

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Optimización del uso del agua mediante la combinación de soluciones sostenibles para incrementar la disponibilidad de agua potable en el orfanato Valle de los Ángeles, aldea San José El Manzano, Santa Catarina Pinula, Guatemala

Trabajo de graduación presentado por María Fernanda Bautista Cabrera para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Civil

Guatemala,

2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



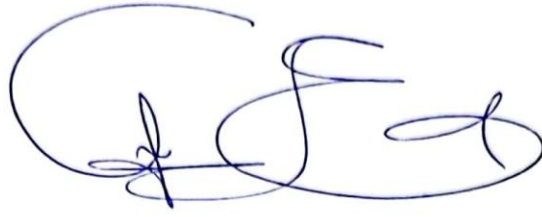
Optimización del uso del agua mediante la combinación de soluciones sostenibles para incrementar la disponibilidad de agua potable en el orfanato Valle de los Ángeles, aldea San José El Manzano, Santa Catarina Pinula, Guatemala

Trabajo de graduación presentado por María Fernanda Bautista Cabrera para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Civil

Guatemala,

2025

Vo.Bo.:



(f) _____

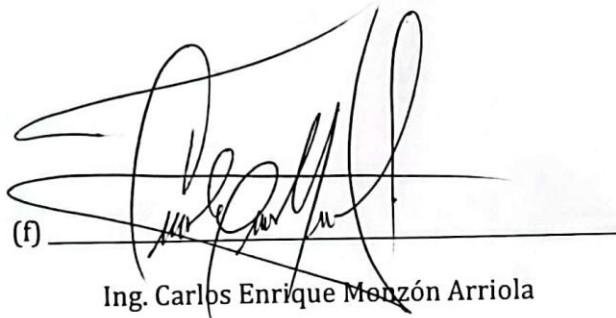
Ing. Héctor Francisco Espinoza García

Tribunal Examinador:



(f) _____

Ing. Héctor Francisco Espinoza García



(f) _____

Ing. Carlos Enrique Menzón Arriola

(f) Tatiana Lopera Posada

Inga. Tatiana Lopera Posada

Fecha de aprobación: Guatemala, 08 de enero de 2025

CONTENIDO

RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS	3
A. OBJETIVO GENERAL	3
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
MARCO TEÓRICO	4
A. EL AGUA	4
B. EL CICLO DEL AGUA	4
C. SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (SCALL)	4
D. IMPORTANCIA DE LOS SCALL	4
E. TIPOS DE SCALL EXISTENTES	5
F. CLASIFICACIÓN DE SCALL	5
G. PROCESO DE DISEÑO DE UN SCALL	5
H. AGUAS PLUVIALES	5
I. IMPORTANCIAS DE LAS AGUAS PLUVIALES	6
J. APLICACIONES DEL USO DE AGUAS PLUVIALES	6
K. FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA	6
L. MÉTODOS DE TRATAMIENTO Y PURIFICACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA PARA USO DOMÉSTICO	6
M. PERSPECTIVAS FUTURAS RESPECTO A LAS AGUAS PLUVIALES	7
N. DESAFÍOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES	7
O. DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE EN INSTITUCIONES SOCIALES	7
P. IDENTIFICACIÓN DE SOLUCIONES SOSTENIBLES	8
Q. DEMANDA Y OFERTA DE AGUA POTABLE	8
R. IMPORTANCIA DEL CICLO HIDROLÓGICO PARA LA DISPONIBILIDAD DE AGUA	9
S. OFERTA Y DEMANDA DE AGUA EN GUATEMALA	9
T. OFERTA Y DEMANDA DE AGUA EN SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA	9
U. FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN GUATEMALA	10
V. SOLUCIONES SOSTENIBLES PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA	10

METODOLOGÍA.....	11
A. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	11
B. DIAGNÓSTICO Y LÍNEA BASE DE LA OFERTA Y LA DEMANDA	11
C. IDENTIFICACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE SOLUCIONES SOSTENIBLES	11
D. ELABORACIÓN DE PLAN DE INVERSIÓN	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
C. OFERTA DE AGUA EN SANTA CATARINA PINULA.....	12
D. MAPEO DE LAS ÁREAS DEL ORFANATO	12
E. DEMANDA DE AGUA EN EL ORFANATO.....	14
F. DESBALANCE ENTRE OFERTA Y DEMANDA.....	14
G. CONSUMO PROMEDIO Y UNIDADES EQUIVALENTES SEGÚN DISPOSITIVO	14
H. DURACIÓN DEL SUMINISTRO SIN REPOSICIÓN	16
I. IMPLICACIONES DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	17
J. IDENTIFICACIÓN DE SOLUCIONES SOSTENIBLES.....	17
K. PLAN DE INVERSIÓN SEGÚN TIPO DE SOLUCIÓN IDENTIFICADA	18
L. PRIORIZACIÓN DE SOLUCIÓN SOSTENIBLE	19
CONCLUSIONES.....	25
RECOMENDACIONES.....	26
BIBLIOGRAFÍA	27
ANEXOS	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Identificación de áreas del orfanato	13
Figura 2. Plano isométrico del sistema	20
Figura 3. Detalles de la canaleta.....	20
Figura 4. Plano lateral.....	21

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Volumen diario estimado para cada uno de los dispositivos identificados	15
Cuadro 2. Resumen de la distribución de los dispositivos según área identificada	15
Cuadro 3. Costo estimado e impacto esperado por cada solución identificada.....	18
Cuadro 4.. Presupuesto pabellón de niños.....	21
Cuadro 5. Presupuesto del área de dormitorio de niñas	22
Cuadro 6.. Presupuesto del área del colegio	22
Cuadro 7. Presupuesto del área del salón de usos múltiples	23
Cuadro 8. Costo Total Final.....	24

RESUMEN

La necesidad de optimizar la captación y uso del agua en el Orfanato Valle de los Ángeles, ubicado en la aldea San José El Manzano, municipio de Santa Catarina Pinula, surge como respuesta a la escasez de agua potable en la institución, que actualmente alberga a más de 200 niños en sus instalaciones. El objetivo principal del estudio fue contribuir a la optimización del aprovechamiento del recurso hídrico mediante la propuesta de soluciones sostenibles que incrementen la disponibilidad de agua potable en el orfanato. Para lograr este objetivo, se llevaron a cabo tres actividades principales: 1) un diagnóstico de la oferta y demanda de agua, que permitió identificar las necesidades específicas del orfanato, 2) la identificación y priorización de soluciones sostenibles viables, basadas en un análisis exhaustivo de información académica y en la importancia de prácticas y tecnologías eficientes, 3) el desarrollo de un plan de inversión estratégico para dimensionar los costos y garantizar una solución duradera. Como resultado del análisis, se determinó que la mejor opción es la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL), diseñado en función de las condiciones geográficas, climatológicas y de infraestructura del orfanato. Se elaboraron planos detallados y un presupuesto estimado de Q70,095.00, que abarca la instalación del sistema en dormitorios, colegio y salón como área común. Los resultados indican que el SCALL representa una alternativa viable, que complementa el uso de fuentes externas de agua y promueve la sostenibilidad hídrica. Se concluye que este sistema no solo contribuye a la seguridad hídrica de la institución, sino que también promueve el uso eficiente del recurso y la sensibilización de las personas sobre el uso del agua. Se recomienda capacitar al personal y a los estudiantes en la gestión del agua y en el mantenimiento del sistema para su óptimo funcionamiento a largo plazo.

Palabras clave: captación de agua de lluvia, sostenibilidad hídrica, infraestructura, abastecimiento de agua, gestión ambiental.

ABSTRACT

The need to optimize water collection and use at the Valle de los Ángeles Orphanage, located in the village of San José El Manzano, municipality of Santa Catarina Pinula, arose in response to the scarcity of drinking water at the institution, which currently houses more than 200 children in its facilities. The main objective of the study was to contribute to the optimization of the use of water resources by proposing sustainable solutions to increase the availability of drinking water in the orphanage. To achieve this objective, three main activities were carried out: 1) a diagnosis of water supply and demand, which identified the specific needs of the orphanage, 2) the identification and prioritization of viable sustainable solutions, based on a thorough analysis of academic information and the importance of efficient practices and technologies, and 3) the development of a strategic investment plan to size the costs and ensure a lasting solution. As a result of the analysis, it was determined that the best option is the implementation of a Rainwater Harvesting System (SCALL), designed according to the geographic, climatological and infrastructure conditions of the orphanage. Detailed plans and an estimated budget of Q70,095.00 were prepared, covering the installation of the system in dormitories, school and living room as a common area. The results indicate that SCALL represents a viable alternative that complements the use of external water sources and promotes water sustainability. It is concluded that this system not only contributes to the water security of the institution, but also promotes the efficient use of the resource and the awareness of people on the use of water. It is recommended to train staff and students in water management and maintenance of the system for its optimal long-term operation.

Key words: rainwater harvesting, water sustainability, infrastructure, water supply, environmental management.

I. INTRODUCCIÓN

La optimización en el uso y captación de agua en el Orfanato Valle de los Ángeles, ubicado en la aldea San José El Manzano, municipio de Santa Catarina Pinula, surge como una respuesta urgente ante la creciente problemática de escasez de agua potable en dicha institución. Actualmente, el orfanato acoge a más de 200 personas, incluyendo niños, niñas y adultos, lo que incrementa significativamente la demanda de agua diaria para consumo, higiene, y otras actividades esenciales.

