

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

DELVALLE
GRUPO EDUCATIVO

Estrategias para el aprovechamiento de agua pluvial en edificaciones acorde a los lineamientos de la certificación sostenible EDGE

Trabajo de graduación presentado por Kate Jamileth Miranda Morales para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil Arquitectónica

Guatemala,

2023

**Estrategias para el aprovechamiento de agua pluvial en edificaciones acorde a los
lineamientos de la certificación sostenible EDGE**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

DELVALLE
GRUPO EDUCATIVO

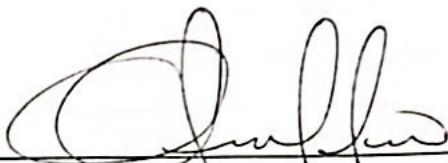
Estrategias para el aprovechamiento de agua pluvial en edificaciones acorde a los lineamientos de la certificación sostenible EDGE

Trabajo de graduación presentado por Kate Jamileth Miranda Morales para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil Arquitectónica

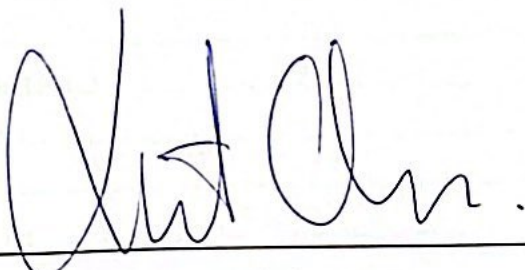
Guatemala,


2023


Vo. Bo:

(f) 
Ing. Otoniel Echeverría

Tribunal Examinador:

(f) 
MBA. Roberto Godo Levensen

(f) 
Ing. Otoniel Echeverría

(f) 
Arq. Juan Pablo Blass

Fecha de aprobación: Guatemala 19 de junio de 2023

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE GRÁFICOS	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	2
III. OBJETIVOS	3
A. Objetivo general	3
B. Objetivos específicos.....	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
A. Sostenibilidad.....	4
B. Dimensiones de la sostenibilidad	4
1. Dimensión ambiental.....	4
2. Dimensión social.....	5
3. Dimensión económica	5
C. Certificaciones en Guatemala.....	5
1. Sistemas de certificación.....	5
a. EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies)	5
b. LEED.....	8
c. BREEAM	8
d. Passivhaus	9
D. Recurso hídrico	10
1. Ciclo del agua.....	10
2. Distribución del agua	11
3. Uso de agua general	11
a. Endosomático	11
b. Exosomático.....	11
4. Uso de agua por sector	12
a. Doméstico.....	12
b. Industrial y comercial.....	12
c. Agrícola.....	12
E. Desarrollo histórico.....	13
F. Situación actual.....	13

G. Disponibilidad del recurso hídrico y abastecimiento en Guatemala	15
1. Problemática de abastecimiento de agua en Guatemala.....	17
2. Valor del agua	18
3. Fuentes de agua	19
a. Agua de aire.....	19
b. Agua de la superficie.....	19
c. Agua del subsuelo.....	19
4. Formas de captación de agua.....	19
H. Captación de agua de lluvia.....	19
1. Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL)	20
2. Clasificación de sistemas de captación de agua de lluvia	22
a. Sistemas pasivos.....	22
b. Sistemas activos	22
3. Tipos de sistemas de captación de agua de lluvia	22
a. Sistema de captación en techos	22
b. Sistema de captación de patios.....	22
c. Sistema de macro captación	22
d. Sistema de derivación de manantiales.....	22
e. Sistema de microcaptación o captación <i>in situ</i>	23
I. Datos meteorológicos de Guatemala	23
1. Precipitación en Guatemala.....	23
a. El coeficiente de escorrentía.....	24
2. Intensidad de la precipitación.....	25
J. Componentes de un SCALL.....	26
1. Área de captación.....	26
a. Demanda del agua	26
2. Sistema de conducción del agua.....	28
3. Tubería de bajada	30
4. Filtro de malla	30
5. Filtro de las primeras lluvias	31
6. Filtro o tratamiento de agua de lluvia.....	31
a. Tipos de tratamientos para agua de lluvia	32
7. Filtro de desinfección	33
a. Desinfección con cloro	33
b. Desinfección con ozono	33

c. Radiación ultravioleta (UV)	34
d. Filtro tamíz o Speedy	34
e. Filtro de carbón activado	34
f. Ósmosis inversa	34
g. Sistema de prefiltros	34
h. Sedimentadores, desarenadores y clarificadores	34
8. Válvulas	34
9. Almacenamiento de agua de lluvia captada	34
K. Potencial de ahorro de agua potable (PPWS)	37
L. Factibilidad de un SCALL	37
1. Factor técnico	37
2. Factor económico	37
3. Factor social	37
M. Características del agua	38
1. Agua potable:	38
2. Agua residual:	38
a. Tipo ordinaria:	38
b. Tipo especial:	38
N. Manejo adecuado del agua	38
O. Reutilización de aguas grises	39
P. Antecedentes	40
1. Zona 10 Ciudad de Guatemala	40
Q. Normativas nacionales	41
1. Normas y acuerdos guatemaltecos para consumo de agua potable	41
2. Normativas guatemaltecas para tratamiento de agua residual	43
R. Normas y manuales internacionales	43
V. METODOLOGÍA	44
VI. RESULTADOS	50
VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS	55
VIII. CONCLUSIONES	64
IX. RECOMENDACIONES	65
X. BIBLIOGRAFÍA	66
XI. ANEXOS	70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Índice de estrés hídrico en América Latina 2019	15
Tabla 2. Coeficientes de escurrimiento	25
Tabla 3. Clasificación de intensidad de lluvias	25
Tabla 4. Distribución de consumo de agua por actividades de una persona	27
Tabla 5. Distribución de capas de filtro granulométrico	32
Tabla 6. Ejemplo de distribución de filtro granulométrico	33
Tabla 7. Rango de producción de agua gris según su aplicación	40
Tabla 8. Consumo máximo de artefactos ahorradores	42
Tabla 9. Precipitación promedio mensual en la Ciudad de Guatemala	46
Tabla 10. Eficiencia de los filtros granulométricos	48
Tabla 11. Características del agua	48
Tabla 12. Estimación de gastos al año de una bomba de 15 HP	53
Tabla 13. Estimación de costos de un SCALL	53
Tabla 14. Parámetros del agua después del filtro granulométrico	57
Tabla 15. Consumos bases de EDGE y propuestos	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Entidades en el comité Green Building Council	5
Figura 2. Características de certificación EDGE	6
Figura 3. Ciclo hidrológico	10
Figura 4. Distribución de agua en el mundo	11
Figura 5. Usos de agua por sector	12
Figura 6. Gráfico de cantidad de agua comparado por sector.	13
Figura 7. Fuentes de abastecimiento de agua en Guatemala.	16
Figura 8. Cobertura de agua en Guatemala	16
Figura 9. Situación de crecimiento urbano acelerado en el tiempo Guatemala	17
Figura 10. Densidad poblacional de la República de Guatemala 2018	18
Figura 11. Sistema esquemático de un SCALL	20
Figura 12. Croquis de un SCALL	21
Figura 13. Diagrama de flujo de captación de agua de lluvia.	23
Figura 14. Dotación por persona recomendada	27
Figura 15. Dotación recomendada por niveles socioeconómicos	28
Figura 16. Filtro para hojas por caída vertical y centrifugado	30
Figura 17. Tipo de filtro con malla	30
Figura 18. Filtro de las primeras aguas de lluvia	31
Figura 19. Filtro abierto o de gravedad. Corte transversal y vista superior de drenaje de agua filtrada	33
Figura 20: Cisterna flexible autoportante para agua.	35
Figura 21: Almacenamiento superficial de plástico.	35
Figura 22: Almacenamiento Aljibe	35
Figura 23. Mapa de disponibilidad hídrica Zona 10 Guatemala	41
Figura 24. Diagrama de flujo del sistema de captación de agua de lluvia	44
Figura 25. Población de abastecimiento	46
Figura 26. Malla para filtro de hojas o sólidos grandes	47
Figura 27. Oferta de agua de lluvia para el 100% de la demanda/persona	50
Figura 28. Área de captación para suplir el 100% de la demanda/persona	50
Figura 29. Oferta de agua de lluvia para un 8.3% de la demanda/persona	51
Figura 30. Oferta sistema mixto con SCALL y reutilización de aguas grises para suplir 75% de la demanda/persona	53
Figura 31. Aprovechamiento de aguas grises	58
Figura 32. Diagrama comparativo edificio base y edificio sostenible en tema de aguas	59
Figura 33. Diagrama comparativo edificio base y edificio sostenible con reutilización de aguas grises	60
Figura 34. Sanitario ultra ahorrador	61
Figura 35. Cabezal ducha ahorrador	62
Figura 36. Goteros para riego	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Gráfica oferta de agua de lluvia para el 100% de la demanda/persona acumulada	51
Gráfico 2. Gráfica oferta de agua de lluvia para un 8.3% de la demanda/persona acumulada	52
Gráfico 3. Gráfica oferta de agua de lluvia para un 8.3% de la demanda/persona parcial	52
Gráfico 4. Gráfica oferta de agua de lluvia para el 100% de la demanda/persona parcial	56

RESUMEN

La sostenibilidad es la gestión adecuada de los recursos para satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las necesidades del futuro. Es una integración y equilibrio entre lo social, económico y medioambiental brindando como resultado un entorno equitativo, viable y vivible. Los recursos que nos brinda el planeta son fuentes inagotables, pero debido a la mala gestión que se le ha dado los recursos se están volviendo limitados.

El agua es de los recursos más importantes que el ser humano necesita para sobrevivir. Desafortunadamente, Guatemala se enfrenta a una necesidad de recurso hídrico para su población debido a que se ha explotado de manera irracional dicho recurso. Existen diferentes métodos para abastecerse de ella, aparte de los métodos tradicionales superficiales y de extracción subterránea. Desde la antigüedad se utilizaban métodos para recolectar el agua de lluvia y hacer uso de esta para actividades domésticas e industriales. Actualmente se vuelve una necesidad regresar a estos sistemas de uso de agua.

Debido a esta problemática se debe velar por la protección y su uso racional (Angle, Nelson, & Rizakos, 2023). La sostenibilidad aplicada en el recurso del agua pretende mantener niveles sostenibles del recurso hídrico, es decir, hacer uso del agua sin superar el tiempo de recarga hídrica. Muchos países ya están experimentando el estrés hídrico debido al aumento de la población, actividad agrícola e industrial.

En Centroamérica se está experimentando esta problemática, específicamente en Guatemala. Esta investigación tiene el objetivo de presentar una propuesta para un mejor manejo de aguas pluviales y cumplir con los requerimientos de la certificación EDGE. Haciendo uso del software EDGE para saber el comportamiento de la edificación analizada y las propuestas adicionales para implementación en proyectos con sistemas de captación de agua de lluvia.

Las certificaciones verdes más reconocidas son: LEED, BREEAM, VERDE, WELL, CASA y EDGE tiene en común evaluar categorías similares como lo son; El agua, verifica un porcentaje de consumo del recurso y sus estrategias a seguir. La energía, evalúa la eficiencia de iluminación y equipos mecánicos. Los materiales y desechos también juegan un papel importante dentro de las certificaciones ya que estos deben ser manejados responsablemente. Los espacios interiores deben promover el confort y calidad del ambiente interior. Por último, la innovación o creatividad que aumenta el valor del proyecto y por ende genera un aporte dentro de la certificación. La evaluación de la gestión del agua en una edificación con el lineamiento de una certificación garantiza buenas prácticas del manejo de agua y sirve de referencia para proyecto a desarrollar. El agua de lluvia es un recurso gratis por lo que no está limitado para ningún habitante del país y el reto únicamente es la infraestructura y diseño.

Palabras clave: Agua de lluvia, SCALL, sostenibilidad, Guatemala, recurso hídrico.

ABSTRACT

Sustainability is the proper management of resources to meet current needs without compromising future needs. It is an integration and balance between the social, economic and environmental aspects, resulting in an equitable, viable and livable environment. The resources that the planet offers us are inexhaustible sources, but due to the mismanagement that the resources have been given, they are becoming limited.

Water is one of the most important resources that human beings need to survive. Unfortunately, Guatemala faces a need for water resources for its population because this resource has been irrationally exploited. There are different methods to supply it, apart from the traditional superficial methods and underground extraction. Since ancient times, methods have been used to collect rainwater and make use of it for domestic and industrial activities. Currently it becomes a necessity to return to this water use systems.

Due to this problem, protection and rational use must be ensured (Angle, Nelson, & Rizakos, 2023). Sustainability applied to water resources aims to maintain sustainable levels of water resources, that is, to make use of water without exceeding the water recharge time. Many countries in the world are already experiencing water stress due to population growth, agricultural and industrial activity.

This problem is being experienced in Central America, specifically in Guatemala. That is why this research has the objective of presenting a proposal for better stormwater management and complying with the requirements of the EDGE certification. Making use of the EDGE software to know the behavior of the analyzed building and the additional proposals for implementation in projects with rainwater harvesting systems.

Green certifications are among the most recognized; LEED, BREEAM, VERDE, WELL, CASA and EDGE have in common to evaluate similar categories as they are; The water, verifies a percentage of consumption of the resource and its strategies to follow. Energy evaluates the efficiency of lighting and mechanical equipment. Materials and waste also play an important role within the certifications, since they must be managed responsibly, and their selection is the most appropriate for the project. The interior spaces must promote the comfort and quality of the interior environment. Finally, innovation or creativity that increases the value of the project and therefore generates a contribution within the certification. The evaluation of water management in a building with the guidelines of a certification guarantees good water management practices and serves as a reference for the project to be developed. Rainwater is a free resource, so it is not limited for any inhabitant of the country and the only challenge is infrastructure and design.

Keywords: Rainwater, SCALL, sustainability, Guatemala, water resource

I. INTRODUCCIÓN

La captación de agua de lluvia es un método utilizado desde la antigüedad para obtener agua y realizar diferentes actividades para el desarrollo humano. Actualmente enfrentamos escases del recurso hídrico que ha ido aumentando a gran escala comprometiendo a los ingenieros a la implementación, desarrollo y adaptación a sistemas de captación de agua de lluvia para suplir la necesidad en Guatemala y muchos países del mundo. La captación de agua de lluvia es un medio fácil de obtener agua para consumo humano y/o agrícola. Las fuentes de abastecimiento actuales no cumplen con la demanda actual de la población guatemalteca, por lo que este documento presenta una alternativa para el uso de agua de lluvia como abastecimiento de edificaciones para consumo humano. Guatemala cuenta con dos estaciones marcadas, invierno y verano. El periodo de invierno empieza en el mes de mayo y termina en octubre y los meses restantes son los que marcan la estación de verano. En los meses de invierno se alcanza una precipitación favorable para la captación de lluvia de hasta 300 mm/m².

El objetivo de un sistema de recolección de agua de lluvia es implementar técnicas sostenibles para reducir el uso de agua potable. Debido a que Guatemala ya está experimentando estrés hídrico en diferentes zonas del país y esto provoca a su vez un abastecimiento insuficiente en las edificaciones. En la actualidad únicamente un 0.08% de los guatemaltecos lo utiliza para suplir sus necesidades básicas, es decir, es un sistema a poca escala de implementación, lo que es viable para ayudar a la población tanto en su abastecimiento continuo como en su economía. El estrés hídrico es una problemática causada debido al crecimiento poblacional de la República de Guatemala, el cual ha aumentado y consecuente a ello ha aumentado la demanda del recurso del agua. Guatemala ha sufrido durante varios años un desabasto de agua debido a la escasez en las fuentes principales como lo son lagunas, embalses, ríos cercanos a las zonas debido a cambios climáticos. También la extracción de agua por pozos privados ha aumentado esta escasez ya que no existe una recarga hídrica mayor a la demanda de agua en el país. Por estos motivos es que nos corresponde a los ingenieros brindar soluciones reales que se puedan implementar en la actualidad. Es ampliamente reconocida la importancia del agua como un bien esencial para la vida de todos los seres vivos y es por ello la importancia de buscar soluciones a dicha problemática.

En la actualidad la mayoría de los proyectos en desarrollo tiene un enfoque sostenible, por lo que existen parámetros para determinar si una edificación es sostenible. Las certificaciones sostenibles tienen un enfoque de promover una cultura de construcción amigable con el ambiente y se encargan de evaluar si cumple o no con los parámetros establecidos. Específicamente la certificación EDGE, evalúa temas de energía, agua y materiales de construcción. El software EDGE evalúa cada reglón para cumplir con los porcentajes de eficiencia y calificar la edificación.

Con base en lo anterior, se propone el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia con sus respectivos componentes para distribución de agua potable con un tratamiento para consumo humano, aprovechando las áreas de captación en los techos de las edificaciones para beneficio de los habitantes. El agua pluvial captada está enfocada para uso en actividades domésticas como: so en inodoros, lavamanos, mantenimiento y consumo humano. Se pretende con esta investigación conocer el impacto que tiene este tipo de sistemas al aplicarlos en Guatemala y brindar así un documento de referencia para próximas aplicaciones.

II. JUSTIFICACIÓN

Guatemala cuenta con abundantes recursos hídricos, lastimosamente la mala gestión que se aplica a este recurso está causando una escasez de agua. Es importante mencionar que el cambio climático también es un factor en contra de este recurso actualmente, ya que se ha presentado una reducción de la disponibilidad y calidad del recurso hídrico que afectan a la población. La gestión del agua en Guatemala tiene muchos aspectos en los cuales mejorar, específicamente en el área de abastecimiento de agua a poblaciones, irrigación, control en edificaciones, entre otros (Basterrechea & Guerra, 2019).

Guatemala cuenta con riqueza hídrica proveniente del Golfo de México, 7 lagos, 19 lagunas soteras, 49 lagunas, entre otros. A pesar de esta ventaja frente a otros países Guatemala está sufriendo una escasez de agua por una mala gestión del recurso (Felipe, 2021). Anualmente se producen 97 mil millones de m³ de agua, sin embargo, de esta cantidad mencionada solo se aprovecha un 10 por ciento a nivel nacional.

La Ciudad de Guatemala tiene una población de 2,934,841 habitantes donde se demandan más de 750,000 m³ de agua al día. El abastecimiento del agua en nuestro país está distribuido de la siguiente manera: 70% por la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) y el 30% es adquirido en empresas privadas. El agua ya es un problema en la ciudad ya que existen sectores donde el agua no es constante, es decir, el agua solo abastece algunos días o pocas horas específicamente en las zonas con mayor densidad poblacional y en algunos sectores con bajos ingresos económicos. Ese 30% de agua se desglosa en; un 5% abastecimiento por camiones y cisternas, 5% por pozos privados y un 10% lo abastece la empresa privada Agua Mariscal, S.A (Lozano, 2021).

Los altos consumos de agua se identifican en las zonas 12, 2, 10 y 11 donde existe bastante producción industrial y comercio. Las zonas 21, 12, 7 y 18 presentan una mayor escasez de agua por la demanda poblacional. La implementación de estrategias sostenibles ayuda a mejorar el manejo del recurso hídrico y brindar ahorro tanto en el consumo de agua potable como en la parte económica. La recolección de agua de lluvia es una estrategia utilizada desde la antigüedad, hoy más que nunca es una de las mejores alternativas para volver a implementar estos conceptos.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Realizar un diseño para la captación y aprovechamiento del agua pluvial en una edificación en la Ciudad de Guatemala, basado en los lineamientos de la certificación EDGE, para promover la implementación de nuevas estrategias sostenibles en el país.

B. Objetivos específicos

- Estimar el consumo de agua potable en una edificación en la Ciudad de Guatemala y realizar una comparación del porcentaje de ahorro de agua con el sistema de captación de agua pluvial.
- Estimar la capacidad de recolección de agua pluvial anual en edificaciones de la Ciudad de Guatemala.
- Realizar un análisis del impacto de la edificación con el sistema de captación de agua pluvial por medio del software de la certificación EDGE.
- Plantear estrategias de uso de agua pluvial para interior y exterior.
- Determinar la relación costo-beneficio sobre la implementación de los sistemas de captación de aguas pluviales en edificaciones.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Sostenibilidad

La sostenibilidad pretende suplir las necesidades actuales de los seres humanos utilizando los recursos naturales con la condición de no comprometer la vida de la tierra a futuro. También impulsa el desarrollo social y económico. Los humanos estamos consumiendo más del límite permitido de los recursos que deberíamos consumir. Este término incita a cambiar a una economía no lineal e inclusiva que aborde lo social y ambiental.

A nivel mundial la sociedad valora cada vez más la importancia de la realización de actividades con filosofía sostenible, ya que es un elemento esencial para dar soluciones a las necesidades de largo plazo. Este concepto de sostenibilidad se fundamenta en buscar un equilibrio entre los recursos, necesidades y negocios. Los objetivos de desarrollo sostenible tienen gran importancia en este tema ya que forma parte de las propuestas de cambio estableciendo una preservación de los recursos naturales, disminuir el impacto medioambiental de la industrialización, y mejoras en las condiciones de vida, salud y educación en el mundo.

La sostenibilidad en edificaciones es un nuevo modelo donde se considera un mejoramiento de los criterios para el diseño y la construcción de edificaciones con el objetivo de reducir el impacto que tiene ambiental, económica y socialmente. Considera todo tipo de impacto desde el proceso de construcción, fase de diseño y proyecto, fase de ejecución y hasta la posible demolición y gestión de recursos. En resumen, la sostenibilidad en edificaciones analiza y minimiza los impactos en todo el ciclo de la vida de la construcción tomando en cuenta los recursos, es decir, las materias primas como el agua y la energía. Algunas claves para realizar un buen proyecto sostenible es apoyarse de las herramientas de análisis de ciclo de vida desde la fase arquitectónica hasta la fase final de la vida útil de la construcción (Castaño, 2013).

Para iniciar un proyecto se debe conocer la situación del entorno o actividad para brindar la mejor propuesta que pueda mitigar los impactos negativos. El impacto sobre el medio ambiente se encuentra en función de tres factores: poblacionales, capacidad del ambiente y tecnología. Actualmente se le están dando mucha importancia a los principios sostenibles en la ingeniería y es por ello que surge el concepto de “green engineering (GE)” y “green building (GB)”. Entre los datos curiosos un edificio promedio utiliza el 40% de los recursos naturales, consume entre 30 – 50% de la energía eléctrica y el 5 - 12% del agua potable, produce entre 45 – 65% de residuos y el 15 - 30% de gases de efecto invernadero (Castaño, 2013).

B. Dimensiones de la sostenibilidad

1. Dimensión ambiental

Hace referencia al ambiente natural y cómo este se mantiene productivo y resiliente para sustentar la vida humana, requiere que los recursos sean utilizados a una tasa no mayor a la de regeneración y que los residuos que recibe sean emitidos no más rápido de lo que pueden ser asimilados. Es la base para promover la comprensión del ambiente como activo del desarrollo, de manera que se adopte el principio de sustentabilidad y se enfatice el principio de gestión integrada de los recursos naturales. La dimensión ambiental supone que la economía sea circular, es decir, crear sistemas productivos que tengan la capacidad de utilizar únicamente recursos y energías renovables y evitar la producción de residuos extras.

2. Dimensión social

Propone que las generaciones futuras tengan las mismas oportunidades que las generaciones pasadas. Está relacionado el termino de equidad. Se fundamenta en las relaciones entre las personas, sus formas de organización, interacciones.

3. Dimensión económica

El objetivo de este pilar es realizar una correcta distribución de los recursos escasos para satisfacer las necesidades del ser humano. Es una relación entre los recursos disponibles y las necesidades que se desean cubrir con ello (Castaño, 2013).

