis se centra en una edificación tipo, seleccionada de manera intencional por sus características, con el fin de estimar el consumo de agua y evaluar el potencial de implementación de sistemas de optimización del recurso hídrico. De esta manera, la “población” puede entenderse como el conjunto de edificaciones con características similares, mientras que la “muestra” corresponde al proyecto específico analizado, lo cual permite generar un modelo

aplicable a otros casos dentro del ámbito de la construcción, en concordancia con lo planteado metodológicamente.

3.5 Recolección de la información

Para el desarrollo de la presente investigación se recopiló información técnica, operativa, hidráulica y climática del conjunto residencial ubicado en el sector de Paquita, cantón de Quepos, provincia de Puntarenas, con el propósito de analizar el comportamiento del consumo hídrico y el potencial de aprovechamiento de fuentes alternativas de agua durante la fase operativa del proyecto.

La información fue obtenida mediante la revisión de las características físicas y funcionales de la edificación, así como del análisis de datos técnicos relacionados con el consumo de agua, la generación de aguas residuales y las condiciones climáticas de la zona de estudio.

En cuanto a la información general del proyecto, se recopilaron datos relacionados con la ubicación, distribución arquitectónica, cantidad de apartamentos, área construida y superficie efectiva de captación de cubierta. El proyecto corresponde a un conjunto residencial conformado por ocho apartamentos distribuidos en dos niveles, con un área aproximada de 225,33 m^2 por nivel y una superficie de captación cercana a 300 m^2.

Para el análisis hidráulico y sanitario se consideró una población de diseño estimada de 22 personas y una dotación de agua potable de 300 litros por persona por día (L/persona/día), obteniéndose un consumo aproximado de 6,6 m^3/día. Asimismo, se realizó una estimación de la generación de aguas grises y aguas negras, identificando un caudal potencial de reutilización de aguas grises cercano a 3,68 m^3/día, destinado a usos no potables como descarga de sanitarios y riego de áreas verdes.

Adicionalmente, se recopilaron datos climáticos correspondientes a la zona de Quepos, específicamente información relacionada con la precipitación promedio mensual y anual, utilizando como referencia registros históricos de la estación meteorológica Damas–Quepos y datos climáticos del Pacífico Central de Costa Rica. Esta información permitió estimar el potencial de captación de agua de lluvia y evaluar la viabilidad del sistema de aprovechamiento pluvial propuesto.

De igual forma, se llevó a cabo una revisión bibliográfica y normativa relacionada con la gestión del recurso hídrico, sistemas de captación de aguas pluviales, reutilización de aguas residuales y criterios de diseño hidráulico y sanitario. Entre las principales fuentes consultadas se incluyen reglamentos nacionales, guías técnicas institucionales y literatura especializada, las cuales permitieron establecer los parámetros necesarios para el análisis y dimensionamiento de los sistemas propuestos.

La integración de esta información permitió desarrollar una base técnica sólida para la formulación de la propuesta de optimización del uso del agua dentro del conjunto residencial, considerando aspectos operativos, ambientales e hidráulicos asociados al aprovechamiento eficiente del recurso hídrico.

3.6 Análisis de los datos

El análisis de los datos se desarrolla de manera progresiva, iniciando con la caracterización del consumo de agua en la edificación, lo que permite identificar los principales usos y estimar la demanda hídrica durante la fase operativa. Posteriormente, se realiza la estimación del volumen de agua de lluvia que puede ser captado, considerando variables como la precipitación media y el área disponible para captación.

De forma paralela, se analiza la generación de aguas residuales dentro de la edificación, con el fin de determinar su potencial de reutilización en actividades que no requieren agua potable. A partir de estos elementos, se desarrolla una propuesta técnica que integra sistemas de captación, almacenamiento y reutilización del agua.

Finalmente, se realiza un análisis comparativo entre el consumo actual y el consumo proyectado con la implementación de los sistemas propuestos, lo que permite evaluar el nivel de ahorro hídrico alcanzado. Asimismo, se analizan los resultados desde una perspectiva técnica, ambiental y económica, con el fin de determinar la viabilidad de la propuesta y formular las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

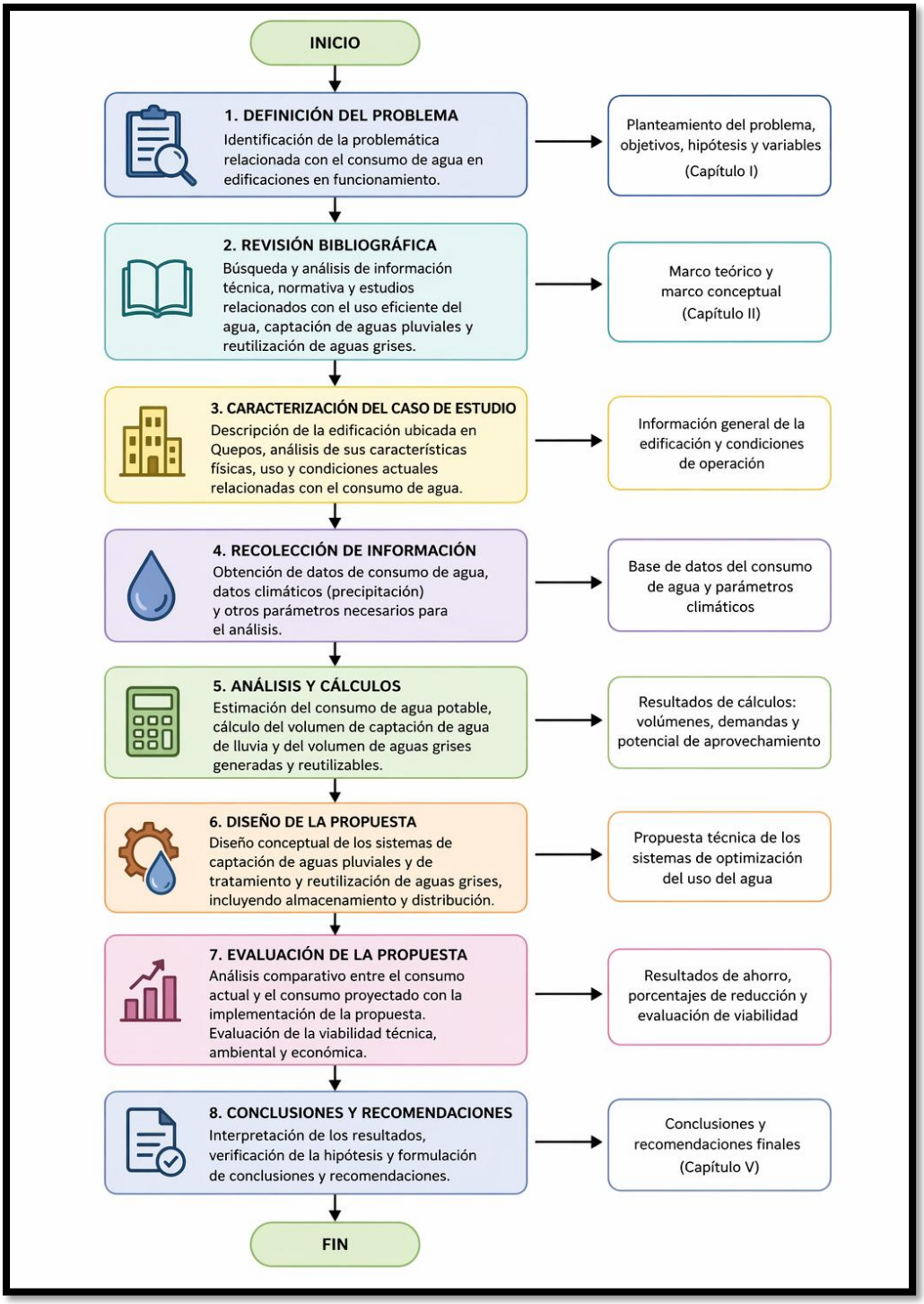


Figura 1. Diagrama de flujo del trabajo de investigación

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Características del proyecto y del sitio

A continuación, se presenta la caracterización del proyecto, el cual corresponde a un conjunto residencial. Cada una de las unidades habitacionales está conformada por dos habitaciones y una batería sanitaria, diseñadas para satisfacer las necesidades domésticas básicas de los usuarios.

El presente estudio se enfoca en el análisis del consumo de agua dentro del conjunto habitacional, así como en la evaluación e implementación de sistemas de captación de aguas pluviales destinados a usos no potables, con el propósito de reducir el consumo de agua potable y optimizar el aprovechamiento del recurso hídrico.

4.1.1 Descripción del proyecto

El proyecto analizado corresponde a un conjunto residencial compuesto por ocho apartamentos, diseñado para uso habitacional. Cada unidad cuenta con dos habitaciones y una batería sanitaria, destinada a cubrir las necesidades básicas de los residentes.

El estudio se enfoca en la evaluación del consumo de agua dentro del conjunto residencial y en la propuesta de estrategias que permitan optimizar el uso del recurso hídrico mediante la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia y almacenamiento para usos no potables.

El edificio dispone de una superficie de techo que puede ser utilizada como área de captación de aguas pluviales, lo que representa una oportunidad para reducir la dependencia de la red pública de abastecimiento y promover un uso más eficiente del agua dentro del proyecto.

4.1.2 Características del conjunto de apartamentos

El conjunto residencial está conformado por ocho unidades habitacionales, cada una diseñada para albergar a una familia pequeña o grupo reducido de residentes. Las características principales del proyecto son las siguientes:

- Número de apartamentos: 8
- Habitaciones por apartamento: 2

- Baterías sanitarias por apartamento: 1
- Uso del proyecto: residencial
- Número estimado de residentes: entre 18 y 24 personas

Las instalaciones hidráulicas del proyecto están diseñadas para abastecer las necesidades domésticas básicas, incluyendo el uso de sanitarios, duchas, lavamanos y actividades de limpieza. Estas características permiten analizar el consumo de agua y evaluar el potencial de implementación de sistemas de optimización del recurso hídrico.

4.1.3 Planta de distribución del proyecto

Se desarrollaron las plantas arquitectónicas correspondientes al primer y segundo nivel, las cuales permiten visualizar la organización espacial de las unidades habitacionales y la ubicación de los elementos hidráulicos.

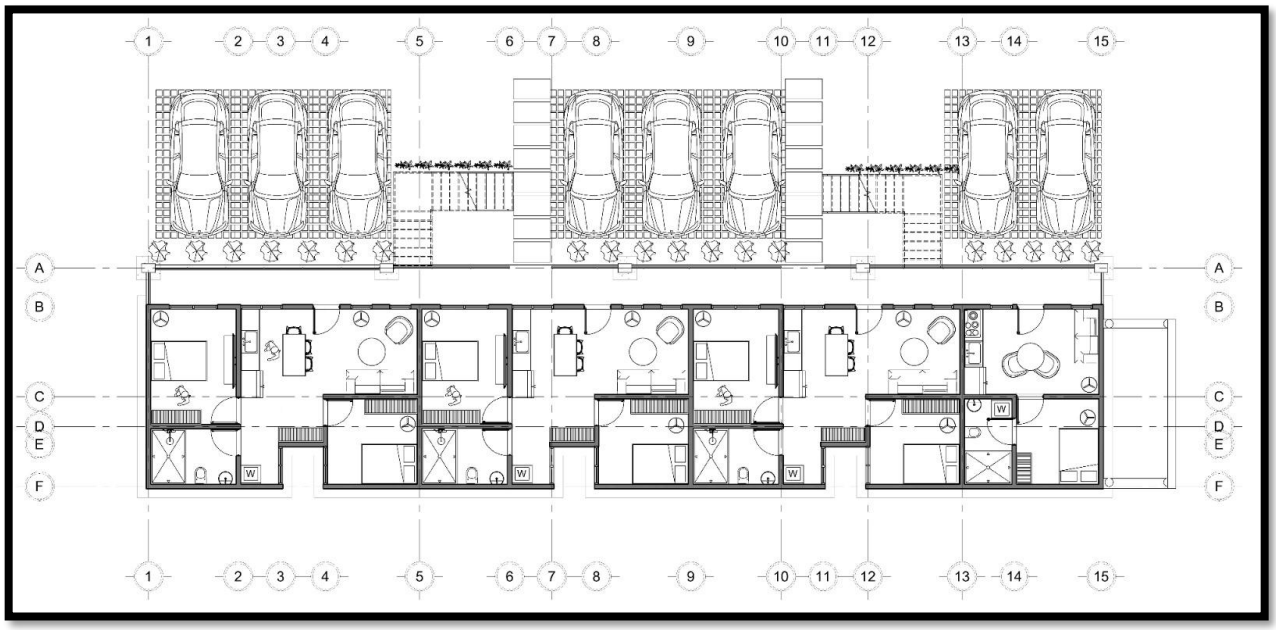


Figura 2. **Planta de distribución arquitectónica 1° nivel**
Fuente: Elaboración REVIT.

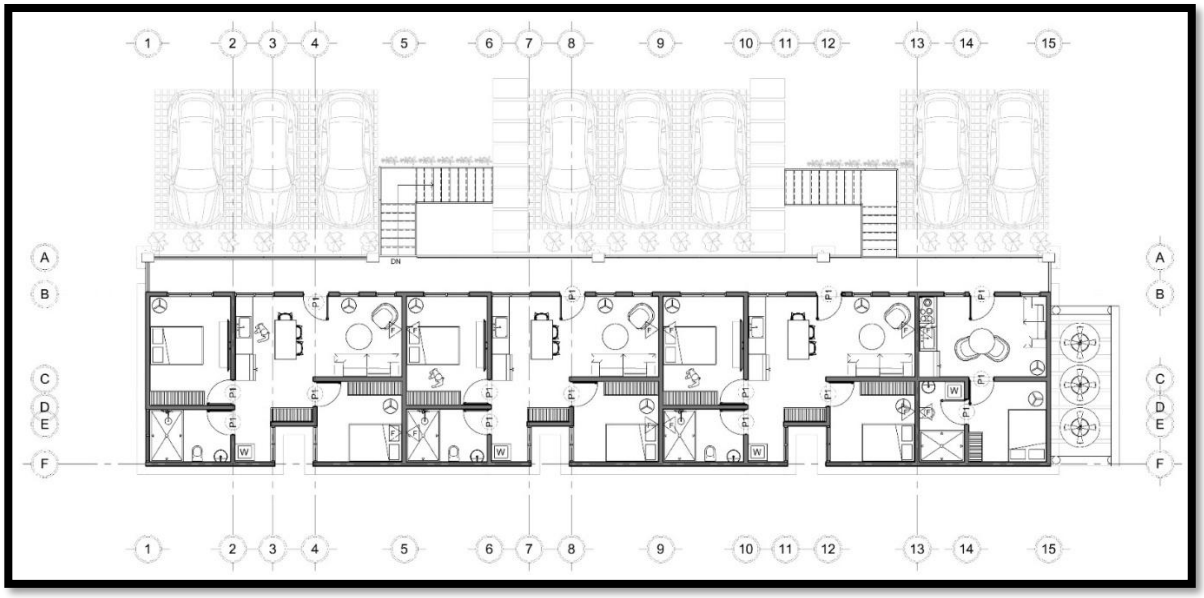


Figura 3. **Planta de distribución arquitectónica 2° nivel**
Fuente: Elaboración REVIT.

4.1.4 Tabla de área de apartamentos

Cada unidad habitacional posee un área total de **63,56 m²**, distribuida en espacios funcionales que incluyen habitaciones, servicios sanitarios y áreas sociales.