Dada esta situación, la implementación de soluciones sostenibles resulta fundamental para mejorar la disponibilidad de agua potable. Este proyecto se enmarca en la búsqueda de alternativas que no solo sean eficientes, sino que también contribuyan a la preservación del entorno natural y a la reducción del impacto ambiental, promoviendo prácticas responsables en el manejo de los recursos hídricos. Para ello, la primera etapa del estudio se centró en realizar un diagnóstico detallado de la oferta y demanda actual de agua, con el fin de identificar las necesidades específicas del orfanato y sus áreas de mayor consumo. Este diagnóstico constituye la base para diseñar soluciones efectivas que optimicen tanto la captación como el uso de agua.

Posteriormente, se identificaron y priorizaron diversas soluciones sostenibles mediante la revisión de tecnologías aplicables, prestando especial atención a sistemas de captación de agua de lluvia y otras estrategias que podrían integrarse de forma práctica y económica en las instalaciones del orfanato. Finalmente, se desarrolló un plan de inversión detallado que contempla las soluciones priorizadas, considerando costos, cronograma de implementación y mantenimiento, asegurando la viabilidad a largo plazo de las medidas propuestas.

Este proyecto, en su conjunto, busca contribuir a la seguridad hídrica del Orfanato Valle de los Ángeles mediante la optimización de los recursos existentes y la propuesta de estrategias sostenibles, que incrementen la disponibilidad de agua potable de manera eficiente y ambientalmente responsable.

II. JUSTIFICACIÓN

La optimización de la captación de agua en el Orfanato Valle de los Ángeles, ubicado en la aldea San José El Manzano, en el municipio de Santa Catarina Pinula, se plantea como una respuesta crucial para abordar la problemática de la disponibilidad de agua potable en dicha institución. Esta iniciativa encuentra su justificación en consonancia con el objetivo general de contribuir, a través de la implementación de soluciones sostenibles, al aumento de la disponibilidad de agua potable en el orfanato.

El análisis de la demanda y oferta se presenta como un primer paso fundamental para comprender en profundidad la situación actual en términos de abastecimiento de agua. Este diagnóstico preciso permitirá identificar de manera clara las necesidades específicas del orfanato y establecer las bases para la formulación de soluciones adecuadas.

Por último, la elaboración de un plan de inversión estratégico basado en la evaluación anterior de la oferta y la demanda, así como de las soluciones más adecuadas, es crucial para asegurar la viabilidad y el éxito de las medidas propuestas, garantizando así una implementación integral y efectiva de las soluciones identificadas.

OBJETIVOS

A. Objetivo general

- Contribuir con la optimización del aprovechamiento y uso del agua, a través de la implementación de soluciones sostenibles, que incrementen la disponibilidad de agua potable en el Orfanato Valle de los Ángeles.

B. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico y línea base de la oferta y demanda de agua en el orfanato.
- Identificar y priorizar soluciones sostenibles para el abastecimiento de agua en las instalaciones del orfanato.
- Desarrollar un plan de inversión para la implementación de las soluciones priorizadas.

MARCO TEÓRICO

A. El agua

El agua es una sustancia química compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, formando la molécula H₂O. Es esencial para la vida y cubre aproximadamente el 71 % de la superficie de la Tierra. En su estado puro, el agua es incolora, inodora e insípida, y se presenta en tres estados físicos: sólido, líquido y gaseoso. A nivel molecular, el agua posee una estructura polar que le otorga propiedades únicas, como su capacidad de actuar como disolvente universal y su alta tensión superficial (Gleick, 2010).

B. El ciclo del agua

El ciclo del agua, también conocido como ciclo hidrológico, es un proceso biogeoquímico que describe el movimiento continuo del agua en, sobre y debajo de la superficie terrestre. El ciclo del agua se compone de cinco etapas principales:

- Evaporación: el agua se evapora desde la superficie de los océanos, ríos, lagos y suelos debido al calor del sol.
- Condensación: el vapor de agua se eleva en la atmósfera y se enfría, formando nubes.
- Precipitación: las gotas de agua en las nubes se unen y caen a la superficie terrestre como lluvia, nieve o granizo.
- Infiltración: el agua de la precipitación se filtra en el suelo y se mueve hacia los acuíferos subterráneos.
- Escorrentía: el agua que no se infiltra en el suelo fluye hacia los ríos, lagos y océanos, completando el ciclo del agua.

El ciclo del agua es esencial para la vida en la Tierra, ya que es el proceso que permite la distribución del agua dulce en todo el planeta. Además, el ciclo del agua es importante para la regulación del clima y la conservación de los ecosistemas (U.S. Geological Survey, s. f.)

C. Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL)

Los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) son estructuras diseñadas para recolectar, almacenar y utilizar el agua proveniente de las precipitaciones. Estos sistemas se basan en la recolección de agua que cae sobre superficies como techos, terrazas o superficies pavimentadas, canalizándola hacia depósitos donde puede ser almacenada para su uso posterior. Los SCALL son una alternativa eficaz para el aprovechamiento del agua de lluvia, especialmente en zonas con escasez de recursos hídricos o en lugares con poca infraestructura para el suministro de agua potable (Campisano et al., 2017).

D. Importancia de los SCALL

La relevancia de los SCALL radica en su capacidad para abordar múltiples desafíos relacionados con el agua. Estos sistemas ofrecen una solución sostenible ante la creciente escasez de agua, promoviendo su uso eficiente y reduciendo la dependencia de fuentes convencionales como ríos y acuíferos. Además, los SCALL contribuyen a la disminución de inundaciones urbanas, pues ayudan a mitigar la sobrecarga de los sistemas de drenaje durante lluvias intensas (Gould y NissenPetersen, 1999). También son útiles en el contexto del cambio climático, ya que permiten adaptarse a patrones cambiantes de precipitación (Gould, 2012).

E. Tipos de SCALL existentes

Los SCALL se pueden clasificar en función de su complejidad y el destino del agua captada. En términos generales, existen dos tipos principales:

SCALL pasivos: se limitan a la recolección natural del agua de lluvia sobre superficies inclinadas sin intervención tecnológica significativa. Estos sistemas son comunes en zonas rurales.

SCALL activos: involucran mecanismos más complejos que utilizan tuberías, bombas y sistemas de filtración para recoger, almacenar y purificar agua. Estos son más frecuentes en entornos urbanos e industriales (Tchobanoglous y Schroeder, 2002).

F. Clasificación de SCALL

La clasificación de los SCALL puede realizarse atendiendo a diversos criterios:

Según el uso del agua captada: puede ser para consumo humano, riego agrícola, usos industriales o para actividades no potables como limpieza y jardinería. Según la escala: se clasifican en sistemas a pequeña escala, utilizados en viviendas unifamiliares, o a gran escala, destinados a comunidades enteras o sectores industriales. Según la ubicación de los tanques de almacenamiento: algunos sistemas almacenan el agua en depósitos subterráneos, mientras que otros lo hacen en depósitos aéreos (Boers & Ben-Asher, 1982).

G. Proceso de diseño de un SCALL

El diseño de un SCALL debe considerar varios factores clave:

- Evaluación de la demanda de agua: determinar el volumen de agua requerido según el uso previsto.
- Cálculo del área de captación: el tamaño de la superficie donde se recolectará el agua de lluvia es un factor crucial. El volumen potencial de captación depende de la precipitación media de la región y del área disponible para la recolección.
- Selección del tamaño del tanque de almacenamiento: debe calcularse en función de la cantidad de lluvia y el consumo previsto.
- Incorporación de sistemas de tratamiento: si el agua recolectada se destinará a uso potable, será necesario instalar sistemas de tratamiento adecuados para garantizar su calidad (Domènech y Saurí, 2011).

H. Aguas pluviales

Las aguas pluviales son aquellas que provienen de la precipitación atmosférica en forma de lluvia, y que, al llegar a la superficie terrestre, pueden infiltrarse en el suelo, evaporarse o escurrir superficialmente hacia cuerpos de agua como ríos, lagos y mares (Fernández y Jiménez, 2021). El ciclo hidrológico describe este proceso en el que el agua pasa de la atmósfera a la tierra y vuelve a la atmósfera mediante la evaporación y la transpiración (Ramírez, 2019).

La recolección de aguas pluviales consiste en capturar y almacenar el agua de lluvia para su uso posterior. Este proceso suele llevarse a cabo mediante sistemas de captación en techos, superficies pavimentadas o áreas naturales, canalizando el agua hacia cisternas o depósitos de almacenamiento (López et al., 2020).

I. Importancias de las aguas pluviales

El uso de las aguas pluviales presenta diversas ventajas, tanto en zonas rurales como urbanas. En zonas rurales, estas pueden suplir la escasez de agua en áreas donde no existen fuentes confiables, como pozos o ríos (Pérez & García, 2017). En zonas urbanas, su recolección y reutilización pueden contribuir a la reducción de la demanda de agua potable y al alivio de los sistemas de drenaje, reduciendo la probabilidad de inundaciones durante periodos de lluvias intensas (Mendoza et al., 2019).

Adicionalmente, el uso de aguas pluviales contribuye a la sostenibilidad hídrica. Según un estudio de González (2020), la implementación de sistemas de captación de aguas pluviales puede reducir en un 30% el consumo de agua potable en las viviendas, además de generar ahorros económicos significativos para los usuarios.