C. Certificaciones en Guatemala

En Guatemala existe “El Guatemala Green Building Council” la cual es una organización sin fines de lucro que tiene el objetivo de fomentar e impulsar estrategias ambientalmente amigables, socialmente responsables y económicamente factibles en el sector de la construcción. Esta organización está respaldada por el Miembro del World Green Building, ACCADES, Alianza Centroamericana y del Caribe para el Desarrollo Sostenible. Formando así, una organización que por medio de un cambio en el entorno urbano puede cambiar la calidad de vida de la población de Guatemala. Dentro de su visión como organización tienen una meta para el 2023, la cual se basa en una transformación de Guatemala para catalogarlo como un país relevante en la construcción sostenible en la región.



Figura 1. Entidades en el comité Green Building Council

1. Sistemas de certificación

a. EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies)

EDGE es una plataforma verde de edificaciones que incluye estándares globales de edificios verdes, es una organización hermana del Banco Mundial y miembro del Grupo del Banco Mundial. La intención de esta certificación es democratizar el mercado de edificios ecológicos, generar regulaciones gubernamentales en países donde las prácticas de construcción rara vez implementan eficientemente el uso de estos recursos. Está enfocada para arquitectos, ingenieros, desarrolladores, propietarios o cualquier persona afín a el diseño de edificaciones verdes. Su enfoque está en el descubrimiento de soluciones técnicas en la etapa inicial de diseño para reducir gastos operativos e impacto ambiental. El conjunto de edificios EDGE incluye viviendas, apartamentos, hostelería, comercio, industria, oficinas, edificios de salud, edificios educativos y edificios de uso mixto. EDGE puede certificar edificios en cualquier etapa de su ciclo de vida, es decir, es su etapa de diseño, construcción nueva, edificios construidos o renovaciones.

Para lograr la certificación en un edificio, este debe demostrar una reducción mínima del 20% de energía, uso de agua y energía incorporada en los materiales. Un estándar global sobre las funciones y la ubicación del edificio son importantes ya genera menores costos de servicio públicos, vida útil extendida y menos explotación de los recursos naturales.

El equipo de certificación EDGE está conformado por:

1. El propietario del proyecto – puede asignar o eliminar cualquier rol de usuario y crear/editar/eliminar proyectos en el software EDGE
2. Un administrador de proyectos – es el experto en EDGE o un usuario de EDGE capacitado que administra el flujo de certificación del proyecto por cuenta del propietario.
3. Un editor de proyectos – este encargado de editar los detalles del proyecto y documentación
4. Un supervisor de proyecto – puede seguir el progreso del proyecto sin la capacidad de editar.

Es una certificación en la construcción sostenible que promueve eficientizar edificios para uso residencial o comercial existentes o nuevos. La certificación propone una disminución en la cantidad de recursos utilizados mediante una escala comparativa que toma como base estándares locales.

Esta certificación es válida en más de 130 países de economías en desarrollo. Este sistema fue creado por la Corporación Financiera Internacional (IFC), miembro del Grupo Banco Mundial. La certificación EDGE puede obtenerla todos los edificios que sea existente o nuevo si cumple con los siguientes requisitos; un ahorro mínimo de 20% en energía, 20% en agua y un 20% en energía incorporada. Tiene limitación con respecto a las edificaciones donde aplica, a continuación, se mencionan donde si aplica; aeropuertos, educacional, residencial, hospitales, hoteles, industria ligera, oficina, comercios y almacenes. Todas las edificaciones que no se mencionaron anteriormente no son opción de propuesta para someterse a una evaluación para certificación EDGE.

Toda certificación tiene sus categorías según lo alcanzado en el proyecto, en este tipo de certificación se divide en tres categorías las cuales son; EDGE Certified, EDGE Advanced y Zero Carbón.

- EDGE Certified es una manera tradicional de obtener esta certificación con el cumplimiento de 20% en cada apartado (energía, agua y energía incorporada en los materiales en el edificio).
- EDGE Advance es una categoría más alta que la anterior mencionada ya que esta certifica edificaciones que demuestren una reducción mínima de 40% en energía, 20% en agua y 20% en energía incorporada en los materiales en el edificio.
- Zero Carbón es el nivel más alto de certificación ya que exige una reducción y compensación de consumo energético. Busca una reducción del 40% de energía y 80% del consumo sea mitigado por fuentes renovables y/o bonos de carbono y un 20% en energía incorporada en los materiales.



Figura 2. Características de certificación EDGE

Beneficios de la certificación EDGE:

- Liderazgo en la industria de la construcción y mercado inmobiliario
- Validar logros mediante un proceso de revisión externo e imparcial
- Contribuye con la base de conocimientos de edificaciones ecológica
- Reducción de costos de servicio públicos, mantenimiento y reparación
- Mayor precio de venta (ventaja para inversionistas)
- Estilo de vida confortable
- Orgullo de contribuir a edificaciones sostenibles
- Protege el planeta
- Señal positiva en grupos de interés
- Rentabilidad
- Aumento en valor a la propiedad
- Eficiencias en construcción y mano de obra
- Contribuye a forjar una marca corporativa consistente con la sostenibilidad.

Costos de la certificación EDGE

Según el reporte “The Business Case for Green Building” del World Green Building Council, demostró que los costos de una edificación sostenible varían entre 0.5 - 12% más alto que una construcción convencional. Se debe considerar que todo proyecto es único y por ende dependerá de las circunstancias y su entorno.

Software EDGE

EDGE ayudaría al mercado a avanzar hacia la sustentabilidad para todos. Tiene la disponibilidad de un software gratuito en línea que se basa en un estándar global sustentable. Aplica para edificios de uso mixto, en nuevas construcciones, existentes e importantes renovaciones de los siguientes tipos de edificación;

RESIDENCIAL: Casa unifamiliares, Casa multifamiliares, Condominios, Edificios de apartamentos y Edificio para uso residencial (vivienda para familias)

COMERCIO: Centros comerciales, Supermercados, Tiendas individuales, Industria liviana y Bodegas

HOTELES: Hoteles, Moteles, Posadas y Complejos turísticos

OFICINAS: Oficinas y Edificios comerciales de cualquier tamaño

HOSPITALES: Hospitales públicos y privados, Clínicas y hospitales multiespecialidad y Clínicas y hospitales dentales y ópticos

EDUCACIÓN: Escuela, Universidades y Jardines Infantiles o pre-escolares

Es el software de EDGE en la web edgebuildings.com, los equipos de diseño y propietario del proyecto pueden evaluar de forma rápida y compara los costos estimados del diseño de estrategias dirigidas a la reducción del consumo de energía, agua y energía incorporada en los materiales. El software ya cuenta con datos contextuales para diferentes ciudades, donde incluye códigos locales, prácticas de construcción, costos de servicios públicos y el clima.

Utiliza líneas base específicas por ubicación del proyecto. Es una plataforma fácil e intuitiva de usar. Así también, proporciona una guía de diseño con medidas técnicas, también sirve como herramienta de planificación. Es un software rápido, fácil y gratis.

Los beneficios que brinda la certificación EDGE son de alto valor, ya que hace al edificio un diferenciador competitivo, los costos de operación son menores, reduce el riesgo de los inversionistas, demuestra una responsabilidad ambiental ante la sociedad, protege el planeta, atrae a los compradores y sobre todo aumenta las tasas de arrendamiento

b. LEED

Es una certificación de alto reconocimiento a nivel mundial debido a logros en la sustentabilidad, brindando así, edificios ecológicos saludables, eficientes, ahorradores de carbono y costos. Las edificaciones certificadas LEED brindan ventajas competitivas frente a edificaciones tradicionales en temas de ahorro económico, eficiencia y emisiones de carbono, con la finalidad de afrontar y aportar una mejora al cambio climático y cumplir con los objetivos EGS. El objetivo del sistema LEED es enfocarse en todos los elementos de un edificio de forma integral para crear una edificación de calidad. Los objetivos son:

- Mejorar la salud humana individual
- Proteger y restaurar los recursos hídricos
- Proteger y mejorar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos
- Promover ciclos de materiales sostenibles y regenerativos
- Mejorar la calidad de vida de la comunidad

La forma de adquirir la certificación es por medio de un puntaje total. El proyecto gana puntos al someterse a los requisitos previos y créditos del carbono, energía, agua, desechos, transporte, materiales, salud y la calidad ambiental interior. Los créditos de las categorías mencionadas se dividen de la siguiente manera; un 35% están relacionados con el cambio climático, el 20% en la salud humana, el 15% en los recursos hídricos, el 10% en la biodiversidad, el 10% en la economía verde, un 5% en la comunidad y el último 5% en los recursos naturales. Estos requisitos son sometidos a un proceso de verificación y revisión por GBCI. LEED clasifica las certificaciones por categorías dependiendo el punto final del proyecto. Las cuatro clasificaciones son: Platino, Oro, Plata y Certificado.

Las certificaciones también se dividen dependiendo el tipo de proyecto que se quiera someter a evaluación y la fase de construcción que se desee certificar. Estas categorías incluyen; la construcción nueva, el equipamiento interior, las operaciones y el mantenimiento y el núcleo y la cubierta.

c. BREEAM

Es el primero y el más importante método de la evaluación de la Sostenibilidad en edificios. Realiza la planificación maestra de proyectos, infraestructuras y edificios tomando en cuenta las etapas del ciclo de vida de estos como lo son: nueva construcción, rehabilitación y en uso. Se basa en la evaluación integral de la educación por medio de 9 categorías:

1. Gestión energética
2. Uso de agua
3. Salud
4. Bienestar de los ocupantes
5. Contaminación
6. Transporte

7. Tipo de materiales
8. Generación de residuos
9. Ecología

d. Passivhaus

Se utiliza para la mejora de rendimiento de energía en una edificación. Enfocado en la construcción de viviendas residenciales, edificios comerciales, industriales y públicos, con excelente rendimiento térmico, hermetismo y con una excepcional ventilación mecánica asociada, permitiendo de esta forma minimizar la demanda de calefacción del edificio. Algunas soluciones aplicadas para mejorar la eficiencia energética es el uso de sombreado, ventilación cruzada natural, para mejorar la calidad de aire interior para los ocupantes de la infraestructura.

e. Análisis FODA de certificaciones verdes

	FORTALEZA	OPORTUNIDAD	DEBILIDADES	AMENAZAS
EDGE	Manual sobre certificación que explica detalladamente cada evaluación. Software que otra certificación no tiene. El software permite identificar que áreas débiles se pueden mejorar para obtener la certificación.	Permite tener un acercamiento real del impacto de la certificación y las estrategias sostenibles aplicadas a la edificación por medio de un software. Se deben ganar las tres categorías “agua, energía y energía en los materiales” para lograr la certificación.	Se deben actualizar los datos del programa para tener un análisis más apegado a la realidad.	Su relación con incentivos bancarios lo ha hecho más popular para inversionista (se ha vuelto un negocio)
LEED	Es más estricto en la propuesta de estrategias ambientales para lograr la certificación. Aplica para variedad de edificaciones en diferentes procesos de construcción.	Evalúa categorías específicas lo que permite tener a detalle para evaluación.	Requiere de distintos estudios y simulaciones para comprobar los resultados de evaluación. Las simulaciones pueden variar dependiendo los programas ya que no especifica con cuales deben realizarse.	Se pueden llegar a manipular los datos de las simulaciones. Los requisitos requieren de mucha especialización en cada uno de ellos. Se vuelve largo el proceso de llenar todos los requisitos. Se puede ganar la certificación únicamente con un apartado.

	FORTALEZA	OPORTUNIDAD	DEBILIDADES	AMENAZAS
CASA	Es económica, permite evaluar casas para dar validez en condominios. Se puede obtener la certificación en cualquier fase de construcción.	Permite implementar estrategias sostenibles y amigables con el ambiente en casa de diferentes tamaños.	Es una certificación únicamente para casas y no para edificios.	Es un check list que logra certificar casa que no tienen un aporte significativo ambiental.

(Blass, 2023)

D. Recurso hídrico

El recurso hídrico es el agua dulce y salobre presente en cuerpos superficiales o subterráneos sin importar su calidad como recurso. El agua es un recurso único e indispensable limitado compuesto por hidrógeno y oxígeno. Se encuentra en la naturaleza de tres estados diferentes; sólido, líquido y gaseoso. Se define que el agua es incolora, no tiene sabor ni olor, es un disolvente y que tiene un pH relativamente neutro, sin embargo, esto puede variar dependiendo las condiciones finales que pasen las aguas. El agua es uno de los recursos naturales renovables más importantes y de gran potencial para el desarrollo humano integral y sostenible.

1. Ciclo del agua

El agua es la misma desde hace 4,500 millones de años y constantemente está en movimiento y cambio entre las nubes, la lluvia, los ríos, cuerpo de agua superficiales, infiltración en la tierra, entre otros. Ese constante movimiento se denomina ciclo de vida del agua (Grández, 2017).

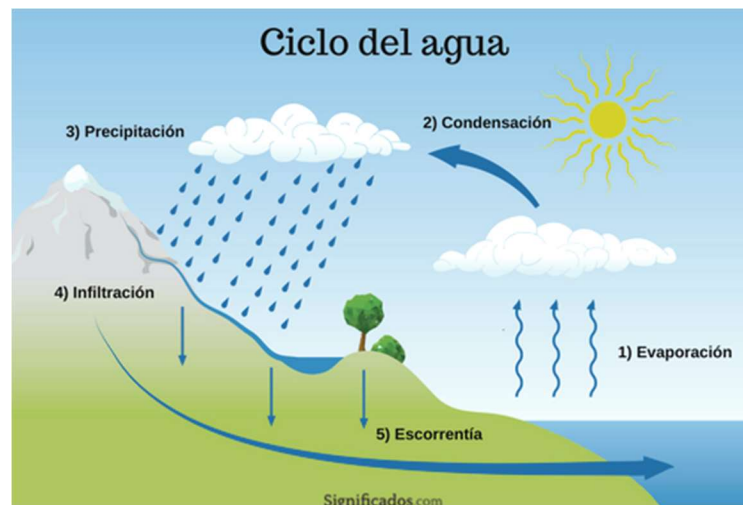


Figura 3. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico consiste en un proceso circulatorio permanente de agua que constituye un volumen fijo de agua en todo el planeta. El ciclo empieza con la evaporación de las aguas de los océanos y lagos, la circulación del vapor de agua en la atmósfera crea la formación de nubes provocando lo que se llama condensación, seguidamente surge la precipitación donde las nubes chocan con otras nubes provocando que se desplieguen gotas de lluvia o nieve. La cuarta etapa del ciclo es la infiltración donde toda el agua que cae del cielo se concentra en las fuentes superficiales y fuentes subterráneas. Por último, la escorrentía es el proceso donde el agua no es infiltrada,

interceptada o evaporada y fluye sobre las laderas alimentando los cuerpos de agua como lagos, ríos, etc. (Grández, 2017).

El ciclo hidrológico puede ser alterado por las actividades humanas industriales, desarrollo agrícola, asentamiento, entre otras actividades.

2. Distribución del agua

Aunque existe mucha agua en el planeta, no toda es apta para el consumo humano. El agua está clasificada en 97% de agua del planeta es salada y 3% de agua es dulce. De este 3% de agua dulce apta para uso humano el 69% es agua congelada en glaciares y polos, 30% está en acuíferos subterráneos y menos del 1% es accesible para el humano para actividades domésticas, industria, agricultura, energía, turismo, transporte y salud (FUNCAGUA, 2020).

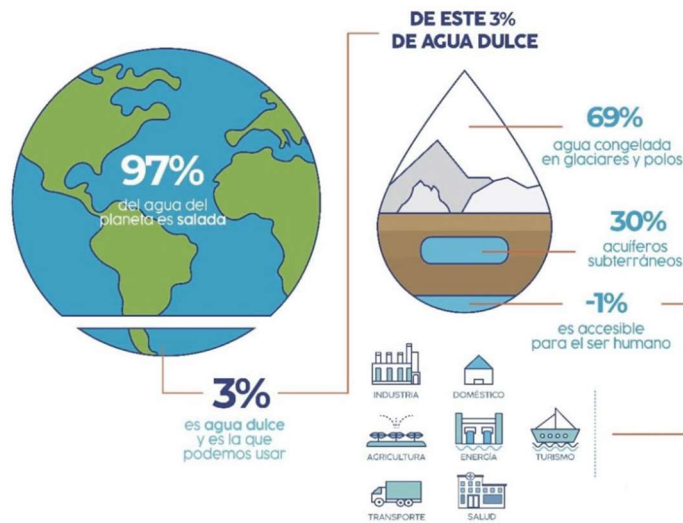


Figura 4. Distribución de agua en el mundo

(FUNCAGUA, 2020).

3. Uso de agua general

a. Endosomático

Uso de agua para sobrevivir, la cantidad de agua para suplir necesidades y actividades fundamentales del ser humano. Este consumo aumenta de forma proporcional al crecimiento demográfico.

b. Exosomático

Uso de agua para actividades extras del ser humano relacionadas con factores culturales y sociales. Este consumo incrementa o varía dependiendo los hábitos sociales.

4. Uso de agua por sector

a. Doméstico

Su fin es suministrar agua a casa, hoteles, sanitarios, cocina, consumo humano, aseo persona y todas las actividades relacionadas con las actividades diarias residenciales (McGHEE, 1999).

b. Industrial y comercial

Agua destinada para establecimientos industriales y comerciales con fines de lucro, como fábricas, oficinas y almacenes. La cantidad e importancia del agua para este uso depende de la magnitud del lugar donde se utiliza y de la fuente de abastecimiento, es decir, si es abastecimiento municipal o privado. Para determinar la demanda de agua se consideran factores como unidades producidas, número de personas empleadas o áreas del establecimiento (McGHEE, 1999).

c. Agrícola

Es el agua destinada para riegos de cultivos y campos. También se utiliza en ganadería para alimentación, limpieza de establos y crianza de animales. Este uso representa el mayor consumo porcentual comparado con los usos de los dos otros sectores.

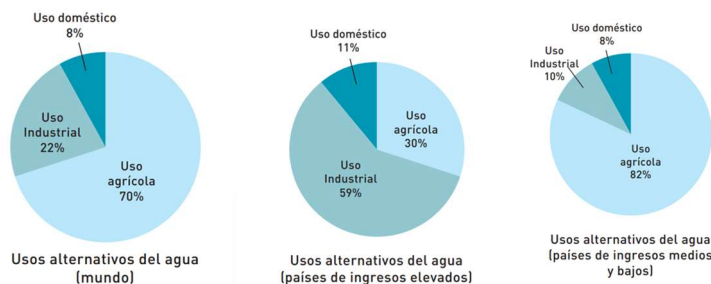


Figura 5. Usos de agua por sector

(UNESCO, 2014).

Existen otros usos que se mencionan en muchas literaturas, estos se incorporan más detallados a la clasificación por sector. El uso público tiene un porcentaje significativo lo cual se refiere al uso en edificios públicos con fines de servicios públicos, es decir, agua para edificios del gobierno, colegios, riego de calles, entre otros. Un factor que se debe considerar es el agua en pérdidas y desperdicios, la cual se refiere al agua que no es contabilizada, no tiene un uso específico. Estas pérdidas son consecuencia de errores en el sistema como, por ejemplo: mala lectura de los medidores, conexiones sin autorización, fugas en los sistemas de distribución. Esta cantidad de agua se puede minimizar con mantenimientos o monitoreo periódico. En la Figura 6 se aprecia como cada sector tiene su impacto de consumo en la cantidad de agua total en el mundo. Y como este consumo ha ido aumentando con el paso de los años.

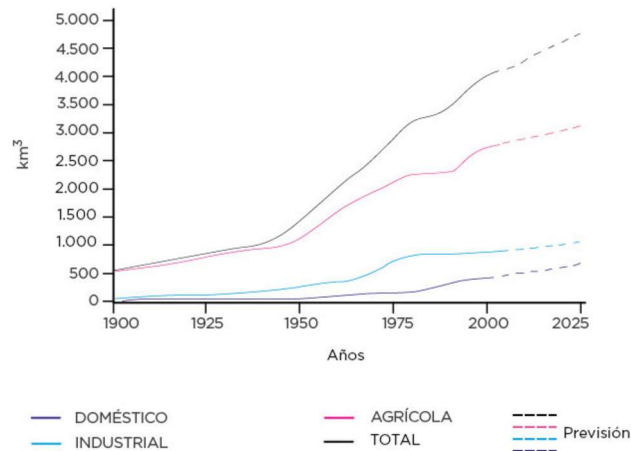


Figura 6. Gráfico de cantidad de agua comparado por sector.

E. Desarrollo histórico

Desde el inicio del desarrollo humano el aprovechamiento del agua superficial ha sido la fuente de abastecimiento principal. Cuando las civilizaciones crecieron demográficamente la población se expandió hacia zonas áridas o semiáridas del planeta y fue en esos tiempos donde empezó el desarrollo de captación de aguas de lluvia como alternativa para riego de cultivos y consumo doméstico. Una buena práctica de esta implementación de captación de agua de lluvia es una cisterna construida en Estambul con una capacidad de 50,000 m³ alimentada con agua captada de techos y calles pavimentadas, estos son proyectos urbanos centralizados (Pizarro, y otros, 2015).

Se han encontrado obras antiguas en el Desierto de Negad, Israel que datan de más de 4,000 años de antigüedad. La captación de agua la dirigían a predios agrícolas en las zonas bajas. Se dice que los antiguos romanos fueron maestros en el uso de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALLs) y en la implementación de embalses. Durante la república romana en el siglo III y IV a.C la ciudad de Roma estaba constituida por viviendas unifamiliares. En la distribución de espacios de las viviendas siempre dejaban un espacio principal en el centro a cielo abierto llamado atrio. El atrio lo utilizaban para la construcción de un estanque central para recoger el agua de lluvia recolectada de los techos. La población con el paso de los años aumentó y surgió la necesidad de construcción de cisternas subterráneas, con dos propósitos: el primero de suplir la demanda de agua para uso doméstico y agricultura y la segunda para mejorar el microclima. Siglos después el uso de SCALL se dejó por un lado debido a nuevos métodos de captación de agua aprovechando el agua superficial y subterránea como presas, acueductos, pozos de extracción y sistemas de irrigación. En el siglo XIX Y XX ocurrió un notorio crecimiento poblacional en las ciudades del mundo. Provocando un aumento en la demanda de necesidades por ciudad incluyendo la necesidad de uno de los recursos vitales para el desarrollo del ser humano, el agua. En esta época se empezó a experimentar una fuerte necesidad de otros sistemas para el abastecimiento de las ciudades. A comienzos de siglo XXI se ejerció una presión sobre las fuentes finitas del agua, aprovechando el agua de lluvia como alternativa para suplir necesidades básicas (Pizarro, y otros, 2015).

F. Situación actual

En el Seminario Internacional sobre Sistemas de Captación de Aguas Lluvias, realizado en Santiago de Chile, por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Oficina del delegado Presidencial para los Recursos Hídricos de Chile, se expuso que Chile está clasificado como el país

de América Latina con el mayor índice de estrés hídrico y con sequías prolongadas. Con lo cual surge la necesidad de implementar nuevas estrategias de suministro de agua para los pobladores. El debate expone otros países que en la actualidad ya tienen implementadas estrategias sostenibles para el aprovechamiento de agua de lluvia.

En México ya se adaptan sistemas de captación de agua lluvia a nivel doméstico y comunitario. Se implementan estanques de almacenamiento con tratamientos solares del agua y por biofiltros. México ya implemento sistemas de captación de agua de lluvia autogestionados a nivel comunitario en el estado de Michoacán.

Brasil está sufriendo una sequía que afecta el suministro de agua y pérdidas de producción agrícola y ganadera.

En la parte semiárida de Brasil se tienen precipitaciones de 600 mm, lo que hace adoptar nuevas acciones en el abastecimiento de agua. Los agricultores empezaron recolección de agua de lluvia con botellas de plástico de diferentes capacidades y depósitos metálicos de 200 L. Recolectando el agua de los techos de tejas de la casa y conducida por tubos PVC hacia los depósitos recolectores.