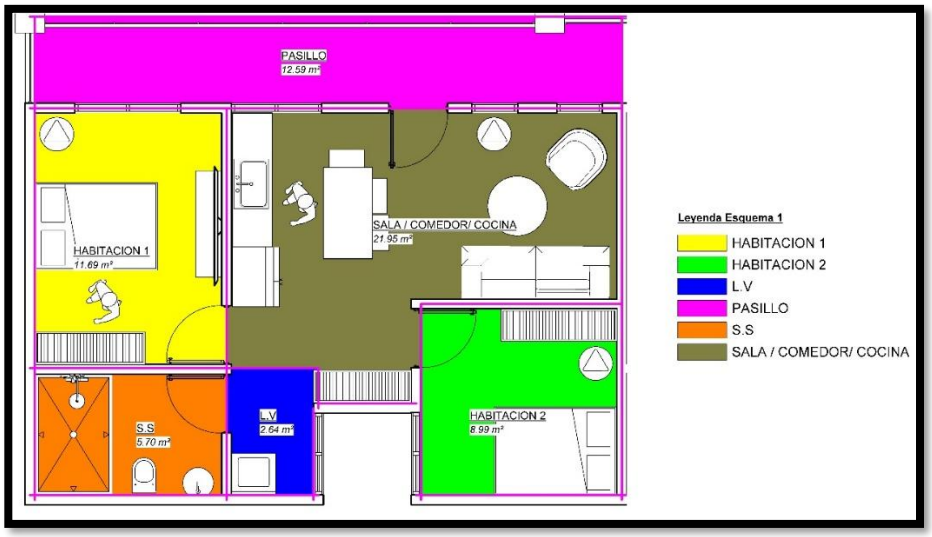


Figura 4Área por apartamento
Fuente: Elaboración REVIT.

Cuadro 7. **Cuadro de áreas por espacio de apartamento**.

NOMBRE	AREA
HABITACION 1	11.69 m²
S.S	5.70 m²
SALA / COMEDOR/ COCINA	21.95 m²
HABITACION 2	8.99 m²
PASILLO	12.59 m²
L.V	2.64 m²
TOTAL POR APARTAMENTO	63.56 m²

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Área de huella

El proyecto presenta la siguiente distribución de área construida:

• Área del primer nivel (huella): 225,33 m²

• Área del segundo nivel: 225,33 m²

Esta configuración permite establecer de manera clara la relación entre la superficie construida total y el área del terreno disponible, facilitando la evaluación del índice de ocupación y el aprovechamiento del lote en términos de diseño y normativa vigente.

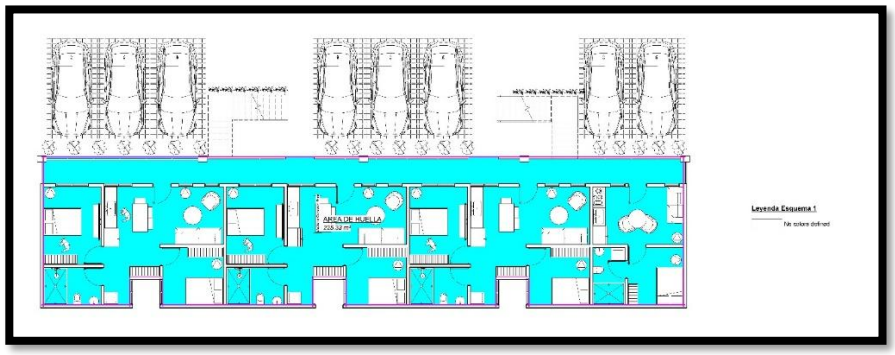


Figura 5. **Planta de área de cobertura del proyecto en el terreno**
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 8. Cuadro de áreas del proyecto.

NOMBRE	AREA
AREA 1° NIVEL	225.33 m²
AREA 2° NIVEL	225.33 m²
TOTAL	450.66 m²

Fuente: Elaboración propia

4.1.6 Diseño de sitio

El terreno donde se desarrolla el proyecto cuenta actualmente con una construcción existente que condicionan y orientan la propuesta de diseño. Se identifica un acceso en lastre que permite el ingreso desde la vía pública hasta el interior de la propiedad, el cual se conserva y se integra como parte del acceso principal al proyecto.

La implantación de la edificación se plantea hacia el fondo del lote, buscando aprovechar de manera eficiente el espacio disponible, garantizar mayor privacidad y optimizar la organización funcional del conjunto.

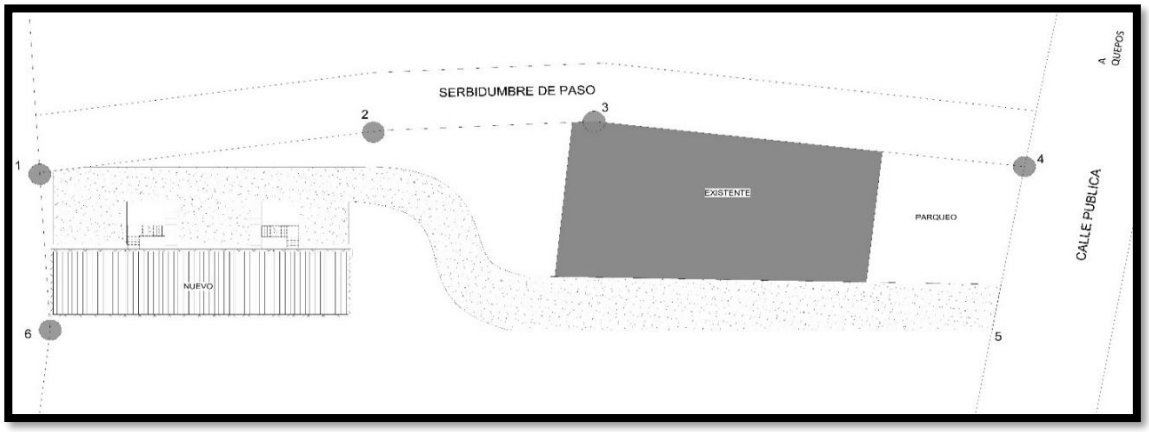


Figura 6. **Diseño de sitio de proyecto, donde se muerta la construcción existente, construcción nueva y el acceso hasta el miso.**
Fuente: Elaboración AutoCAD

4.1.7 Ubicación y localización del proyecto

El proyecto se localiza en el sector de Paquita, caracterizado por condiciones climáticas de tipo tropical húmedo, con altos niveles de precipitación anual.



Figura 7. **Ubicación del proyecto**
Fuente: GOOGLE EARTH

4.1.8 Características del terreno

El terreno destinado para el desarrollo del proyecto cuenta con una superficie total de **2295 m².** Esta área constituye la base para la planificación y distribución de los diferentes componentes del proyecto, permitiendo establecer parámetros como la cobertura, el índice de construcción y la organización espacial de las edificaciones.

Área del terreno:



Figura 8. **Área total del terreno según su plano catastro**.
Fuente: Plano catastro

4.1.9 Forma y linderos

El terreno presenta una geometría irregular, definida por un polígono de seis vértices y cinco tramos de lindero. Esta configuración responde a las condiciones propias del sitio y delimita el área disponible para el desarrollo del proyecto.

Los linderos establecen los límites físicos de la propiedad, los cuales deben ser respetados en el proceso de diseño, considerando los retiros establecidos por la normativa vigente. La forma irregular del lote influye directamente en la implantación del proyecto, condicionando la distribución de los espacios, accesos y áreas libres, y requiriendo una adecuada adaptación del diseño arquitectónico para optimizar el aprovechamiento del terreno.

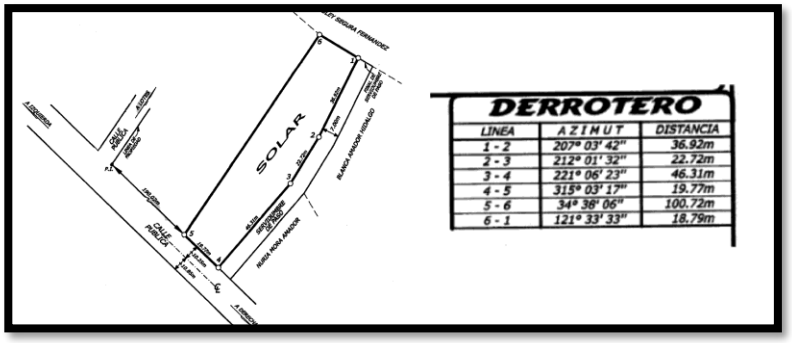


Figura 9. ***Forma de propiedad según plano catastro***.
Fuente: Plano Catastro.

4.1.10 Proyecto en terreno y cobertura

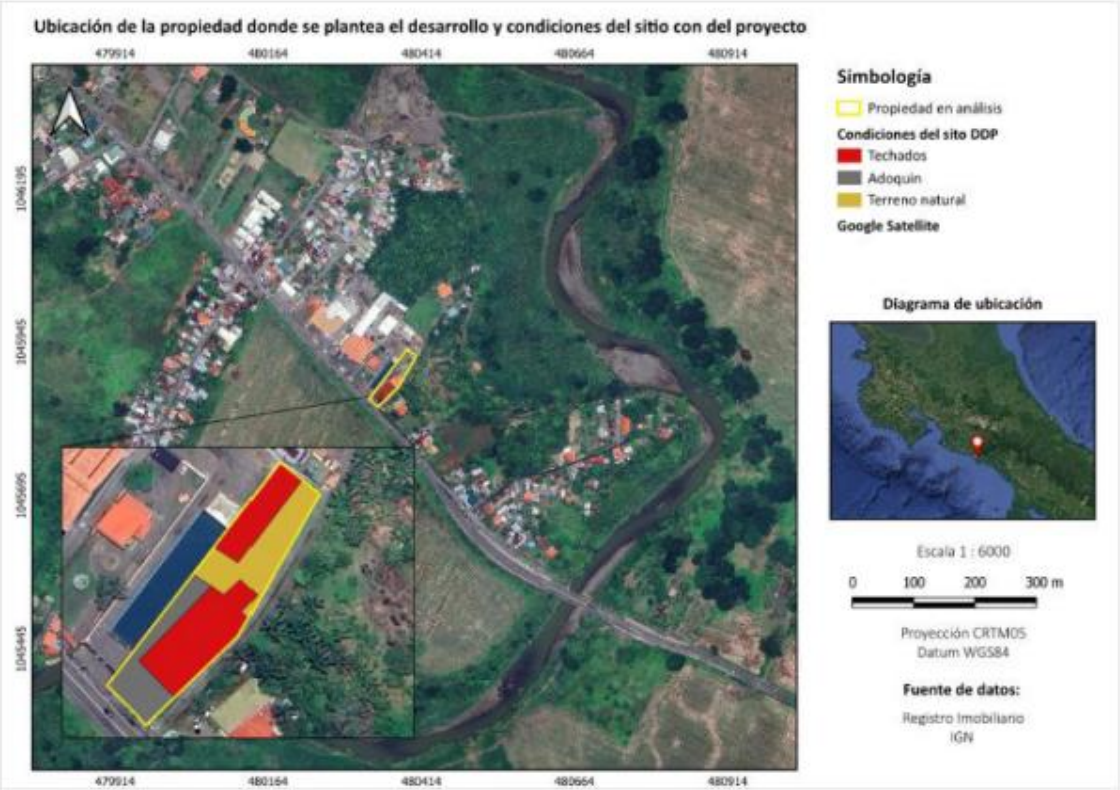


Figura 10. Ubicación de proyecto en propiedad.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.11 Topografía

El proyecto objeto de estudio se localiza en Paquita, una zona caracterizada por presentar topografía predominantemente plana, propia de áreas costeras. El terreno presenta pendientes suaves, lo que favorece la acumulación de agua superficial durante eventos de precipitación intensa.

4.1.12 Disponibilidad de agua para el proyecto

El proyecto cuenta con aprobación de disponibilidad de agua potable para un caudal de 8,3 m^3/día, suficiente para abastecer la demanda estimada del conjunto residencial.

4.1.13 Modelo 3D del proyecto



Figura 11. **Vista de modelo 3D, proyecto a desarrollar**
Fuente: Elaboración REVIT.

Como parte del análisis del proyecto, se desarrolló un modelo tridimensional del conjunto de apartamentos, el cual permite visualizar de manera más clara la distribución de las unidades habitacionales, la superficie de captación del techo y la ubicación del sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia.

El modelo 3D facilita la comprensión de la infraestructura del proyecto y sirve como herramienta para analizar la ubicación de canaletas, bajantes y tanques de almacenamiento, así como para evaluar la integración del sistema dentro del diseño del edificio.

El modelo también permite representar gráficamente la relación entre la estructura del edificio y los elementos del sistema hidráulico propuesto, contribuyendo a una mejor interpretación técnica del proyecto.

4.2 Componentes del sistema hidráulico y sanitario

4.2.1 Canaletas de captación

Las canaletas instaladas en el borde del techo recolectan el agua de lluvia y la dirigen hacia los bajantes, asegurando que el líquido llegue al sistema de almacenamiento sin pérdidas. Esta función permite aprovechar hasta 50 m³/mes de agua de lluvia para usos no potables, reduciendo la dependencia de la red pública.

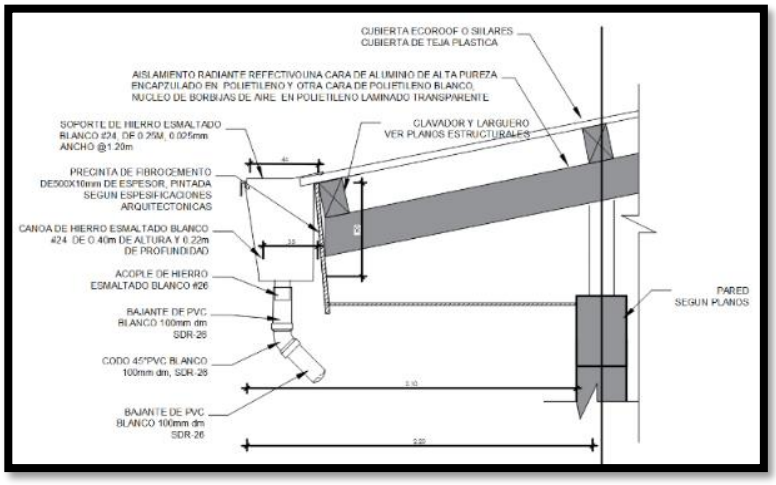


Figura 12. Detalle de captación pluvial por canoa.
Fuente: Elaboración AutoCAD.

4.2.2 Caja de registro pluvial

La caja de registro pluvial forma parte del sistema de evacuación de aguas lluvias del proyecto, permitiendo la inspección, control y mantenimiento de las tuberías encargadas de conducir el agua captada en cubiertas y superficies impermeables.

Este elemento se ubica en puntos estratégicos de la red, principalmente en cambios de dirección, uniones de tuberías o tramos largos, con el fin de facilitar el acceso para limpieza y verificación del correcto funcionamiento del sistema.

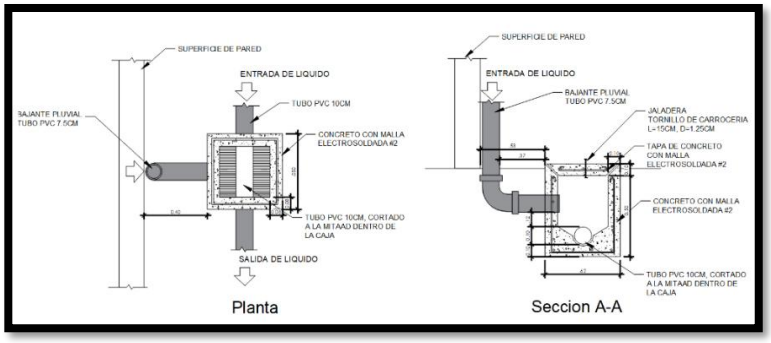


Figura 13**. **Detalle de caja de registro pluvial.
Fuente: Elaboración AutoCAD.