J. Aplicaciones del Uso de Aguas Pluviales

Las aguas pluviales pueden ser empleadas para diversos fines, dependiendo de la calidad del agua recolectada y del tratamiento que se le dé. Las aplicaciones más comunes incluyen el riego de jardines, limpieza de áreas comunes, uso en sanitarios y, con el tratamiento adecuado, incluso para el consumo humano (Álvarez y Sánchez, 2018). En algunos países, como Alemania y Australia, la captación y uso de aguas pluviales es parte de la normativa de construcción para reducir la dependencia de fuentes convencionales de agua potable (Hoffmann et al., 2015).

El diseño de un sistema eficiente de captación de aguas pluviales debe tomar en cuenta factores como la cantidad de precipitación promedio, el área de captación disponible, la calidad del agua requerida para su uso y los costos de instalación y mantenimiento (Guerrero, 2021). Los materiales y tecnologías empleados en estos sistemas varían, pero suelen incluir superficies de captación impermeables, sistemas de filtración y almacenamiento en cisternas.

K. Factores que afectan la calidad del agua de lluvia

La calidad del agua de lluvia puede verse influenciada por varios factores:

- Contaminación atmosférica: en áreas industriales o urbanas, el agua de lluvia puede arrastrar partículas de contaminación del aire, lo que afecta su calidad.
- Tipo de superficie de captación: techos fabricados con ciertos materiales pueden desprender sustancias químicas que contaminan el agua.
- Condiciones de almacenamiento: tanques sin mantenimiento o mal cerrados pueden permitir la entrada de contaminantes o el crecimiento de microorganismos.
- Primer lavado: el agua captada en los primeros minutos de una lluvia suele contener la mayor concentración de contaminantes (Lee et al., 2012).

L. Métodos de tratamiento y purificación del agua de lluvia para uso doméstico

Para garantizar la calidad del agua de lluvia, existen varios métodos de tratamiento:

- Filtración física: utiliza filtros de arena o carbón activado para eliminar partículas suspendidas.
- Desinfección: la cloración y la radiación ultravioleta son métodos comunes para eliminar microorganismos patógenos.
- Ozonización: el uso de ozono es efectivo para la desinfección del agua y la eliminación de contaminantes orgánicos.

- Coagulación-floculación: empleada para remover partículas más finas que no se eliminan con la filtración estándar (Tchobanoglous y Schroeder, 2002).

M. Perspectivas futuras respecto a las aguas pluviales

La gestión de las aguas pluviales se vislumbra como un componente clave en la adaptación al cambio climático. Con el aumento de la variabilidad climática, muchas regiones experimentan ciclos más extremos de sequía e inundaciones, lo que incrementa la necesidad de soluciones innovadoras y sostenibles para la gestión del agua (Torres, 2022). La captación de aguas pluviales ofrece una alternativa resiliente que puede ser integrada en estrategias más amplias de planificación urbana y rural.

Investigaciones recientes han demostrado que, en áreas urbanas densamente pobladas, la recolección de aguas pluviales combinada con la creación de infraestructuras verdes, como techos verdes y pavimentos permeables, puede reducir significativamente el riesgo de inundaciones y mejorar la calidad del agua en cuerpos receptores (Ruiz y Vargas, 2021). Estos enfoques integrados son esenciales para asegurar la sostenibilidad del ciclo del agua en un contexto de creciente urbanización.

N. Desafíos en la implementación de las aguas pluviales

A pesar de sus múltiples beneficios, la implementación de sistemas de captación de aguas pluviales enfrenta varios desafíos. Uno de los principales obstáculos es la falta de normativas claras y la carencia de incentivos gubernamentales en muchos países en vías de desarrollo (Cortés, 2019). Además, el costo inicial de instalación de los sistemas de captación y almacenamiento puede ser una barrera para los hogares o comunidades de bajos ingresos (Martínez et al., 2020).

Otro aspecto relevante es la calidad del agua. Las aguas pluviales suelen contener contaminantes provenientes de la atmósfera o de las superficies de captación, lo que puede requerir procesos de tratamiento antes de su uso (Maldonado, 2021). La incorporación de tecnologías de filtrado y tratamiento puede incrementar el costo y la complejidad del sistema, lo que limita su adopción.

O. Disponibilidad de Agua Potable en Instituciones Sociales

La disponibilidad de agua potable en instituciones sociales en Guatemala enfrenta varios desafíos, la cobertura de agua potable y saneamiento en el país es baja, con servicios de calidad pobre y una infraestructura deteriorada. Esto se debe a una falta de inversión en infraestructura básica, el crecimiento de la población, la expansión agrícola y la contaminación de las fuentes de agua. El marco institucional y legal para la gestión del agua potable y saneamiento es débil. No hay una ley que garantice el derecho humano al agua potable limpia. Las responsabilidades están fragmentadas entre diferentes ministerios sin una coordinación efectiva (Segeplan). Además, el control económico y ambiental en el sector es prácticamente inexistente, con tarifas determinadas por políticas y sin monitoreo de los proveedores. Para mejorar la disponibilidad de agua potable en instituciones sociales, se necesitan inversiones significativas en infraestructura, el fortalecimiento del marco legal e institucional, y una mejor coordinación entre los diferentes actores (Moran, 2024). También es crucial proteger y restaurar los ecosistemas relacionados con el agua.

P. Identificación de soluciones sostenibles

La identificación de soluciones sostenibles es un proceso crucial en la búsqueda de alternativas que aborden desafíos socioambientales de manera eficaz y respetuosa con el medio ambiente. Este proceso implica la evaluación de diversas opciones y la selección de aquellas que sean viables desde una perspectiva técnica, económica, social y ambiental.

Las soluciones sostenibles se definen como aquellas que satisfacen las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades (WCED, 1987). Estas soluciones buscan equilibrar aspectos económicos, sociales y ambientales para garantizar un desarrollo que sea viable a largo plazo.

Un enfoque académico riguroso para la identificación de soluciones sostenibles implica la aplicación de métodos de investigación científica y análisis crítico. Este enfoque se basa en la evaluación objetiva de las alternativas propuestas, considerando su viabilidad técnica, económica, social y ambiental (Healey y Shaw, 1993).

Las soluciones sostenibles pueden abarcar una amplia gama de enfoques, incluyendo tecnologías limpias, prácticas de conservación, políticas de gestión integrada de recursos y cambios en el comportamiento humano hacia un consumo más responsable y consciente (UNEP, 2002).

La implementación de soluciones sostenibles conlleva una serie de beneficios, tanto a nivel ambiental como socioeconómico. Estos beneficios incluyen la protección del medio ambiente, la conservación de los recursos naturales, la reducción de costos a largo plazo y la mejora de la calidad de vida de las comunidades (Kumar y Han, 2017).

Q. Demanda y oferta de agua potable

La relación entre la demanda y oferta de agua potable es un aspecto fundamental en la gestión y planificación de recursos hídricos, especialmente en contextos donde la disponibilidad de agua es limitada. Este marco teórico aborda diversos aspectos relacionados con la demanda y oferta de agua potable, así como los factores que influyen en su equilibrio.

La demanda de agua potable se refiere a la cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades de consumo humano, industrial, agrícola y otros usos. La oferta de agua potable, por otro lado, se refiere a la cantidad de agua disponible para satisfacer esta demanda, teniendo en cuenta factores como la disponibilidad de recursos hídricos, la infraestructura de suministro y la gestión del agua.

La demanda de agua potable está influenciada por una serie de factores, incluyendo la población, el nivel de desarrollo económico, los hábitos de consumo, la eficiencia en el uso del agua y las condiciones climáticas (Gleick, 1993).

La oferta de agua potable por su parte está determinada por la disponibilidad de recursos hídricos, que pueden verse afectados por factores como la variabilidad climática, la contaminación del agua, la degradación del medio ambiente y la gestión del agua (UNESCO, 2012).

Lograr un equilibrio entre la demanda y oferta de agua potable es esencial para garantizar un suministro adecuado y sostenible de agua para las necesidades humanas y ambientales. Esto requiere una gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos, así como políticas y prácticas que promuevan un uso eficiente del agua (Wichelns, 2004).

R. Importancia del ciclo hidrológico para la disponibilidad de agua

El ciclo hidrológico es el proceso natural mediante el cual el agua circula en el planeta, transformándose a través de diferentes fases: evaporación, condensación, precipitación e infiltración. Este ciclo es crucial para la renovación y la disponibilidad de los recursos hídricos en la Tierra, ya que asegura la recarga de acuíferos, la formación de ríos y lagos, y la regulación del clima. El agua que se evapora de los cuerpos de agua, como océanos y lagos, regresa a la tierra en forma de precipitación, lo que alimenta fuentes subterráneas y superficiales. La distribución del agua, sin embargo, es desigual a nivel global, y su disponibilidad depende en gran medida de factores como el clima, la geografía y la intervención humana.

En Guatemala, el ciclo hidrológico es fundamental para la agricultura, el consumo humano y la generación de energía. La conservación de cuencas hidrográficas y la protección de los ecosistemas forestales son vitales para garantizar un ciclo hidrológico eficiente que permita una adecuada disponibilidad de agua potable (Pérez, 2019).

S. Oferta y demanda de agua en Guatemala

Guatemala posee una considerable cantidad de recursos hídricos debido a su ubicación geográfica y su régimen pluviométrico, con precipitaciones anuales promedio que oscilan entre 1,000 y 4,000 mm en distintas regiones del país (Morales et al., 2018). Sin embargo, la distribución de estos recursos no es equitativa ni constante a lo largo del año, ya que se concentra en la época lluviosa, lo que genera períodos de escasez en la época seca. La oferta de agua en Guatemala se encuentra afectada por varios factores, tales como la deforestación, la contaminación de fuentes hídricas y el cambio climático, lo que reduce la capacidad de recarga de los acuíferos y limita la disponibilidad de agua potable en muchas comunidades rurales.