En términos generales en la actualidad se está implementando a mayor escala el uso de sistemas de captación de agua de lluvia para diferentes usos, entre los más comunes para uso doméstico y agrícola. La combinación de sistemas de captación de agua de lluvia con la producción agrícola permite mejorar los ingresos de las familias rurales (Acevedo, 2016).

Actualmente la disponibilidad de agua para suplir los países se ha vuelto una problemática alarmante conocida como estrés hídrico, este factor se mide en una escala de 1 – 5, donde 5 significa un uso del 100% del agua disponible en el país. Los países con un alto índice de estrés hídrico no necesariamente es que estén usando grandes cantidades de agua de sus reservas, puede ser que no tengan gran cantidad de recurso hídrico a disponibilidad o que tengan una mala gestión del agua y este contaminada. A continuación, se presenta una tabla con los índices de cada país. Guatemala se encuentra en el quinto más alto.

Estado	Índice	Porcentaje (%)
Chile	3.98	79.6
México	3.86	77.2
España	3.74	74.8
Portugal	3.14	62.8
Guatemala	2.36	47.2
Perú	2.05	41
Venezuela	2.03	40.6
Cuba	2.02	40.4
República Dominicana	1.75	35
Haití	1.74	34.8
El Salvador	1.66	33.2
Ecuador	1.59	31.8
Argentina	1.31	26.2
Bolivia	1.15	23
Costa Rica	0.92	18.4
Brasil	0.78	15.6

Estado	Índice	Porcentaje (%)
Colombia	0.65	13
Belice	0.62	12.4
Honduras	0.27	5.4
Panamá	0.23	4.6
Nicaragua	0.21	4.2
Paraguay	0.01	0.2
Uruguay	0.01	0.2

Tabla 1. Índice de estrés hídrico en América Latina 2019

(Salguero, 2022).

La capacidad de reserva hídrica per cápita está disminuyendo a nivel global causando que la oferta de agua no sea la suficiente para cubrir la demanda, el rápido crecimiento demográfico es un suceso que ha provocado esto. Por ello la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia se está desarrollando en zonas rurales como urbanas para diferentes usos como: doméstico, comunitario, agrícola y consumo humano.

G. Disponibilidad del recurso hídrico y abastecimiento en Guatemala

El concepto de disponibilidad de agua se refiere al volumen total de líquido que hay en una región. Este recurso depende de la dinámica del ciclo hidrológico, es decir, del volumen que se recibe por precipitación y de lo que se pierde por evaporación de los cuerpos de agua, por la evapotranspiración de la vegetación, precipitación, transpiración y escurrimiento. Centroamérica cuenta con 802 km³ de agua, esto equivale a un 1.5% de la reserva total mundial. Cuando se menciona reserva de agua dulce, se hace referencia al volumen total acumulado de agua subterránea y superficial. Se debe considerar que la disponibilidad de agua depende del clima, las características del suelo, la vegetación y la ubicación geográfica de cada sitio (Semarnat, 2012).

En Guatemala existen alrededor de 33,699 millones m³ disponibles anual de agua subterránea y 51,292 m³ de agua superficial. En el 2016 se identificó un descenso en el nivel del agua subterránea de 1 m.

La Ciudad de Guatemala tiene una población de 2,934,841 habitantes donde se demandan más de 750,000 m³ de agua al día. A pesar de lo pequeño que es Guatemala frente a otros países, tiene una gran riqueza de recursos naturales principalmente el recurso del suelo, hídrico, forestal, pesqueros, mineros, entre otros. (Basterrechea & Guerra, 2019).

Actualmente la disponibilidad hídrica en Guatemala es de 154.9 km³/año, de los cuales 63.4 km³/año corresponden a cuerpos de aguas superficiales. Guatemala cuenta con abastecimiento de tres vertientes: Pacífico, Mar Caribe y Golfo de México. Siendo el Golfo de México quien representa un 42.1% con la vertiente con mayor disponibilidad, está compuesta por 10 cuencas. La siguiente es la vertiente del Pacífico que representa un 23.7% y cuenta con 18 cuencas. Por último, la vertiente del Mar Caribe con 34.2% que cuenta con 10 cuencas (OLAS, 2020). El abastecimiento de agua en Guatemala es por medio de fuentes naturales o por proveedores de servicio. Las fuentes naturales se dividen en aguas subterráneas aportando un 82.99%, aguas superficiales con 17% y aguas de lluvia que aporta el menor porcentaje 0.008% (FUNCAGUA, 2022).

El abastecimiento por aguas subterráneas y aguas superficiales:

- AGUAS SUBTERRÁNEAS: sistemas de pozos 31% y Ojo de agua 24%

- AGUAS SUPERFICIALES: Lo de Coy 31%, Santa Luisa 6%, Las Ilusiones 4%, El Cambray 3% y La Brigada 1% (Lozano, 2021).



Figura 7. Fuentes de abastecimiento de agua en Guatemala.

La capital metropolitana de Guatemala se abastece por medio de agua subterránea. Esto nos indica que Guatemala es altamente dependiente de las fuentes subterráneas tanto en el sector público como privado. Un 2.81% de los hogares reportan como fuente principal el abastecimiento por camiones cisterna o toneles, alrededor de 581 hogares en los diferentes municipios de Guatemala utilizan el agua de lluvia como fuente de abastecimiento lo que representa un 0.08% del total de abastecimiento. La recolección por agua de lluvia tiene el porcentaje más bajo, y se considera que existe potencial para mejorar este tipo de aprovechamiento (FUNCAGUA, 2022).



Figura 8. Cobertura de agua en Guatemala

(FUNCAGUA, 2022).

El abastecimiento del agua en nuestro país es por medio de un 70% por la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) y el 30% es adquirido en empresas privadas. El agua ya es un problema en la

ciudad ya que existen sectores donde el agua no es constante, es decir, el agua solo abastece algunos días o pocas horas específicamente en las zonas con mayor densidad poblacional y bajos ingresos económicos. Ese 30% de agua se desglosa en; un 5% abastecimiento por camiones y cisternas, 5% por pozos privados y un 10% lo abastece la empresa privada Agua Mariscal, S.A. (Lozano, 2021). El agua de lluvia es un recurso que se debe aprovechar integralmente en nuestro sistema de vida (Lozano, 2021).

1. Problemática de abastecimiento de agua en Guatemala

Las razones por las cuales este recurso ya se cataloga en “escasez” son varias. Principalmente la destrucción de los ecosistemas naturales y el crecimiento poblacional siendo este el segundo país en América Latina con mayor densidad poblacional con 159 habitantes por km². En Guatemala cada vez crece más la mancha de cemento que impermeabiliza la tierra, evitando su recarga hídrica. La rápida urbanización puede amenazar la urbanización y provocar escasez de energía, acumulación de residuos, falta de agua, crisis de calidad de aire, los edificios contribuyen a estos retos ya que consumen un 35% de la energía mundial, un 5% del agua y 15% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero. Los edificios sustentables también son parte de la solución (SEGEPLAN, 2011).

El crecimiento poblacional en Guatemala ha sido evidentemente aumentado con el paso de los años. En el censo de 1893 la población total del departamento de Guatemala era de 169,364 habitantes. En el censo de 1921 la población aumento a 232,335 habitantes. En 1950 la población alcanzo a ser 441,085 habitantes (AVANCSO, 1991). En el año 2018 fue de 995,393 habitantes. El aumento poblacional provocó el aumento de necesidades para cada habitante generando un consumo desmedido de las fuentes hídricas. En la Figura 9, se muestra la situación hasta el 2020 del crecimiento urbano acelerado que ha experimentado la Ciudad de Guatemala.

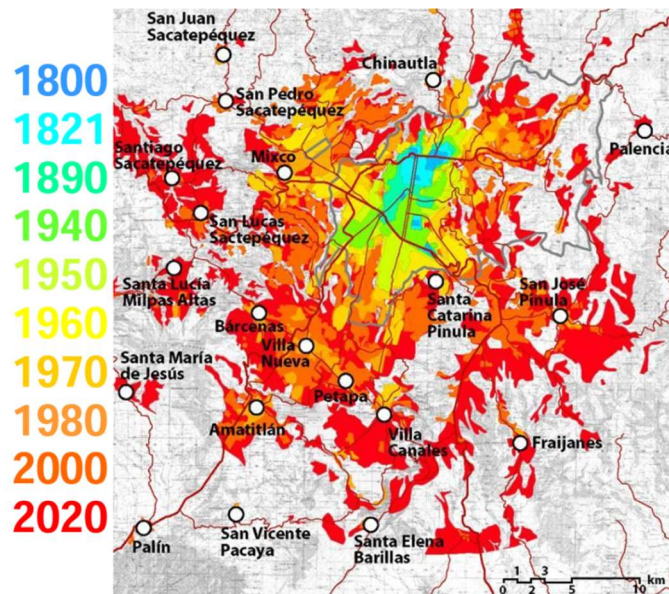


Figura 9. Situación de crecimiento urbano acelerado en el tiempo Guatemala

(Municipalidad de Guatemala, 2022).

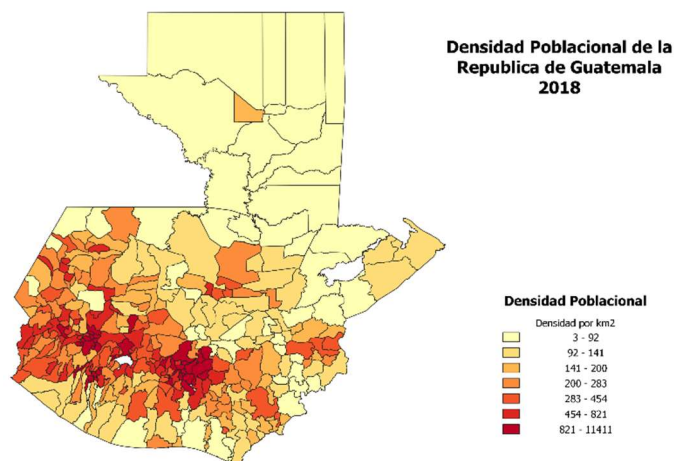


Figura 10. Densidad poblacional de la República de Guatemala 2018

La gestión es otra de las razones por la que el agua no es suficiente para cubrir las necesidades de la población guatemalteca. La disponibilidad y el aprovechamiento del recurso hídrico en Guatemala se ha vuelto un conflicto entre los actores interesados. Guatemala es un país con potencial en el recurso hídrico sin embargo la deficiencia organización del sector ha provocado problemáticas en el acceso, calidad y conservación del agua.

Reflejando a las acciones mencionadas se tiene un resultado de zonas hidrológicas dentro de Guatemala catalogadas con estrés medio y alto. Estos niveles de estrés reflejan la disponibilidad desigual de los recursos hídricos de forma espacial y temporal entre periodos de lluvia y sequía. Es importante mencionar que la demanda de agua también representa variación de acuerdo con la densidad poblacional, el desarrollo industrial y la producción agrícola de riego. Realmente el desafío del recurso hídrico es la administración en el tiempo (OLAS, 2020). La implementación de estrategias sostenibles ayuda a mejorar el manejo del recurso hídrico y brindar ahorro tanto en el consumo de agua potable como en la parte económica. La recolección de agua de lluvia es una estrategia utilizada desde la antigüedad, pero hoy más que nunca es una buena alternativa para volver a implementar estos conceptos.

2. Valor del agua

El valor del agua es posiblemente infinito, ya que es un recurso que, sin él, el ser humano no podría vivir. Es de suma importancia reconocer y medir el valor que el agua tiene en la vida para gestión sosteniblemente el recurso. El valor del agua está implícito en la mayoría de las decisiones de gestión de los recursos hídricos. Mientras no se le dé un valor al agua seguirá siendo mal gestionada. La incapacidad de valorar este recurso es una de las principales causas. El agua es un caso único donde no existe una relación clara entre su valor económico y valor antes sociales. El valor económico establecido para el agua representa una recuperación de costos de abastecimiento y no un valor como tal al agua. Una mejor valoración del agua implica una eficiencia y manejo adecuado en el uso del agua. Los esfuerzos por valorar el recurso del agua en los últimos 30 años han ido avanzando desde el pago por servicio de agua potable y servicios ecosistémicos.

EMPAGUA es una de las empresas abastecedoras de agua potable a la población de Guatemala. Es la Empresa Municipal encargada de dotar el servicio de agua potable y alcantarillado a la población de Guatemala y poblaciones cercanas. Esta empresa tiene asignado un valor por consumo de agua dependiendo el rango de consumo, EMPAGUA lo tiene clasificado por consumo de 1-20 m³, 21-40

m³, 41-60 m³, 61-120 m³ y 120- adelante. El costo promedio es de Q. 2.80 m³/mes, un valor alcantarillado que equivale al 20% del valor de consumo (sin iva) y un valor por cargo fijo el cual es el un costo administrativo del cobro mensual (FUNDESA, 2012).

- Rango de consumo por metro cúbico 1 a 20: Precio del metro cúbico (sin IVA) Q1.88 + 20% (alcantarillado) + Q23.52 (cargo fijo sin IVA).
- Rango de consumo por metro cúbico 21 a 40: Precio del metro cúbico: Q2.95 + 20% (alcantarillado) + Q23.52 (cargo fijo sin IVA).
- Rango de consumo por metro cúbico 41 a 60: Precio del metro cúbico (sin IVA) Q3.75 + 20% (alcantarillado) + Q23.52 (cargo fijo sin IVA).
- Rango de consumo por metro cúbico 61 a 120: Precio del metro cúbico (sin IVA) Q7.51 + 20% (alcantarillado) + Q23.52 (cargo fijo sin IVA).
Rango de consumo por metro cúbico de 121 a más: Precio del metro cúbico (sin IVA): Q9.39 + 20% (alcantarillado) + Q23.52 (cuota fija sin IVA).
- Precio de sesión de derecho de servicio de agua y emisión de título de agua Q100.80.
- Precio de instalación domiciliar Q1,136.00

3. Fuentes de agua

a. Agua de aire. Es agua potable de lluvia sobre la superficie, esta contiene contaminantes que no son suficientes para causar enfermedades al beberla. Se considera agua limpia y potable.

b. Agua de la superficie. Agua en movimiento como ríos no esta contaminada por enfermedades derivadas del agua, al contrario, las aguas estáticas tienen probabilidad de contaminarse. El agua estática puede ser lagos, océanos o pantanos.

c. Agua del subsuelo. Agua subterránea que es absorbida por la tierra. Es agua que se puede obtener únicamente por excavación de pozos (García, 2016).

4. Formas de captación de agua

- Captación de aguas superficiales.
- Pozos
- Perforaciones
- Almacenamiento de agua de inundación.
- Captación de agua pluvial/ lluvia.

H. Captación de agua de lluvia

La captación de agua de lluvia se puede realizar por medio de escurrimiento de techos, patios y paredes exteriores o fachadas donde al recolectar el agua, esta se conduce hacia un almacenamiento como cisternas, aljibes, entre otros. El sistema de recolección de agua de lluvia es un método implementado desde la antigüedad, el cual consiste en captar, almacenar y distribuir agua de lluvia para suplir necesidades básicas potables o no potables. Son tecnologías de baja inversión que no contaminan el ambiente y son accesibles para su implementación. La captación de agua de lluvia depende del área de captación, material de la superficie, las condiciones climáticas y el medio ambiente (Anaya, 1998).

Las aguas de lluvia son generadas por el escurrimiento superficial de las lluvias por medio de techo. Está formada por agua purificada por la evaporación cae regularmente sobre la superficie terrestre, parte de ella se evapora de nuevo, otra es absorbida por las plantas, otra parte forma escorrentías y la última parte se infiltra en el suelo. Al tener contacto con superficies o en ambientes contaminantes el agua ya no es clasificada como purificada.

El agua de lluvia atrapa partículas de polvo de la atmosfera. Existen tres tipos de contaminantes del agua, estos son: Contaminantes biológicos que son microorganismos patógenos y parásitos; contaminantes químicos que son hidrocarburos, plaguicidas, detergentes, fósforo, metales pesados, entre otros; contaminantes físicos, que se refiere al color.

1. Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL)

Los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) son una opción real para hacer frente a la escasez de este recurso natural hídrico que con el tiempo se está volviendo una problemática que perjudica en la vida humana. Un abastecimiento por medio de agua de lluvia considera cantidad, calidad y continuidad para diversos usos, por ejemplo; el consumo humano, consumo animal, producción agrícola, ganadería, forestal e industria (Garduño, Pérez, López, & Martínez, 2018). El agua de lluvia logra sustituir al agua potable en algunos usos domésticos e industriales, logra reducir hasta el 40% del consumo de agua potable. Es importante mencionar que todos los componentes del sistema deben tener un mantenimiento periódico para evitar problemas de saturación en el sistema (Basán, Sánchez, Tosolini, Tejerina, & Jordan, 2018)

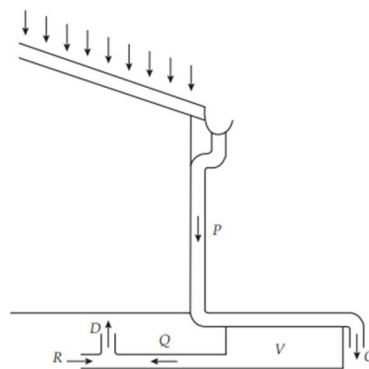


Figura 11. Sistema esquemático de un SCALL

Los beneficios que presenta los sistemas de captación de agua de lluvia:

- Agua sin ningún costo de compra.
- Recurso fácil de aprovechar
- Conservación del ecosistema
- Desarrollo de actividades económicas del ser humano.
- Los sistemas de captación de aguas de lluvias requieren de una infraestructura poco compleja. Pueden implementarse a mayor detalle cuando el presupuesto económico lo permita o de manera sencilla para cumplir con los requerimientos.
- Reducción en el costo energético en procesos de purificación.
- Permite alargar su disponibilidad y generar un ahorro del consumo.
- Evita la sobreexplotación de las fuentes hídricas y tener reservas para el futuro.

- No requiere de tratamientos complejos para consumo en condiciones óptimas.
- Para uso exterior como riegos es mejor que el agua de red ya que no contiene cloro ni otros químicos.
(Gonzaga, 2015).
- Se recolecta y almacena cerca de la edificación lo que elimina un sistema de distribución tan complejo.
- Ahorro energético debido que se reduce el proceso de extracción y bombeo para distribución del agua de lluvia captada.
- Costos menores comparado con redes hidráulicas públicas de abastecimiento en inversiones iniciales, mantenimiento y ampliación del sistema.
- Sistema de captación de fácil aplicación en comunidades urbanas que no cuentan con redes de agua potable.
- No genera un impacto en el subsuelo, ríos y ecosistemas ya que proviene del agua de lluvia. Es un beneficio para los mantos acuíferos ya que no se realiza extracción de este recurso (I. Adler & Bojalil, 2008)
Reduce los escurrimientos de agua pluvial hacia el sistema de drenaje (Grández, 2017).

Desventajas

- El agua de lluvia no es constante durante todo el año, es decir, tenemos periodos de lluvia y periodos de sequías.
- El agua captada no puede ser usada para consumo humano directamente sin antes no haber pasado por un proceso de filtración y purificación.
Captar agua de lluvia implica costos extras de construcción en un almacenaje adecuado y sistema de conducción de agua (Gonzaga, 2015).
- En algunos sitios donde la precipitación pluvial es variable, la superficie de captación es pequeña y la demanda es superior a lo captado el recurso se vuelve limitado en algunas temporadas del año (I. Adler & Bojalil, 2008).

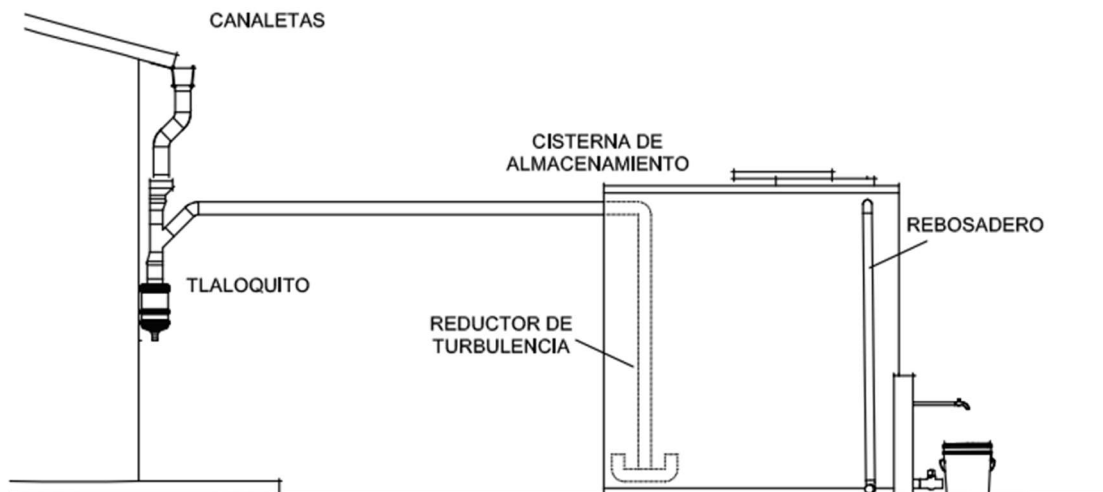


Figura 12. Croquis de un SCALL

(Sara Transformacion, 2016).

2. Clasificación de sistemas de captación de agua de lluvia

a. Sistemas pasivos

Los sistemas de captación de agua de lluvia pasivos también conocidos como infraestructura verde son aquellos donde se adapta el lugar para captar e infiltrar al suelo el agua de lluvia. Es una captación de superficie de terreno que lleva el agua directa para una recarga hídrica. Los sistemas pasivos son más aplicados por medio de jardines pluviales, biofiltros, pavimentos permeables y los macizos conjuntos de árboles. Son sistemas que no requieren de tuberías, bombas ni construcciones auxiliares. Tienen la ventaja que no existe costo por infraestructura artificial. Todo el sistema pasivo se basa en el diseño con la naturaleza para aprovechar el recurso hídrico y generar acciones de conservación y regeneración del ecosistema, este sistema infiltra el agua hacia las corrientes subterráneas, le da un tratamiento natural al agua y distribuye el agua que cae sobre la superficie (Acosta, Quiroa, & Villanueva, 2018). Los sistemas pasivos utilizan el suelo como método de almacenamiento (Pizarro, y otros, 2015).

b. Sistemas activos

Los sistemas de captación de agua de lluvia activos son aquellos donde se implementa infraestructura para su captación. Se requiere de una superficie para recolectar el agua de lluvia y conducirla hacia un depósito de almacenamiento para ser distribuida en su fase final (Acosta, Quiroa, & Villanueva, 2018). Son sistemas que utilizan estructuras de contención para la captación de agua. Comparado con los sistemas pasivos el costo es mayor (Pizarro, y otros, 2015).

3. Tipos de sistemas de captación de agua de lluvia

Hay una variedad de técnicas adaptadas a las situaciones para la recolección de agua de lluvia, cada uno para diferente finalidad. La mayoría de las técnicas tienen un origen empírico desarrolladas desde las civilizaciones antiguas de Meso y Sudamérica y otras regiones del mundo. Estas técnicas son clasificadas en grandes modalidades de captación de agua de lluvia como las que se mencionan a continuación:

a. Sistema de captación en techos

Este tipo de sistema es bastante similar con el sistema activo de captación de agua pluvial, con la diferencia que este sistema únicamente hace uso de techos, azoteas, lozas o balcones para captar agua. El sistema está compuesto por áreas de captación, canaletas para conducir el agua hacia cualquier tipo de almacenamiento (Acosta, Quiroa, & Villanueva, 2018).

b. Sistema de captación de patios

Un sistema utilizado en la antigüedad donde existía un patio central y se recolecta agua de lluvia por techos de viviendas.

c. Sistema de macro captación

Es la captación de escorrentía superficial en grandes áreas. Estas son técnicas más complejas que las de micro captación. Utilizan grandes áreas productoras de escorrentía superficial para generar un gran volumen de flujo hacia el lugar de almacenaje. Es más utilizada en regiones semiáridas o áridas.

d. Sistema de derivación de manantiales

Este sistema no siempre es considerado como captación de agua de lluvia, sin embargo, es utilizado y es útil para contrarrestar la necesidad de agua en las zonas.

e. Sistema de microcaptación o captación *in situ*

Son aquellos sistemas de captación de agua de lluvia en lo que el área de captación está en el mismo sitio del sitio donde se dará su uso final, al igual que el sistema externo en su mayoría es utilizado en riegos de agricultura. El uso final se realiza por escorrentías del terreno donde los cultivos están muy cerca. Estos también son sistemas de captación *in situ* y para ello se necesita información sobre la cantidad y distribución de la lluvia anualmente y el almacenamiento en el perfil del suelo (Acosta, Quiroa, & Villanueva, 2018).