4.2.3 Caja de registro aguas negras

La caja de registro de aguas negras permite la inspección, mantenimiento y limpieza de las tuberías del sistema sanitario. Se ubica en puntos estratégicos como cambios de dirección y uniones de tuberías.

Generalmente se construye en concreto, con tapa removible y un diseño que facilita el flujo adecuado de las aguas residuales, evitando obstrucciones y asegurando el buen funcionamiento del sistema.

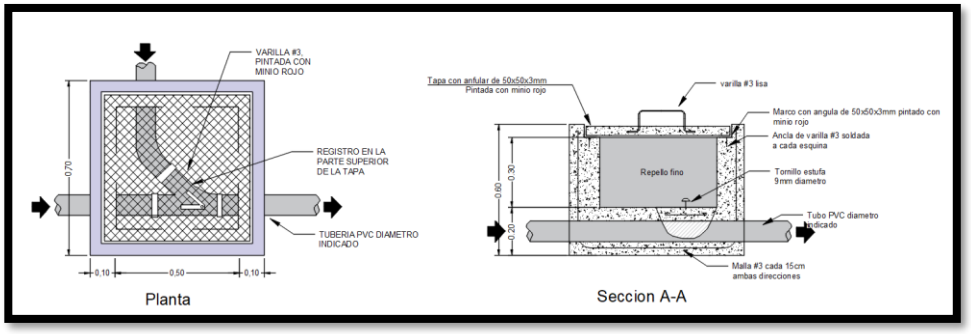


Figura 14. **Detalle caja de registro aguas negras.**
Fuente: Elaboración AutoCAD.

4.2.4 Trampa de grasas

La trampa de grasas es un dispositivo del sistema sanitario que retiene aceites y grasas provenientes de aguas residuales, evitando que ingresen a las tuberías.

Se instala generalmente en la salida de fregaderos o áreas de cocina y permite la separación de estos residuos mediante un proceso de flotación. Su uso contribuye a prevenir obstrucciones y a mejorar el funcionamiento del sistema de evacuación de aguas residuales.

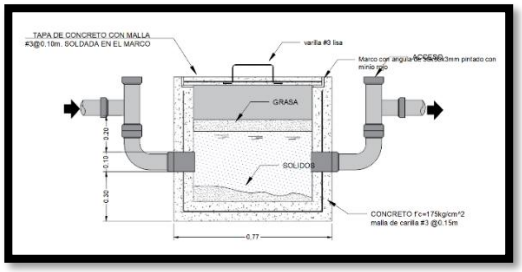


Figura 15. Detalle de trampa de grasas
Fuente: Elaboración AutoCAD.

4.2.5 Desagüe de piso

El desagüe de piso es un elemento del sistema sanitario que permite la recolección y evacuación de aguas provenientes de limpieza, filtraciones o derrames en superficies interiores o exteriores.

Se instala en puntos bajos o estratégicos, asegurando una adecuada pendiente del piso para facilitar el flujo por gravedad. Su diseño incorpora rejilla y sifón, lo que ayuda a evitar la entrada de sólidos y malos olores, garantizando el correcto funcionamiento del sistema.

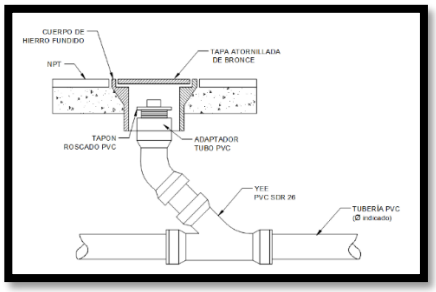


Figura 16. **Detalle desagüe de piso.**
Fuente: Elaboración AutoCAD

4.2.6 Columna de ventilación

La columna de ventilación es un componente del sistema sanitario que permite la entrada y salida de aire en las tuberías, regulando la presión interna.

Su función principal es evitar el sifonamiento de los sellos hidráulicos y la acumulación de gases, garantizando el correcto funcionamiento de los desagües y previniendo malos olores dentro de la edificación.

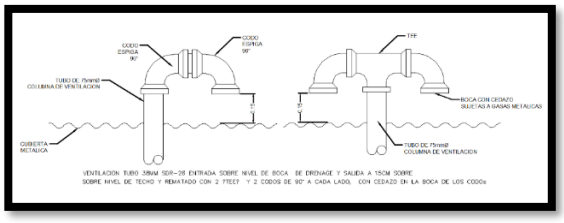


Figura 17.Detalle de ventilación con salida a techo.
Fuente: Elaboración AutoCAD

4.2.7 Salida de lavamanos

La salida de lavamanos es el punto de descarga de las aguas residuales provenientes del uso del lavamanos, conectándose al sistema sanitario del proyecto.

Incluye elementos como sifón y tubería de desagüe, los cuales permiten la evacuación adecuada del agua, evitan el retorno de gases y contribuyen al correcto funcionamiento del sistema.

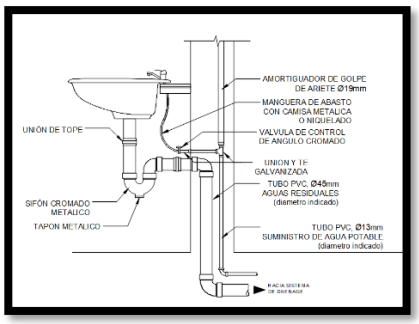


Figura 18. Detalle de salida de aguas de lavamanos.
Fuente: Elaboración AutoCAD

4.2.8 Salida de inodoro

La salida de inodoro es el punto de conexión mediante el cual se evacúan las aguas negras hacia el sistema sanitario del proyecto.

Se conecta directamente a la tubería de mayor diámetro y está diseñada para garantizar una descarga eficiente, evitando obstrucciones y asegurando el adecuado transporte de los residuos hacia el sistema de tratamiento o disposición final.

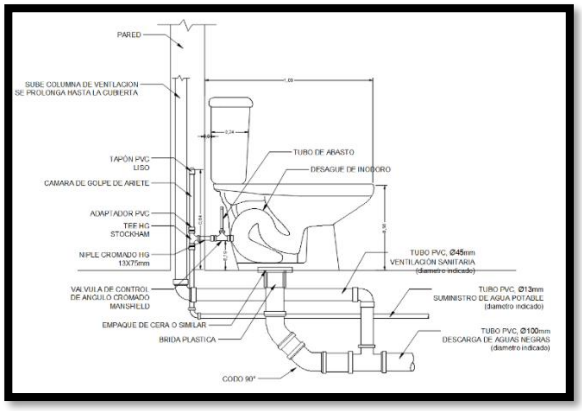


Figura 19. **Detalle de salida de agua de inodoros**
Fuente: Elaboración AutoCAD

4.2.09 Golpe de ariete

El golpe de ariete es un fenómeno hidráulico que ocurre cuando el flujo de agua se detiene o cambia bruscamente, generando un aumento repentino de presión dentro de las tuberías.

Este efecto puede provocar ruidos, vibraciones y daños en la red hidráulica. Para prevenirlo, se emplean dispositivos como válvulas de cierre gradual o cámaras de aire, que ayudan a disipar la sobrepresión y proteger el sistema.

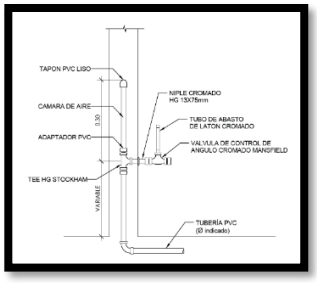


Figura 20. **Detalle de golpe de ariete.**
Fuente: Elaboración AutoCAD

4.2.10 Sistema de drenaje

El sistema de drenaje correspondiente a la salida del tanque séptico está diseñado para la disposición final del efluente previamente tratado. Su función es permitir la infiltración del agua al terreno de forma controlada, evitando acumulaciones superficiales y garantizando condiciones sanitarias adecuadas.

Este sistema está conformado principalmente por tuberías perforadas dispuestas en zanjas de infiltración, las cuales se colocan sobre una cama de material granular (grava), facilitando la dispersión del efluente en el suelo. Asimismo, incluye elementos como geotextil para evitar la colmatación del sistema y una adecuada capa de relleno que protege la instalación.

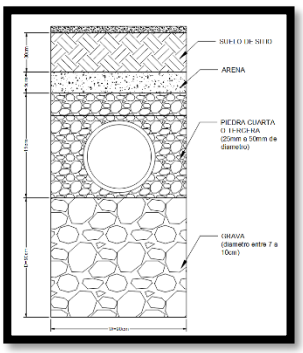


Figura 21. Detalle de sistema de filtración de drenaje.
Fuente: Elaboración AutoCAD.

4.2.11 Conexión Medidor a red potable

La conexión del medidor a la red potable corresponde al enlace entre la red pública de abastecimiento y la instalación hidráulica interna del proyecto. Su función es garantizar el suministro continuo de agua y permitir la medición del consumo.

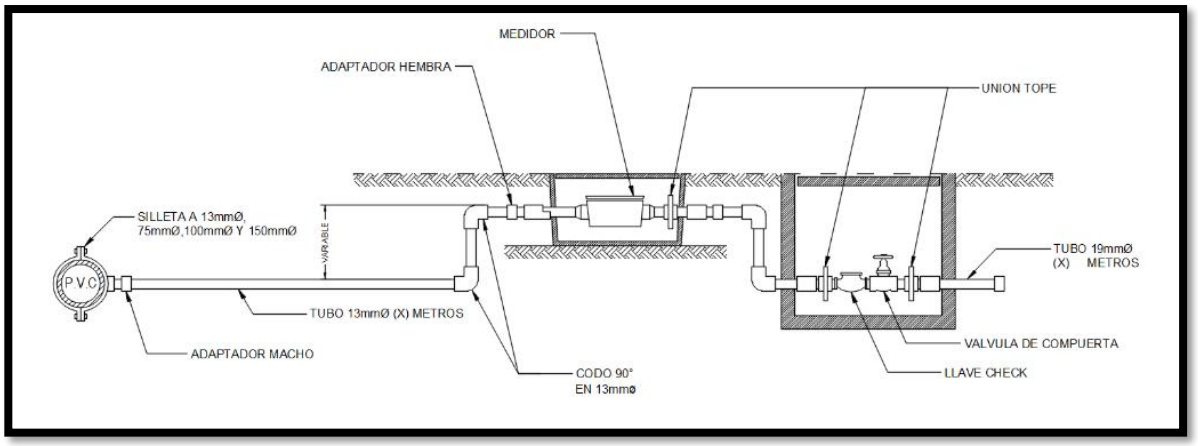


Figura 22. Detalle de acometida potable.
Fuente: Elaboración AutoCAD

4.2.12 Simbología mecánica

Se incorpora una tabla de simbologías mecánicas con el fin de representar de manera gráfica y estandarizada los distintos elementos del sistema en los planos del proyecto.

Esta simbología permite identificar claramente componentes como tuberías, válvulas, accesorios y equipos, facilitando la interpretación de los planos, la comunicación técnica y la correcta ejecución de la obra.

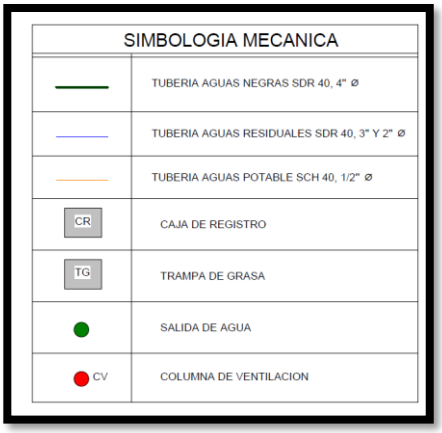


Figura 23. Tabla de simbología mecánica.
Fuente: Elaboración propia.

4.2.13 Tuberías de conducción

Las tuberías de conducción son los elementos encargados de transportar el agua dentro del sistema hidráulico y sanitario del proyecto, permitiendo la distribución y evacuación según corresponda.

Estas se diseñan considerando el caudal requerido, la presión de trabajo y el tipo de fluido, utilizando materiales adecuados que garanticen durabilidad y eficiencia. Su correcta instalación, pendiente y diámetro aseguran un flujo continuo, evitando pérdidas, obstrucciones o fallas en el sistema.

4.2.14 Sistema de bombeo y filtrado básico para retener sólidos y sedimentos.

El sistema contempla el bombeo del agua almacenada en los tanques de captación hacia un tanque elevado, con el fin de garantizar su distribución por gravedad dentro del proyecto.

Previo al bombeo, el agua pasa por un proceso de filtrado básico que permite remover partículas y sedimentos, mejorando su calidad para usos posteriores.

El sistema está conformado por una bomba de impulsión, tuberías de conducción, válvulas de control y un sistema de filtración primaria. Esta configuración asegura un suministro continuo, adecuado funcionamiento hidráulico y una mejor calidad del agua almacenada.

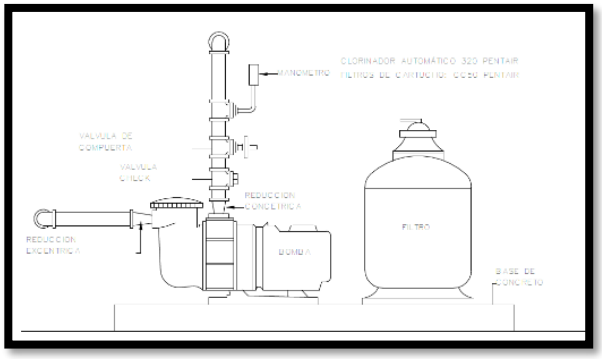


Figura 24. Detalle de sistema de bomba y filtrado.
Fuente: Elaboración AutoCAD.

4.2.15 Tanque de almacenamiento de agua pluvial

El tanque de almacenamiento de agua pluvial se dimensiona en función del volumen potencial de agua captada a través de la cubierta de techo, considerando factores como el área de captación y la precipitación de la zona.

Su función es almacenar el agua recolectada para su posterior uso dentro del proyecto, contribuyendo al aprovechamiento de recursos y a la reducción del consumo de agua potable. El sistema se integra con los elementos de captación, conducción y filtrado, garantizando un almacenamiento eficiente y adecuado del recurso hídrico.

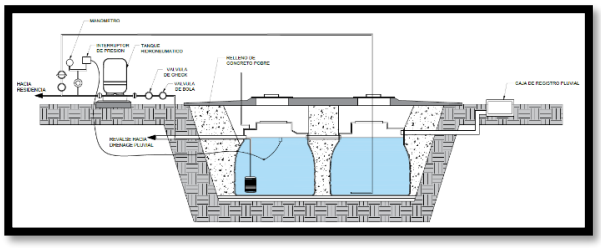


Figura 25. ***Tanques de almacenamiento de agua pluvial***
Fuente: Elaboración AutoCAD 2023.

4.3 Análisis del consumo de agua

El análisis del consumo de agua en el proyecto permite determinar la demanda hídrica total, así como identificar los diferentes usos del recurso dentro del conjunto residencial. Este estudio es fundamental para el dimensionamiento de los sistemas de abastecimiento, almacenamiento y reutilización, garantizando un uso eficiente y sostenible del agua.