En cuanto a la demanda, la población guatemalteca y los sectores productivos requieren grandes cantidades de agua para consumo humano, agricultura, industria y generación de energía. La demanda de agua se ha incrementado debido al crecimiento poblacional y al desarrollo económico, poniendo presión sobre los recursos hídricos (FAO, 2020).

T. Oferta y demanda de agua en Santa Catarina Pinula, Guatemala

Santa Catarina Pinula es un municipio del departamento de Guatemala que, debido a su proximidad con la capital, ha experimentado un crecimiento poblacional significativo, lo que ha incrementado la demanda de agua potable. A pesar de estar ubicada en una zona montañosa, con acceso a manantiales y ríos, el abastecimiento de agua en el municipio enfrenta desafíos. La sobreexplotación de las fuentes de agua subterránea, la expansión urbana y la falta de infraestructura adecuada han generado un déficit en la oferta de agua.

Un estudio realizado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2020) muestra que la oferta de agua en Santa Catarina Pinula es insuficiente para satisfacer la demanda actual, lo que ha derivado en una

creciente dependencia de fuentes de agua externas. Además, la contaminación de fuentes superficiales y la disminución de la recarga de acuíferos agravan la situación.

U. Fuentes de abastecimiento de agua en Guatemala

En Guatemala, las principales fuentes de abastecimiento de agua son superficiales (ríos, lagos, y manantiales) y subterráneas (acuíferos). Las cuencas hidrográficas juegan un papel esencial en la captación y distribución del recurso hídrico, siendo las cuencas del río Motagua, el río Usumacinta y el río Suchiate algunas de las más importantes. Sin embargo, estas fuentes están bajo constante presión debido a la deforestación, la contaminación por desechos sólidos y aguas residuales, y la variabilidad climática.

En áreas rurales, el acceso al agua potable se realiza principalmente a través de pozos y manantiales, mientras que en zonas urbanas se depende en gran medida de sistemas de acueducto y distribución. La sobreexplotación de acuíferos y la contaminación de fuentes superficiales se han convertido en desafíos críticos para el suministro de agua potable en el país (Cabrera et al., 2017).

V. Soluciones sostenibles para el abastecimiento de agua

La sostenibilidad en el abastecimiento de agua busca garantizar que las generaciones presentes y futuras tengan acceso suficiente y seguro a este recurso vital. Entre las soluciones sostenibles que se están implementando o estudiando en Guatemala se encuentran:

- Captación de agua de lluvia: esta técnica consiste en recolectar el agua pluvial y almacenarla para su uso posterior, lo que resulta especialmente útil en comunidades rurales con escasez de agua durante la época seca (Pérez y García, 2019).
- Restauración de cuencas hidrográficas: la reforestación y protección de zonas de recarga hídrica son fundamentales para asegurar la recarga de acuíferos y mejorar la calidad del agua en las fuentes superficiales.
- Uso de tecnologías de tratamiento de agua a pequeña escala: tecnologías como los filtros de arena y los sistemas de purificación con energía solar son alternativas sostenibles para garantizar el acceso a agua potable en comunidades aisladas.
- Uso eficiente del agua en la agricultura: la implementación de sistemas de riego por goteo y otras técnicas que optimizan el uso del agua son claves para reducir el consumo hídrico en el sector agrícola, que es uno de los mayores consumidores de agua en Guatemala.

METODOLOGÍA

A. Recolección y análisis de la información

A través de la revisión de información secundaria disponible sobre el Orfanato, incluyendo su historia, características, personal, instalaciones y forma de operar, se recopiló información valiosa para entender su dinámica interna. Así mismo, a través de entrevistas con el personal administrativo y operativo, se logró obtener información primaria sobre el abastecimiento histórico y actual del orfanato, sus instalaciones y consumos. Con ello se logró tener el contexto de su funcionamiento, que fue útil para realizar el posterior diagnóstico y línea base de la oferta y demanda de agua, así como para identificar preliminarmente las soluciones sostenibles para el abastecimiento de las instalaciones en el orfanato.

B. Diagnóstico y línea base de la oferta y la demanda

Con base en la información secundaria y primaria preliminarmente obtenida, y haciendo uso de Google Earth, se llevó a cabo un mapeo de las áreas de mayor demanda de agua dentro del orfanato. Con ello fue posible identificar y listar las principales áreas que demandan mayor cantidad de agua en el orfanato, determinando para cada una de ellas, el número de personas que las utilizan y los artefactos asociados a ese consumo de agua. Así mismo, se identificaron las fuentes de abastecimiento de agua para el orfanato y la infraestructura de almacenamiento que actualmente es utilizada. A partir de esta información, se cuantificó la oferta total disponible de agua para uso diario, tomando en cuenta la capacidad de almacenamiento y la tasa de reposición de las cisternas (tanques de almacenamiento). En cuanto al análisis de la demanda de agua, se centró en identificar y medir el consumo en cada una de las áreas del orfanato, mapeadas previamente. Tanto para la demanda como para la oferta, se realizaron cálculos precisos de los parámetros fundamentales para entender la dinámica del consumo y la disponibilidad de agua, lo que se constituye en una primera línea base del abastecimiento de agua en el orfanato, que permitirá mejorar continuamente sus condiciones.

C. Identificación y priorización de soluciones sostenibles

Con base en el análisis preliminar de la oferta y demanda de agua, se identificaron diversas estrategias sostenibles que podrían implementarse para mejorar la disponibilidad y el uso eficiente del agua en el Orfanato. Esto se realizó a través de una revisión de literatura sobre tecnologías y soluciones sostenibles: se investigaron y analizaron diferentes tecnologías y soluciones aplicables al contexto del Orfanato, con énfasis en sistemas que fueran sostenibles, asequibles y de fácil implementación.

D. Elaboración de plan de inversión

El plan de inversión fue elaborado para asegurar que las soluciones sostenibles priorizadas pudieran llevarse a cabo dentro de los límites presupuestarios del Orfanato. Esta fase incluyó los cálculos de costos, los cuales se realizaron por medio de una estimación detallada de los costos de cada solución priorizada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Santa Catarina Pinula, un municipio cercano a la Ciudad de Guatemala enfrenta desafíos significativos en cuanto a la gestión de recursos hídricos debido al crecimiento poblacional y la expansión de áreas urbanas y rurales. Uno de los principales sectores afectados por esta situación es el de las instituciones comunitarias, como el Orfanato Valle de los Ángeles. Este orfanato, ubicado en la aldea San José El Manzano, alberga a una comunidad que demanda un suministro constante y de agua potable, tanto para uso doméstico como para el mantenimiento de sus instalaciones, que incluyen dormitorios, áreas educativas, una panadería y un huerto.

Este análisis busca abordar el balance actual entre la oferta y demanda de agua en el municipio de Santa Catarina Pinula, haciendo énfasis en el impacto sobre el orfanato y las posibles soluciones sostenibles.

C. Oferta de agua en Santa Catarina Pinula

Santa Catarina Pinula obtiene su agua principalmente de fuentes subterráneas, como pozos profundos y manantiales. Sin embargo, esta oferta es limitada y enfrenta diversos retos debido a la sobreexplotación de los acuíferos, la variabilidad climática y la deforestación en zonas aledañas, que reducen la capacidad de recarga natural de los mantos acuíferos (MARN, 2020). El municipio también cuenta con sistemas de distribución de agua administrados por la Municipalidad de Santa Catarina Pinula, los cuales sufren de problemas de infraestructura que resultan en pérdidas de agua por fugas en las tuberías (INFOM, 2019). Estos problemas se ven agravados por una falta de inversión en el mantenimiento y expansión de la red de suministro, lo que limita la capacidad de atender las necesidades crecientes de la población. En el caso del Orfanato Valle de los Ángeles, la disponibilidad de agua depende en gran medida de cisternas que almacenan el agua obtenida de la red municipal. Según los datos obtenidos de la infraestructura del orfanato, se cuenta con dos cisternas de 4.30 m² de superficie y una profundidad de 2.70 m. No obstante, durante periodos de sequía o en momentos de alta demanda, estas cisternas no son suficientes para abastecer a toda la población del orfanato, lo que obliga a recurrir a métodos alternativos de obtención de agua, como la compra de agua mediante camiones cisterna (pipas).

D. Mapeo de las áreas del orfanato

Como se muestra en la **Figura 1**, el mapeo de la zona del Orfanato Valle de los Ángeles se realizó con el fin de identificar y visualizar las principales áreas que componen el terreno. Este proceso es fundamental para el diagnóstico inicial y la posterior optimización del uso del agua. A continuación, se explica el propósito y el análisis de cada zona identificada:

- Iglesia (rojo): es un espacio de gran concurrencia, lo que puede implicar un uso importante de agua en servicios sanitarios y limpieza.
- Casa de padres (naranja): la residencia de los padres también consume agua principalmente para uso doméstico, en actividades como el baño, la cocina y la limpieza.
- Salón de usos múltiples (celeste): al ser un área para eventos y actividades comunitarias, el consumo de agua puede variar dependiendo de la frecuencia de uso.
- Casa de sores (lila): al igual que la Casa de Padres, esta es una zona residencial donde el uso del agua se enfoca en actividades domésticas.