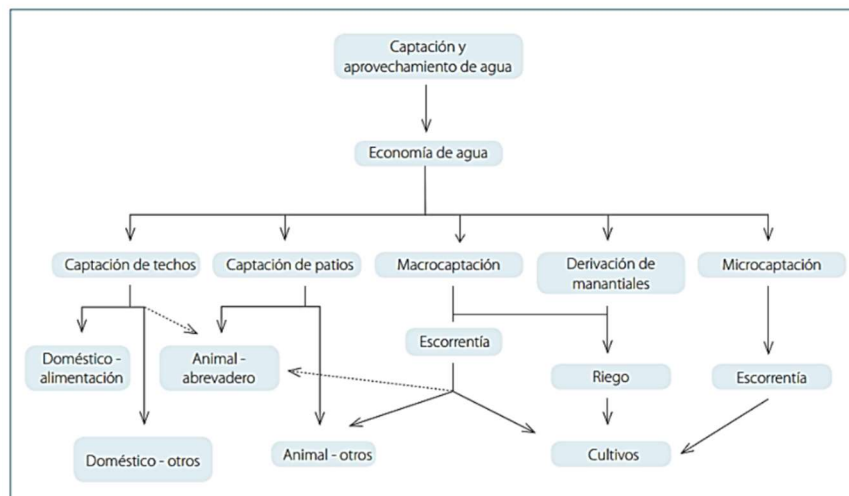


Figura 13. Diagrama de flujo de captación de agua de lluvia.

Localización de un sistema de captación de agua de lluvia

Su ubicación puede ser en cualquier lugar que cumpla con los requisitos mínimos para su mayor aprovechamiento. Existen lugares donde las condiciones son más favorables, brindando una ventaja económica y mayor eficiencia. Los lugares donde existe una precipitación pluvial de media a alta y con una amplia distribución temporal y de baja intensidad. El área de captación también es un factor importante, ya que mientras más grandes sean las superficies de captación mayor será la ventaja de este recurso captado.

Los factores más relevantes para la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia:

- Precipitación pluvial promedio anual del lugar ($1\text{mm} = \text{L}/\text{m}^2$)
- Intensidad máxima de la precipitación (mm/hr)
- Distribución temporal de la precipitación
- Superficies de techumbres o área de captación de agua de lluvia
- Material del área de captación
- Distancia entre el área de captación y lugar de almacenamiento
- Tipo de material donde se ubicará el almacenamiento (mecánica de suelos)

I. Datos meteorológicos de Guatemala

1. Precipitación en Guatemala

La precipitación es la cuarta etapa del ciclo del agua, se encarga de llenar los cuerpos de agua por medio de la caída de agua líquida de las nubes, esta puede ser en forma de lluvia o nieve. Este proceso

es la última fase para que se reinicie de nuevo el ciclo del agua (Gonzaga, 2015). Uno de los factores que se deben considerar y analizar para definir si es factible o no realizar una obra de captación de agua pluvial es la precipitación pluvial del sitio. Estos datos se obtienen de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) donde se obtienen la precipitación pluvial mensual con un registro anual, que datan de hace 20 años, lo cuales son suficientes para aproximar la precipitación para un periodo de tiempo futuro (FAO, 2000). El agua de lluvia tiene un gran potencial ya que un milímetro de lluvia equivale a un metro cuadrado.

Es necesario conocer la cantidad de agua que llegara al sistema de captación para calcular si lo recolectado cubre la demanda de agua en el sitio.

Se calcula la **precipitación promedio mensual** con la siguiente ecuación;

$$Pp_i = \frac{\sum P_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

Pp_i – Precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados (mm/mes)

P_i – Valor de precipitación mensual del mes “i” (mm)

N – número de año evaluados

(OPS & CEPIS, 2004)

Se calcula la **precipitación pluvial neta (PN)** con la siguiente ecuación;

$$PN = P * Cc \quad (2)$$

Donde;

PN= Precipitación Pluvial Neta de Diseño

P= Precipitación Pluvial de diseño

Cc= Coeficiente de captación (0.85)

a. El coeficiente de escorrentía

No toda la lluvia que cae puede ser recolectada y almacenada debido a que existen pérdidas por infiltración y evaporación. Este coeficiente determinar la proporción de agua precipitada que escurre superficialmente. En un sistema de captación de agua de lluvia mientras más cercano a 1 sean el coeficiente más eficiente será, y obtener la mayor tasa de agua caída capturada. El material del área de captación está muy relacionado con el valor final del coeficiente, es decir, mientras el material sea más absorbente el numero será menor y por ende el sistema bajara su eficiencia. También dependerá de factores como el tipo de precipitación si es lluvia, nieve o granizo, la cantidad, intensidad y distribución de esta en el tiempo.

Considerando lo mencionado anteriormente, en la Tabla 2 se presentan los valores de eficiencia de escurrimiento del agua sobre diferentes materiales y coberturas de suelo.

Tipo de superficie	Coefficiente de escurrimiento
Pavimentos de hormigón y bituminosos	0.70 – 0.95
Para superficies lisas, impermeables como techos en metal, en teja asfáltica, de concreto, entre otros.	0.90
Pavimentos de macadam	0.25 – 0.60
Adoquinados	0.50 – 0.70
Superficies de grava	0.15 -0.30
Zona arboladas y bosque	0.10 -0.20
Zonas con vegetación densa: Terrenos granulares	0.05 – 0.35
Terrenos arcillosos	0.15 – 0.50
Zonas con vegetación media: Terrenos granulares	0.10 – 0.50
Terrenos arcillosos	0.30 – 0.75
Tierra sin vegetación	0.20 – 0.80
Zonas cultivadas	0.20 -0.40

Tabla 2. Coeficientes de escurrimiento

2. Intensidad de la precipitación

Las características de la lluvia más importantes para determinar la cantidad dependen de la intensidad, la duración y la distribución de la precipitación. De acuerdo con su intensidad el agua de lluvia se puede clasificar en:

Tipo de intensidad	Cantidad de agua (mm/hora)
Ligera	- 2.5
Moderada	2.5 - 7.6
Fuerte	>7.6
Torrencial	>12.7

Tabla 3. Clasificación de intensidad de lluvias

La frecuencia de las lluvias se define como la periodicidad media estadística en años que puede presentarse eventos de características similares en intensidad y duración (FAO, 2000).

La intensidad de la precipitación de lluvia es la relación entre la lámina de precipitación y el tiempo de duración de la tormenta, se calcula con la siguiente ecuación;

$$I = \frac{P}{t} \quad (5)$$

Donde;

I – Intensidad de la precipitación de lluvia

P – Precipitación

t – tiempo que dura la tormenta

J. Componentes de un SCALL

1. Área de captación

El área de captación de agua de lluvia son las superficies existentes o nuevas para recolectar el agua de pluvial para ser almacenada. Esta puede ser techos de lámina metálica, policarbonato y teja, losas de cemento, patios, explanadas, caminos pavimentados, garajes y cualquier superficie donde se logre formar una escorrentía y recolecte el agua eficientemente. Cada uno de estos diferentes materiales tiene sus coeficientes de captación y su respectivo tratamiento para filtración del agua. Para un mejor aprovechamiento del recurso captado se utiliza materiales lisos, limpios e impermeables para aumentar la eficiencia del sistema y con una pendiente de 2 – 4% que permita la recolección adecuada del agua. Un aspecto importante para la elección del material del área de captación es que estos no deben desprender ningún olor o ninguna sustancia que altere el grado de calidad del agua (Acosta, Quiroa, & Villanueva, 2018). La base fundamental para la cosecha de agua es el área de captación ya que mientras más grande sea mayor cantidad de agua logra recolectar. Únicamente se considera área de captación aquellas partes donde es de fácil acceso colocar un recolector o canaleta, las partes pequeñas o difíciles para incorporas se omiten en los cálculos. El área de captación se calcula con la siguiente ecuación;

$$A = \frac{V}{P * Ce} \quad (1)$$

Donde;

A – Superficie/área de captación de diseño del sistema (m²)

V– Volumen de agua (demanda) (m³)

P – Precipitación de diseño (mm)

Ce – Coeficiente de escurrimiento

a. Demanda del agua

Este parámetro está en función del uso que tendrá el agua pluvial captada. El agua destina para el uso doméstico es aquella para uso en inodoros, lavamanos, uso interno y externo y para consumo humano (Garduño, Pérez, López, & Martínez, 2018). La demanda de agua que se debe cubrir es una variable importante para el diseño del sistema. Por ello se analiza la población de diseño y sus características de vida. Las poblaciones siempre tienen tendencia a un crecimiento, por lo que se calcula la curva de crecimiento de 20 a 30 años. Se debe conocer las actividades que realiza la población considerando todas las actividades diarias sin omitir alguna. El consumo o demanda de agua está estrechamente relacionada con el nivel de desarrollo socioeconómica del país.

- Para el consumo humano: para fines prácticos se estima 1 m³/persona/años equivalente a 2.73 L/día, recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS)
- Según CEPAL dotación mínima 55 L/hab/día (Lentini, 2020).
- Para uso doméstico en Guatemala por abastecimiento de pozo 50L/hab/día
- 25L/hab/día por abastecimiento por camión, tonel, río, lago, manantial u otro
- 150 L/hab/ día para cumplir con el derecho humano al agua (Guerra, 2021).

- Ing. Melany Ramírez, investigadora del Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad de Universidad del Valle de Guatemala (UVG) refiere que una persona usa al mes 6.65 m³ lo que equivale a 222 L/persona/día a escala residencial.
- PHD. Edwin Castellanos del Observatorio Económico Sostenible de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) refiere que la dotación de agua de una persona depende del nivel socioeconómico de la familia y en promedio varía entre 1 – 2 m³/día/hogar lo que equivale a 200 – 400L/persona/día (UVG, 2023).
- Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) presento que en promedio el consumo a nivel hogar en la ciudad de Guatemala es de 28 m³ lo que equivale a 208 L/persona/día (Martinez, 2021).
- Dotación de agua por persona de 151 L/día/persona distribuidos de la siguiente manera:

Concepto	Cantidad (L/día/persona)
Baño, ducha	35
Inodoro	35
Lavado ropa	45
Limpieza	10
Lavaplatos	07
Lavamanos	15
Cocinar, beber	04
TOTAL	151

Tabla 4. Distribución de consumo de agua por actividades de una persona

(Grández, 2017).

Otras fuentes de consumo de agua por persona:

Tipo	Factor
Habitacional o multifamiliar	
• Residenciales (>700 m ²)	1 dormitorio = 500 L / apartamento / día
• Urbanizaciones	2 dormitorios = 850 L / apartamento / día
• Apartamentos o vivienda multifamiliar (200 L/hab/día)	3 dormitorios = 1200 L / apartamento / día
	4 dormitorios = 1350 L / apartamento / día
• Visitantes	25 litros / visitante / día
• Dotación por habitante	200 litros / persona / día
• Áreas comunes o amenities	3 litros / m ² / día
Hoteles	
• Hoteles 4 – 5 ★, Gran turismo	500 litros / persona / día
• Hoteles 2 – 3 ★, Moteles	350 litros / persona / día
• Hoteles 1 ★, Posada	200 litros / persona / día
• Empleados	70 litros / persona / día
• Salones	30 litros / persona / día
• Centro de convenciones	5 litros / persona / día
• Jardín o riego	5 litros / m ² / día
Restaurantes	
• *Restaurante convencional < 100m ²	40 litros / m ² / día
• *Restaurante convencional > 100m ²	50 litros / m ² / día
• *Jardines	5 litros / m ² / día
• *Estacionamiento	2 litros / m ² / día
Comercio	
• Venta de producto y bodegas de almacén < 100 m ²	10 litros / m ² / día
> 100 m ²	20 litros / m ² / día
Centros Comerciales	
• Comercio existente	10 litros / m ² / día
• Sin área de restaurantes	20 litros / m ² / día

Figura 14. Dotación por persona recomendada

Categoría		Actividad		Código CIU	Dotación (* Incluye las personas colaboradoras y usuarios)
N°	Nombre	N°	Nombre		
1.1	Poblacional	1.1.1	Zona Rural.	3600	200 l/día/persona.
		1.1.2	Zona urbana.		250 l/día/persona.
		1.1.3	Zona turística / costera.		300 l/día/persona.

Figura 15. Dotación recomendada por niveles socioeconómicos

(MINAE, 2021).

Cuando se tienen los datos del lugar de estudio se puede calcular la dotación/demanda/consumo de agua por persona con la siguiente ecuación;

$$D_i = \frac{Nu * Nd * dot}{1000} \quad (2)$$

Donde:

Di – Demanda mensual (m³)

Nu – Número de usuarios que se benefician del sistema

Nc – Número de días al mes analizado

dot – Dotación (L/persona-día)

2. Sistema de conducción del agua

Las canaletas son las encargadas de conducir el agua hasta las bajas de aguas. Entre las más utilizadas son las de chapa galvanizada o de PVC con tratamiento contra los rayos ultravioleta. Su dimensionamiento debe ser el adecuado para el paso del agua y obstrucciones parciales y/o sedimentos y evitar rebalses ante lluvias intensas. El acopio de las piezas debe ser ejecutado correctamente y debe tener la suficiente cantidad de ganchos de sujeción para soportar el peso propio y la carga máxima de agua. Estas deben siempre presentar un desnivel para que la corriente de agua escurra sin dificultad hacia las bajas pluviales (Basán, Sánchez, Tosolini, Tejerina, & Jordan, 2018).

Para el dimensionamiento de las canaletas es necesario conocer la intensidad de la precipitación pluvial en un periodo de retorno, es decir, la lámina de agua de lluvia sobre una superficie durante un determinado tiempo (mm/hr). Con esta ecuación se calcula la cantidad de agua que se espera escurra por todo el sistema de captación hasta el almacenamiento.

$$Q = \frac{5}{8} (I * A * c) \quad (7)$$

Donde;

Q – Gasto que se espera pase por la canaleta (lps)

I – Intensidad de lluvia (m/h)

A – Área de captación (m²)

C – Coeficiente de escorrentía o escurrimiento (adimensional)

5/8 – Factor de conversión de m³/h a lps

El diámetro se termina despejando el área de la ecuación de continuidad:

$$D = \sqrt{\frac{Q}{\pi * v}} \quad (8)$$

Donde;

D – diámetro de la tubería de bajada (m)

Q – Gasto que debe conducir la canaleta (m³)

V – velocidad del agua (m/s)

Para el diseño es necesario determinar las dimensiones de la canaleta donde se transportará el agua captada, estas dimensiones deben ser las apropiadas para que el agua no se rebalse y por el contrario se aproveche al máximo. El diámetro de la tubería a utilizar se determina por medio de la ecuación de continuidad;

$$Q_2 = A * v \quad (9)$$

Donde;

Q₂ – Gasto que se espera para un período de retorno determinado (lps)

A – Área hidráulica de la sección de conducción (m²)

V – Velocidad de caudal (m/s)

Eso dependerá de la selección que realice el diseñador y la que mejor se adapte a las condiciones del sitio. La velocidad se obtiene mediante la ecuación de Manning:

$$v = \frac{1}{n} * r \left(\frac{2}{3}\right) * S \left(\frac{1}{2}\right) \quad (10)$$

Donde;

V – Velocidad del caudal (m/s)

n – Coeficiente de rugosidad (depende del material de la canaleta)

r – Radio hidráulico (área hidráulica entre el perímetro mojado) (m)

S – pendiente hidráulica del conducto (en decimal)

Para encontrar el gasto que se espera para un período de retorno determinado se deberá iterar los datos en las ecuaciones, la condición a cumplir debe ser el gasto que se espera pase por la canaleta debe ser mayor o igual al gasto que se espera para un periodo de retorno determinado.

$$Q \leq Q_2 \quad (11)$$

3. Tubería de bajada

Las bajadas de agua del sistema de captación se conectan a embudos de ampliación a la tubería que conduce el agua hacia el almacenamiento, la cual debe estar adecuadamente dimensionada para el paso fluido del agua evitando detener mucho tiempo el agua sobre el techo. Cuando sea necesario existe la posibilidad de interconectar las bajadas de agua utilizando accesorios “Y” o “T” (I. Adler & Bojalil, 2008).

4. Filtro de malla

Los filtros evitan la entrada de sólidos y la contaminación del agua captada, suele contaminarse con hojas, ramas, excremento de aves, tierra, arena u otros desechos que existan en el sitio de captación. Para sitios cercanos de árboles es indispensable el uso de filtro para eliminar los residuos que se depositan en la superficie de captación un primer filtro para separar los sólidos grandes del agua es una pantalla de malla sobre la canaleta de recolección, la malla suele dimensionarse de ¼ de pulgada.

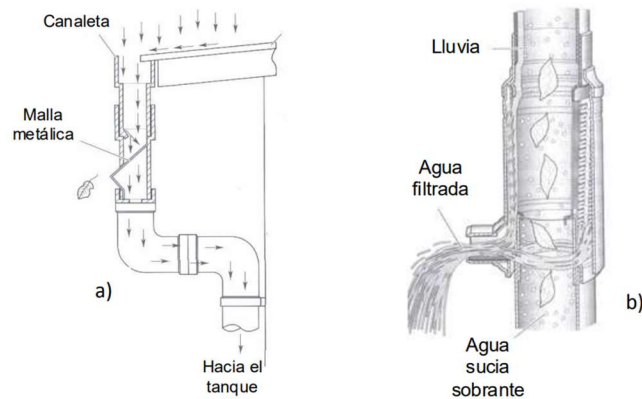


Figura 16. Filtro para hojas por caída vertical y centrifugado



Figura 17. Tipo de filtro con malla

5. Filtro de las primeras lluvias

Un sistema interceptor es un dispositivo que descarga las primeras aguas provenientes del lavado del techo. Todos los materiales contaminantes que estén en el techo al momento de iniciar la lluvia se lavan y son desechados. Un filtro que impide que materiales contaminantes entren al tanque de almacenamiento. Su diseño debe considerar un tanque con la capacidad de almacenar el volumen de agua necesario para lavar el techo. Se estima que $1\text{L}/\text{m}^2$ en techos es suficiente para su limpieza. Es un sistema de almacenamiento previo del agua sucia inicial de las lluvias para destinarse al riego o uso de consumo no humano. Cuando ha corrido limpiar, ésta se vierte por el sistema a un almacenamiento final para consumo humano (García, 2016).

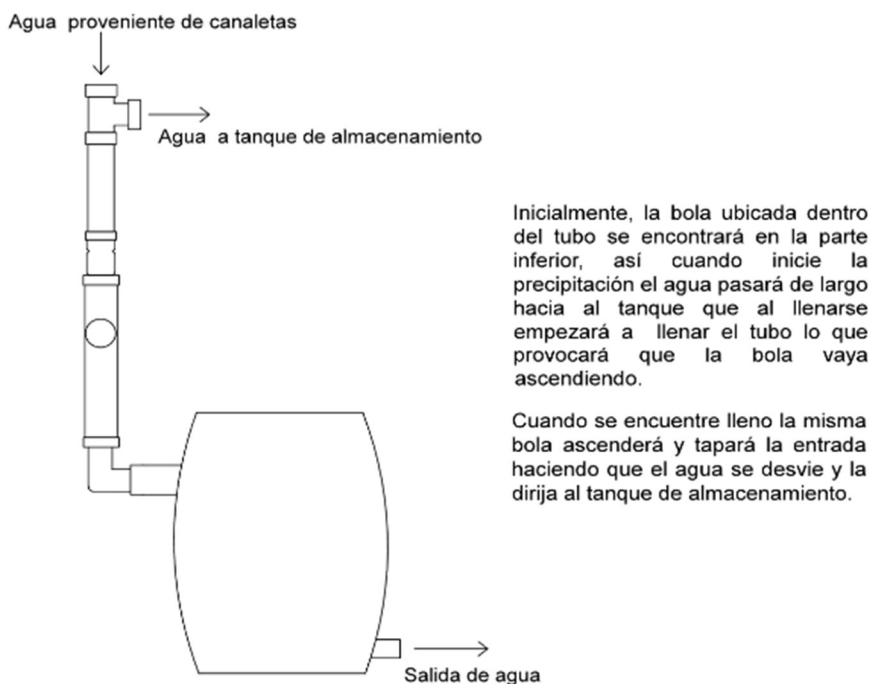


Figura 18. Filtro de las primeras aguas de lluvia

6. Filtro o tratamiento de agua de lluvia

Es importante la purificación del agua especialmente si ésta se destina para consumo humano y uso doméstico ya que debe cumplir con los límites permisibles para consumo humano indicados en la normativa COGUANOR NGO 29001:99 “Agua para el consumo humano (agua potable). Especificaciones”. El tratamiento debe remover las partículas que no son retiradas en el dispositivo de intercepción en el primer deposito. El uso final del agua de lluvia captada define si debe o no ser tratada. En muchos casos recolectan el agua de lluvia para invernaderos o uso para riego, lo cual no es completamente necesario adaptar un sistema de tratamiento.

El tratamiento de agua de lluvia conlleva a tres fases de tratamiento, primario, secundario y terciario. La sedimentación, filtración y desinfección garantiza la calidad física, química y bacteriológica del agua y queda lista para cualquier uso de consumo humano. Para clasificar un tratamiento eficiente se evalúa que produzca la cantidad de efluente necesario para cumplir con la demanda en tiempo, que su funcionamiento sea simple, mantenimiento mínimo y de bajo consumo energético y económico. Es importante mencionar que no existe una única forma para tratar el agua de lluvia es por ello que a continuación se presentan posibles formas de tratar el agua y se debe seleccionar la que mejor se adapte al uso final del proyecto. El tratamiento de aguas para consumo

humano elimina los residuos y mejora la calidad del agua. En la antigüedad el agua se trataba con métodos simple como hirviéndola, exponiéndola al sol, sedimentado el agua o filtrándola por medio de arena o grava para purificarla. En la actualidad los métodos utilizados se basan en procesos físicos, químicos o biológicos.

- Tratamientos físicos: estos no generan sustancias nuevas, sino que concentra los contaminantes, la filtración, adsorción, aeración, floculación y calificación o sedimentación son los tratamientos más comunes.
- Tratamientos químicos: estos generan sustancias nuevas, entre los más utilizados están: coagulación, desinfección, ablandamiento y oxidación.
- Tratamientos biológicos: estos tratamientos usan organismos vivos para provocar cambios químicos, entre estos están la digestión aerobia y anaerobia (Salamanca, 2014).

a. Tipos de tratamientos para agua de lluvia

- **Biofiltro con material granular**

El filtro de grava o arena es el más utilizado para remover sólidos suspendidos, consiste en una cama de diferentes tipos de materiales granulares por donde el flujo pasa descendentemente donde las partículas suspendidas quedan retenidas en el material. Las propiedades del medio hacen que el agua tome caminos erráticos haciendo más largo el camino por lo que los sólidos tienen más contacto con más material granular. La filtración se realiza después de la separación de la mayoría de los sólidos suspendidos por sedimentación, sin embargo, dependiendo de las características del agua se puede filtrar directamente sin ser sedimentada, se debe evaluar el agua para no saturar el filtro.