4.3.1 Población de diseño

La población de diseño corresponde al número de usuarios que harán uso del sistema hidráulico del proyecto. Para el presente caso, se considera una población total de **22 personas**, distribuidas en los 8 apartamentos del conjunto residencial.

Este valor se utiliza como base para estimar la demanda de agua potable, la generación de aguas residuales y el dimensionamiento de los diferentes componentes del sistema.

4.3.2 Dotación de agua potable

La dotación de agua potable se establece con base en normativa vigente para zonas costeras, la cual indica un consumo promedio de 300 litros por persona por día (L/persona/día)**.**

Este parámetro considera las necesidades básicas de consumo doméstico, incluyendo actividades como higiene personal, preparación de alimentos, limpieza y uso de servicios sanitarios, y se emplea como referencia para el cálculo de la demanda total del proyecto.

4.3.3 Consumo total de agua

El consumo total de agua se determina a partir de la población de diseño y la dotación establecida. Para el presente proyecto, se tiene:

Consumo diario:
$22 \times 300 = 6600$ L/día = 6,6 m^3/día

Consumo mensual:
$6{,}6 \times 30 = 198$ m^3/mes

Estos valores representan la demanda hídrica total del conjunto residencial y constituyen la base para el dimensionamiento de los sistemas hidráulicos y sanitarios.

4.3.4 Distribución del consumo (potable vs no potable)

El consumo de agua dentro del proyecto se clasifica en dos categorías principales: usos potables y usos no potables. Los usos potables corresponden a aquellas actividades que requieren agua con calidad apta para consumo humano, tales como el uso en lavamanos, duchas y cocina. Por su parte, los usos no potables incluyen actividades como la descarga de inodoros, la limpieza de áreas y el riego de zonas verdes.

Para efectos del presente análisis, se establece una distribución estimada del consumo total de agua, en la cual aproximadamente el 30% corresponde a usos no potables, principalmente asociados al funcionamiento de los sanitarios, mientras que el 70% restante corresponde a usos potables dentro de las unidades habitacionales.

En términos cuantitativos, considerando un consumo total de 6,6 m^3/día, se obtiene lo siguiente:

- Consumo no potable (sanitarios):
  $6{,}6 \times 0{,}30 = 1{,}98$ m^3/día
- Consumo potable:
  $6{,}6 \times 0{,}70 = 4{,}62$ m^3/día

Esta distribución permite identificar el potencial de sustitución del agua potable en aquellos usos donde no se requiere dicha calidad, mediante la implementación de sistemas de captación de aguas pluviales y reutilización de aguas grises. Lo anterior contribuye a una gestión más eficiente del recurso hídrico dentro del proyecto, reduciendo la demanda sobre las fuentes de abastecimiento.

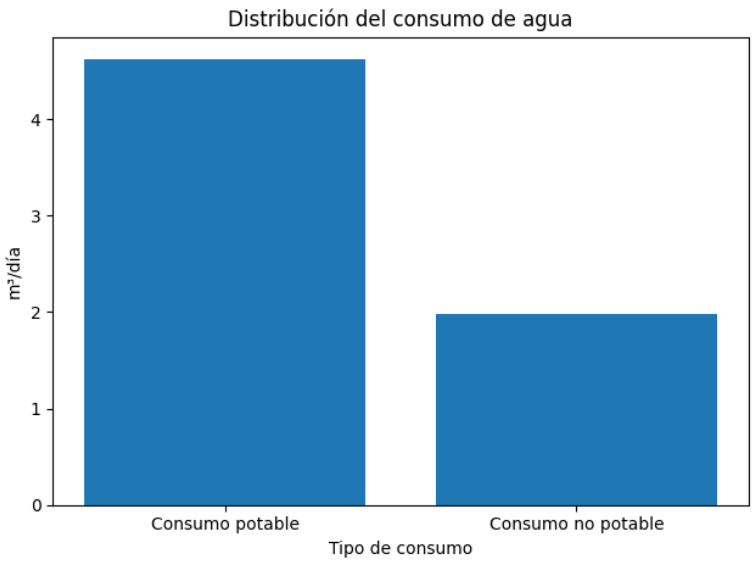


Figura 26 . **Gráfico de consumo de agua (m³/día)**
Fuente: Elaboración propia

4.4 Generación de aguas residuales

La generación de aguas residuales en el proyecto está directamente relacionada con el consumo de agua potable, ya que una parte significativa del agua utilizada es posteriormente evacuada como efluente. El análisis de este componente permite estimar los caudales a tratar y evaluar el potencial de reutilización dentro del sistema.

4.4.1 Volumen potencial de captación de aguas residuales.

Cuadro 9. **Captación de aguas residuales (m³/día)**

Accesorio utilizado	Litros consumo día	Metros cúbicos consumo día
Lavamanos, duchas y cocina	4620 litros/día	4.6 m^3/día
Sanitario	1980 litros /día	1.98 m^3/día
total	6.600 litros /día	6.6 m^3/día

Fuente: Elaboración propia

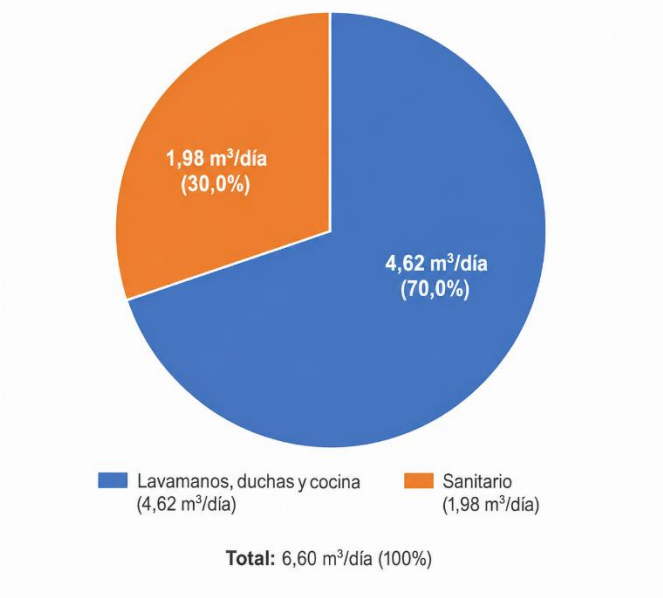


Figura 27. ***Captación de aguas residuales (m³/día)***
Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Estimación de aguas residuales

Para la estimación de aguas residuales se considera que un porcentaje del agua consumida retorna al sistema como efluente. En este caso, se adopta un factor de recuperación del 80%**,** el cual contempla pérdidas por evaporación, infiltración y otros usos no recuperables.

Partiendo de un consumo de aguas grises por tratar de 4.6 m³/día, se obtiene:

Aguas residuales:
4,6 × 0,80 = 3.68 m³/día

Este valor representa el caudal que deberá ser manejado por el sistema y constituye la base para el dimensionamiento de los sistemas de tratamiento y disposición final.

4.4.3 Separación de aguas grises y negras

Las aguas residuales generadas en el proyecto se clasifican en aguas grises y aguas negras, según su origen y nivel de contaminación.

- Aguas grises: Provienen de lavamanos, duchas, lavadoras y fregaderos. Presentan una menor carga contaminante y un alto potencial de reutilización.
- Aguas negras: Corresponden a las descargas de inodoros, conteniendo materia orgánica y patógena, por lo que requieren un tratamiento más riguroso.

Para el presente análisis, se estima que las aguas grises representan un caudal de 3,68 m^3/día, mientras que el restante corresponde a aguas negras. Esta separación permite implementar estrategias diferenciadas de tratamiento y aprovechamiento del recurso hídrico.

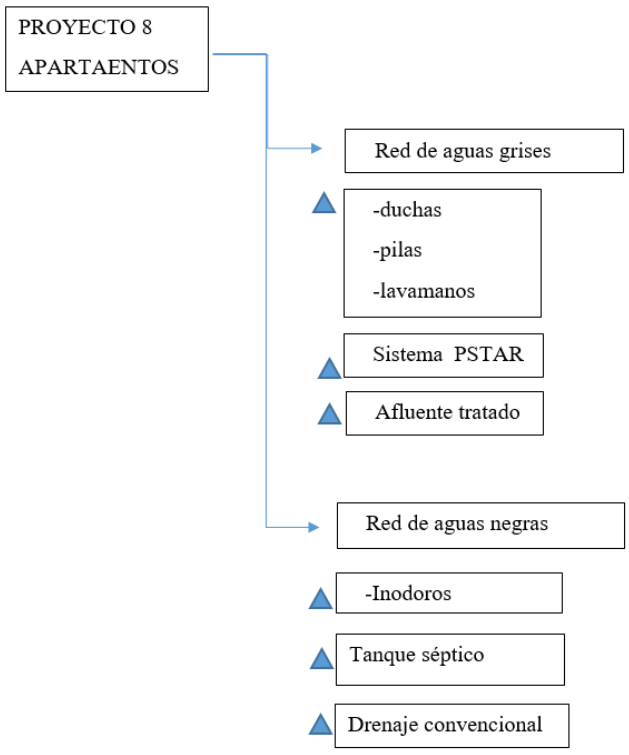


Figura 28. Captación flujo de agua residuales.
Fuente: Elaboración propia

4.4.4 Potencial de reutilización aguas residuales.

El volumen de aguas grises generado, equivalente a 3,68 m³/día, representa una fuente importante para su reutilización en actividades que no requieren agua potable.

Este caudal puede destinarse principalmente al abastecimiento de sanitarios, limpieza de áreas comunes y riego, reduciendo significativamente la demanda de agua potable del proyecto.

El análisis realizado demuestra que el volumen disponible de aguas grises es suficiente para cubrir la totalidad del consumo en sanitarios, e incluso generar un excedente que puede ser aprovechado en otros usos no potables.

En este sentido, la reutilización de aguas grises se posiciona como una estrategia eficiente y viable, contribuyendo a la sostenibilidad del proyecto y a la optimización del uso del recurso hídrico

4.5 Sistema hidráulico propuesto

El sistema hidráulico del conjunto residencial se diseñó considerando la eficiencia en el uso del agua y la viabilidad técnica de tratamiento de aguas. Debido a que el caudal total de aguas negras generadas por el proyecto (aproximadamente 6,6 m³/día) supera el límite recomendado para sistemas de tanque séptico domésticos (5 m³/día), no se recomienda utilizar un tanque séptico convencional para todo el conjunto.

Por esta razón, se propone un sistema de separación de aguas grises y negras, en el que:

Aguas grises (duchas, lavamanos) → se conducen hacia un sistema de tratamiento independiente (PTAR) y un tanque de almacenamiento para su posterior uso en actividades no potables, como la descarga de sanitarios y limpieza de áreas comunes.

Aguas negras (inodoros) → se canalizan hacia un tanque séptico de tamaño adecuado para este caudal, garantizando la sedimentación y digestión de los residuos, con posterior drenaje controlado al subsuelo.

Este enfoque permite cumplir con las normas sanitarias, optimizar el uso del recurso hídrico y asegurar la sostenibilidad del proyecto, evitando problemas de saturación y mantenimiento excesivo que ocurrirían si se empleara un único tanque séptico para todo el caudal del conjunto.

4.5.1 Planta tratamiento PTAR

Como parte del sistema integral de optimización del recurso hídrico, se propone la implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) destinada al tratamiento de las aguas grises generadas en el conjunto residencial, provenientes de duchas y lavamanos.

El sistema de tratamiento opera mediante un proceso biológico, en el cual microorganismos degradan la materia orgánica presente en el agua. Dependiendo de las condiciones de diseño, este proceso puede desarrollarse en condiciones aeróbicas (con presencia de oxígeno), lo que permite una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes y una mejor calidad del agua tratada.

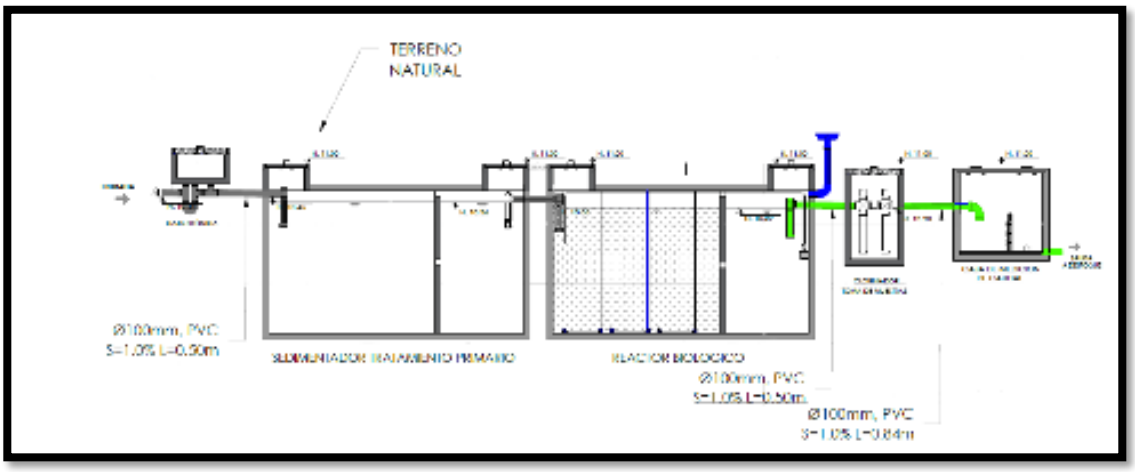


Figura 29. **Sección de Planta PTAR**
Fuente: Elaboración AutoCAD.

El funcionamiento general de la PTAR se desarrolla a través de una serie de etapas que permiten la remoción progresiva de sólidos y contaminantes presentes en las aguas residuales, garantizando la obtención de un efluente apto para su reutilización.

En primer lugar, el sistema inicia con una cámara de rejilla, donde se retienen sólidos gruesos como cabellos, residuos y partículas de mayor tamaño, evitando daños o interferencias en las

etapas posteriores. Seguidamente, se incorpora un punto de medición de entrada**,** que permite cuantificar el caudal que ingresa al sistema y controlar su operación.

El tratamiento continúa en el tanque de tratamiento primario (tanque 1)**,** donde se lleva a cabo la sedimentación de sólidos suspendidos, reduciendo la carga inicial del agua. Posteriormente, el efluente pasa al reactor de aireación (tanque 2)**,** en el cual se suministra oxígeno para favorecer el desarrollo de microorganismos aeróbicos encargados de degradar la materia orgánica disuelta.

Una vez completado este proceso, el agua es conducida al sistema de filtración de arena (tanque 3)**,** donde se eliminan partículas finas remanentes, mejorando la claridad del efluente. A continuación, se dispone una cámara de desinfección (tanque 4)**,** en la cual se aplican métodos como cloración o similares para reducir la presencia de microorganismos patógenos.

Finalmente, el sistema cuenta con un punto de medición de salida, que permite verificar el caudal tratado y evaluar el desempeño general de la planta antes de su almacenamiento y reutilización.



Figura 30. Diagrama de proceso de la PTAR
Fuente: Elaboración propia

4.5.2 Sistema de tanque séptico y drenaje para aguas negras

Las aguas negras generadas en el proyecto son conducidas hacia un tanque séptico, donde se realiza un proceso de sedimentación y digestión anaerobia de la materia orgánica. Posteriormente, el efluente tratado es dirigido hacia un sistema de drenaje, encargado de su disposición final en el terreno.