- Pabellón de niñas rosado) y pabellón de hombres (aqua): estas son zonas habitacionales que deben ser priorizadas en el análisis del consumo de agua, ya que albergan la mayor cantidad de residentes. El uso del agua aquí es constante y regular, lo que puede representar una porción considerable de la demanda.
- Colegio (amarillo): el colegio es una zona de alta actividad diaria, donde se utiliza agua para los servicios sanitarios, lavado de manos y limpieza en general. Dependiendo de su tamaño y número de estudiantes, puede ser un área con alto consumo.
- Huerto (verde): esta zona requiere un suministro de agua para el riego de cultivos, lo que introduce la necesidad de analizar la eficiencia en el uso de recursos hídricos, así como la posible implementación de sistemas de captación de agua de lluvia o de riego eficiente.
- Panadería (gris): la producción de pan implica el uso de agua en procesos de limpieza y preparación, lo que también la convierte en una zona clave para implementar tecnologías de ahorro o reciclaje de agua.



Figura 1. Identificación de áreas del orfanato

Fuente: elaboración propia.

E. Demanda de agua en el orfanato

El Orfanato Valle de los Ángeles alberga a un total de 238 personas, incluyendo niñas, niños y adultos, que generan una demanda considerable de agua. La infraestructura del orfanato, que incluye 39 duchas, 64 sanitarios, 63 lavamanos, y 63 mingitorios, así como 10 pilas y 3 lavadoras, requiere un suministro constante de agua para su funcionamiento.

De acuerdo con estimaciones del consumo promedio de agua, se calcula que una persona requiere al menos 150 litros de agua diarios para cubrir necesidades básicas como beber, cocinar, higiene personal y limpieza (Pérez y García, 2017). Esto significa que el orfanato demanda aproximadamente 35,700 litros de agua al día solo para sus residentes. A esto debe sumarse las necesidades y requerimientos de las instalaciones, que incluyen el riego del huerto, la panadería y otras actividades productivas, que pueden incrementar la demanda total diaria.

F. Desbalance entre oferta y demanda

El desbalance entre la oferta de agua y la creciente demanda en Santa Catarina Pinula se refleja claramente en la situación del orfanato. Aunque el sistema de cisternas y las fuentes municipales suplen agua de manera intermitente, en tiempos de sequía o ante una demanda excesiva, el suministro resulta insuficiente. Esta escasez de agua no solo impacta el bienestar de los habitantes, sino que también afecta el funcionamiento del huerto y la producción de la panadería, áreas clave para la autosostenibilidad de la institución. Además, la variabilidad climática, caracterizada por temporadas secas prolongadas y precipitaciones irregulares, dificulta la provisión del suministro y limita las opciones de almacenamiento efectivo de aguas pluviales, a pesar del potencial que estas pueden tener para suplir algunas de las necesidades del orfanato (Guerrero, 2021).

G. Consumo promedio y unidades equivalentes según dispositivo

Luego de hacer el inventario de los múltiples artefactos ubicados en las diferentes áreas del orfanato, se estimaron los consumos promedio según dispositivo, y luego se relacionaron con el tiempo de uso, para establecer las unidades equivalentes, según se muestra a continuación:

Duchas:

Consumo promedio por ducha: 9-12 litros/minuto.

Duración de la ducha (promedio): 5-10 minutos.

Equivalencia: 45-120 litros/uso.

Lavamanos:

Consumo promedio por lavamanos: 5-6 litros/minuto.

Tiempo promedio de uso: 30-60 segundos por uso.

Equivalencia: 2.5-6 litros/uso.

Sanitarios:

Descarga de un sanitario promedio: 6-12 litros por descarga

Equivalencia: 6-12 litros/uso.

Mingitorios:

Descarga de un mingitorio promedio: 2-3 litros por uso.

Equivalencia: 2-3 litros/uso.

Pilones (pilas):

Consumo depende del uso, pero el llenado de un pilón completo puede consumir 50-100 litros, dependiendo del tamaño y propósito del uso (lavado de ropa, utensilios, etc.).

Lavadoras:

Lavadora de carga promedio: 70-120 litros por ciclo

Dependerá de la capacidad y eficiencia de la lavadora, pero una carga completa puede variar en función del tipo de lavadora.

Cuadro 1 Volumen diario estimado para cada uno de los dispositivos identificados

Tipo de dispositivo	Cantidad de dispositivos	Consumo por uso (litros/día)	Usos por día	Volumen total por dispositivo (litros/día)
Duchas	39	90	2	7,020.00
Lavamanos	63	4	4	1,008.00
Sanitarios	64	9	5	2,880.00
Mingitorios	63	2,5	5	787.50
Pilas	5	75	3	1,125.00
Lavadoras	2	95	4	760.00
			TOTAL	13,580.50

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 2. Resumen de la distribución de los dispositivos según área identificada

Área	Duchas	Sanitarios	Lavamanos	Mingitorios	Lavadoras	Pilas
Iglesia	0	2	3	2	0	0
Casa de padres	8	7	7	20	1	1
Salón de usos múltiples	0	4	5	4	0	0
Casa de sores	9	8	6	0	1	1
Pabellón de niñas	12	16	16	0	0	2
Pabellón de hombres	10	12	12	24	0	1
Colegio	0	10	7	7	0	0
Panadería	0	2	4	3	0	0
Garitas	0	3	3	3	0	0
Total	39	64	63	63	2	5

Fuente: elaboración propia.

H. Duración del suministro sin reposición

Capacidad de almacenamiento en las cisternas:

- El orfanato cuenta con dos tanques de almacenamiento de agua (cisternas) de 2,7 m de profundidad y un área de 4,3 m².
- Con base en ello, el volumen de cada cisterna es el siguiente: $2,7 \text{ m} \times 4,3 \text{ m}^2 = 11,61 \text{ m}^3$ (11,610 litros/cisterna).
- Siendo la capacidad total de almacenamiento para las dos cisternas = 23. 22 m³ (23,220 litros).
- Para estimar cuántos días se puede abastecer el orfanato con el agua almacenada en las cisternas, se utilizó el cálculo de la demanda diaria total:
 - Duración del suministro = Capacidad total de almacenamiento/demanda diaria Total
 - Duración de suministro= 23,220 litros / 23,800 litros/día = 0.98 días

Esto significa que las cisternas solo pueden abastecer al orfanato por aproximadamente **1 día**, sin reposición de agua externa, lo que representa un riesgo para el abastecimiento de agua en el orfanato.

Bajo dicho escenario, el Orfanato Valle de los Ángeles enfrenta un desafío considerable en términos de consumo y gestión de agua. Con un consumo total diario de 1,414,400 litros, el orfanato presenta una demanda de agua que supera ampliamente la capacidad de almacenamiento actual, limitada a 23,220 litros en las cisternas. Esta diferencia, que equivale a un consumo 246 veces mayor que la capacidad de almacenamiento disponible, pone en evidencia la insuficiencia de la infraestructura hídrica para satisfacer las necesidades diarias. Esta situación se agrava en períodos de sequía o cuando hay interrupciones en el suministro de agua, lo que aumenta el riesgo de escasez y puede afectar gravemente las operaciones y el bienestar de los residentes del orfanato.

El volumen diario consumido por dispositivos específicos, como duchas, lavamanos y sanitarios, asciende a 15,045.5 litros. Aunque este volumen es relativamente pequeño en comparación con el consumo total, su magnitud es significativa en relación con la capacidad limitada de las cisternas. Esto subraya la importancia de analizar cómo se distribuye el consumo de agua en las diferentes áreas y dispositivos del orfanato, con el objetivo de identificar oportunidades para mejorar la eficiencia y reducir el consumo. La evaluación del uso específico de cada dispositivo es crucial para implementar medidas de ahorro que contribuyan a una gestión más sostenible del recurso hídrico.

Una de las principales estrategias para enfrentar este reto es la adopción de tecnologías que reduzcan el consumo de agua. Por ejemplo, la instalación de grifos y sanitarios de bajo consumo puede reducir de manera significativa el volumen total de agua utilizado en las actividades diarias. Estas tecnologías no solo representan una solución viable para mejorar la eficiencia del agua, sino que también pueden generar ahorros económicos a largo plazo.

I. Implicaciones de la situación actual

- Para la sostenibilidad hídrica: la incapacidad de las cisternas para satisfacer la demanda diaria de agua representa un riesgo considerable para la sostenibilidad del orfanato. En caso de escasez o interrupciones en el suministro externo, la dependencia de fuentes externas podría generar costos adicionales y comprometer la calidad del agua disponible. Este desafío pone de evidencia la urgencia de mejorar tanto la infraestructura de almacenamiento como la eficiencia en el uso del agua, con el fin de garantizar un suministro continuo y adecuado que permita el funcionamiento óptimo del orfanato.
- Para la salud y el bienestar de los residentes: el acceso limitado y discontinuo al agua potable tiene implicaciones directas sobre la salud y el bienestar de los niños y adultos que viven en el orfanato. La falta de la cantidad suficiente de agua para la higiene personal, la limpieza y otras actividades esenciales puede aumentar el riesgo de enfermedades y afectar negativamente la calidad de vida de los residentes. Esto resalta la necesidad urgente de implementar mejoras en la gestión del abastecimiento de agua para asegurar que las necesidades básicas se cubran de manera constante y segura.