- **Filtro de gravedad o filtro lento**

Son aquellos que tienen una cama de grava y arena y el agua fluye por acción de la fuerza de gravedad. La velocidad de filtración es bastante lenta por lo que requiere una gran área o superficie de filtración para un flujo determinado. Para un filtro de este tipo se usa una relación Q/A de 0.6 a 6 LPM/m². Cuanto menor sea la relación menor será el gasto o flujo por unidad de área del filtro y mayor será la eficiencia de sólidos suspendidos. Su funcionamiento empieza cuando el agua captada es conducida hacia este filtro por la parte superior distribuida uniformemente, seguidamente pasa por capas de material granular de diferentes tamaños. En la parte superior se encuentran arenas más finas y va aumentando su tamaño conforme van bajando las capas. En la parte del fondo se coloca una tubería para captar el agua que fluye descendentemente donde se extrae el agua limpia al final del proceso. No existe una fórmula para definir la cantidad de capas, granulometría del material y la altura de estas ya que depende de las características del agua que se desee tener, para definir las capas finales se hacen pruebas piloto. Un filtro “estándar” de grava y arena tiene las siguientes características

Tipo de material	Diámetro (pulgadas)	Espesor (pulgadas)
Grava gruesa	1 ½ - ¾	8
Grava mediana	¾ - ½	2 ½
Grava fina	½ - ¼	2 ½
Gravilla	¼ - 1/8	3
Arena gruesa	1.2 – 0.8 mm	3
Arena fina	0.55 – 0.45 mm	20 - 24

Tabla 5. Distribución de capas de filtro granulométrico

Tipo de material	Diámetro (pulgadas)	Espesor (pulgadas)
Grava gruesa	1 ½	8
Grava mediana	1	4
Grava fina	3/8	4
Gravilla	¼	4
Arena fina	0.55 – 0.45 mm	20 - 24

Tabla 6. Ejemplo de distribución de filtro granulométrico

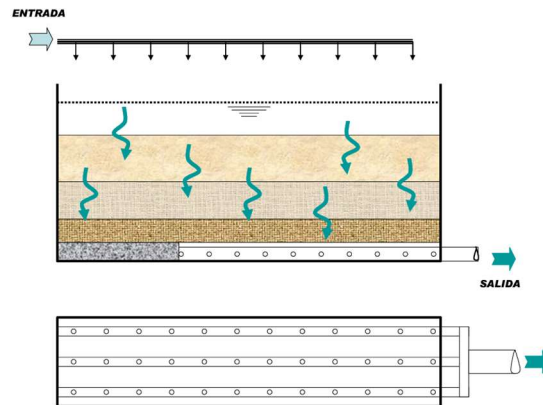


Figura 19. Filtro abierto o de gravedad. Corte transversal y vista superior de drenaje de agua filtrada

- **Filtro a presión o rápidos:** son aquellos filtros similares a los filtros de gravedad con la única diferencia que el flujo de agua es forzado a fluir por presión de una bomba. En este tipo de filtros se manejan relaciones de Q/A de 80 – 120 LPM/m². Cuando las áreas de filtración son muy reducidas que pueden manejar grandes volúmenes de agua.
- **Filtro de diatomeas:** Este es un filtro que se utiliza para retener partículas de sólidos suspendidos sumamente pequeñas y tiene muy buenos resultados. Está constituido por lonas que sirven como material filtrante permitiendo el paso del agua, pero reteniendo los sólidos suspendidos de hasta 1 – 2 micrones de diámetro (Metcalf & Eddy, 1995).

7. Filtro de desinfección

a. Desinfección con cloro

Es un tratamiento químico que trata organismos patógenos. El cloro elimina la mayor parte de las bacterias, hongos, virus, esporas y algas presentes en el agua

b. Desinfección con ozono

Es más eficiente que el cloro en termino de tiempo y elimina patógenos del agua. Requiere de un desinfectante secundario.

c. Radiación ultravioleta (UV)

Es un método físico de desinfección del agua que no altera las propiedades fisicoquímicas del agua. Elimina bacterias y virus, este también requiere un desinfectante secundario. Es útil para tratamientos pequeños.

d. Filtro tamíz o Speedy

Elimina sólidos, arena, tierra, lodo, arcilla y partículas de hasta 100 μm .

e. Filtro de carbón activado

Elimina cloro, sabor, olor y una gran variedad de contaminantes como: pesticidas, herbicidas, plaguicidas, metilto de mercurio e hidrocarburos halogenados. El equipo de filtración incluye un tanque de fibra de vidrio, una válvula de control, el filtro y puede durar hasta 6 años.

f. Ósmosis inversa

Realiza un tratamiento desalinizador físico, químico y bacteriológico del agua.

g. Sistema de prefiltros

Es un sistema que se ubica en cada bajada de agua del sistema que no es más que la colocación de una malla plástica fijada correctamente que tiene como objetivo impedir el paso de residuos grueso como material vegetal, insectos, entre otros contaminantes.

h. Sedimentadores, desarenadores y clarificadores

Es un sistema que utiliza filtros ya sean decantadores o filtros de arena para evitar el paso de cualquier elemento no filtrado en la fase de pre filtrado. Las limitantes de estos procesos de pre y filtrado es que se necesita de la presencia de alguna persona durante las horas de captación para asegurar que el sistema no acumule demasiados contaminantes y se sature (Basán, Sánchez, Tosolini, Tejerina, & Jordan, 2018).

8. Válvulas

Las válvulas son dispositivos que su función es disminuir o detener el flujo del agua captada El diseño y funcionamiento depende de cómo se quiera manejar el flujo. El funcionamiento puede ser cerrado-abierto para reducir o detener presión y velocidad. Las válvulas de retención permiten flujo sólo en una dirección y se abre por presión del flujo y se cierra cuando el flujo se detiene.

9. Almacenamiento de agua de lluvia captada

El almacenamiento se le llama al lugar donde se guarda toda el agua de lluvia recolectada por el sistema, este espacio debe tener las condiciones adecuadas para conservar el agua hasta que se le dé el uso final. Algunos almacenamientos conocidos son; cisternas, tinacos, bolsas para aguas pluviales o estanques.



Figura 20: Cisterna flexible autoportante para agua.



Figura 21: Almacenamiento superficial de plástico.



Figura 22: Almacenamiento Aljibe

Idealmente el almacenamiento debe tener la capacidad para guardar toda el agua recolectada, estas cisternas pueden construirse con materiales de construcción reforzados o prefabricadas (pueden ser de plástico). Entre las recomendaciones para un buen almacenamiento debe ser opaca y se debe evitar el contacto directo con los rayos del sol para evitar la formación de mohos. Si el uso final es de consumo humano, el almacenamiento no puede contener recubrimientos de materiales tóxicos y debe tener un acceso fácil para su mantenimiento. La ubicación de los almacenamientos puede ser superficial o subterráneo, esto dependerá de las condiciones del sitio y el diseño (I. Adler & Bojalil, 2008). Los tanques de almacenamiento deben estar ubicados lo más cerca de la oferta y demanda para evitar largas conducciones y aumentar las pérdidas. El volumen del tanque se calcula con la siguiente ecuación;

$$A_i = Pp_i * C_e * A_c \quad (12)$$

Donde;

A_i – Oferta de agua en el mes “i” (m^3)

Pp_i – precipitación promedio mensual (L/m^2)

C_e – Coeficiente de escorrentía

A_c – Área de captación (m^2)

Volumen de almacenamiento necesario para cada mes se calcula con la siguiente ecuación;

$$V_i = A_i - D_i \quad (13)$$

Donde;

V_i – Volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes “i” (m^3)

A_i – Volumen de agua que se captó en el mes “i” (m^3)

D_i – Volumen de agua demandada por los usuarios para el mes “i” (m^3)

Algunos ejemplos de almacenamiento son los hidro acumuladores PVC, estanques verticales de polietileno y de fibra de vidrio, estanques de hormigón armado, almacenamiento en geomembranas.

- **Almacenamiento superficial**

Requiere infraestructura sobre una superficie ocupando un espacio dentro del sitio. El diseño de la infraestructura que sostiene el almacenamiento debe estar correctamente diseñado para evitar colapsos al tener la carga completa de agua. En este tipo de almacenamiento se ahorra la excavación (I. Adler & Bojalil, 2008).

- **Almacenamiento subterráneo**

Es necesario hacer una excavación donde se debe considerar un estudio de suelo y condiciones sísmicas para evitar daños en los muros de la infraestructura para almacenamiento (I. Adler & Bojalil, 2008).

K. Potencial de ahorro de agua potable (PPWS)

$$PPWS = 100 * \frac{VR}{PWD} \quad (6)$$

Donde;

PPWS – Potencial de ahorro de agua potable

VR – Volumen mensual de agua de lluvia captada (m³/mes)

PWD – Demanda mensual de agua potable (m³/mes)

L. Factibilidad de un SCALL

Un diseño de sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) se debe tomar en cuenta tanto los factores económicos y sociales como los técnicos.

1. Factor técnico

Este factor hace referencia a la oferta y demanda de agua en el lugar de implementación del sistema.

La **oferta de agua** se relaciona con la precipitación de agua en el lugar durante los diferentes meses o por año y con aspectos del clima. Se utilizan los datos suministrados por los centros meteorológicos del país (UNATSABAR, 2001).

La **demanda de agua** se relaciona con la cantidad de agua que cubre las necesidades que harán uso del sistema de captación de agua de lluvia, la demanda depende de los usos a los que se destine el agua captada ya que puede ser para uso únicamente para consumo humano o para cubrir todas las necesidades básicas de un individuo incluyendo: preparación de alimentos, higiene personal, mantenimiento de hogares uso exterior (UNATSABAR, 2001).

2. Factor económico

Seguidamente del factor técnico y evaluar que existe una relación oferta – demanda directa. Este factor evalúa la viabilidad económica de la implementación de todos los componentes de SCALL. Es importante tener presente que ningún caso de la dotación de agua debe ser menor a 20 L/familia/día (UNATSABAR, 2001).

3. Factor social

Todas las obras de ingeniería a nivel comunitario deben siempre considerar la parte social y la opinión de los integrantes de la comunidad. Este factor pretende evaluar la aceptación del sistema presentando las ventajas y desventajas con el fin de brindar soluciones en temas del recurso hídrico a manera individual y colectivo (UNATSABAR, 2001).

M. Características del agua

1. Agua potable:

NORMA COGUANOR 29001 -2013: Establece que el agua para consumo humano es aquella que por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor y cumple con lo establecido en la presente norma. Es agua destinada para bebida, preparación de alimentos e higiene personal y es distribuida por un sistema de abastecimiento.

La norma COGUANOR NGO 20 001:99 establece los parámetros, límites máximos y características del agua para clasificarla como agua potable. El agua debe cumplir con la norma para evitar daños a la salud de las personas.

2. Agua residual:

a. Tipo ordinaria: Aguas residuales generadas por las actividades domésticas.

Aguas grises Tipo 1 / Aguas de baja carga: aguas que provienen de ducha, bañera y lavado.

Aguas grises Tipo 2 / Aguas de media carga: aguas Tipo 1 + aguas que provienen de lavadoras.

Aguas Tipo 3 / Aguas de alta carga: aguas Tipo 1 + Tipo 2 + aguas que provienen de lavavajillas y cocina.

b. Tipo especial: Son agua generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicio industrial, agrícola, pecuarias, hospitalarias y aquellas que no son de tipo ordinario.

N. Manejo adecuado del agua

El uso eficiente y ahorro del agua a nivel mundial es una necesidad para garantizar la sostenibilidad de este recurso. La gestión, hábitos de consumo y demanda por usuario del agua son factores por mejorar para no explotar desmedidamente el recurso hídrico como en la actualidad está sucediendo. Existen alternativas para no desperdiciar el agua en cada uso final. La tecnología ha jugado un papel importante en las innovaciones para ahorrar agua y generar un impacto real.

1. Ahorro y control del agua: Instalar ahorradores de agua en la ducha, inodoro y grifos. Tiene la ventaja de estar disponibles en tiendas locales y son de fácil instalación.
2. Para reducir la contaminación del agua existen productos de limpieza amigables con el planeta
3. Utilizar riego por aspersión automatizado, es decir, programarlo para que riegue en horarios con poca evaporación como un riego nocturno o las horas más frescas del día. También existen riegos por goteo dependiendo del consumo de cada planta y riego por difusores.
4. Reductores de caudal para duchas son dispositivos que ahorran aproximadamente un 30% de agua, estos reductores se adaptan en la tubería de la ducha para impedir que el caudal excede del consumo estipulado.
5. Los perlizadores son dispositivos que se enroscan en los grifos para incorporar aire al chorro de agua, esto reduce el consumo hasta un 40% (EMACSA, 2022).

6. Aireadores para grifos, estos son dispositivos que se enroscan en el grifo y mezclan el aire con el agua de salida reduciendo así su caudal de consumo final. El ahorro estimado es del 40-60%. Se vuelve significativo ya que el consumo de agua residencial representa el 35% del consumo total, lo cual tiene un impacto positivo (Martín, 2020).
7. Duchas eficientes, los cabezales eficientes son caracterizados por generar un gran ahorro de agua por su sección de salida con agujeros reducidos a los normales, para conseguir un menor gasto de agua, pero con una buena velocidad y presión. Se estima por lo fabricantes que se logra un ahorro del 50%. Debido a que el consumo de agua por ducha representa el 27% del consumo total residencial, es de los porcentajes más altos por lo que hacer un cambio tiene un impacto representativo en el consumo total de las edificaciones.
8. Grifos inteligentes, son artefactos que funcionan con un comando de voz por medio de wifi, u otros mucho más eficientes que funcionan por sensores. No son significativamente ahorradores, pero si reduce el desperdicio al cerrar el grifo (Martín, 2020).
9. Cisternas eficientes, los antiguos sanitarios utilizaban hasta 9-12 LPD (Litros por Descarga), en la actualidad en promedio el consumo de un sanitario de doble pulsador es de 6 LPM y los pequeños de 3LPM (Litro por Minuto). Es importante mencionar que existen cisternas ultra ahorradoras que logran consumir entre 2-4 LPM. El diseño de los inodoros permite que el funcionamiento sea más eficiente y por ende el consumo sea menor. Una alternativa para no sustituir por completo los inodoros se puede adaptar un mecanismo de descarga simple a uno doble (Martín, 2020).
10. Electrodomésticos eficientes, específicamente las lavadoras y los lavavajillas es recomendable el uso correcto, es decir, llegar a su capacidad máximo para cada uso o usar opciones de media carga. Asegurarse que los electrodomésticos cuenten con las etiquetas de eficiencia energética obligatorio en la Unión Europea, para un consumo de agua y energía asegurado. El ahorro estimado por estos electrodomésticos ahorradores es de 30% (Martín, 2020).

O. Reutilización de aguas grises

Las aguas grises son todas aquellas aguas residuales que se generan diariamente cuyo origen proviene de los desagües de bañeras, cocinas, lavadoras, aguas utilizadas para limpieza general y personal, y cualquier otro tipo de agua usada para uso residencial. Las aguas grises no incluyen las aguas de inodoro. La carga contaminante de estas aguas es muy baja por lo que el tratamiento es regularmente más sencillo que el tratamiento de aguas negras. Si el tratamiento de aguas grises es el adecuado estas pueden utilizarse nuevamente para uso no potable, como, por ejemplo; riego de jardines y llenado de cisternas de inodoros. El objetivo de reutilizar las aguas grises es reducir el consumo de agua potable sumándose a las ventajas del uso de aguas de lluvia. Las ventajas que presenta este tipo de implementación de reutilización es una disminución del consumo de agua potable entre 30% - 45% aproximadamente. Reducción de energía y químicos para tratar grandes cantidades de agua. Protege las reservas de agua subterráneas y reduce las cargas de aguas residuales a los drenajes municipales o privados.

Sistema de reutilización sin tratamiento: Son sistemas que adaptan aparatos externos a las duchas y aguas de lavamanos y la envían directamente a la cisterna de inodoros.

Sistemas con tratamiento: Se utilizan para aguas que necesiten mayor calidad para su uso final. Entre los sistemas propuestos en trabajos previos se han utilizado como etapa inicial

Elementos para un sistema de tratamiento de aguas grises:

1. Trampa de grasas: un tanque receptor de aguas grises, su trabajo es separar la espuma y grasas del agua. Su eficiencia puede ser de 83% - 90%.
2. Biofiltro bacteriano: un tanque receptor con cepas bacterianas encargadas de degradar los contaminantes presentes en las aguas grises.
3. Biofiltro con material granulométrico: un tanque con diferentes capas de materiales granulares. Su funcionamiento es por gravedad con filtrado lento. Su eficiencia es aproximada del 96.8% del proceso anterior y reducir la contaminación de DB05 (85%), DQO (84.5%), Sólidos suspendidos (35.8%), nitrógeno total (79.15%) y fosforo total (32.25%) en 24 horas.

A continuación, se presenta una tabla con los rangos de producción de agua gris según su aplicación:

Aplicación	Producción estimada (L/persona/día)
Viviendas	50 – 100
Hoteles	50 -150
Complejos deportivos	30 - 60

Tabla 7. Rango de producción de agua gris según su aplicación

(AQUA ESPAÑA, 2016).

P. Antecedentes

1. Zona 10 Ciudad de Guatemala

La Zona 10 de la Ciudad de Guatemala es una de las 25 zonas en las que se divide la Ciudad. Esta zona abarca desde la primera calle a la 20 calle y de la Avenida de la Reforma a Okland. Esta zonificación se aprobó en el año 1952 en el gobierno de Jacobo Árbenz por la dirección de Planificación de la Municipalidad de Guatemala. Zona 10 está catalogada como la zona viva norte de la Ciudad de Guatemala. Tiene aproximadamente 590 hectáreas, tiene como colindantes al norte la zona 5 en dirección a los campos de Marte, al sur colinda con la zona 14, al este colinda con Vista Hermosa y al oeste zona 9.

Debido a la saturación de las zonas tradicionales, específicamente la zona 9 y 10 tuvieron la necesidad de empezar su desarrollo comercial durante los años 70's y después del terremoto de 1976 surgió una migración y ubicación de empresas hacia estas zonas. Zona 10 se caracteriza por ser una zona con bastante demanda de edificios donde se ubican universidades, centros médicos, colonias exclusivas, hoteles, entre otros edificios. La topografía está dividida en dos, ya que una parte es plana y la otra inclinada hacia el río Negro. Por ello se cataloga que el nivel socioeconómico de esta zona es medio – alto (Banco de Guatemala, 2019).

Los edificios en Zona 10 de la Ciudad de Guatemala, en su mayoría, son de uso mixto o residenciales, un proyecto habitacional de apartamento en el corazón de la zona viva tiene el objetivo

principal de brindar a las familias guatemaltecas un hogar con confort, seguridad y una buena opción de valor en el mercado.

El crecimiento industrial, comercial y poblacional de esta zona aumento la demanda de muchos recursos en general, entre estos se encuentra el recurso del agua. En la Figura 23 se observa que zona 10 ya está clasificado con estrés hídrico alto.

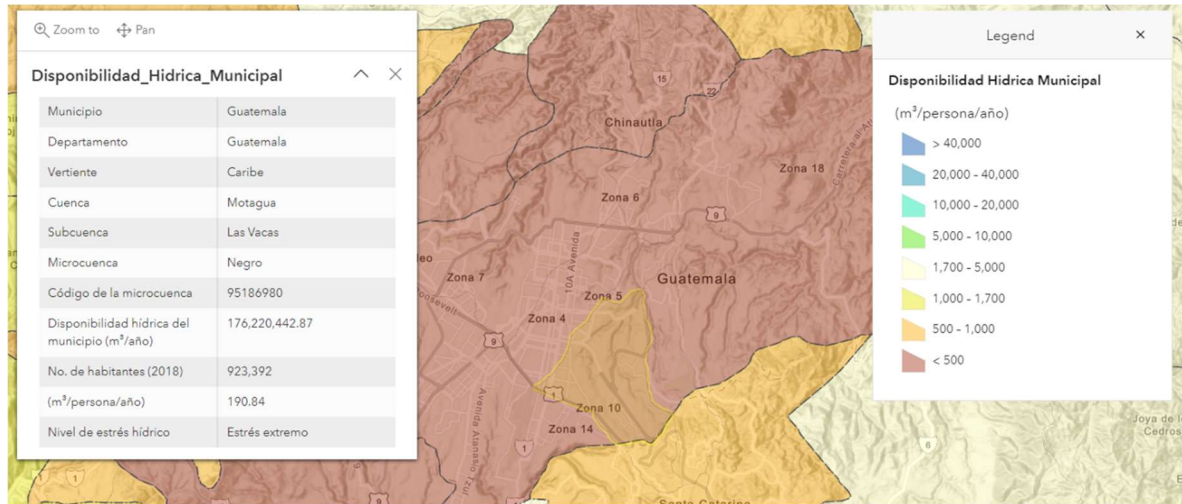


Figura 23. Mapa de disponibilidad hídrica Zona 10 Guatemala

(Esri, Nasa, NGA, & USGS, 2023).

Q. Normativas nacionales

El agua colectada durante la temporada de lluvia se almacena para dar uso dos o tres meses después de la temporada de captación, esto puede variar dependiendo el tipo de tratamiento que se aplique, el uso puede ser en un menor tiempo. Es importante mencionar que siempre se deben hacer pruebas para la calidad de agua y su evolución con el tiempo para garantizar el consumo de agua a la población. Las mediciones de calidad de agua deben estar basadas en las normativas guatemaltecas listadas a continuación. Estas normativas tienen la propiedad de indicar la calidad del agua captada en base a medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para determinar si es agua apta para el consumo humano

1. Normas y acuerdos guatemaltecos para consumo de agua potable

- **Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001-2013. Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones.**

Es aquella que por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no presenta un riesgo para la salud del consumidor. Es agua que cumple con lo establecido en la normativa (COGUANOR, 2013).

- **Acuerdo Gubernativo 113-2009. Reglamento de normas sanitarias para la administración, construcción, operación y mantenimiento de los servicios de abastecimiento de agua para consumo humano.**

Artículo 4. Agua para consumo humano: Aquella que es distribuida por medio de un servicio de abastecimiento, destinada para su ingestión, preparación de alimentos y/o higiene personal o domiciliar (COGUANOR, 2009).

- **Acuerdo Gubernativo 178-2009. Reglamento para la Certificación de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Proyectos de Abastecimiento.**

Se elaboró considerando lo establecido en la Constitución Política de la República de Guatemala y el artículo 88 del Decreto 90-97 del Congreso de la República.

Le compete al Ministerios de Salud Pública y Asistencial Social velar por el cumplimiento del presente reglamento, a través de las Direcciones de Área de Salud.

Artículo 3 a). Agua para consumo humano: Agua destinada para bebida, preparación de alimentos e higiene personal y que será distribuida por medio de un sistema de abastecimiento que, al momento del trámite del mérito relacionado con las obligaciones desarrolladas por este reglamento aún no se encuentra en funcionamiento (Ministerio de Salud Pública y Asistencial Social, 2009)

- **Acuerdo Ministerial 523-2013. Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano.**

Artículo 22. Agua apta para consumo humano. Se considerará que un sistema de abastecimiento de agua para consumo humano ha suministrado agua “apta para consumo humano” durante cierto período de tiempo cuando el cien por ciento (100%) de las muestras analizadas durante ese lapso, hayan sido consideradas “aptas para consumo humano”; siempre y cuando el muestreo respectivo se haya efectuado conforme a lo establecido.