Este sistema de drenaje está conformado por zanjas de infiltración, dentro de las cuales se instalan tuberías perforadas sobre una cama de material granular (grava), permitiendo la dispersión controlada del efluente en el suelo. Adicionalmente, se incorpora material geotextil para evitar la colmatación del sistema y prolongar su vida útil.

El diseño del drenaje considera factores como el caudal de salida del tanque séptico, la capacidad de infiltración del suelo y las condiciones del nivel freático, garantizando una adecuada absorción del agua sin generar saturación o contaminación del entorno.

Este sistema asegura una disposición final eficiente y segura de las aguas negras, complementando el tratamiento primario del tanque séptico y contribuyendo al correcto funcionamiento sanitario del proyecto.

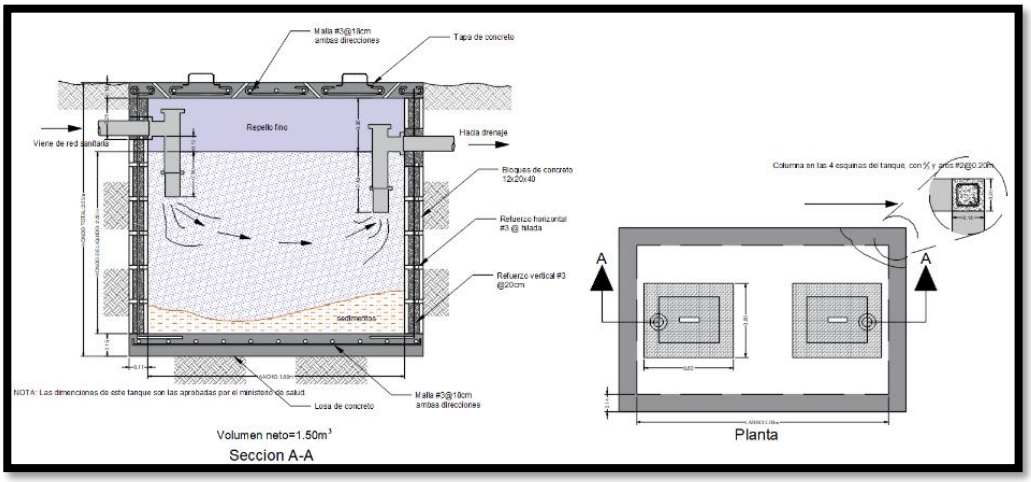


Figura 31. **Sección típica de tanque séptico**
Fuente: Elaboración propia

4.6 Presentación de resultados

4.6.1 Modelado tridimensional del sistema de tuberías de proyecto

El modelado tridimensional del sistema de tuberías fue desarrollado con el objetivo de representar de manera integral la distribución de las redes hidráulicas dentro del conjunto residencial, incluyendo tanto el sistema de abastecimiento como el de evacuación de aguas.

Este modelo permite visualizar la ubicación y recorrido de las tuberías de aguas grises, aguas negras y aguas pluviales, así como su interconexión con los distintos componentes del sistema, tales como la planta de tratamiento (PTAR), el tanque séptico y el sistema de almacenamiento de agua de lluvia.

Asimismo, el modelo facilita la identificación de interferencias entre sistemas, la verificación de pendientes en tuberías sanitarias y la correcta disposición de elementos como cajas de registro, ventilaciones y conexiones sanitarias.

Desde el punto de vista técnico, el modelado 3D constituye una herramienta fundamental para validar el diseño hidráulico propuesto, permitiendo una mejor interpretación del funcionamiento del sistema y optimizando su implementación constructiva.



Figura 32. **Modelado de red mecánica potable y residual**
Fuente: Elaboración REVIT.

4.6.2 Volumen de consumo de agua en el proyecto

De acuerdo con la normativa vigente, el consumo promedio de agua potable en zonas costeras se estima en 300 litros por persona por día (L/persona/día).

Este valor se utiliza como base para calcular la demanda hídrica del proyecto, considerando la cantidad de usuarios previstos. A partir de este parámetro, se determina el volumen total de consumo diario, el cual servirá para el dimensionamiento de los sistemas de abastecimiento, almacenamiento y distribución de agua potable.

Asimismo, este criterio permite garantizar que el proyecto cuente con una dotación adecuada de agua, acorde con las condiciones de uso y las exigencias establecidas por la normativa aplicable.

$$V = 300\ L/persona/dia$$

4.6.3 Volumen residual de agua en el proyecto

Cada apartamento (2 habitaciones y 1 batería sanitaria) tiene un consumo promedio estimado de 6 a 8 m³ mensuales, considerando duchas, lavamanos, uso de sanitarios y limpieza.

La mayor demanda corresponde a uso de sanitarios, representando aproximadamente el 45 % del consumo total.

UNIDADES HABITACIONELES	AREA	UNIDAD
UNIDADES HABITACIONALES	8	UND
PERSONAS	22	UND
CONSUMO DE AGUA (ZONA COSTERA)	300	L/p/d
TOTAL	6600	L/p/d

$$Vo = 22personas * 300\ l/persona/dia$$

$$Vo = 6600\ \ l/dia$$

$$Vo = 6.6\ \ m^3/dia$$

El consumo total del conjunto residencial se estimó en aproximadamente 6,6 m³/día, basado en una población de 22 personas y una dotación de 300 L/persona/día. Se identificó que el mayor consumo corresponde al uso de sanitarios, representando aproximadamente el 45 % del consumo total**.**

$$Vo = 30dias * 6.6\ m^3/dias$$

$$Vo = 198\ m^3$$

4.7 Generación aguas residuales

El consumo total de agua del proyecto se estimó en 6.6 m³/día, a partir de la dotación establecida y el número de usuarios proyectados. Con el fin de diseñar adecuadamente los sistemas de tratamiento y aprovechamiento del recurso hídrico, se realizó un desglose del consumo según su origen y tipo de descarga. Figura

Del volumen total, se determinó que 1.98 m³/día corresponden al uso de inodoros, lo que equivale aproximadamente al 30.3% del consumo total. Este caudal se clasifica como aguas negras, debido a su alta carga contaminante, por lo que se destina a tratamiento mediante un sistema de tanque séptico.

Por otra parte, el volumen restante, equivalente a 4.62 m³/día, corresponde al 69.7% del consumo total y proviene de actividades como duchas, lavamanos y fregaderos. Este tipo de descarga se clasifica como aguas grises, las cuales presentan menor carga contaminante y, por tanto, un alto potencial para su tratamiento y reutilización en actividades no potables.

Esta diferenciación permite establecer dos líneas de manejo dentro del proyecto: por un lado, el tratamiento de aguas negras mediante tanque séptico, y por otro, la implementación de un sistema de tratamiento PSTAR para aguas residuales con fines de reutilización, optimizando así el uso del recurso hídrico y reduciendo el impacto ambiental del proyecto.

4.8 Dimensionamiento de tanque séptico

Para el diseño del tanque séptico, se toma como base el caudal diario de aguas negras generado por el uso de inodoros en el proyecto, estimado en 1.98 m³/día.

Asimismo, se adopta un tiempo de retención hidráulica de 1 día, conforme a lo establecido en la normativa vigente, con el fin de garantizar condiciones adecuadas para la sedimentación y el tratamiento primario de las aguas residuales.

En función de estos parámetros, se procede al dimensionamiento del tanque séptico correspondiente.

Q: Caudal aguas negras

T.H.R: Tiempo de retención hidráulico

$$DT = 1.98\ M3/DIA * 1\ T.H.R$$

$$DT = 1.98\ M3$$

Para satisfacer el volumen requerido, se propone un tanque séptico con dimensiones de 0.80 m × 2.40 m × 1.20 m, lo que corresponde a un volumen total aproximado de 2.30 m³**.**

Este volumen es superior al volumen teórico calculado, lo cual es aceptable y recomendable, ya que permite mejorar la eficiencia del sistema, proporcionando un mayor tiempo de retención hidráulica y favoreciendo los procesos de sedimentación y tratamiento primario de las aguas residuales.

4.8.1 Desfogue de tanque séptico (drenaje)

Para el presente proyecto, el efluente del tanque séptico será dispuesto mediante un sistema de infiltración en el terreno, el cual permitirá la evacuación controlada del agua residual tratada hacia el subsuelo, favoreciendo su filtración natural.

El sistema estará conformado por zanjas de infiltración, seleccionadas de acuerdo con las condiciones del sitio. Para su adecuado funcionamiento, se considera que el suelo presenta una capacidad de infiltración favorable, además de cumplir con las distancias mínimas establecidas respecto a fuentes de agua potable, edificaciones y linderos.

Este sistema corresponde a la etapa final del tratamiento, por lo que el efluente ha sido previamente tratado en el tanque séptico, garantizando una reducción de su carga contaminante antes de su disposición final.

4.9 Dimensionamiento de sistema PTAR

El dimensionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) se realiza a partir de un caudal de diseño de 4.62 m³/día, correspondiente a la generación estimada de aguas residuales del proyecto. Para el tratamiento primario, se adopta un tiempo de retención hidráulica de 1 día, obteniéndose un volumen teórico de 4.62 m³**.** No obstante, con el fin de mejorar la eficiencia del sistema, se propone un volumen de diseño de aproximadamente 5.20 m³**,** mediante 2 tanque con dimensiones de 2.00 m de largo, 2.00 m de ancho y 1.30 m de altura útil**.**

$$volumen\ PTAR: b\ x\ l\ x\ h$$

$$volumen\ PTAR: 2.00X2.00X1.30m$$

$$volumen\ PTAR: 5.20\ M^3$$

Se propone un sistema de tratamiento secundario mediante un filtro de arena, posterior al tratamiento primario aeróbico en el PSTAR. Este sistema consiste en el paso del efluente a través de un medio granular, el cual permite la remoción de sólidos suspendidos y la reducción de la carga orgánica mediante procesos físicos y biológicos.

Si bien este tipo de tratamiento presenta una menor eficiencia en la eliminación de nutrientes y patógenos en comparación con sistemas como humedales artificiales, su implementación resulta viable para proyectos de menor escala, debido a su simplicidad constructiva, menor requerimiento de área y facilidad de operación.

4.9.1 Desfogue de planta de tratamiento PSTAR

Como alternativa a la descarga en un afluente natural, se plantea la disposición final del efluente tratado mediante un **pozo de absorción** dentro del mismo terreno del proyecto. Este sistema permite la infiltración del agua residual tratada al subsuelo, siempre que se garantice una adecuada capacidad de infiltración del suelo y se cumplan las distancias mínimas a fuentes de agua potable y edificaciones.

Es importante destacar que el pozo de absorción constituye únicamente un sistema de disposición final, por lo que el efluente debe haber sido previamente tratado mediante procesos primarios y secundarios, con el fin de reducir su carga contaminante y minimizar el riesgo de afectación a las aguas subterráneas y al entorno.

4.10 Reutilización de aguas residuales tratadas

Para el presente proyecto, se plantea la reutilización de las aguas residuales previamente tratadas, con el fin de optimizar el uso del recurso hídrico y reducir el consumo de agua potable.

El sistema consiste en la captación de aguas grises provenientes de duchas, lavamanos y otras fuentes, las cuales son conducidas hacia un sistema de tratamiento. Posteriormente, el efluente tratado será almacenado en un tanque de acumulación para su reutilización en usos no potables, específicamente en la descarga de inodoros y riego de áreas verdes. Con un rebalse a un pozo de absorción.

Adicionalmente, se contempla la incorporación de un sistema de desinfección previo a su reutilización, con el objetivo de asegurar condiciones sanitarias adecuadas y prevenir riesgos a la salud de los usuarios.

4.11 Análisis de captación y reutilización de agua

4.11.1 Condiciones climáticas del sitio

El área de estudio se ubica en Paquita, Quepos, Puntarenas, zona que presenta un clima tropical húmedo, caracterizado por temperaturas cálidas y relativamente constantes a lo largo del año. Asimismo, se distingue por altos niveles de precipitación anual, concentrados principalmente durante la estación lluviosa.

Estas condiciones climáticas generan un ambiente con elevada humedad relativa y una marcada diferenciación entre la época seca y lluviosa, aspectos que deben ser considerados en el diseño y planificación del proyecto.

4.11.2. Precipitación en la zona de estudio

Promedios históricos mensuales y anuales en Quepos muestran que es un lugar con lluvias muy altas, especialmente en la temporada lluviosa (mayo-noviembre). Octubre suele ser el mes con mayor precipitación mensual promedio (~440 mm). El promedio anual histórico supera los 3.700 mm al año.

La precipitación en Quepos, basada en datos típicos del IMN (Instituto Meteorológico Nacional) para la región del Pacífico Central, muestra una marcada estacionalidad con una temporada seca definida (diciembre-abril) y una lluviosa (mayo-noviembre). Los meses más lluviosos suelen ser septiembre y octubre, superando a menudo , con un total anual elevado.

Mes	Precipitación media (mm)	Área de techado m^2)	Coeficiente de escorrentía	Caudal mensual (litros/mes)	Caudal mensual (m^3/mes)
Enero	58,3	320	0,95	17723,20	17,7232
Febrero	25	320	0,95	7600,00	7,6
Marzo	47,4	320	0,95	14409,60	14,4096
Abril	163,4	320	0,95	49673,60	49,6736
Mayo	414,2	320	0,95	125916,80	125,9168
Junio	419,1	320	0,95	127406,40	127,4064
Julio	433,3	320	0,95	131723,20	131,7232
Agosto	477,8	320	0,95	145251,20	145,2512
Septiembre	535,9	320	0,95	162913,60	162,9136
Octubre	582,8	320	0,95	177171,20	177,1712
Noviembre	370,4	320	0,95	112601,60	112,6016
Diciembre	146,7	320	0,95	44596,80	44,5968

Figura 33. Caudal promedio mensual de agua de lluvia (Estación Damas – Quepos)
Fuente: Estudio hidrológico.

4.11.3 Volumen potencial de captación de agua de lluvia:

Esto representa un volumen promedio de 50 m³/mes, suficiente para abastecer parcialmente las baterías sanitarias y algunas actividades no potables del conjunto residencial.

El conjunto residencial cuenta con una superficie total de techo de aproximadamente 300 m², la cual puede ser utilizada como área de captación de agua de lluvia.

Esta superficie permite recolectar agua pluvial mediante la instalación de canaletas y tuberías de conducción, las cuales dirigen el agua hacia un sistema de almacenamiento para su posterior utilización en actividades que no requieren agua potable.

El aprovechamiento de esta área de captación representa una alternativa viable para reducir el consumo de agua proveniente de la red pública, especialmente en una región como Quepos, caracterizada por altos niveles de precipitación anual.