J. Identificación de soluciones sostenibles

Una estrategia clave para mejorar la gestión del agua en el orfanato es la identificación y adopción de soluciones sostenibles que permitan reducir el consumo y asegurar un abastecimiento más confiable. Entre estas se pueden considerar las siguientes:

- Captación y uso de agua de lluvia: la instalación de sistemas de captación de agua de lluvia, que incluyan canaletas y tanques de almacenamiento adicionales, permitiría aprovechar las precipitaciones para usos no potables, como la limpieza, el riego y el abastecimiento de sanitarios. Este sistema tiene una alta prioridad, ya que el agua de lluvia es una fuente renovable y fácil de implementar en áreas con precipitaciones constantes. Se estima que su instalación podría reducir el consumo diario de agua en un 20-30 %.
- Reutilización de aguas grises: otra medida importante es la reutilización de las aguas grises, es decir, las aguas residuales provenientes de duchas, lavamanos y lavadoras. Estas aguas pueden ser tratadas y reutilizadas para riego y descarga de sanitarios, lo que reduciría significativamente el uso de agua potable en aplicaciones no potables. Esta estrategia tiene una prioridad alta, ya que se estima que podría reducir el consumo diario en un 15-25 %.
- Sistemas de riego eficientes: la implementación de sistemas de riego por goteo, junto con la recolección de aguas pluviales para el riego de huertos y jardines, podría contribuir a optimizar el uso del agua en estas actividades. Aunque el riego no representa el mayor consumo de agua en el orfanato, su optimización puede generar ahorros adicionales, con un impacto estimado en la reducción del 5-10 % del consumo diario. Esta medida tiene una prioridad media.
- Sanitarios y grifos de bajo consumo: la sustitución de sanitarios convencionales por modelos de bajo flujo y la instalación de grifos de ahorro de agua también podrían reducir el uso de agua en el orfanato. Aunque esta medida implica una inversión inicial, se espera que genere beneficios a largo plazo mediante la reducción del consumo en sanitarios y lavamanos en un 10-15 %. Esta medida tiene una prioridad media.
- Sistemas de filtración y potabilización: finalmente, la inversión en sistemas de filtración y potabilización de fuentes alternativas de agua, como aguas pluviales o subterráneas, puede ofrecer una solución complementaria para asegurar el abastecimiento de agua potable. Sin embargo, esta medida tiene una prioridad baja, ya que su impacto puede ser menor en comparación con otras soluciones más directas y eficientes.

K. Plan de inversión según tipo de solución identificada

Partiendo del tipo de solución sostenible identificada se presenta en la **Cuadro 3** un resumen del costo estimado en dólares y el impacto esperado de cada solución en el consumo total de agua dentro del orfanato.

Siendo un plan de inversión flexible, que se puede ajustar según la disponibilidad de fondos y los resultados preliminares de las primeras intervenciones.

Cuadro 3. Costo estimado e impacto esperado por cada solución identificada

Solución	Costo estimado (USD)	Costo estimado (Q)	Impacto esperado en el consumo
Captación de agua de lluvia	\$9,077,22	Q 70,095.00	Reducción del 20-30 %
Reutilización de aguas grises	\$25,000	Q193,052.05	Reducción del 15-25 %
Sistemas de riego eficiente	\$10,000	Q 77,220.82	Reducción del 5-10 %
Sanitarios y grifos de bajo consumo	\$20,000	Q154,441.64	Reducción del 10-15%
Sistemas de filtración y potabilización	\$8,000	Q 1,776.66	Reducción variable
Total	\$78,000	Q 426,491.17	50-80 % de reducción total

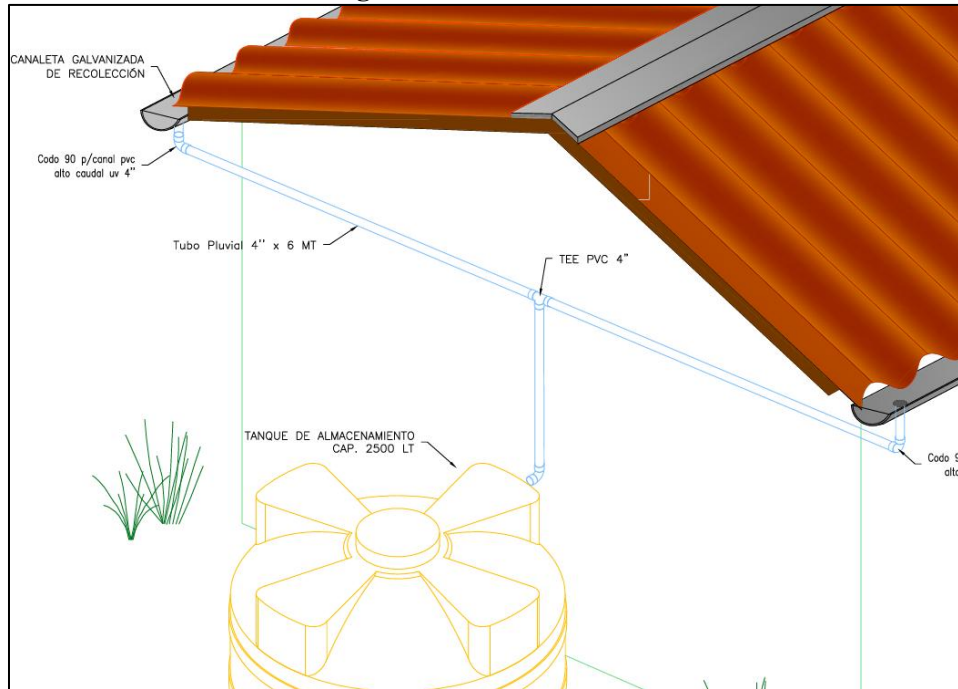
Fuente: elaboración propia.

L. Priorización de Solución Sostenible

La problemática de escasez de agua en el Orfanato Valle de los Ángeles ha requerido el desarrollo e implementación de estrategias sostenibles que optimicen la captación, almacenamiento y uso del recurso hídrico. Como parte del análisis inicial, se evaluó la oferta y demanda de agua, así como la infraestructura existente para su almacenamiento y distribución. Los resultados indicaron que la capacidad actual de almacenamiento es insuficiente para cubrir la demanda diaria, lo que genera una fuerte dependencia de fuentes externas y un riesgo constante de desabastecimiento. Ante esta situación, se analizaron diversas alternativas para mitigar el problema, concluyéndose que la opción más viable y sostenible es la implementación de un **Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL)**. Este sistema permitirá aprovechar el agua de lluvia mediante un diseño optimizado que incluye canaletas estratégicamente ubicadas para la recolección del agua, tanques de almacenamiento de alta capacidad y sistemas de filtración adecuados para garantizar su calidad y uso eficiente dentro de las instalaciones del orfanato.

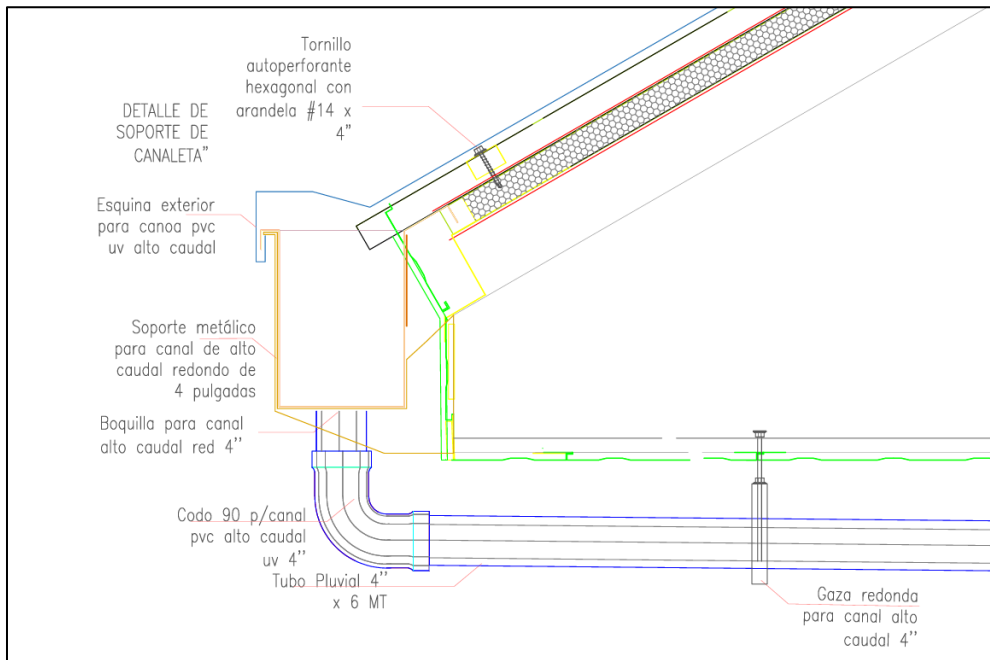
Como parte del proceso de planificación, se desarrollaron los planos que detallan la infraestructura requerida (**Figuras 2-4**), asegurando su integración con las estructuras existentes sin comprometer su funcionalidad. Adicionalmente, se elaboró un presupuesto detallado que contempla los costos de materiales, instalación y mantenimiento para cuatro áreas del orfanato: pabellón de niños, pabellón de niñas, colegio y salón de usos múltiples (**Tablas 4-7**), que en conjunto representan **3,226.25 m²** de techo con potencial de captación, permitiendo así una asignación eficiente de los recursos y la priorización de inversiones clave. La implementación de este sistema no solo optimiza el uso del recurso hídrico, sino que también contribuye a la sostenibilidad y autonomía del orfanato en términos de abastecimiento de agua. A largo plazo, el SCALL representa una solución integral que reduce la vulnerabilidad ante periodos de escasez, disminuye la dependencia de fuentes externas y promueve el uso responsable del agua, alineándose con los principios de gestión sostenible de los recursos hídricos.