- **Acuerdo No. COM-24-2020. INSTALACION OBLIGATORIA DE ARTEFACTOS AHORRADORES DE RECURSO HÍDRICO DENTRO DE LA CIUDAD DE GUATEMALA.**

Es un acuerdo por el concejo municipal de la Ciudad de Guatemala que establece que todo proyecto de construcción debe incluir artefactos eficientes con un bajo consumo de agua o que no usen agua y también hacer uso de sistemas de captación, reciclaje o reutilización de agua. Los artefactos contemplados para este acuerdo son; inodoros, lavamanos, urinales, lavaplatos, duchas, otros similares. En el Artículo 3. Consumo máximo de agua en artefactos, se establece los siguientes valores para cada artefacto

Artefacto	Consumo máximo
Lavamanos públicos	0.5 GPM/ 1.9 LPM
Lavamanos residenciales	2.2 GPM/ 8.3 LPM
Lavamanos de cierre automático (por botón o sensor)	0.95 LT/ CICLO
Inodoros	1.9 GPM/ 6 LPM
Duchas	2.5 GPM/ 9.5 LPM
Lavaplatos residenciales	2.2 GPM/ 8.3LPM
Urinal - mingitorio	1 GPF/ 3.8 LPF

Tabla 8. Consumo máximo de artefactos ahorradores

(Municipalidad de Guatemala, 2020).

- **Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29006-2011. Agua para consumo humano (agua potable). Recolección, preservación, transporte y almacenamiento de muestras. Generalidades (COGUANOR, 2011).**
- **Acuerdo Ministerial 1148-2009. Manual de normas sanitarias que establecen los procesos y métodos de purificación de agua para consumo humano.**

2. Normativas guatemaltecas para tratamiento de agua residual

- **Acuerdo Gubernativo 236 -2006: “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos”.** Establece criterios y requisitos que debe cumplir el efluente para descarga y reuso de aguas residuales.

R. Normas y manuales internacionales

- Norma chilena NCH 409 – Norma calidad de agua potable
- Norma chilena NCH 1333 – Calidad del agua de acuerdo con requerimientos científicos referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos.
- En Oklahoma se aprobó en el 2012 la Ley de Agua para el 2060 con el fin de promover proyectos piloto para el uso de agua de lluvia y aguas grises.

V. METODOLOGÍA

Se describe a continuación la propuesta de un sistema de captación de agua de lluvia en una edificación de la Ciudad de Guatemala, este documento es de tipo no experimental, es una investigación y propuesta teórica sobre el aprovechamiento del recurso hídrico proveniente de una de las fases del ciclo hidrológico, la lluvia.

Para identificar el área de implementación se realizó una búsqueda bibliográfica sobre el recurso hídrico tanto a nivel mundial como nacional para identificar que lugares presentan escases de agua actualmente. Específicamente se investigó sobre lugares con características similares a la de Guatemala para ampliar las posibles metodologías de implementación de sistemas de captación de agua de lluvia, de ahora en adelante llamados SCALL por sus siglas. Para el diseño del sistema de captación se referenció literatura chilena y colombiana, debido a que Guatemala en la actualidad no cuenta con un manual de diseño para este tipo de aprovechamiento de agua. Dentro del marco referencial se mencionaron aspectos importantes para su diseño como la precipitación, temporadas de lluvia, costo de m³ de agua, entre otros datos relevantes de fuentes confiables como INSIVUMEH, EMPAGUA, FUNDESA, FUNCAGUA, UNESCO e Investigaciones generales e Investigaciones realizadas en la Universidad del Valle de Guatemala.

Para el presente trabajo se propuso un diseño de sistema de recolección de agua en un edificio construido en la Ciudad de Guatemala, considerado como un modelo promedio en dimensiones guatemaltecas con el objetivo que dicha propuesta funcione como futuras alternativas para implementación en la vida real. El diseño del SCALL presenta cálculos del diseño de cada componente como lo es; área de captación de agua pluvial, conducción del agua, filtración y almacenamiento.

Para definir el funcionamiento del sistema se solicitó acceso a los planos del edificio, específicamente a las plantas típicas para determinar la cantidad de apartamentos del edificio y dotación de personas que lo habitan. Seguidamente se realizó un diagrama de flujo como indicador de equipos del sistema y el flujo del agua captada.

A. Diagrama de flujo

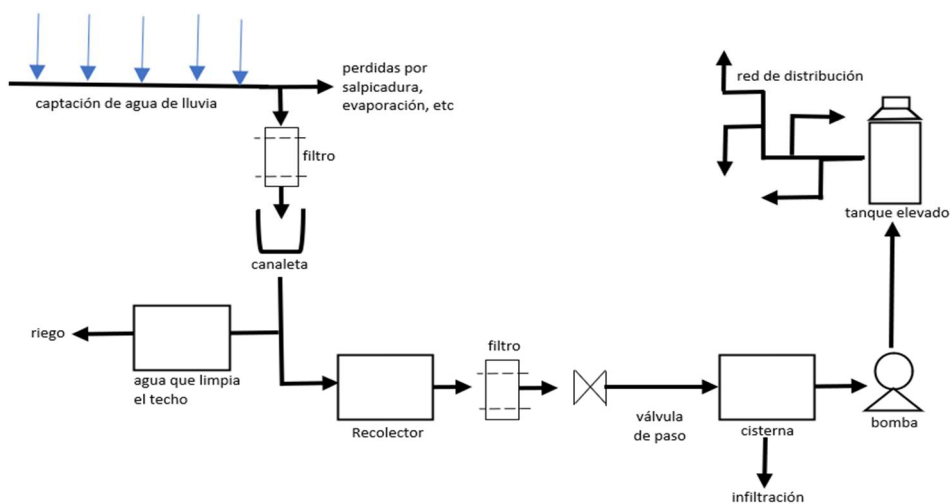


Figura 24. Diagrama de flujo del sistema de captación de agua de lluvia

(Elaboración propia)

El agua de lluvia cae sobre la superficie de captación, en este caso, sobre el techo existente de la edificación. Menos del 10% del agua sobre la superficie se pierde por salpicaduras, evaporación u otro fenómeno. Seguidamente, el agua se conduce a los canales de conducción, los cuales tienen un filtro preliminar de malla para evitar el paso de sólidos grandes u otro tipo de contaminantes. La canaleta conduce el agua hacia un tanque de recolección de las primeras lluvias, es decir, este tanque recolecta el agua que limpia el techo, es opcional si se implementa o se conduce toda el agua captada a un recolector para filtrado. El resto del agua se conduce a un recolector para ser filtrada para consumo humano. Seguidamente se conecta a una cisterna para ser distribuida a toda la edificación por medio de bombeo y distribución por gravedad.

B. Datos preliminares para el diseño de captación de agua pluvial

Para el diseño del cualquier sistema de captación de agua pluvia es importante definir parámetros iniciales, ya que estos definirán que componentes se implementarán y cuáles no. Se debe conocer la ubicación para conocer las cantidades de precipitaciones del sector, la población a abastecer y el uso que se le dará al agua captada para definir el tipo de tratamiento que se aplicará.

Ubicación

La propuesta está dirigida hacia un edificio ubicado en la 11 avenida 15-85 zona 10, Villa de Guadalupe de la Ciudad de Guatemala, es una de las zonas que actualmente presentan estrés hídrico extremo. Como se puede observar en la Figura 23, se observa que en general Guatemala está en un color rojo comparado con los municipios a su alrededor. Indicando que en las diferentes zonas de Guatemala la situación del agua es más crítica que en lugar retirados de la ciudad.

Diseño del edificio

El edificio está diseñado para uso residencial, es decir, es una torre de apartamentos de 20 niveles y 8 sótanos, cuenta con 4 plantas típicas donde se observa la distribución de espacios y la cantidad de apartamentos por nivel, se puede encontrar en el apartado de anexos en los Planos 2: Planta típica nivel 1, Planos 3: Planta típica nivel 2, Planos 4: Planta típica nivel 3-15, Planos 5: Planta típica nivel 16-18. Los últimos dos niveles son área común para los residentes del edificio. El abasto actual del edificio es por medio de pozo mecánico ubicado dentro de la propiedad, la cisterna de almacenamiento está ubicada en el sótano 8 y se alimenta el edificio por un sistema de bombeo hacia un tanque elevado el cual distribuye el agua a todos los niveles del edificio. El edificio ya cuenta con bajadas de agua pluvial y se conecta junto con las aguas residuales en una caja unificadora de caudales para conectarse a la red municipal.

Dotación por habitante

La dotación hace referencia al número de habitantes que dependerán del agua de lluvia captada. Se realizó un cálculo de personas por nivel el cual se observa en la Tabla 12, con un total de 234 habitantes guiado de la distribución de apartamentos por nivel. El consumo por habitante promedio es de 150 L/hab/día considerando usos del agua endosomáticos, estos datos recolectados de investigaciones previas. Se definió que el edificio está dirigido a un target de personas con ingresos medios. El análisis se presenta con dos cantidades de consumo por habitante, la primera es con un consumo normal de 150 L/hab/día y el siguiente con consumo mínimo ajustado para cumplir con la demanda todo el año (UVG, 2023). El segundo análisis cubre únicamente el 8.3% del consumo ideal de una persona como se observa en la Tabla 8.

Población de diseño				
NIVEL	Identificación	Residentes	m²	Total de habitantes
NIVEL 1	LC	1	111.77	12
	102	5	155.76	
	103	5	131.08	
	Administración	1	22.72	
NIVEL 2	201	4	94.8	18
	202	5	94.8	
	203	5	94.8	
	204	4	94.8	
NIVEL 3 -15	301	2	54.92	156
	302	1	35.13	
	303	1	35.13	
	304	2	54.92	
	305	2	54.92	
	306	1	35.13	
	307	1	35.13	
	308	2	54.92	
NIVEL 16 - 18	16-01	4	94.8	48
	16-2	4	94.8	
	16-3	4	94.8	
	16-4	4	94.8	
NIVEL 19	-	-	-	-
NIVEL 20	-	-	-	-

TOTAL DE POBLACIÓN	234
---------------------------	------------

Figura 25. Población de abastecimiento

Determinación de la precipitación promedio mensual

Para determinar la cantidad de agua disponible en la Ciudad de Guatemala y calcular la oferta por año se recopiló información sobre las precipitaciones pluviales en la página oficial del INSIVUMEH con un registro de más de 10 años, quienes proporcionan datos mensuales sobre las precipitaciones sectorizada de los municipios de Guatemala. Se tomaron en consideración para el cálculo promedio únicamente los datos del año 2022 por ser el año más próximo a la actualizada y estar completo. En la siguiente tabla se muestran los datos recolectados por el INSIVUMEH y un promedio de los rangos presentados.

Precipitación mensual Ciudad de Guatemala				
MES	Climatología mes 1991 -2020 (mm)	AÑO 2022	PROM 2022	ACUMULADO
Enero	0-10	0-10	5	5
Febrero	5 - 10	5 - 10	7.5	12.5
Marzo	10- 25	10- 25	17.5	30
Abril	25-50	25-50	37.5	67.5
Mayo	125-142	141-165	153	220.5
Junio	250-275	300-350	325	545.5
Julio	150-200	175-225	200	745.5
Agosto	180-200	220-240	230	975.5
Septiembre	200-300	210-300	255	1230.5
Octubre	124-148	177-144	160.5	1391
Noviembre	30-35	30-35	32.5	1423.5
Diciembre	0-10	5-10	7.5	1431

TOTAL 1431

Tabla 9. Precipitación promedio mensual en la Ciudad de Guatemala

(Elaboración propia).

Determinación del área de captación

Para determinar el área de captación del edificio se consultaron los planos de ubicación para calcular el área total de techo. El techo final del edificio cuenta con 945.39 m² para aprovechamiento de agua de lluvia. Con este dato se realizaron los cálculos sobre el porcentaje de agua mínimo captado para abastecer el sistema todo el año. Sin embargo, para realizar una comparación del área real que se debería tener para cubrir una demanda completa de consumo de agua por los usuarios del edificio se consideró una demanda real de agua de 150 L/hab/día

Para realizar este análisis se utilizó la tabla de precipitaciones mencionada en el apartado anterior y un coeficiente de escurrimiento de 0.90 equivale al material concreto, se encuentra en la Tabla 2, siendo este el material más común utilizado en el último techo de los edificios en la Ciudad de Guatemala.

Diseño de sistema de almacenamiento de agua de lluvia

Debido a que cada mes varió la precipitación mensual se realizó la Tabla 8, se puede observar que el volumen para el almacenamiento corresponde a la mayor cantidad de m³ de agua captada acumulada. **Volumen del tanque de almacenamiento.** El volumen del tanque de almacenamiento se determinó mediante la cantidad de agua de entrada y de salida considerando la acumulación de agua en los meses de mayor precipitación para cubrir la demanda en los meses donde no hay mucha precipitación.

Filtrado de agua

Se propone usar un primer filtro en las canaletas de recolección, donde se propone un mallado encima de la canaleta para separar los contaminantes de hojas y sólidos grandes. El segundo filtro es un filtro por gravedad usando granulometría para eliminar el resto de los contaminantes.

Filtro mallado

Este filtro consiste en una malla en la entrada de la tubería de conducción del agua de lluvia hacia el almacenamiento. Malla de 0.276 x 0.276 in de abertura. Malla flexible de plástico de polipropileno de alta resistencia para evitar oxidaciones y contaminación en el agua.

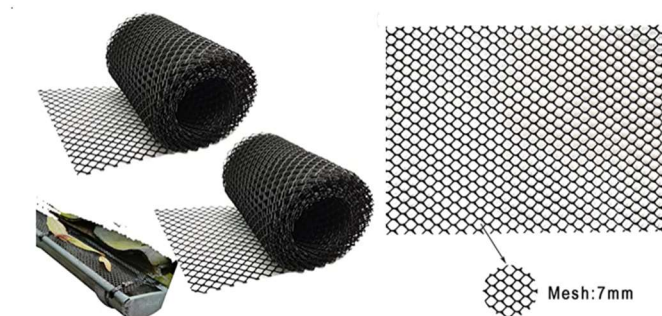


Figura 26. Malla para filtro de hojas o sólidos grandes

Biofiltro con material granulométrico

A pesar de que el agua de lluvia no requiere un tratamiento tan elaborado es necesario eliminar las pocas bacterias que el agua puede atrapar en el aire o en la superficie de contacto. Un filtro de mezcla

de carbón activado y antracita tiene eficiencias de 80% para color, 79% para turbiedad, 77% para cloruros, 53% para fosfatos, 69% para sulfatos, 92% para DQO y 100% para DBO5 (Chaparro, 2020).

Es un filtro que consiste en capas de materiales granulares de diferentes tamaños, empezando por el más fino en la parte superior y el más grueso en la parte inferior. El agua baja por gravedad sobre todas las capas granulométricas en un tanque de 302.5 incluyendo una reserva de 1 m³ de reserva. Es un filtro por gravedad o de filtrado lento que tiene la capacidad de eliminar porcentualmente los siguientes parámetros:

Parámetro	% eliminación
DQO	68 – 90
DBO5	80 – 99
SS	30 – 99
N total	23 – 90
P total	20 – 80
Coliformes	98 - 99

Tabla 10. Eficiencia de los filtros granulométricos

Caracterización del agua de lluvia

Parámetros	Rango de concentración (mg/l)
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	100 – 400
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	47 – 200
Sólidos suspendidos totales	18 – 30
Grasas y aceites	7 – 50
Coliformes totales	5000 - 10000
Escherichia Coli	5000 - 10000
Fósforo total	5 -20
Nitrógeno total	2.1 – 31.5
Sulfato sódico	0.00476 – 0.005

Tabla 11. Características del agua

Se tomaron los valores promedios ya que el agua de lluvia no está contaminada de la misma forma que las aguas grises.

Desinfección

La desinfección del agua antes de ser distribuida para uso final es un proceso importante. Si bien es cierto que la filtración detiene una cierta cantidad de bacterias o microorganismos, no garantiza en su totalidad la eliminación de estas. La desinfección es la eliminación de microorganismos vivos, patógenos y virus. Por ello es necesario desinfectar el agua con pasos adicionales al filtrado antes de conectar a la cisterna. En esta propuesta que es para consumo humano es conveniente este último tratamiento. Si el uso final fuera otro no es completamente indispensable su implementación. Se propone desinfección con cloro agregado al agua.

Conexión con cisterna

En la propuesta se determinó que el agua captada después de pasar por el sistema de filtrado en la piscina o recolector de captación y cumplir con la calidad de agua como lo solicita la COGUANOR

NTG 29001-2013. Agua para consumo humano, se propone conectar directamente a la cisterna del edificio para alimentar el volumen de agua usando en el edificio y que está utilice las instalaciones existentes del edificio como lo es el sistema de almacenamiento, bombeo y distribución de agua. Debido a que el edificio ya está construido la propuesta está enfocada a adaptarse a las instalaciones actuales y hacerla eficiente.

Reutilización de aguas residuales

Como aporte al volumen total de agua para reutilizar se propone un sistema de tratamiento para aguas grises referente a investigaciones previas. Las aguas para tratar únicamente incluyen agua de lavamanos, duchas, pilas y lavadora de ropa. No se incluye el agua proveniente de la cocina por su alto contenido de grasas. El sistema de tratamiento cuenta con las siguientes fases:

1. Trampa de grasas
2. Biofiltro bacteriano
3. Biofiltro con material granulométrico

La cantidad de agua producida por persona se propone 100 L por persona/día referenciado a la Guía Técnica de recomendaciones para el reciclaje de agua grises en edificios. Se realizó el aporte que genera la reutilización de agua grises al consumo total de agua en el edificio, se encuentra en la Tabla 11.

Certificación EDGE

El software EDGE valida si el proyecto puede incorporar estrategias de sostenibilidad y ser certificado bajo el sistema de certificación EDGE versión 3.0 tomando en cuenta las especificaciones finales del proyecto. La evaluación con certificación EDGE es un sistema originalmente creado para países en vía de desarrollo que busca promover la sostenibilidad en proyectos que antes no consideraban ninguna certificación. Es una certificación sencilla de usar, tiene accesibilidad de verificarla por medio de su software lo que permite un acercamiento e identificar los aspectos donde se puede mejorar. Esta evaluación se realizó únicamente para cumplir con el apartado de agua y cumplir mínimo con un 20% de reducción a un edificio sin aplicaciones sostenibles. El programa muestra una gráfica comparativa entre un edificio sin estrategias de sostenibilidad y el edificio con todas las aplicaciones presentadas en este documento.

Consideraciones en agua

Artefactos ahorradores

Se propone para el edificio el uso de accesorio de grifería, aparatos sanitarios y duchas ahorradores de agua. A continuación, se enlista el consumo de cada artefacto propuesto.

- Inodoros – Sanitarios: consumo de 3.8 LPM
- Cabezal de duchas: consumo de 6 LPM
- Adaptador aireadores grifo lavamanos: consumo de 5.8 LPM
- Adaptador aireadores para grifo de cocina: consumo de 4.2 LPM
- Sistema de riego por goteo: consumo 4 L/hr

VI. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de la propuesta de un sistema de captación de agua de lluvia. En la siguiente tabla se presentan la cantidad de agua abastecida con área de captación actual y la demanda diaria por persona completa.

Oferta de agua de lluvia para un 100% de la dotacion/persona										
MES	Área de captación (m ²)	Precipitación prom (mm)	Demanda diaria por persona (lppd)	Cantidad de personas a	Días de uso	Abastecimiento (m ³)		Demanda (m ³)		diferencia (m ³)
						Parcial	acumulado	parcial	acumulado	
enero	945.39	5	150	234	31	4.25	4.25	1088.10	1088.10	-1083.85
febrero	945.39	7.5	150	234	28	6.38	10.64	982.80	2070.90	-2060.26
marzo	945.39	17.5	150	234	31	14.89	25.53	1088.10	3159.00	-3133.47
abril	945.39	37.5	150	234	30	31.91	57.43	1053.00	4212.00	-4154.57
mayo	945.39	153	150	234	31	130.18	187.61	1088.10	5300.10	-5112.49
junio	945.39	325	150	234	30	276.53	464.14	1053.00	6353.10	-5888.96
julio	945.39	200	150	234	31	170.17	634.31	1088.10	7441.20	-6806.89
agosto	945.39	230	150	234	31	195.70	830.01	1088.10	8529.30	-7699.29
septiembre	945.39	255	150	234	30	216.97	1046.97	1053.00	9582.30	-8535.33
octubre	945.39	160.5	150	234	31	136.56	1183.53	1088.10	10670.40	-9486.87
noviembre	945.39	32.5	150	234	30	27.65	1211.19	1053.00	11723.40	-10512.21
diciembre	945.39	7.5	150	234	31	6.38	1217.57	1088.10	12811.50	-11593.93

Figura 27. Oferta de agua de lluvia para el 100% de la demanda/persona

(Elaboración propia)

La columna de diferencia indica la cantidad de agua acumulada en la cisterna para abastecer la demanda. Cuando el resultado es negativo indica que la demanda es mayor que el agua captada para abastecimiento. En esta primera tabla presentada se obtuvo que todos los meses fueron negativos, es decir, que ninguno de estos cumple para suplir la demanda por mes.

A continuación, se presenta el área requerida para cumplir con la demanda real sin modificar ninguna variante, es decir, se calcula el área que debería construirse en el edificio para cumplir cada mes con la demanda de agua solicitada. Las franjas de color celeste indican el cambio de área de captación drástico que solicita el edificio. En el mes de enero solicita un área más grande ya que esta en el mes crítico de precipitación y el mes de junio el área es menos porque la precipitación es la más alta y por consiguiente la cantidad de agua captada será mayor.

Área de captación para suplir 100% de la dotacion/persona										
MES	Área de captación (m ²)	Precipitación prom (mm)	Demanda diaria por persona (lppd)	Cantidad de personas a	Días de uso	Abastecimiento (m ³)		Demanda (m ³)		diferencia (m ³)
						Parcial	acumulado	parcial	acumulado	
enero	241800.00	5	150	234	31	1088.10	1088.10	1088.10	1088.10	0.00
febrero	145600.00	7.5	150	234	28	982.80	2070.90	982.80	2070.90	0.00
marzo	69085.71	17.5	150	234	31	1088.10	3159.00	1088.10	3159.00	0.00
abril	31200.00	37.5	150	234	30	1053.00	4212.00	1053.00	4212.00	0.00
mayo	7901.96	153	150	234	31	1088.10	5300.10	1088.10	5300.10	0.00
junio	3600.00	325	150	234	30	1053.00	6353.10	1053.00	6353.10	0.00
julio	6045.00	200	150	234	31	1088.10	7441.20	1088.10	7441.20	0.00
agosto	5256.52	230	150	234	31	1088.10	8529.30	1088.10	8529.30	0.00
septiembre	4588.24	255	150	234	30	1053.00	9582.30	1053.00	9582.30	0.00
octubre	7532.71	160.5	150	234	31	1088.10	10670.40	1088.10	10670.40	0.00
noviembre	36000.00	32.5	150	234	30	1053.00	11723.40	1053.00	11723.40	0.00
diciembre	161200.00	7.5	150	234	31	1088.10	12811.50	1088.10	12811.50	0.00

Figura 28. Área de captación para suplir el 100% de la demanda/persona

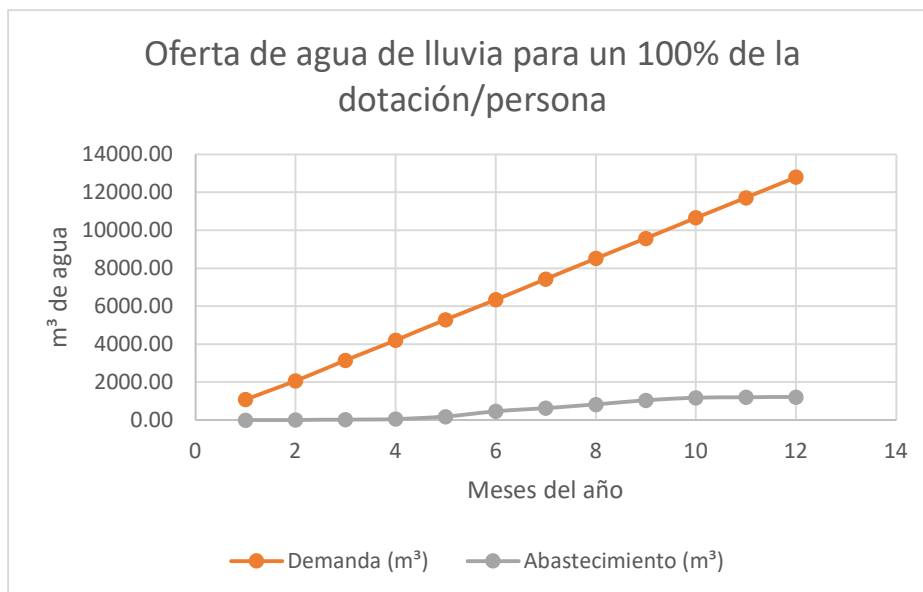


Gráfico 1. Gráfica oferta de agua de lluvia para el 100% de la demanda/persona acumulada

Para evaluar la capacidad del edificio sobre la captación de agua de lluvia se realizaron los siguientes cálculos donde se presentan los meses que abastece al 100% y los meses que no logra suplir completamente. Si el sistema tiene una cisterna de almacenamiento es conveniente recolectar agua para toda el agua, es decir, captar la mayor cantidad de agua en los meses de lluvia y almacenarla para los meses donde la cantidad recolectada no cumpla con la demanda de cada mes. Con esta ideología se calculó que era posible suplir una demanda de 12.4 lppd y recolectar más agua de la demanda en los meses de julio a diciembre.