A: Área total de techo: 300 m²

P: Precipitación anual promedio en Quepos: 2.500 mm (2,5 m)

CV: Coeficiente de escurrimiento: 0,8

$$Vc = A * P * CV$$

$$Vc = 300\ M^2 * 2.5\ M * 0.8$$

$$Vc = 600\ M^3/año$$

$$VP = 50\ M^3/mes$$

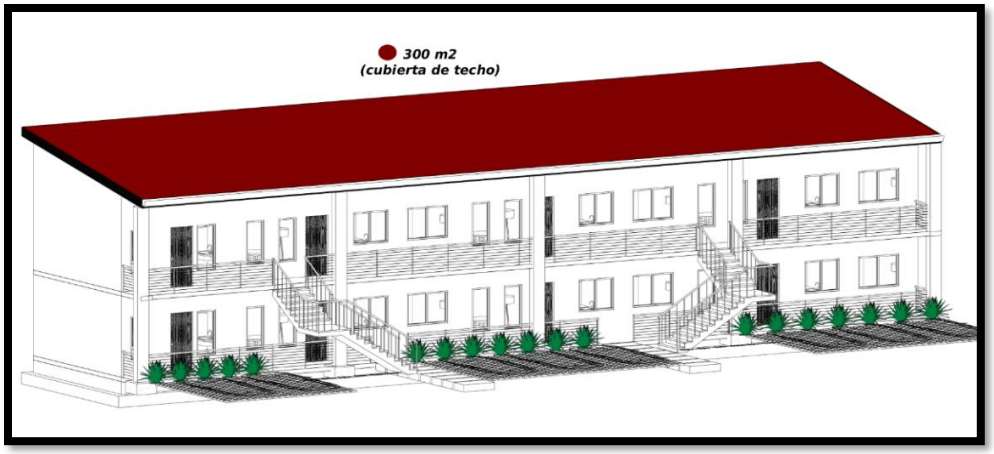


Figura 34. **Modelo de cubierta de proyecto**
Fuente: Elaboración mediante REVIT

4.11.4 Relación entre captación pluvial y consumo de agua no potable

El volumen de consumo de agua del proyecto se estima en 4.6 m³/día, lo que equivale a un consumo mensual de:

$$Vt = 4.62x30 = 138\text{m}^3/\text{mes}$$

Por otra parte, el volumen potencial de captación de agua pluvial es de 50 m³/mes.

Para determinar el aporte de este sistema, se calcula el porcentaje de cobertura:

$$Cobertura = \frac{50}{138} x\ 100$$

$$Cobertura = 25.25\%$$

Esto indica que el sistema de captación de agua de lluvia puede suplir aproximadamente un 25 % del consumo total de agua del proyecto, destinándose principalmente a usos no potables. Este aporte representa una reducción significativa en la demanda de agua potable, contribuyendo a la sostenibilidad del proyecto y al aprovechamiento eficiente del recurso hídrico.

4.12 Volumen potencial de reutilización de aguas grises:

Para el presente proyecto, se estima un caudal de entrada de aguas grises al sistema de tratamiento de 4.62 m³/día, proveniente de actividades como duchas, lavamanos y otros usos no sanitarios.

No obstante, debido a pérdidas inherentes al proceso de tratamiento, tales como retención de sólidos, acumulación de lodos y otras ineficiencias operativas, no la totalidad de este volumen es apta para su reutilización. En este sentido, se adopta un factor de recuperación del 80%**,** obteniéndose un volumen potencial de reutilización de aproximadamente 3.68 m³/día**.**

Este caudal será destinado a usos no potables dentro del proyecto, específicamente para la descarga de inodoros y el riego de áreas verdes, contribuyendo a la reducción del consumo de agua potable y al aprovechamiento eficiente del recurso hídrico.

4.13 Relación entre captación residual y consumo de agua no potable

Para este análisis se considera una captación de aguas residuales (sin incluir sanitarios) de 3,68m³/día, la cual será tratada y reutilizada para el abastecimiento de inodoros.

De acuerdo con la dotación establecida de 300 L/persona/día, se asume que aproximadamente el 30% del consumo total corresponde al uso en sanitarios. Para una población de 22 personas**,** se tiene:

Consumo total diario:

$$Cd: 22x300: 600\ l/dia$$

$$Cd: 6.6\ m3/dia$$

Consumo en sanitarios (30%):

$$Cs: 6.6x0.30$$

$$Cs: 1.98\ m3/dia$$

$$Cs: 59.4\ m3/mes$$

Por otra parte, la captación de aguas residuales equivale a:

$$Cr: 3.76\ \ x\ 30$$

$$Cr: 112.8\ \mathrm{m^3/mes}$$

La relación entre la captación y la demanda sanitaria se determina mediante:

$$Cobertura = \frac{112.8}{59.4} x\ 100$$

$$Cobertura = 189.9\%$$

Esto indica que el volumen de aguas residuales tratadas es más que suficiente para cubrir la totalidad de la demanda de agua en sanitarios, generando incluso un excedente.

El esquema del proceso de aguas sanitarias provenientes de inodoros representa el flujo de las aguas residuales generadas por el uso de servicios sanitarios dentro de la edificación en estudio. Estas aguas corresponden principalmente a aguas negras, debido a la presencia de materia orgánica y cargas contaminantes de alta concentración.

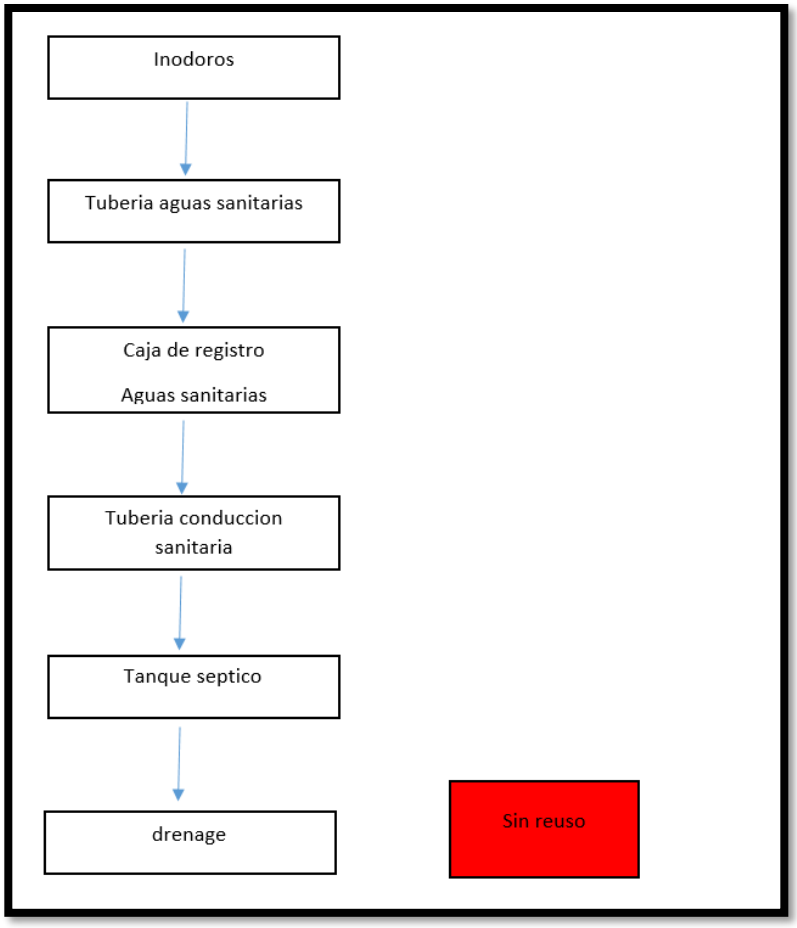


Figura 35. Esquema de proceso de agua sanitarias (inodoros)
Fuente: Elaboración propia.

4.13.1 Generación de aguas sanitarias

El proceso inicia en los inodoros, donde se generan las aguas residuales producto de las descargas sanitarias. Estas aguas, denominadas aguas negras, contienen materia orgánica, sólidos suspendidos y microorganismos, por lo que requieren un manejo y tratamiento adecuado antes de su disposición final.

4.13.2 Conducción mediante tuberías sanitarias

Las aguas negras son transportadas a través de una red de tuberías sanitarias, diseñadas para garantizar un flujo adecuado por gravedad, evitando fugas, obstrucciones y riesgos de contaminación en la edificación.

4.13.3 Caja de registro

El sistema incluye una caja de registro, la cual cumple la función de permitir la inspección, mantenimiento y control del flujo de aguas residuales. Este elemento facilita la detección de posibles obstrucciones y asegura el correcto funcionamiento del sistema.

4.13.4 Tubería de conducción sanitaria

Desde la caja de registro, las aguas son conducidas mediante tuberías hacia el sistema de tratamiento. Estas tuberías conectan los diferentes puntos del sistema, garantizando la continuidad del flujo hasta el tratamiento final.

4.13.5 Tratamiento en tanque séptico

Las aguas residuales ingresan a un tanque séptico, donde se lleva a cabo un tratamiento primario. En este proceso, los sólidos sedimentables se depositan en el fondo formando lodos, mientras que las grasas y materiales flotantes se acumulan en la superficie. Este proceso permite una reducción inicial de la carga contaminante.

4.13.6 Disposición final

El efluente parcialmente tratado es conducido hacia el sistema de drenaje para su disposición final. En este esquema no se contempla la reutilización del agua, debido a las características contaminantes de las aguas negras y a la necesidad de tratamientos más avanzados para su posible aprovechamiento.

Cuadro 10 . Esquema de proceso de agua residual

Elemento	Criterio de diseño	Dimensión recomendada
Caudal diario	Dato calculado	1.98 m^3/día
Factor de almacenamiento	1 día	—
Volumen del tanque séptico	(V = Q \times t)	1.98 m^3 ≈ **2.0 m^3**
Dimensiones del tanque	Relación largo:ancho:altura (2:1:1)	2.0 m × 1.0 m × 1.0 m
Diámetro tubería sanitaria	Según caudal y normativa	**110 mm (4”)**
Pendiente de tubería	Flujo por gravedad	2%
Caja de registro	Dimensión estándar	0.60 m × 0.60 m × 0.60 m
Profundidad de instalación	Según nivel de salida	0.80 – 1.20 m

Fuente: Elaboración Propia.

4.14 Esquema proceso de aguas grises

El esquema del proceso de aguas sanitarias en la presente investigación representa el flujo de las aguas generadas dentro de la edificación, desde su origen hasta su disposición final o reutilización, con el objetivo de optimizar el uso del recurso hídrico mediante sistemas de tratamiento y aprovechamiento.

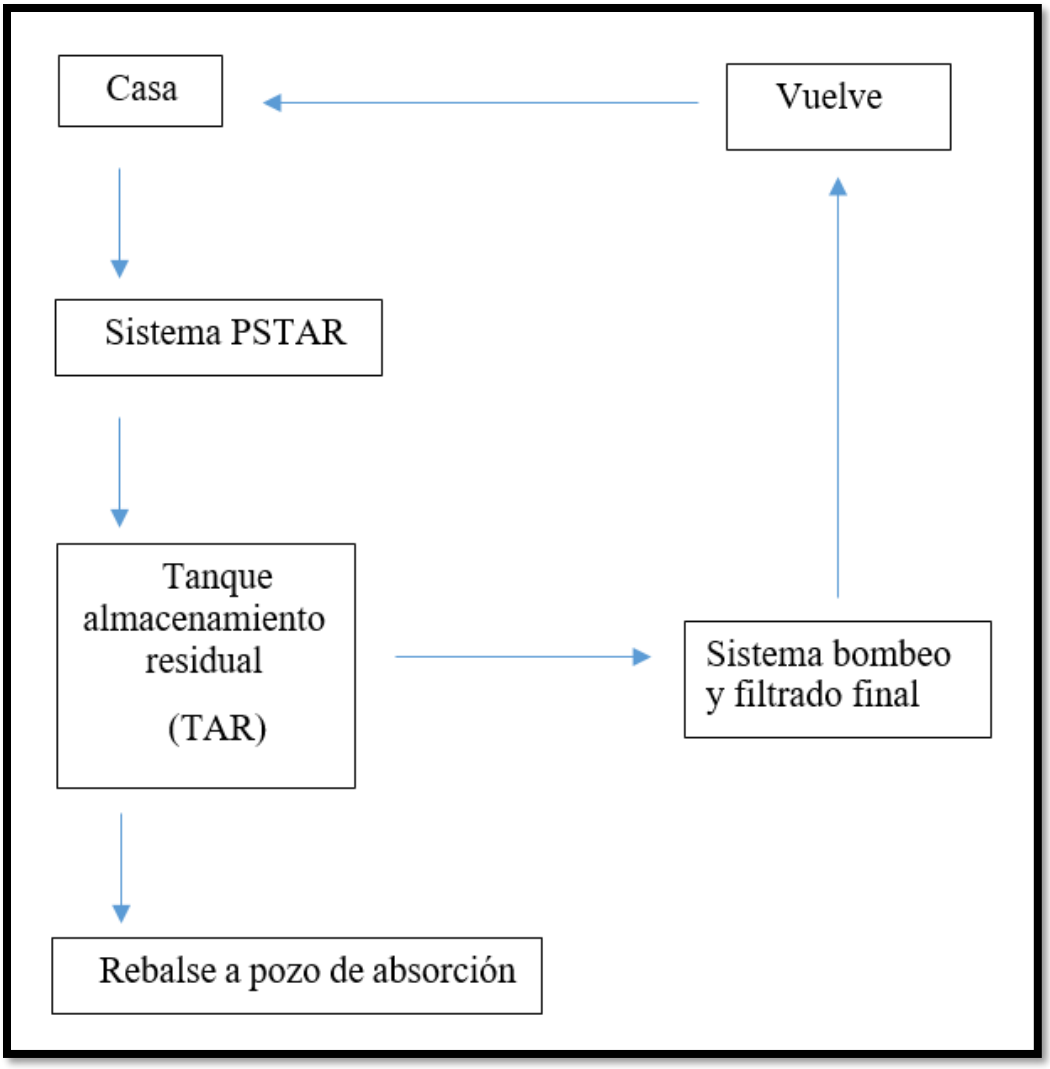


Figura 36. Esquema de proceso de agua residual
Fuente: Elaboración propia

4.14.1 Generación de aguas grises

Las aguas grises se generan a partir de actividades como el uso de lavamanos y duchas dentro de la edificación. Estas aguas presentan una menor carga contaminante en comparación con las aguas negras, lo que permite su aprovechamiento mediante tratamientos básicos.

4.14.2 Recolección y conducción

Las aguas grises son recolectadas a través de una red de tuberías independiente, diseñada para evitar su mezcla con las aguas negras. Esta separación es fundamental para facilitar su tratamiento y posterior reutilización.

4.14.3 Pretratamiento

Antes de su almacenamiento, las aguas grises pasan por un proceso de pretratamiento, el cual puede incluir la retención de sólidos, grasas y partículas mediante filtros o trampas. Este proceso mejora la calidad del agua y protege los sistemas posteriores.

4.14.4 Tratamiento básico

Posteriormente, el agua es sometida a un tratamiento básico, que puede incluir procesos de sedimentación y filtración. Este tratamiento permite reducir la carga contaminante y adecuar el agua para usos no potables dentro del sitio constructivo.

4.14.5 Almacenamiento

El agua tratada es almacenada en un tanque, el cual permite regular su disponibilidad y garantizar un suministro constante para su reutilización.

4.14.6 Reutilización

Finalmente, el agua es reutilizada en actividades no potables dentro de la obra, tales como limpieza de áreas, riego o control de polvo. Este proceso contribuye a la reducción del consumo de agua potable.

4.14.7 Beneficio del sistema

La implementación de este sistema permite optimizar el uso del recurso hídrico, reducir costos asociados al consumo de agua potable y disminuir el impacto ambiental generado por la edificación.