Figura 2. Plano isométrico del sistema



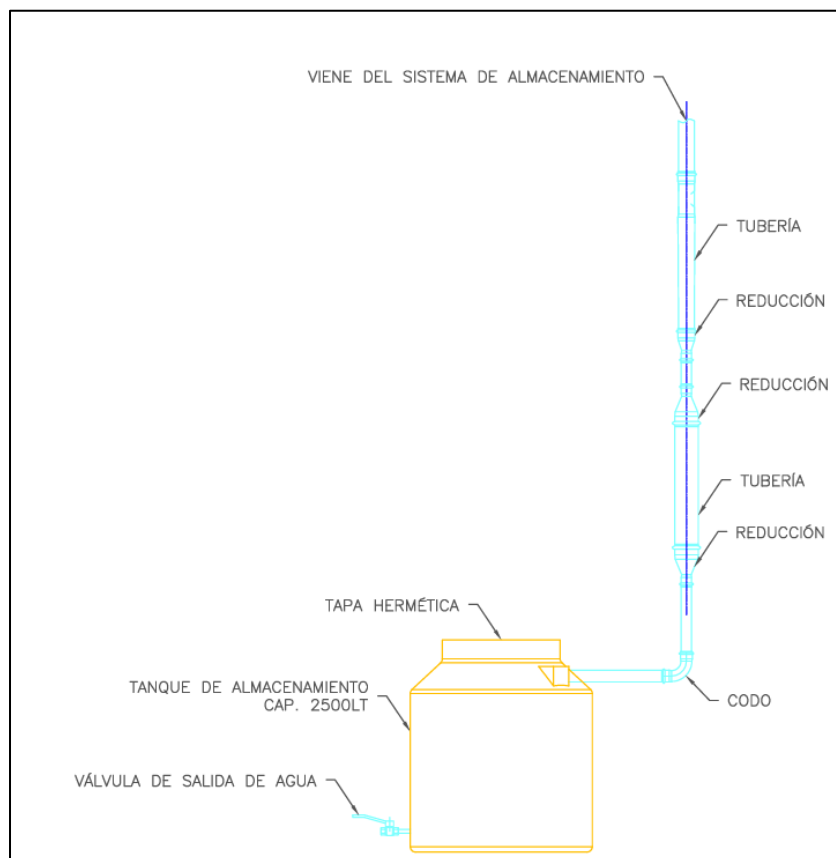
Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Detalles de la canaleta



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Plano lateral



Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4. Presupuesto pabellón de niños

Materiales	Cantidad	Precio unidad	Total
Canal Colonial PVC de 4mts	32	Q 200,00	Q 6.400,00
Esquina exterior para canoa pvc uv alto caudal	4	Q 45,00	Q 180,00
Codo 90 p/canal pvc alto caudal uv 4"	12	Q 42,00	Q 504,00
Tubo Pluvial 4" x 6 MT	28	Q 90,00	Q 2.520,00
Gaza redonda para canal alto caudal 4"	64	Q 10,00	Q 640,00
Boquilla para canal alto caudal red 4"	11	Q 50,00	Q 550,00
Soporte metálico para canal de alto caudal redondo de 4"	64	Q 20,00	Q 1.280,00
Tornillo autoperforante hexagonal con arandela #14 x 4"	256	Q 2,00	Q 512,00
Tee pvc 4"	8	Q 75,00	Q 600,00
Tanque de Almacenamiento 2,500 Lt.	1	Q 2.665,00	Q 2.665,00
Válvula de compuerta o bola 4"	1	Q 1.500,00	Q 1.500,00
		TOTAL	Q 15.851,00

Fuente: elaboración propia.

Siendo su Potencial de Captación de Agua de Lluvia = 920.5m³/año

Cuadro 5. Presupuesto del área de dormitorio de niñas

Materiales	Cantidad	Precio unidad	Total
Canal Colonial PVC de 4mts	23	Q 200,00	Q 4.600,00
Esquina exterior para canoa pvc uv alto caudal	6	Q 45,00	Q 270,00
Codo 90 p/canal pvc alto caudal uv 4"	14	Q 42,00	Q 588,00
Tubo Pluvial 4" x 6 MT	17	Q 90,00	Q 1.530,00
Gaza redonda para canal alto caudal 4"	92	Q 10,00	Q 920,00
Boquilla para canal alto caudal red 4"	12	Q 50,00	Q 600,00
Soporte metálico para canal de alto caudal redondo de 4"	92	Q 20,00	Q 1.840,00
Tornillo autoperforante hexagonal con arandela #14 x 4"	368	Q 2,00	Q 736,00
Tee pvc 4"	6	Q 75,00	Q 450,00
Tanque de Almacenamiento 2,500 Lt.	1	Q 2.665,00	Q 2.665,00
Válvula de compuerta o bola 4"	1	Q 1.500,00	Q 1.500,00
		TOTAL	Q 14.199,00

Fuente: elaboración propia.

Siendo su Potencial de Captación de Agua de Lluvia = 1,392.56m³/año

Cuadro 6. Presupuesto del área del colegio

Materiales	Cantidad	Precio unidad	Total
Canal Colonial PVC de 4mts	43	Q 200,00	Q 8.600,00
Esquina exterior para canoa pvc uv alto caudal	6	Q 45,00	Q 270,00
Codo 90 p/canal pvc alto caudal uv 4"	16	Q 42,00	Q 672,00
Tubo Pluvial 4" x 6 MT	15	Q 90,00	Q 1.350,00
Gaza redonda para canal alto caudal 4"	86	Q 10,00	Q 860,00
Boquilla para canal alto caudal red 4"	15	Q 50,00	Q 750,00
Soporte metálico para canal de alto caudal redondo de 4"	86	Q 20,00	Q 1.720,00
Tornillo autoperforante hexagonal con arandela #14 x 4"	344	Q 2,00	Q 688,00
Tee pvc 4"	7	Q 75,00	Q 525,00
Tanque de Almacenamiento 2,500 Lt.	1	Q 2.665,00	Q 2.665,00
Válvula de compuerta o bola 4"	1	Q 1.500,00	Q 1.500,00
		TOTAL	Q 18.100,00

Fuente: elaboración propia.

Siendo su Potencial de Captación de Agua de Lluvia = 1,351.87 m³/año

Cuadro 7. Presupuesto del área del salón de usos múltiples

Materiales	Cantidad	Precio unidad	Total
Canal Colonial PVC de 4mts	48	Q 200,00	Q 9.600,00
Esquina exterior para canoa pvc uv alto caudal	8	Q 45,00	Q 360,00
Codo 90 p/canal pvc alto caudal uv 4"	12	Q 42,00	Q 504,00
Tubo Pluvial 4" x 6 MT	32	Q 90,00	Q 2.880,00
Gaza redonda para canal alto caudal 4"	96	Q 10,00	Q 960,00
Boquilla para canal alto caudal red 4"	24	Q 50,00	Q 1.200,00
Soporte metálico para canal de alto caudal redondo de 4"	128	Q 20,00	Q 2.560,00
Tornillo autoperforante hexagonal con arandela #14 x 4"	383	Q 2,00	Q 766,00
Tee pvc 4"	6	Q 75,00	Q 450,00
Tanque de Almacenamiento 2,500 Lt.	1	Q 2.665,00	Q 2.665,00
Válvula de compuerta o bola 4"	1	Q 1.500,00	Q 1.500,00
		TOTAL	Q 21.945,00

Fuente: elaboración propia.

Siendo su Potencial de Captación de Agua de Lluvia = 1,224 m³/año

Para determinar la cantidad de materiales necesarios para la recolección y conducción de agua de lluvia, se realizaron cálculos basados en las dimensiones del área de captación y la disposición de los sistemas de canalización y almacenamiento. A continuación, se explica el proceso general seguido para obtener cada uno de los resultados.

Las canaletas son responsables de captar el agua de lluvia que cae sobre el techo y dirigirla hacia un sistema de tuberías. Para determinar cuántas canaletas se requieren, primero se midió el perímetro de la estructura donde se instalarán. Como las canaletas comerciales suelen venir en tramos de 4 metros de longitud, se dividió la longitud total del perímetro entre 6 metros, considerando una distribución uniforme con una leve superposición entre tramos. Este resultado indica el número total de canaletas necesarias para abarcar toda la zona de captación.

Una vez que el agua es captada por las canaletas, debe ser conducida a un sistema de almacenamiento o drenaje mediante tuberías pluviales de 4 pulgadas de diámetro. Para estimar la cantidad de tuberías requeridas, se asumió que aproximadamente el 60 % de la longitud total del perímetro necesitará tubería, considerando que no toda la canaleta descarga de manera continua y que el sistema debe contar con bajantes en puntos estratégicos. Adicionalmente, se agregó una tubería extra para conectar el sistema con un tanque de almacenamiento, si es necesario. Las tuberías disponibles en el mercado vienen en tramos de 6 metros, por lo que se dividió la longitud total de tubería necesaria entre 6 para obtener la cantidad de tubos requeridos.