Oferta de agua de lluvia para cubrir 8.3% de la dotación/persona										
Mes	Área de captación (m²)	Precipitación prom (mm)	Demanda diaria por persona (lppd)	Cantidad de personas a abastecer	Días de uso	Abastecimiento (m³)		Demanda (m³)		diferencia (m³)
						Parcial	acumulado	parcial	acumulado	
enero	945.39	5	12.4	234	31	4.25	4.25	89.95	89.95	-85.70
febrero	945.39	7.5	12.4	234	28	6.38	10.64	81.24	171.19	-160.56
marzo	945.39	17.5	12.4	234	31	14.89	25.53	89.95	261.14	-235.62
abril	945.39	37.5	12.4	234	30	31.91	57.43	87.05	348.19	-290.76
mayo	945.39	153	12.4	234	31	130.18	187.61	89.95	438.14	-250.53
junio	945.39	325	12.4	234	30	276.53	464.14	87.05	525.19	-61.05
julio	945.39	200	12.4	234	31	170.17	634.31	89.95	615.14	19.17
agosto	945.39	230	12.4	234	31	195.70	830.01	89.95	705.09	124.92
septiembre	945.39	255	12.4	234	30	216.97	1046.97	87.05	792.14	254.84
octubre	945.39	160.5	12.4	234	31	136.56	1183.53	89.95	882.09	301.45
noviembre	945.39	32.5	12.4	234	30	27.65	1211.19	87.05	969.13	242.05
diciembre	945.39	7.5	12.4	234	31	6.38	1217.57	89.95	1059.08	158.48

Figura 29. Oferta de agua de lluvia para un 8.3% de la demanda/persona

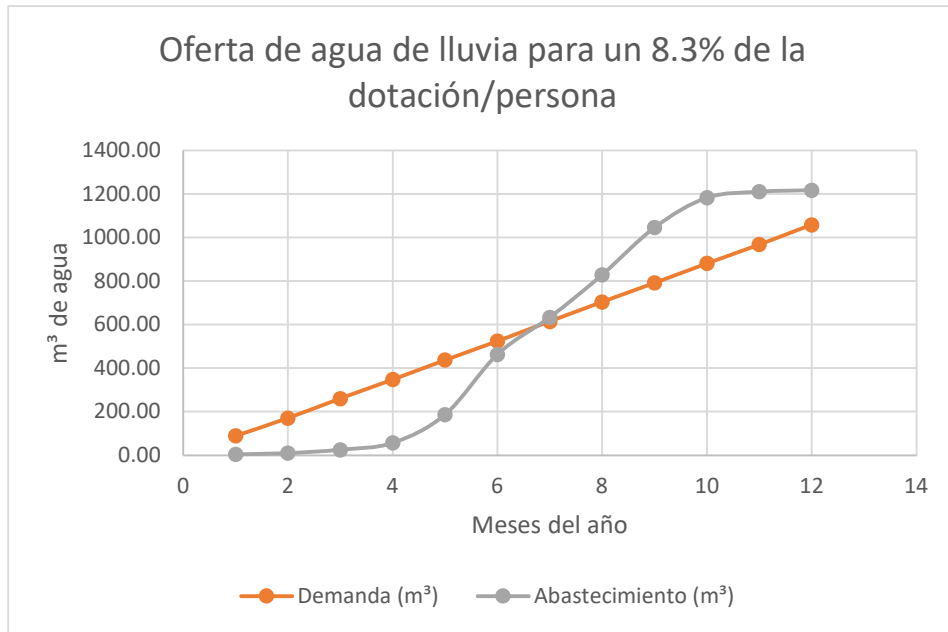


Gráfico 2. Gráfica oferta de agua de lluvia para un 8.3% de la demanda/persona acumulada

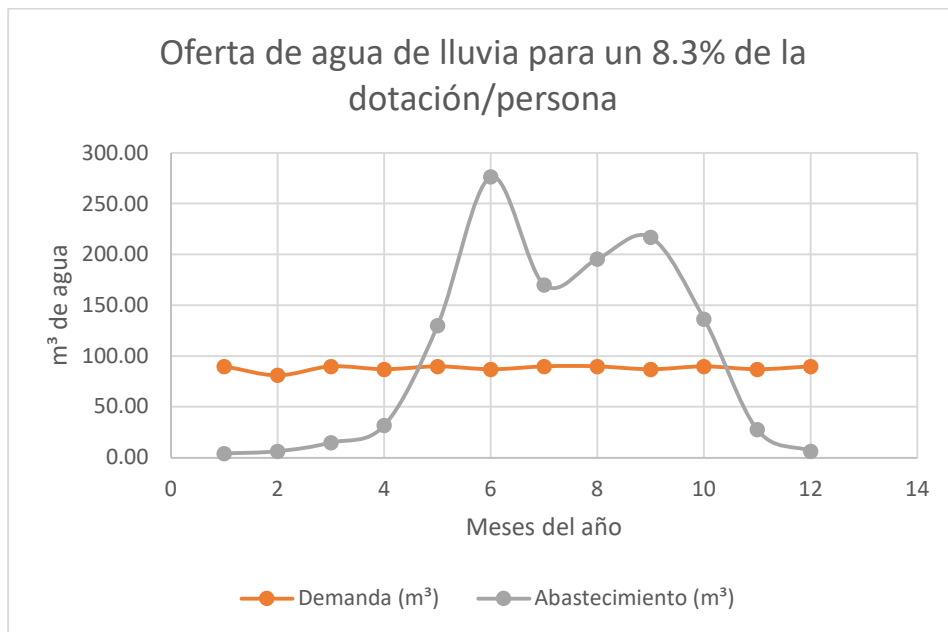


Gráfico 3. Gráfica oferta de agua de lluvia para un 8.3% de la demanda/persona parcial

Como parte de un análisis extra e identificar los beneficios que presenta la reutilización de agua grises donde se cubre el 75% de la dotación/persona.

Oferta de sistema mixto con SCALL y reutilización de las aguas grises para suplir el 75% de la dotación/persona										
Mes	Área de captación (m ²)	Precipitación prom (mm)	Demanda diaria por persona (lppd)	Cantidad de personas a abastecer	Días de uso	Abastecimiento (m ³)		Demanda (m ³)		diferencia (m ³)
						Parcial	acumulado	parcial	acumulado	
enero	945.39	5	112.4	234	31	729.65	729.65	815.35	815.35	-85.70
febrero	945.39	7.5	112.4	234	28	661.58	1391.24	736.44	1551.79	-160.56
marzo	945.39	17.5	112.4	234	31	740.29	2131.53	815.35	2367.14	-235.62
abril	945.39	37.5	112.4	234	30	733.91	2865.43	789.05	3156.19	-290.76
mayo	945.39	153	112.4	234	31	855.58	3721.01	815.35	3971.54	-250.53
junio	945.39	325	112.4	234	30	978.53	4699.54	789.05	4760.59	-61.05
julio	945.39	200	112.4	234	31	895.57	5595.11	815.35	5575.94	19.17
agosto	945.39	230	112.4	234	31	921.10	6516.21	815.35	6391.29	124.92
septiembre	945.39	255	112.4	234	30	918.97	7435.17	789.05	7180.34	254.84
octubre	945.39	160.5	112.4	234	31	861.96	8297.13	815.35	7995.69	301.45
noviembre	945.39	32.5	112.4	234	30	729.65	9026.79	789.05	7984.73	242.05
diciembre	945.39	7.5	112.4	234	31	731.78	9758.57	815.35	9600.08	158.48

Figura 30. Oferta sistema mixto con SCALL y reutilización de aguas grises para suplir 75% de la demanda/persona

ANÁLISIS ECONÓMICO

Para validar el costo- beneficio de la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia se calculó los costos generados por el sistema actual y los costos aproximados que podría generar la implementación de un SCALL. Los costos se presentan en las siguientes tablas.

Q/kWh	Potencia de bomba (hp)	Consumo de bomba 1 HP = 0.746 kW	Horas de uso (h)	Q/mes	Q/año
1.38	15	0.746	12	5744.4984	68933.9808

Tabla 12. Estimación de gastos al año de una bomba de 15 HP

Implementación de un sistema SCALL			
Artefacto	Cantidad	Precio (Q)	Total (Q)
Inodoros	146	2959.2	432043.2
Aireador lavamanos	146	32.8	4788.8
Aireadores para lavamanos	146	32.8	4788.8
Duchas	145	937.6	135952
Goteros para riego	3	3.5	10.5
Tanque receptor 7.6x8x5 m	42	1500	63000
Tanque almacenamiento 7.6x8x5 m	42	1500	63000
Filtro	21	1500	31500
TOTAL			735083.3

Tabla 13. Estimación de costos de un SCALL

En la actualidad y parte del diseño del edificio cuentan con un tanque de retención, su función es evitar el colapso de los drenajes municipales. Son cisternas que retienen el agua de lluvia captada durante un tiempo determinado. Cuando el tiempo se ha cumplido toda el agua captada se desfoga por medio de una llave conectando el agua a los colectores municipales.

Tanque de retención de los primeros 20 min de lluvia					
Año	Área de captación (m²)	Intencidad (m/min) durante 5 h	Tiempo de retención (min)	días de uso	Volumen (m³)
2022	945.39	0.18	20	183	3.403

Diseñando un tanque de retención para 20 min de lluvia torrencial, el edificio debe tener un tanque de 3.5 m³ de capacidad. Analizando la capacidad que requiere el tanque de retención el edificio puede hacer uso del tanque de almacenamiento como tanque de retención.

VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

En este capítulo se realiza el análisis, descripción y comparaciones de los resultados de un sistema de captación de agua de lluvia en una edificación ubicada en la Zona 10 de la Ciudad de Guatemala. Se buscó un edificio que tiene características arquitectónicas y de sitio similares a la mayoría de los edificios de Guatemala. El objetivo de este trabajo es evaluar las condiciones actuales del edificio y proponer una alternativa para el suministro de agua potable. En este caso se seleccionó un sistema de captación de agua de lluvia para evitar métodos de extracción y abastecimiento tradicionales que afectan el recurso hídrico disponible provocando una escasez o estrés hídrico en la zona.

Se contempla que el edificio ya está en fase post construcción, por lo que las alternativas están guiadas a una mejora a la construcción existente y no una propuesta desde cero. Parte del fundamento de la sostenibilidad está basado en la dimensión económica, enfocada en usar adecuadamente los recursos actuales y no gestionarlos mal al momento de hacer una modificación. Se decidió implementar un sistema de captación de agua pluvial a edificios ya existentes ya que en la actualidad los edificios ya construidos no utilizan este tipo de estrategias sostenibles. Es una propuesta real adaptable a los edificios de Guatemala.

La capacidad de agua que se puede recolectar en Guatemala ya que cuenta con precipitaciones mensuales variantes entre 5 – 325 mm por mes, acumulando 1,431 mm por año. Como se puede observar en la sección de “resultados” en la Figura 27, los meses con mayor capacidad de precipitación son los meses de mayo a octubre con precipitaciones de 153 – 325 mm sin ningún orden por mes específico. Estos datos indican los meses donde se puede tomar ventaja del sistema y captar la mayor cantidad de agua y utilizarla en meses donde la precipitación es escasa.

El área de captación actual de la edificación analizada es de 945.39 m², obtenido de los planos finales de la edificación. Con este valor real se realizó un análisis de la cantidad de agua que debía captarse para cumplir la demanda de los residentes del edificio, en la Figura 27 Oferta de agua de lluvia para el 100% de la demanda/persona, se observa que el abastecimiento no sufre en su totalidad ningún mes del año. Por lo que implementar un sistema de captación de agua de lluvia como único sistema de abastecimiento para un edificio de estas dimensiones no es rentable. Se interpreta en la Figura 24 Oferta de agua de lluvia para el 100% de la demanda/persona.

Con las ecuaciones (1) presentadas en la sección de investigación “Componentes de un SCALL” y el 100% de la demanda de agua por persona (150 L/hab/día) se determina que el área necesaria para suplir la demanda actual de la edificación requiere de un área de captación mínima de 241,800 m² en los meses críticos de precipitación y en los meses con mayor precipitación el área requerida es de 3,600 m². Nuevamente se confirma que suplir el consumo de agua por persona de todo el edificio durante cada mes no es rentable ya que en Guatemala los terrenos de construcción no cuentan con áreas de construcción tan grandes como las requeridas. Lo mencionado anteriormente se ve reflejado en la Figura 28 Área de captación para suplir el 100% de la demanda/persona. También se presentan

los datos de forma gráfica en la Gráfica 1: Oferta de agua de lluvia para el 100% de la demanda/persona parcial.

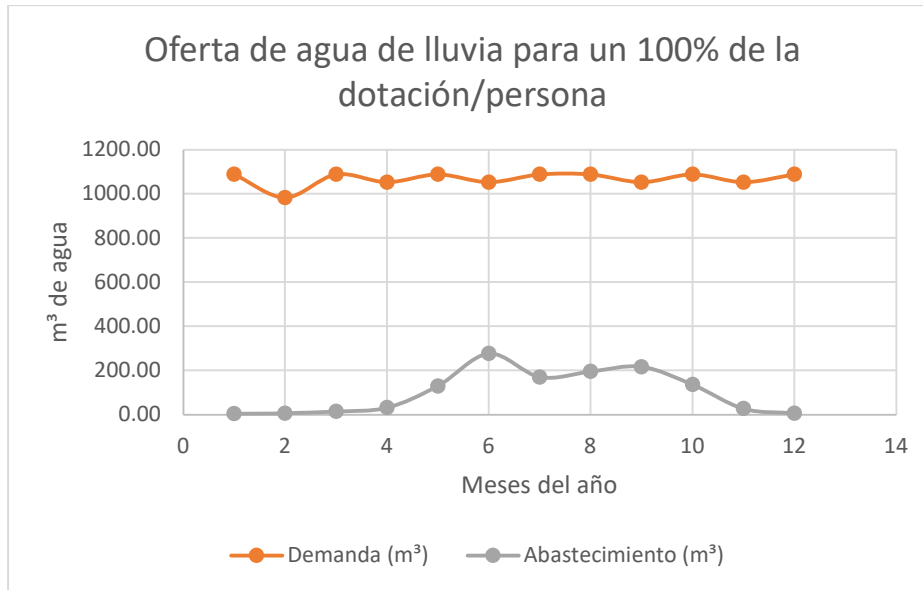


Gráfico 4. Gráfica oferta de agua de lluvia para el 100% de la demanda/persona parcial

Por lo que el sistema de captación de agua esta propuesto como una alternativa complementaria para el sistema de abastecimiento actual. Este edificio tiene la capacidad de suplir el 8.3% de la demanda, con lo que la demanda por persona es únicamente 12.4 L/hab/día como máximo. Los datos de consumo se adaptaron a los parámetros que no pueden ser modificados como lo es el área de captación, la cantidad de habitantes, las precipitaciones por mes y días de uso del SCALL. En sección “Resultados” la Figura 29 Oferta de agua de lluvia para cubrir 8.3% de la demanda/persona, se presentan los resultados donde durante 6 meses la captación de agua suple la demanda y existe un excedente significativo que al almacenarlo adecuadamente suple las necesidades de los otros 6 meses donde la captación por mes no es suficiente. También se presentan los datos de manera gráfica.

Es importante mencionar que el edificio ya cuenta con bajadas de aguas que se conectan al drenaje municipal, por lo que dentro de la propuesta se describe que estas bajadas se desconecten del drenaje actual y se desvíen hacia el primer tanque recolector.

B. FILTRO

El biofiltro con material granular fue diseñado con un filtro de gravedad considerando previamente un almacenamiento con el volumen de 302.5 m³ para el abastecimiento de una población de 234 personas con una oferta de agua de lluvia captada de 12.4 L/hab/día lo equivale a un caudal de entra de 2,901.6 L/día. El área transversal puede variar dependiendo las disposiciones del terreno, en este caso se propone un área transversal de 20m². El filtro de materiales granulares se propone utilizar una capa de arena fina de 0.60 m, una capa de gravilla de 0.30 m, capa de grava de 0.25 y una capa de grava gruesa de 0.20 m, ascendentemente, es decir, los materiales de menor diámetro en la parte superior y los más gruesos en la parte inferior.

Es factible el uso de este tipo de filtro ya que la relación Q/A es de 0.14 LPM/m². Lo cual está dentro de los parámetros para un filtro de este tipo se usa una relación Q/A menor a 6 LPM/m². A continuación, se presentan los resultados de salida del agua después de pasar por un filtro

granulométrico. Lo valores de *coliformes totales* y *Escherichia* son los mínimos ya que el agua viene directamente de las nubes y el techo idealmente debe cumplir con un mantenimiento periódico. Todos los parámetros cumplen con los límites máximos permisibles según el acuerdo Gubernativo 236 - 2006. Se respalda con los resultados presentados en Tabla 12.

Parámetro	Concentración de entrada al filtro (mg/l)	Porcentaje de retención (%)	Concentración de salida del filtro (mg/l)	Límites máximos según Acuerdo Gubernativo 236 -2006 (mg/l)	CUMPLE
DBO5	200	89.5	21	200	CUMPLE
DQO	400	79	84	•	CUMPLE
Nitrógeno Total	31.5	56.5	13.70	40	CUMPLE
Fósforo Total	20	50	10	10	CUMPLE
Sólidos Suspendidos totales	30	64.5	10.65	100	CUMPLE
<i>Coliformes totales</i>	5,000 UFM	98.5	75	100 UFM /100 ml	CUMPLE
<i>Escherichia coli</i>	5,000 UFM	98.5	75	100 UFM / 100 ml	CUMPLE

Tabla 14. Parámetros del agua después del filtro granulométrico

C. REUTILIZAR AGUAS GRISES

La reutilización de las aguas grises también juega un papel importante en las estrategias de sostenibilidad, ya que es agua que con tratamiento adecuado logra recuperar sus parámetros para ser utilizada en actividades domésticas apta para el consumo humano. En este documento se menciona la reutilización de aguas grises con el fin de disminuir el caudal de extracción de pozos o en otros casos reducir económicamente el abastecimiento por red municipal. Referenciado de trabajos de graduación de años anteriores se propone adoptar un sistema de recolección de este tipo de aguas y utilizarlo para actividades que no afectan la salud de los habitantes. Basado en los datos citados en la sección de investigación” Reutilización de agua grises” el agua desechada por habitante al día se tomó la cantidad mayor de 100 L/hab/día. En el año los habitantes del edificio producen 8,541 m³ lo que equivale a 8,541,000 L incluyendo la captación de agua de lluvia. El sistema mixto de recolección de agua de lluvia y tratamiento de aguas grises aumenta el abastecimiento al edificio de forma sostenible.

Mes	Agua desechada (L/hab/día)	Cantidad de personas	Día de producción	Producción de aguas grises (m ³)	
				Parcial	Acumulado
enero	100	234	31	725.4	725.4
febrero	100	234	28	655.2	1380.6
marzo	100	234	31	725.4	2106
abril	100	234	30	702	2808
mayo	100	234	31	725.4	3533.4
junio	100	234	30	702	4235.4
julio	100	234	31	725.4	4960.8
agosto	100	234	31	725.4	5686.2
septiembre	100	234	30	702	6388.2
octubre	100	234	31	725.4	7113.6
noviembre	100	234	30	702	7815.6
diciembre	100	234	31	725.4	8541

Figura 31. Aprovechamiento de aguas grises

El sistema mixto presenta la ventaja de abastecer los meses de julio a diciembre, a pesar de que los primeros meses el sistema no cubre la demanda tiene la capacidad de almacenar y abastecer con el agua captada en los meses ventajosos de precipitación. Debido a que la demanda diaria por persona es de 112.4 L/hab/día no cumple para ser un sistema único para abastecimiento al edificio. Por lo que siempre requiere de una extracción mínima de agua por pozos o abastecimiento por red municipal. En la Figura 28 se presenta que un sistema mixto, es decir, sistema de captación de agua de lluvia y reutilización de aguas grises se logra cubrir el 75% de la dotación por persona.

D. Evaluación EDGE

El software EDGE fue diseñado como un software comparativo y no como una herramienta de diseño por lo que las propuestas presentadas en este documento pueden ser distintas que los resultados reales. El software hace obligatorio la implementación de grifos, inodoros y grifos de cocina que ahorran agua. Además de los requisitos obligatorios, se consideró un cambio de cabezales de ducha que ahorran agua con un consumo 6 LPM, sistema de riego de jardines que ahorran agua hasta 4 L/m²/día y sistema de recolección de agua de lluvia. En la siguiente tabla se presentan los consumos máximos que permite el software para evaluarlo con una línea base y los datos propuestos de cada artefacto ahorrador. Los artefactos ahorradores propuestos están por debajo de los límites de EDGE, esto se refleja en la gráfica de evaluación, ver Figura 29.

Artefacto	Consumo base EDGE	Consumo propuesto
Cabezales de ducha que ahorran agua	8 L/min	6 L/min
Grifos eficientes que ahorran agua	6 L/min	4.2 L/min
Inodoros eficientes que ahorra agua	8LPM	3.8 LPM
Grifos de cocina que ahorran agua	10 L/min	5.8 L/min
Sistema de riego de jardines que ahorra agua	6 L/m ² /día	4 L/m ² /día
Sistema de recolección de agua de lluvia	1% de superficie del techo	

Tabla 15. Consumos bases de EDGE y propuestos

Artefacto	Consumo máximo
Lavamanos públicos	0.5 GPM/1.9 LPM
Lavamanos residenciales	2.2 GPM/8.3 LPM
Lavamanos de cierre automático (por botón o sensor)	0.95 LT/CICLO
Inodoros	1.9 GPF/ 6 LPF
Duchas	2.5 GPM/9.5 LPM
Lavaplatos residenciales	2.2 GPM/ 8.3 LPM
Urinal-mingitorio	1 GPF/3.8 LPF

Los artefactos no descritos en la tabla precedente serán evaluados a consideración del equipo técnico de la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala -EMPAGUA-.

Imagen 1: Consumos máximos establecidos por la Municipalidad de Guatemala

El gráfico comparativo entre el edificio sin y con estrategias sostenibles representa que el mayor impacto lo tienen las duchas reduciendo su impacto en consumo de aguas a un 17% con artefactos ahorradores del 25%. Las descargas de agua, el riego y cocina con las tres actividades que tienen seguidamente un mayor impacto. Con los requisitos mencionado previamente se logra un 20.70% para cumplir con la norma EDGE en materia de consumo de agua. Este trabajo está enfocado al apartado únicamente del agua de la certificación y el objetivo se cumplió.