Cuadro 11 . **Esquema de proceso de agua residual**

Elemento	Criterio de diseño	Dimensión recomendada
Caudal diario	Dato calculado	3.68 m³/día
Factor de almacenamiento	1 día	—
Volumen del sistema de tratamiento	(V = Q \times t)	3.68 m³ ≈ **3.7 m³**
Tanque de tratamiento	Sedimentación + filtración básica	3.7 m³
Tanque de almacenamiento	Reutilización en obra	3.7 m³
Diámetro tubería aguas grises	Flujo por gravedad	**100 mm (4")**
Pendiente de tubería	Flujo por gravedad	2%
Filtro primario	Retención de sólidos	Rejilla + grava / filtro simple
Caja de registro	Inspección y mantenimiento	0.60 m × 0.60 m × 0.60 m
Altura del sistema	Tratamiento + almacenamiento	1.5 – 2.0 m

Fuente: Elaboración Propia

4.15 Esquema funcional captación agua de lluvia

El esquema funcional de captación de agua de lluvia representa el proceso mediante el cual el recurso hídrico es recolectado, conducido, almacenado y distribuido para su aprovechamiento dentro del sitio constructivo.

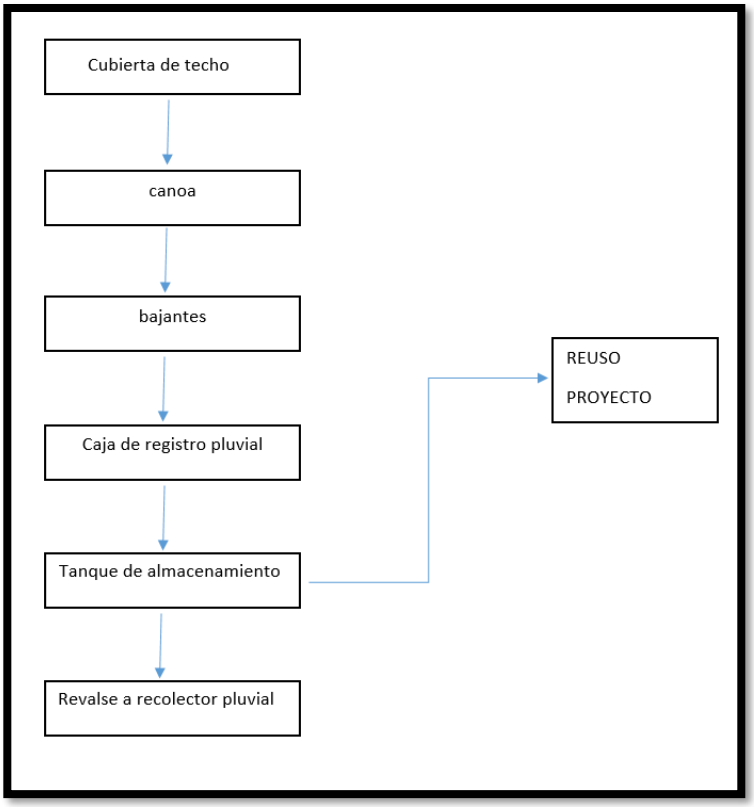


Figura 37. **Esquema de proceso de agua pluvial.**
Fuente: Elaboración propia.

4.15.1 Captación del agua pluvial

El proceso inicia con la captación del agua de lluvia a través de las superficies de cubierta de la edificación, las cuales actúan como área de recolección del recurso hídrico.

4.15.2 Conducción del agua

El agua captada es conducida mediante canaletas y bajantes hacia el sistema de almacenamiento, garantizando un flujo controlado y evitando pérdidas durante el transporte.

4.15.3 Pretratamiento (filtrado inicial)

Antes de su almacenamiento, el agua pasa por un sistema de filtrado inicial, el cual permite la retención de hojas, sedimentos y otros materiales sólidos presentes en la superficie de captación.

4.15.4 Almacenamiento

El agua filtrada es almacenada en un tanque, donde se conserva hasta su utilización. Este tanque puede estar diseñado para mantener condiciones adecuadas que eviten la contaminación del agua.

4.13.5 Distribución

El agua almacenada es distribuida mediante un sistema por gravedad o bombeo hacia los puntos de uso dentro de la obra.

4.15.6 Uso del agua captada

El agua de lluvia es utilizada en actividades no potables como limpieza de obra, riego de áreas verdes y control de polvo, contribuyendo a la disminución del consumo de agua potable.

4.15.7 Beneficio del sistema

Este sistema permite aprovechar un recurso natural disponible, reducir la demanda de agua potable y mejorar la sostenibilidad del proyecto constructivo.

Cuadro 12.. Esquema de proceso de agua residual

Elemento	Criterio de diseño	Resultado
Área de captación (A)	Superficie de techo	300 m²
Precipitación promedio (P)	Zona de estudio (Quepos)	2.5 m/año
Coeficiente de escurrimiento (C)	Tipo de superficie de techo	0.8
Volumen anual captado	(V = A \times P \times C)	600 m³/año
Volumen mensual estimado	(600 / 12)	50 m³/mes
Volumen diario estimado	(600 / 365)	1.64 m³/día

Capacidad recomendada de tanque	1 a 3 días de almacenamiento	2 – 5 m^3
Diámetro tubería de conducción	Según caudal de lluvia	100 mm (4”)
Pendiente de canaletas	Flujo por gravedad	1–2%
Filtro inicial	Retención de sólidos (hojas/sedimentos)	Rejilla + first flush
Uso del agua	No potable	Limpieza, riego, control de polvo

Fuente: Elaboración propia.

4.16. Ahorro de agua potable esperado:

La implementación del sistema de reutilización de aguas grises permite reducir significativamente el consumo de agua potable en el proyecto. A partir del volumen potencial de reutilización estimado en 3.68 m^3/día, este recurso será destinado a usos no potables, tales como la descarga de inodoros y el riego de áreas verdes.

Adicionalmente, al integrar un sistema de captación de aguas pluviales, se incrementa el aprovechamiento de fuentes alternativas de agua dentro del proyecto. La combinación de ambos sistemas permite sustituir una parte importante de la demanda de agua potable.

En este sentido, se proyecta una reducción aproximada del 35% al 40% del consumo de agua potable en el conjunto residencial, lo cual representa un ahorro significativo del recurso hídrico, así como una disminución en la presión sobre las fuentes de abastecimiento.

Asimismo, estas estrategias contribuyen a la sostenibilidad del proyecto, al fomentar el uso eficiente del agua y la gestión responsable de los recursos naturales.

4.17 Análisis y discusión de los resultados para las variables o categorías de análisis

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio, se realizó un análisis integral de las variables relacionadas con el consumo de agua, la generación de aguas residuales y el potencial de reutilización dentro del proyecto.

En primer lugar, el consumo de agua potable refleja una demanda significativa asociada a las actividades domésticas. No obstante, al desagregar los usos, se identifica que una proporción importante corresponde a actividades no potables, como la descarga de inodoros y el riego de áreas verdes, lo que abre la posibilidad de sustituir parcial o totalmente estas demandas mediante fuentes alternativas.

En este contexto, la reutilización de aguas grises tratadas presenta un alto potencial, con un volumen estimado de 3,68 m^3/día, suficiente para cubrir la totalidad de la demanda en sanitarios y generar un excedente aprovechable en otros usos no potables. De forma complementaria, el sistema de captación de aguas pluviales, con una capacidad aproximada de **50 m^3/mes**, contribuye a incrementar la disponibilidad del recurso, especialmente durante la época lluviosa.

El análisis conjunto de estos sistemas evidencia que la integración de estrategias de captación y reutilización permite una reducción considerable en el consumo de agua potable, alcanzando valores cercanos al 40%**,** lo cual demuestra la viabilidad técnica y el impacto positivo de la propuesta en términos de sostenibilidad hídrica.

Asimismo, se concluye que:

a) La captación de agua de lluvia a partir de **los** 300 m^2 de cubierta representa un aporte significativo para suplir usos no potables, disminuyendo la dependencia de la red pública
b) La reutilización de aguas grises optimiza el uso del recurso, particularmente en el abastecimiento de sanitarios.

c) La combinación de ambos sistemas permite un aprovechamiento eficiente del agua, manteniendo las condiciones de confort y funcionalidad del proyecto.
d) Los resultados obtenidos son coherentes con experiencias similares en proyectos residenciales, lo que respalda la viabilidad técnica y ambiental de la solución propuesta.

No obstante, la eficiencia del sistema dependerá de factores como el adecuado mantenimiento, la variabilidad en los patrones de consumo y las condiciones climáticas, especialmente en lo referente a la captación pluvial. Por ello, se recomienda implementar medidas de control, operación y monitoreo que aseguren el desempeño óptimo del sistema a lo largo del tiempo.

4.18 Aceptación o rechazo de la hipótesis

Con base en los resultados obtenidos, considerando el área de captación de **300 m²** y la estimación de aguas grises generadas, se procede a evaluar la hipótesis planteada.

La hipótesis establece que la implementación de estrategias de optimización del uso del agua, mediante la captación de aguas pluviales y la reutilización de aguas grises, contribuye a la reducción del consumo de agua potable en los 8 apartamentos del proyecto.

Los análisis realizados evidencian que la incorporación de estos sistemas permite una disminución significativa en la demanda de agua potable, alcanzando una reducción estimada entre el 35% y el 40% del consumo total. Asimismo, se verifica la viabilidad técnica de la propuesta, tanto en términos de captación, tratamiento como de distribución del recurso reutilizado, adaptándose adecuadamente a las condiciones del proyecto.

En consecuencia, se acepta la hipótesis de investigación, ya que se demuestra que la implementación de sistemas alternativos de abastecimiento hídrico contribuye de manera efectiva a la optimización del consumo de agua potable, sin comprometer la funcionalidad ni las condiciones sanitarias del conjunto residencial.

Estos resultados confirman que un sistema integrado de captación de aguas pluviales y reutilización de aguas grises constituye una solución viable y sostenible, con un impacto positivo en la gestión eficiente del recurso hídrico dentro del proyecto.

4.19 Planos del sistema hidráulico

Como parte de la propuesta de optimización del uso del agua en el conjunto residencial, se elaboraron planos del sistema hidráulico que permiten representar de manera técnica la distribución y funcionamiento del sistema de captación, conducción y almacenamiento del agua de lluvia.

Los planos desarrollados incluyen la ubicación de canaletas de captación, tuberías de conducción, bajantes pluviales y el tanque de almacenamiento, así como la conexión del sistema con los puntos de uso destinados a actividades que no requieren agua potable, como el abastecimiento de las baterías sanitarias.

Estos planos permiten visualizar la integración del sistema dentro de la infraestructura del edificio, facilitando la comprensión del funcionamiento general del sistema propuesto y su viabilidad técnica dentro del conjunto de apartamentos.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La presente investigación permitió evidenciar que, en la fase operativa de las obras civiles, el uso del recurso hídrico se realiza, en muchos casos, sin una planificación orientada a la eficiencia, lo que conlleva a un consumo elevado de agua potable para actividades que no requieren dicha calidad. Esta situación confirma la existencia de una problemática real en la gestión del agua dentro de edificaciones en funcionamiento.

A partir del análisis técnico desarrollado, se determinó que la implementación de sistemas de captación de aguas pluviales y reutilización de aguas residuales tratadas constituye una alternativa viable para optimizar el uso del recurso hídrico. Estos sistemas permiten sustituir parcialmente el consumo de agua potable en actividades como la descarga de sanitarios, limpieza de áreas comunes y riego, sin comprometer la funcionalidad del proyecto.

Asimismo, los resultados obtenidos evidencian que la incorporación de estas estrategias puede generar una reducción significativa en el consumo de agua potable, lo que se traduce en beneficios tanto ambientales como económicos. Por un lado, se disminuye la presión sobre las fuentes hídricas disponibles; y por otro, se reducen los costos operativos asociados al consumo del recurso.

En relación con la hipótesis planteada, se logra confirmar que la aplicación de sistemas de captación y reutilización dentro del sitio constructivo permite mejorar la eficiencia hídrica en la fase operativa de la edificación, mediante el aprovechamiento de fuentes alternativas en usos no potables.

Finalmente, la investigación aporta un enfoque integral que combina el análisis del consumo de agua, el diseño de sistemas y la evaluación de beneficios, lo cual representa una base técnica aplicable a otros proyectos, contribuyendo al fortalecimiento de prácticas sostenibles en el sector de la ingeniería civil.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda incorporar, desde la fase operativa de las edificaciones, criterios de gestión eficiente del recurso hídrico que contemplen el uso de sistemas de captación de aguas pluviales y reutilización de aguas residuales, con el fin de reducir la dependencia de fuentes de agua potable.

Asimismo, resulta fundamental que los profesionales del sector construcción integren este tipo de soluciones dentro de sus propuestas técnicas, promoviendo una visión más sostenible en el diseño y operación de las obras civiles.

Se sugiere que, previo a la implementación de estos sistemas, se realicen estudios detallados del consumo de agua en la edificación, con el propósito de dimensionar adecuadamente los componentes del sistema y garantizar su eficiencia operativa.

De igual forma, se recomienda fortalecer la divulgación y aplicación de la normativa vigente en Costa Rica relacionada con el tratamiento y reúso de aguas residuales, de manera que se asegure el cumplimiento de los parámetros de calidad y se minimicen riesgos para la salud y el ambiente.

Finalmente, se propone que futuras investigaciones amplíen el análisis hacia evaluaciones económicas más detalladas, así como la aplicación de estos sistemas en distintos tipos de infraestructura, lo que permitiría consolidar su viabilidad y fomentar su implementación a mayor escala.

6. BIBLIOGRAFÍA

AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados). (2017). *Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones*. San José, Costa Rica.

AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados). (s.f.). *Guía de agua*. San José, Costa Rica.

CEPAL. (2021). *Gestión sostenible del agua en América Latina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Else, K. (2016). *Nematodos parásitos del intestino: mecanismos de resistencia*. https://www.immunology.org/

García, J., & López, M. (2021). *Gestión sostenible del agua en edificaciones residenciales*. Editorial Universidad.

García, J., Pérez, L., & Rodríguez, M. (2019). *Sistemas de captación de agua de lluvia en edificaciones residenciales*.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Ministerio de Ambiente y Energía & Ministerio de Salud. (2016). *Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2016–2045*. https://www.aya.go.cr/

Jaramillo, L. (2007). El valor económico del agua para riego: Un estudio de valoración contingente. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (6), 16–32. https://www.redalyc.org/

López, R., & Martínez, F. (2020). *Reutilización de aguas grises en viviendas urbanas*.

Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2020). *Guía de captación de agua de lluvia*. San José, Costa Rica.

Ministerio de Salud de Costa Rica. (s.f.). *Guía práctica de soluciones individuales para el tratamiento de aguas residuales*. San José, Costa Rica.

Ministerio de Salud de Costa Rica. (s.f.). *Norma N.° 44: Reglamento técnico aplicable a sistemas sanitarios*. San José, Costa Rica.

Naciones Unidas. (2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/

ONU-Hábitat. (2018). *Water and sanitation in urban areas*.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2015). *Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015*. http://www.unesco.org/

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2017: Aguas residuales, el recurso desaprovechado*. http://www.unesco.org/

Poder Ejecutivo. (2007). *Reglamento de vertido y reúso de aguas residuales (Decreto N.° 33601-MINAE-S)*. Diario Oficial La Gaceta. https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=59524

Poder Ejecutivo. (2008). *Reglamento del canon ambiental por vertidos (Decreto N.° 42128-MINAE-S)*.

Poder Ejecutivo. (2018). *Reglamento de aprobación y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales (Decreto N.° 39887-S-MINAE)*. Diario Oficial La Gaceta.

Poder Ejecutivo. (2019). *Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas (Decreto N.° 42075-S-MINAE)*. Diario Oficial La Gaceta. https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=91043

Smith, A. (2019). Reuse of greywater in urban housing. *Journal of Sustainable Water Management*, 15(2), 45–60.