Los accesorios como codos, tees, boquillas y soportes metálicos son esenciales para la correcta instalación y funcionamiento del sistema de captación. Para calcular la cantidad de codos de 90 grados, se identificaron los puntos donde la tubería necesita cambiar de dirección, ya sea en las esquinas o en los cambios de nivel del sistema. Las tees se calcularon considerando los puntos de unión entre diferentes tuberías para garantizar que el agua fluya de manera controlada.

Las boquillas son necesarias en los puntos de bajada desde las canaletas hasta las tuberías verticales y se calcularon considerando un número uniforme de descargas a lo largo del sistema. Los soportes metálicos y las gazas redondas

se utilizan para fijar las canaletas y garantizar su estabilidad. Su cantidad se estimó dividiendo la longitud total de canaletas por una distancia estándar de fijación.

Por último, se calculó el número de tornillos autoperforantes, asumiendo que cada soporte y fijación de canaletas y tuberías requiere una cantidad específica de tornillos para una instalación segura y duradera.

Este proceso de cálculo garantiza que el sistema de captación de agua de lluvia se diseñe con precisión, evitando desperdicio de material y asegurando una instalación eficiente. Los resultados obtenidos permiten prever los costos totales (**Cuadro 8**) y optimizar el diseño del sistema antes de su implementación, garantizando que el agua captada sea conducida de manera adecuada hasta su almacenamiento o descarga final.

Cuadro 8. Costo Total Final

Áreas	m ² de captación	POTCALL	Costo
Dormitorio niños	632.53 m ²	920.50 m ³ /año	Q 15.851,00
Dormitorio niñas	911.05 m ²	1,392. 50 m ³ /año	Q 14.199,00
Colegio	882.67 m ²	1,351.87 m ³ /año	Q 18.100,00
Salón de usos múltiples	800 m ²	1,224.00 m ³ /año	Q 21.945,00
Total	3,226.25 m²	4,888.87 m³/año	Q 70.095,00

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

- El análisis de la oferta y demanda de agua en el Orfanato Valle de los Ángeles revela que el consumo diario de agua, que asciende a 1 414,400 litros, excede significativamente la capacidad de almacenamiento disponible de 23,220 litros. Esta situación refleja una gran dependencia de fuentes externas y evidencia la necesidad de mejorar la infraestructura de almacenamiento y optimizar el uso del recurso hídrico.
- Entre las soluciones sostenibles identificadas, destacan la captación de agua de lluvia, la reutilización de aguas grises y la implementación de tecnologías de ahorro de agua, como sanitarios y grifos de bajo consumo. Estas alternativas tienen el potencial de reducir el consumo de agua en un 50-80 %, abordando de manera eficiente la discrepancia entre la demanda y la capacidad de almacenamiento.
- La priorización de soluciones permitió determinar que la implementación del SCALL representa la solución más viable y sostenible para mejorar la disponibilidad de agua en el Orfanato Valle de los Ángeles, reduciendo la dependencia de fuentes externas y garantizando un suministro continuo del recurso hídrico.
- El presupuesto detallado proporciona un análisis financiero estructurado, asegurando que los costos de implementación y mantenimiento sean viables dentro de las capacidades económicas del orfanato. La inversión total de Q70,095.00 representa un monto accesible considerando los beneficios a largo plazo en la reducción de costos operativos y la seguridad hídrica de la institución.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar la capacidad de almacenamiento de agua mediante la construcción de cisternas adicionales y la instalación de sistemas de captación de agua de lluvia. Esta medida ayudará a mitigar la dependencia de fuentes externas y garantizará un abastecimiento más estable durante periodos de sequía.
- Dado el alto impacto esperado, se recomienda priorizar la instalación de sistemas de captación de agua de lluvia y reutilización de aguas grises. Estas medidas deben ser implementadas de forma urgente para reducir el consumo de agua potable en usos no esenciales, lo que permitirá una gestión más sostenible del recurso.
- Se recomienda implementar un sistema de monitoreo del consumo de agua que permita evaluar la efectividad de las soluciones implementadas y hacer ajustes según sea necesario. Este sistema debe proporcionar datos sobre la demanda diaria en las distintas áreas del orfanato, ayudando a identificar oportunidades adicionales para la reducción del consumo.
- Capacitar al personal del orfanato sobre el uso eficiente del agua y la importancia del mantenimiento del sistema de captación de lluvia para asegurar su operatividad a largo plazo.
- Implementar un sistema de recolección de datos sobre el consumo de agua para evaluar el impacto del SCALL y ajustar estrategias de uso eficiente del recurso hídrico.
- Promover campañas de concienciación dentro del orfanato para que los niños y el personal adopten hábitos responsables en el uso del agua.
- Evaluar periódicamente la posibilidad de ampliar el sistema con tecnologías complementarias, como la reutilización de aguas grises y la implementación de sistemas de riego eficiente para huertos y jardines.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, F., y Sánchez, M. (2018). *Recolección y tratamiento de aguas pluviales: Aplicaciones y retos*. Editorial Ecoagua.
- Boers, T. M., y Ben-Asher, J. (1982). A review of rainwater harvesting. *Agricultural Water Management*, 5(2), 145–158.
- Campisano, A., Modica, C., y Reitano, S. (2017). Rainwater harvesting systems for domestic supply: Modeling and case studies. *Water*, 9(2), 126.
- Cortés, P. (2019). La gestión del agua en zonas urbanas: Retos y oportunidades. *Revista Internacional de Recursos Hídricos*, 12(3), 45–58.
- Domènech, L., y Saurí, D. (2011). A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the metropolitan area of Barcelona (Spain): Social experience, drinking water savings and economic costs. *Journal of Cleaner Production*, 19(6–7), 598–608.
- Fernández, R., y Jiménez, D. (2021). *Ciclo hidrológico y su importancia en la gestión sostenible del agua*. Universidad de Sevilla.
- González, A. (2020). Sistemas de captación de aguas pluviales: Una solución sostenible para el ahorro de agua. *Revista de Sostenibilidad Ambiental*, 8(2), 21–33.
- Gould, J. (2012). *Rainwater harvesting: The collection of rainfall and runoff in rural areas*. Intermediate Technology Publications.
- Gould, J., y Nissen-Petersen, E. (1999). *Rainwater catchment systems for domestic supply: Design, construction and implementation*. Intermediate Technology Publications.
- Guerrero, L. (2021). *Diseño e implementación de sistemas de captación de aguas pluviales en zonas urbanas*. Editorial Hídrica.
- Hoffmann, P., Smith, J., y Müller, K. (2015). Rainwater harvesting in urban environments: A review of best practices. *Water Resources Journal*, 20(1), 15–29.

- INE. (2023). *Proyecciones de población y consumo de agua en Guatemala*. Instituto Nacional de Estadística.
- Lee, J. Y., Bak, G., y Han, M. (2012). Quality of rainwater harvested in urban areas: Physicochemical parameters and microbial contaminants. *Environmental Engineering Science*, 29(5), 424–434.
- López, M., Torres, J., y Pérez, N. (2020). *Gestión y aprovechamiento de aguas pluviales en entornos rurales*. Fundación Agua Viva.
- Maldonado, C. (2021). Tratamiento de aguas pluviales: Tecnologías y desafíos. *Ingeniería del Agua*, 17(4), 65–73.
- MARN. (2020). *Estudio sobre la disponibilidad y demanda de agua en Santa Catarina Pinula*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala.
- Martínez, E., Ramírez, R., y Castillo, S. (2020). Costos y beneficios de los sistemas de recolección de aguas pluviales en comunidades rurales. *Economía y Medio Ambiente*, 14(3), 78–90.
- Mendoza, A., Flores, V., y Ruiz, P. (2019). Reducción de la demanda de agua potable mediante la captación de aguas pluviales en áreas urbanas. *Revista de Estudios Hídricos*, 11(2), 37–49.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2020). *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos de Guatemala*. MARN.
- Moran, J. (2024). *La gestión del agua en instituciones sociales en Guatemala*. Informe técnico. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN).
- Morales, C., Ramírez, A., y López, E. (2018). *Gestión del agua en Guatemala: Desafíos y oportunidades*. Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad, Universidad Rafael Landívar.
- Pérez, J., y García, H. (2017). El agua pluvial como recurso estratégico en zonas áridas. *Hidrología Aplicada*, 9(1), 14–25.
- Pérez, M. (2019). *El ciclo hidrológico en Guatemala: Su impacto en la disponibilidad de agua*. Editorial Universitaria.
- Pérez, M., y García, S. (2019). Captación de agua de lluvia como solución sostenible en comunidades rurales de Guatemala. *Water International*.

Ramírez, L. (2019). *Hidrología y recursos hídricos: Principios y aplicaciones*. Universidad de Madrid.

Ruiz, C., y Vargas, E. (2021). Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión urbana del agua. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 6(3), 89–101.

Tchobanoglous, G., y Schroeder, E. D. (2002). *Water quality: Characteristics, modeling and modification*. Prentice Hall.

ANEXOS

Anexo 1. Fotografía del interior de una de las dos cisternas utilizadas actualmente en el orfanato



Anexo 2. Fotografía del interior de una de las dos cisternas utilizadas actualmente en el orfanato



Anexo 3. Plataforma techada con acceso a la cisterna, rodeada de vegetación, equipada con sillas y herramientas



Anexo 4. Medición del pozo.



Anexo 5. Instalaciones del Colegio



Anexo 6. Instalaciones del Dormitorio de niñas



Anexo 7. Instalaciones del Salón Común



Anexo 8. Instalaciones del Dormitorio de niños