Universidad Nacional. (2011). *Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua*. https://www.aya.go.cr/

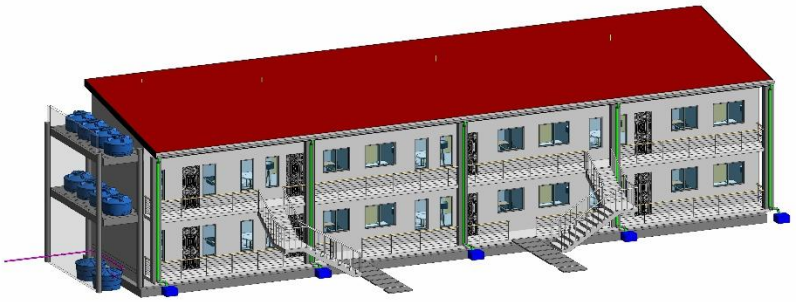
Valdivielso, A. (2010). ¿Qué es un caudal? https://www.iagua.es/

7. ANEXOS

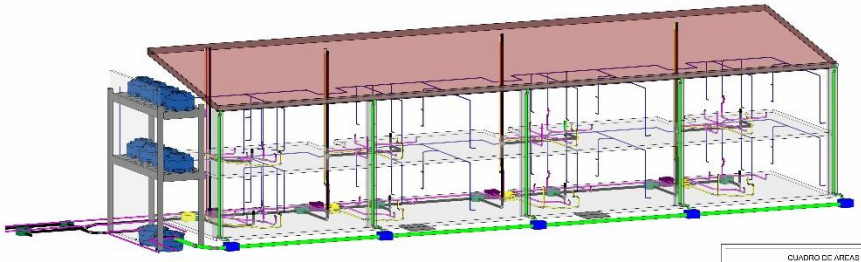
7.1 Diseño mecánico de la red de captación y distribución de agua

PROPUESTA DE OPTIMIZACIóN DEL USO DE AGUA EN PROYECTO APARTAMENTAL MEDIANTE SISTEMAS DE CAPTACIóN Y REUTILIZACIóN EN OBRA.

(ANALISIS OPERATIVO)



2 MODELO 3D



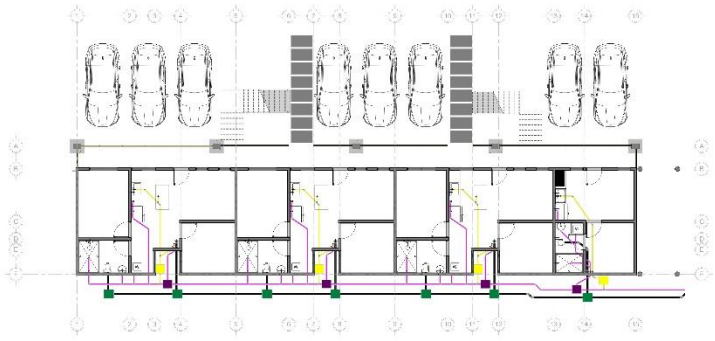
1 MODELO 3D- DISTRIBUCION M.E.C

CUADRO DE AREAS DE COBERTURA	
AREA TOTAL DEL TERRENO	2295 M²
AREA NUEVA	225 M²
AREA EN USO EXISTENTE	550 M²
AREA TOTAL SIN USO	1520 M²

UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON

L-101

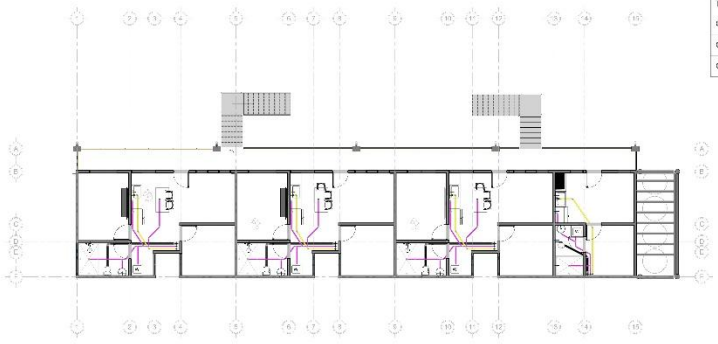
1 : 25



1 PLANTA DE DISTRIBUCION MECANICA AGUAS RESIDUALES 1° NIVEL

1 : 60

SIMBOLOGIA	
TUBERIA AGUAS JABONOSAS, 3" Ø	
TUBERIA AGUAS GRASA, 3" Ø	
TUBERIA AGUAS SANITARIAS, 4" Ø	
CAJA REGISTRO AGUAS JABONOSAS	
CAJA DE REGISTRO AGUAS NEGRAS	
CAJA REGISTRO DE GRASAS	



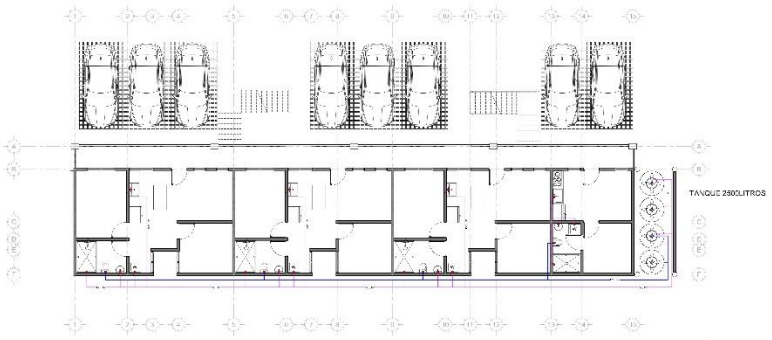
2 PLANTA DE DISTRIBUCION MECANICA AGUAS RESIDUALES 2° NIVEL

1 : 60

UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON

L-102

As indicated



2 PLANTA DISTRIBUCION MECANICA DE AGUA POTABLE 1° NIVEL

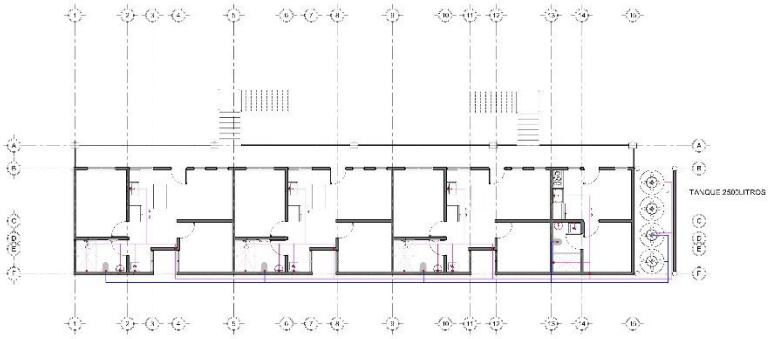
1 : 60

SIMBOLOGIA

TUBERIA AGUAS POTABLE

TUBERIA AGUAS POTABLE. TRATADA

VALVULA DE PASO



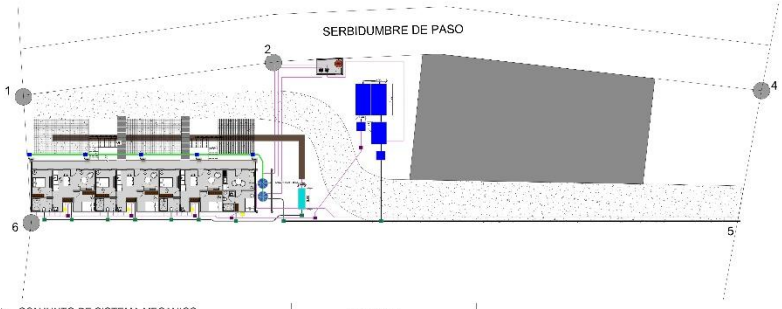
1 PLANTA DISTRIBUCION MECANICA DE AGUA POTABLE 2° NIVEL

1 : 60

UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON

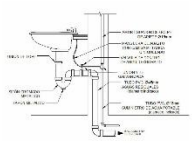
L-103

As indicated

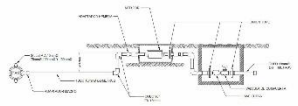


1 CONJUNTO DE SISTEMA MECANICO
1 : 150

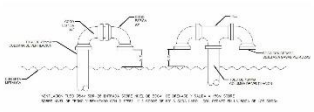
SIMBOLOGIA	
ZANJA DE DRENAJE	
TANQUE SEPTICO	
TANQUE DE AGUA, 5000 L	
TANQUES SISTEMA PTAR	



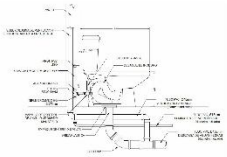
DETALLE DE LAVAMANOS
1 : 25



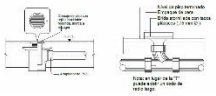
2 MECANICO 5
1 : 25



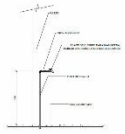
DETALLE COLUMNA DE VENTILACION
1 : 25



DETALLE DE INODORO
1 : 25



DETALLE INSTALCION DRENAGE PISO
1 : 30



DETALLE LLAVE DE CHORRO
1 : 30

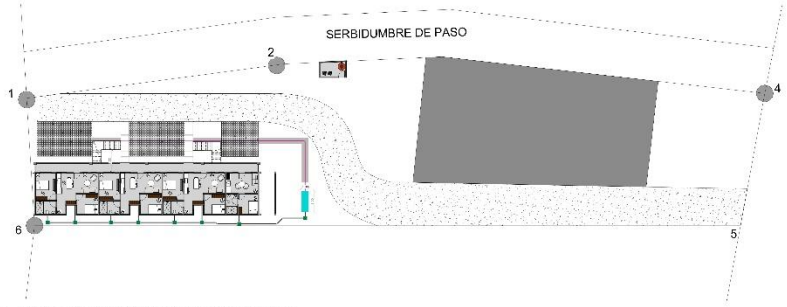


DETALLE INST. DE FREGADERO
1 : 30

UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON

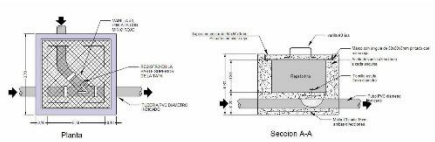
L-104

As indicated



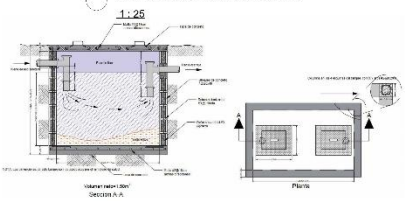
1 PLANTA UBICACION DE TANQUE SEPTICO Y DRENAGE

1 : 150



DETALLE REGISTRO AGUAS NEGRAS

1 : 25

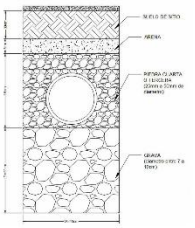


DETALLE DE TANQUE SEPTICO

1 : 25

SIMBOLOGIA

TANQUE SEPTICO	
ZANJA DE DRENAJE	
TUBERIA DRENAFOR, 4"	
TUBERIA AGUAS SANITARIAS, 4"	
CAJA DE REGISTRO AGUAS NEGRAS	



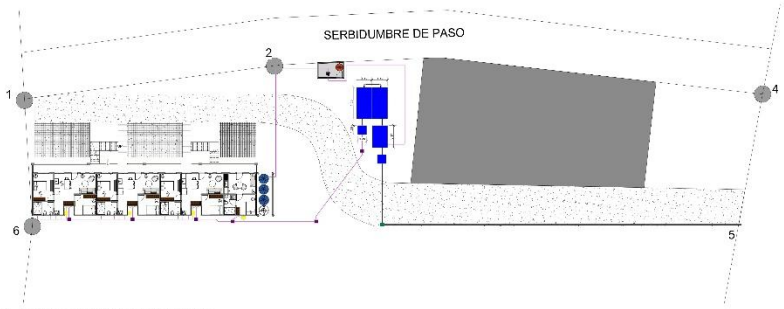
DETALLE DE DRENAJE

1 : 25

UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON

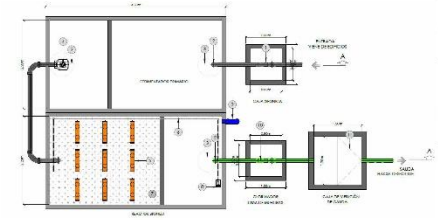
L-105

As indicated



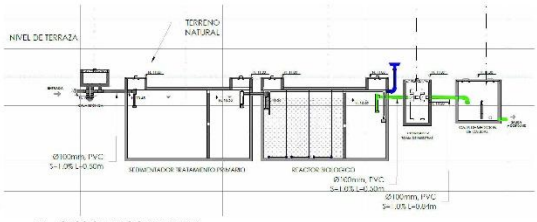
1 PLANTA UBICACION DE SISTEMA PTAR

1 : 150



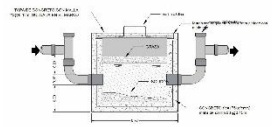
DETALLE DE SISTEMA PTAR

1 : 10



SECCION DE SISTEMA PTAR

1 : 10



DETALLE TRAMPA DE GRASAS

1 : 25

TABLA COMPONENTES SECCION A-A		
N°	CANT.	DESCRIPCION
1	1	
2	3	
3	1	
4	2	
5	2	
6	1	
7	12	
8	12	
9	1	
10	1	
11	1	
12	1	

UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON

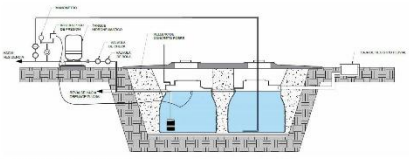
L-106

As indicated



1 PLANTA DISTRIBUCION PLUVIAL Y TANQUE DE ALMACENAMIENTO

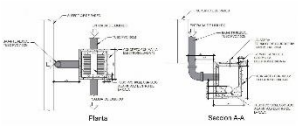
1 : 150



SIMBOLOGIA	
TUBERIA AGUAS PLUVIAL, 6"	
TUBERIA REVALSE PLUVIAL, 6"	
TANQUE DE AGUA, 5000 L	
CAJA DE REGISTRO PLUVIAL	

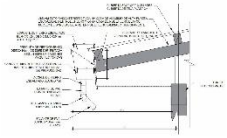
DETALLE TANQUES DE CAPTACION DE AGUA POTABLE

1 : 10



DETALLE DE CAJA DE REGISTRO PLUVIAL

1 : 25



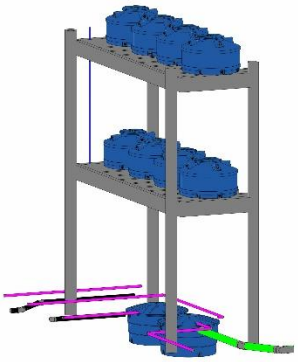
DETALLE CAPTACION DE CUBIERTA

1 : 25

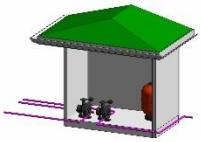
UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON

L-107

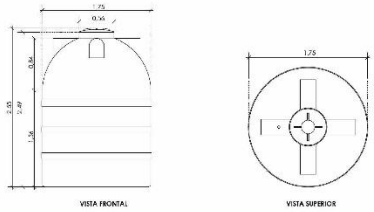
As indicated



1 MODELO 3D- DISTRIBUCION M.E.C



2 MODELO 3D- CUARTO DE MAQUINAS



DETALLE TANQUE DE AGUA

1 : 10



NOTAS DE TANQUE

1 : 10

UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON

L-108