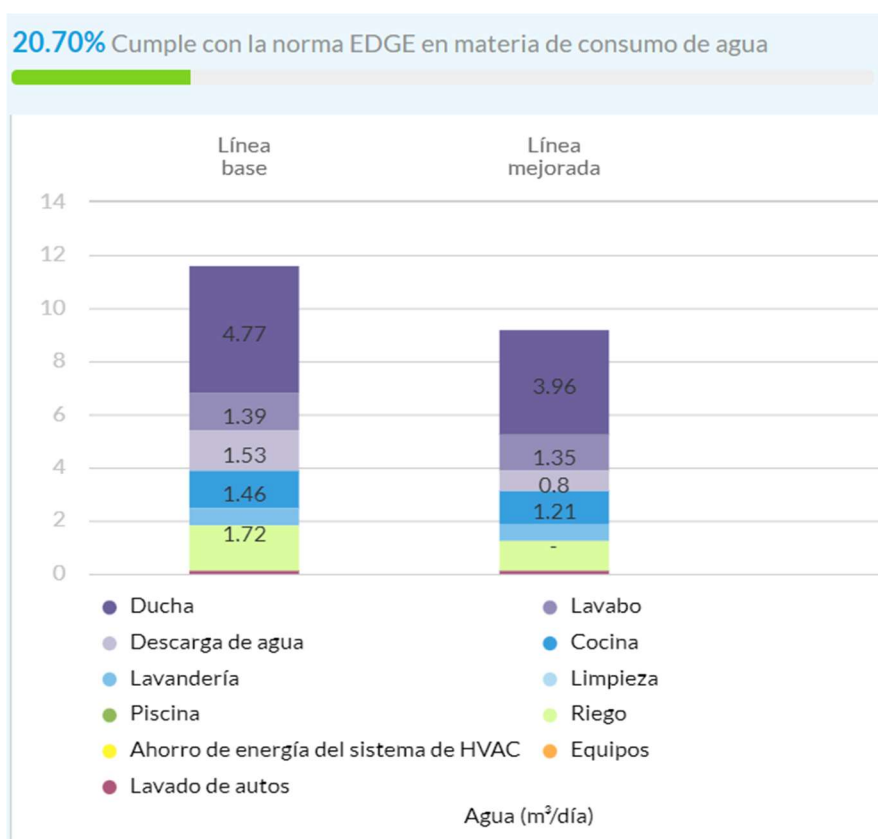


Figura 32. Diagrama comparativo edificio base y edificio sostenible en tema de aguas

Evaluando el impacto que tiene el sistema de tratamiento y reciclaje de aguas residuales, el edificio logra 44.14% de la certificación lo que indica que cumple con la norma EDGE en materia de consumo de agua. Este solo es un análisis extra, ya que el apartado de sistema de tratamiento y

reciclaje de aguas residuales considera aguas negras y como parte de este trabajo de graduación no aplica.

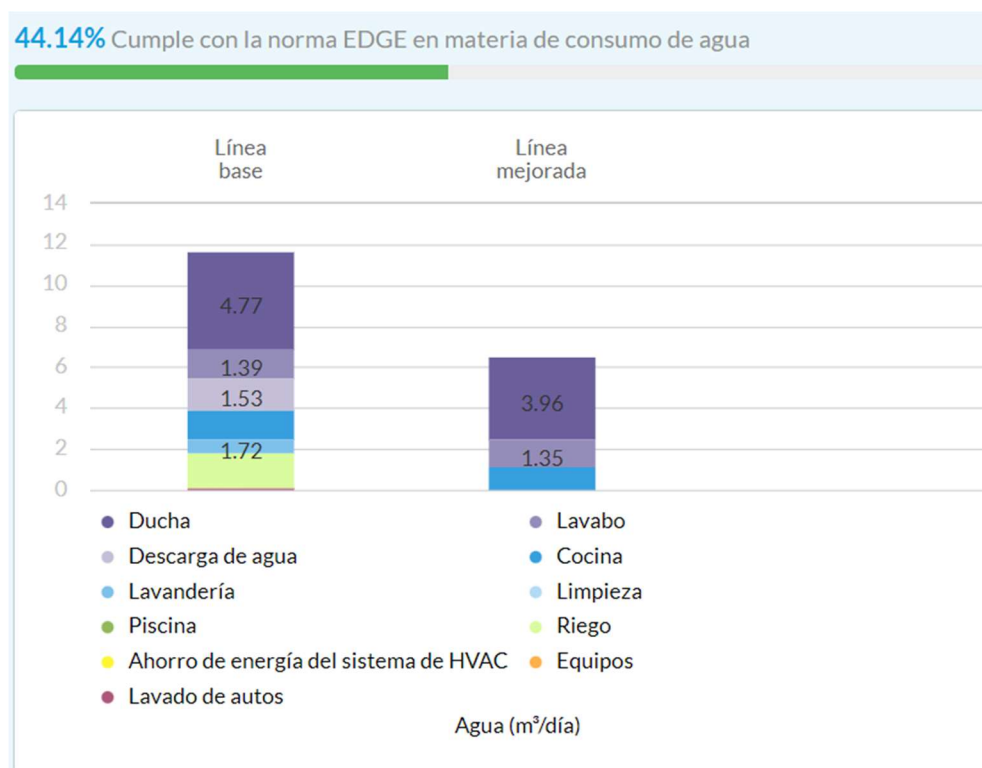


Figura 33. Diagrama comparativo edificio base y edificio sostenible con reutilización de aguas grises

E. ARTEFACTOS AHORRADORES DE AGUA

Los artefactos ahorradores de agua implementados para el uso residencial son una ideal alternativa para reducir el consumo de agua. De acuerdo con el Acuerdo No. COM -24-2020 por el consejo municipal de la Ciudad de Guatemala que establece que los inodoros, lavamanos, urinarios, lavaplatos, duchas y otros similares deben tener ser artefactos eficientes con un bajo consumo de agua se propone en este documento el cambio de artefactos actuales por otros de consumos de agua menores.

1. Sanitario Aquapro Rendado Blanco

Un sanitario que presenta las ventajas de tener un bajo consumo promedio de agua de 3.8 L por descarga, con una capacidad de evacuación de sólidos de 500 gramos como lo especifica en la ficha técnica del producto. En este proyecto son 10 unidades en el primer nivel, 8 de los niveles 2-18. La certificación EDGE en su software indica con un asterisco (*) los aspectos obligatorios sobre el ahorro de agua. Dentro del listado de estos aspectos obligatorios están los sanitarios ahorradores de agua con un consumo de agua por defecto de 8LPF, este valor modificado al sanitario propuesto de 3.8 LPF lo cual cumple ya que está por debajo del máximo permitido por la certificación. Este tipo de sanitarios generan un ahorro del 75% con referencia a los ahorros máximos de la certificación.



Figura 34. Sanitario ultra ahorrador

2. Accesorios aireadores para grifería para lavamanos

Aireador para juegos y llaves de cocina, ahorra hasta un 50% de agua. Reduce el consumo de agua a 4.2 LPM representa en términos generales un ahorro de la mitad en el consumo de agua en las edificaciones. Su función es mezclar el agua con el aire para generar un chorro espumoso más confortable y con menos salpicaduras.



Figura 32. Accesorio - Aireador para cocina

(FV AREA ANDISA S,A. , 2023).

3. Accesorios aireadores para grifería para cocina

Aireador que reduce el consumo de agua a 5.8 LPM. Representa un ahorro del 30% en el consumo de agua a nivel de edificaciones. Su función es mezclar el agua con aire para generar un chorro espumoso evitando las salpicaduras.



Figura 33. Accesorio - Aireador para lavamanos

(FV AREA ANDISA S,A. , 2023).

4. Ducha sencilla aluvia palanca

Una persona en promedio consumo 151 L/día, como se observa en Tabla 3: Distribución de consumo de agua por actividades de una persona, se observa que los mayores consumos son por ducha e inodoro por lo que se dio un enfoque mayor en la búsqueda de artefactos ahorradores de duchas e inodoros. Este tipo de ducha tiene un consumo de 6 LPM en modo hidromasaje y reduce a un consumo de 5.84 LPM en modo lluvia a una presión de 80 PSI cumpliendo con la NORMA NTC No. 1644 y cumple con los valores máximos establecidos por la certificación (8 LPM). Este artefacto tiene un impacto de ahorro del 25%.



Figura 35. Cabezal ducha ahorrador

5. Goteros auto compensadores gris 4 L/hr

Son accesorios que regulan el caudal de salida, estos son accesorios que se adaptan a una manguera con el fin de formar franjas de humedecimiento o regar puntualmente las plantas. Se propone el uso de estos accesorios para evitar riegos convencionales con manguera y reducir el desperdicio de agua. Con los goteros auto compensadores se tiene un adecuado control del agua destinada para riego. Es una ventaja utilizarlos en terrenos llanos con pendiente para provocar un escurrimiento del agua.



Figura 36. Goteros para riego

F. ANÁLISIS ECONÓMICO

Se recolectó información del funcionamiento del sistema de abastecimiento del edificio actualmente. Utilizan una bomba sumergible de extracción en pozo de 15 HP, con lo cual se realizó un dato del costo total en quetzales generados al año. Con base a este análisis se puede determinar el aporte positivo que genera económicamente el sistema de captación de agua de lluvia. En la Tabla 15 Estimación de costos de un SCALL se puede interpretar que la implementación de un SCALL cuesta alrededor de Q. 735,083.3 para el edificio analizado, incluyendo únicamente los artefactos ahorradores y los componentes dimensionados en el trabajo. La bomba que utilizan actualmente genera un gasto anual de Q. 68,933.98. Evidentemente el gasto anual es menor que la implementación de un sistema de captación. Debido a que el SCALL como se mencionó anteriormente no cumple con la demanda y no es recomendado como un único sistema de abastecimiento de agua económicamente no brinda su ventaja en su totalidad. Sin embargo, como existe la propuesta de la reutilización de agua residuales, creando un sistema de abastecimiento mixto la rentabilidad si es aceptada. Ya que la extracción por pozos es únicamente el 25% de la actual. La bomba sería de menor capacidad y por ende menor gasto energético, las horas de usos disminuirán. Cabe mencionar que el costo de la implementación de un SCALL es mayor que el pago anual de electricidad de la bomba, pero el costo del SCALL es una inversión inicial que con el paso de los años puede recuperarse.

VIII. CONCLUSIONES

- El sistema de captación de aguas de lluvia propuesto cumple con los parámetros para funcionar correctamente. Usa el techo actual de la edificación de 945.39 m² con las bajadas de agua existentes con la propuesta de conectarlas al primer tanque recolector que pasa por un filtro granulométrico que cumple con los límites máximos permisibles de la normativa Acuerdo Gubernativo 236 -2006 y desinfección por cloro antes de conectarse a la cisterna actual. El edificio tiene la capacidad de recolectar 2,901.6 L/año lo que equivale a 12.4 L/hab/día. El consumo de agua potable es de 150 L/hab/día. La captación de agua de lluvia del edificio representa un ahorro del 8.3% de la totalidad del consumo de agua potable de los habitantes del edificio. El agua no está destinada para un uso específico ya que se conecta a la cisterna y alimenta el volumen total.
- Guatemala tiene precipitaciones mensuales variantes entre 5 – 325 mm por mes, anualmente la recolección promedio de agua es de 1,431 mm. Representando beneficios de aprovechamiento de agua durante 6 meses del año. La mayor capacidad de precipitación está en los meses de mayo a octubre con precipitaciones de 153 – 325 mm sin ningún orden por mes específico. Estos datos indican los meses donde se puede tomar ventaja del sistema y captar la mayor cantidad de agua y utilizarla en meses donde la precipitación es escasa para suplir todo el año.
- La capacidad de recolección de agua de lluvia anual es de 1,217.57 m³ acumulada en la edificación analizada. Los meses con mayor capacidad de recolección son junio y septiembre con 276.53 m³ y 216.97 m³ de agua respectivamente. El mes donde el SCALL no logra suplir la demanda mensual es enero con una captación de 4.25 m³.
- La captación de agua para la certificación EDGE no es representativa ya que representa únicamente el 0.048% del 20% para obtener la certificación en el apartado de agua, a pesar de que para la certificación no es de relevancia la captación de agua pluvial, para Guatemala es un aporte a la realidad de la escasez hídrica.
- Las estrategias sostenibles promueven la reutilización de aguas residuales, concientizar el uso del agua, utilizar artefactos ahorradores cumpliendo con la normativa de la Municipalidad de Guatemala, uso de productos amigables con el planeta para evitar la contaminación de cuerpos de agua existentes y métodos de riego ahorrativos. Las estrategias de uso de agua los define cada persona no existe un manual, pero si opciones para incorporar al día a día.
- El análisis de costos del sistema actual con el propuesto determinar el aporte que genera económicamente el sistema de captación de agua de lluvia. Evidentemente la implementación de un SCALL es mayor con costo aproximado de Q. 735,083.3 incluyendo únicamente los artefactos ahorradores y los componentes dimensionados en el trabajo. La bomba que utilizan actualmente genera un gasto anual de Q. 68,933.98. Pese a que el gasto anual generado por la bomba es menor que la implementación de un sistema de captación y debido a que el SCALL no cumple con la demanda y no es recomendado como un único sistema de abastecimiento de agua económicamente no es rentable inicialmente, con el tiempo es una inversión que logra ser recuperada. Sin embargo, como existe la propuesta de la reutilización de agua residuales, creando un sistema de abastecimiento mixto la rentabilidad si es aceptada. Ya que la extracción por pozos es únicamente el 25% de la actual. La bomba sería de menor capacidad y por ende menor gasto energético, las horas de usos disminuirán. Inicialmente aparenta no ser rentable la implementación de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia, sin embargo, la inversión es compensada con los años y en la actualidad ya es una necesidad sostenible para suplir las actividades sin limitaciones.

IX. RECOMENDACIONES

Sector de la construcción

- Implementación de sistemas de captación sustituyendo los materiales convencionales por materiales ecológicos como bambú para canaleta y materiales reciclados.
- Adaptación de sistemas de captación de agua de lluvia por escorrentías de calles asfaltadas y colonias.
- Distribuir la cantidad de agua captada de lluvia en los diferentes niveles para una distribución por gravedad y generar un ahorro energético por bombeo de distribución.
- Dimensionar tanques de almacenamiento para uso potable y no potable para reducir costos de filtración y purificación en usos finales no necesarios.
- Es urgente movilizar a la sociedad civil y generar una normativa o manual para aprovechar eficientemente el recurso del agua y agua de lluvia a nivel nacional para diversos usos como fuente alterna ante la escasez del recurso hídrico.

Sector de la academia

- Manejo de pruebas de laboratorio sobre precipitaciones en Guatemala utilizando los nuevos laboratorios de Hidráulica.
- Realizar pruebas a escala sobre captación de agua pluvial. Utilizando maquetas desarrolladas en los cursos Proyecto Arquitectónico y Certificaciones Verdes.
- Adaptar al contenido historia y como implementar captación de agua de lluvia en edificios y la reutilización de agua residuales en los cursos de Hidráulica General.

Sector gubernamental

- Implementación de incentivos en la construcción para promover la implementación de SCALL, devolución de impuestos.

X. BIBLIOGRAFÍA

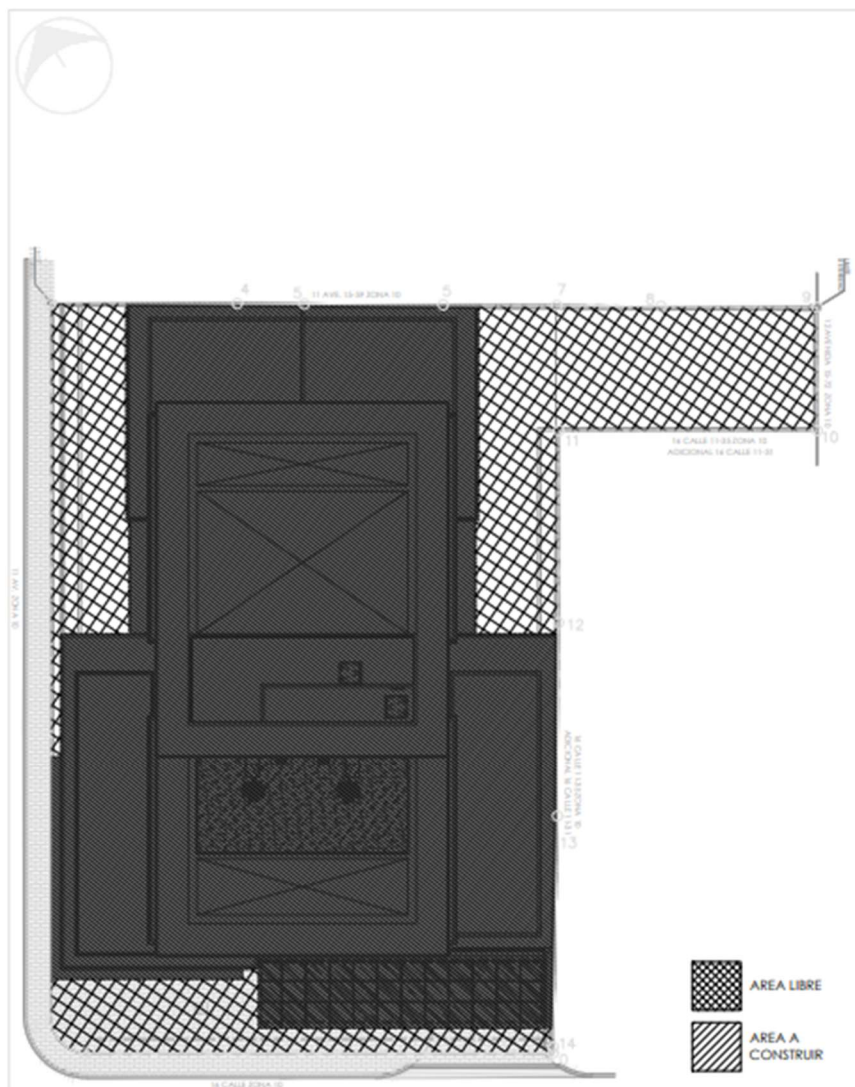
- Acevedo, J. (2016). *Captación y aprovechamiento de agua de lluvia en América Latina Experiencias y conclusiones de un debate*. Chile: Copygraph.
- Acosta, S., Quiroa, J., & Villanueva, & J. (2018). Captación de agua de lluvia: Tipos, Componentes y Antecedentes en zonas áridas de México como estrategia de uso sustentable del agua. *Revista Vivienda*, 63 - 85.
- Anaya, M. (1998). *Sistemas de Captación de agua de lluvia para uso doméstico en américa latina y el caribne Manual Técnico* . México .
- Angle, A., Nelson, J., & Rizakos, & D. (01 de 2023). *The Ongoing Evolution of Sustainable Business*. Obtenido de Trends: https://www.sustainability.com/globalassets/sustainability.com/thinking/pdfs/2023/2023_sustainability_trends_report.pdf
- AQUA ESPAÑA. (2016). *Guía Técnica de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios* . Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://aquaespana.org/sites/default/files/documents/files/Guia.tecnica%20grises.pdf>
- AVANCSO. (1991). *VANÓS A LA CAPITAL*. Obtenido de Estudio sobre la emigración rural reciente en Guatemala: <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Guatemala/avancso/20100305114627/C17.pdf>
- Banco de Guatemala. (2019). *Estudio de la Economía Nacional 2019*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.banguat.gob.gt/sites/default/files/banguat/Publica/doctos/estudio_de_la_economia_2019.pdf
- Basán, M., Sánchez, L., Tosolini, R., Tejerina, F., & Jordan, & P. (2018). Sistemas de captacion de agua de lluvia para consumo humano, sinónimo de agua segura. págs. 15-25.
- Basterrechea, M., & Guerra, A. (2019). *Recursos Hídricos*. Guatemala: Universitaria UVG.
- Castaño, C. (2013). *Los pilares del desarrollo sostenible sofisma o realidad*. Bogotá.
- Chaparro, D. H. (2020). *Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/911/91167857008/html/#B23>
- COGUANOR . (2013). *Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001*. Obtenido de Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones. : <http://www.copresam.gob.gt/wp-content/uploads/2021/01/Norma-Tecnica-Guatemalteca-NTG29001.pdf>
- COGUANOR. (2009). *Reglamento de Normas Sanitarias para la administración, construcción, operacion y mantenimiento de los servicios de abastecimiento de agua para consumo humano*. Obtenido de Acuerdo Gubernativo No. 113-2009: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/gua196717.pdf>
- COGUANOR. (2011). *Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29 006*. Obtenido de Agua para consumo humano (agua potable). Recolección, preservación, transporte y

- alamecenamiento de muestras. Generalidades.: <https://labind.com/wp-content/uploads/2019/02/COGUANOR-NTG-29-006.pdf>
- EMACSA. (2022). *Consejos para el buen uso del agua*. Obtenido de <https://www.emacsa.es/calidad-y-medio-ambiente/emacsa-y-la-educacion/consejos-para-el-buen-uso-del-agua/>
- Esri, Nasa, NGA, & USGS. (2023). *Mapa de disponibilidad hídrica per cápita*. Obtenido de Estimación del estrés hídrico municipal.: <https://incyt.maps.arcgis.com/apps/dashboards/13d8a88c46884acebc29117cebca5441>
- FAO. (2000). *Manual de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia Experiencias en América Latina*. Santiago, Chile: Casilla 10095.
- Felipe, O. (22 de 3 de 2021). *La Importancia del agua y su gestión sostenible desde el legislativo*. Obtenido de Día mundial del agua 22 de marzo: https://www.congreso.gob.gt/noticias_congreso/6003/2021/3#gsc.tab=0
- FUNCAGUA. (2020). *Agua en el planeta*. Obtenido de <https://funcagua.org.gt/agua-en-el-planeta/#:~:text=La%20disponibilidad%20de%20agua%20promedio,de%20glaciares%2C%20nieve%20o%20hielo.>
- FUNCAGUA. (2022). *Informe del estado del agua de la Región Metropolitana de Guatemala 2022: El agua nos une*. Guatemala: FUNCAGUA.
- FUNDESA. (2012). *Promoviendo el desarrollo económico y social en Guatemala*. Obtenido de Uso del Agua en Guatemala: <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/04/2012.-Uso-del-Agua-en-Guatemala.-Boletin.-FUNDESA.pdf>
- FV AREA ANDISA S,A. . (2023). *Aireador para Juegos y Llaves de Cocina – Ahorro 30% de agua*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://fvandina.com/wp-content/uploads/2021/04/e140d-dh-especificaciones.pdf>
- García, M. (2016). *Implementación de un sistema de recolección de agua pluvial para el abastecimiento de la Iglesia comunal en el caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal*. Obtenido de <https://repositorio.uvg.edu.gt/static/flowpaper/template.html?path=/bitstream/handle/123456789/3749/Trabajo%20de%20Graduaci%c3%b3n-%20Mar%c3%ada%20Jes%c3%bas%20Garc%c3%ada%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garduño, M., Pérez, A., López, N., & Martínez, & I. (2018). *Manual Técnico Sistema de Captación del Agua de Lluvia (SCALL)*. México: 200 ejemplares.
- Gonzaga, F. (11 de 11 de 2015). *Diseño de un sisetma de captación de agua de lluvia para uso doméstico en la Isla de Jambelí, Cantón Santa Rosa, Provincia de el Oro*. Obtenido de Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/3115/1/SISTEMA%20DE%20CAPTACION%20DE%20AGUA%20LLUVIA.pdf>
- Grández, E. (2017). *Diseño de un sistema de captación de aguas pluviales, para el uso doméstico en viviendas del barrio La Florida del distrito de Yurimaguas - provincia de Alto Amazonas*

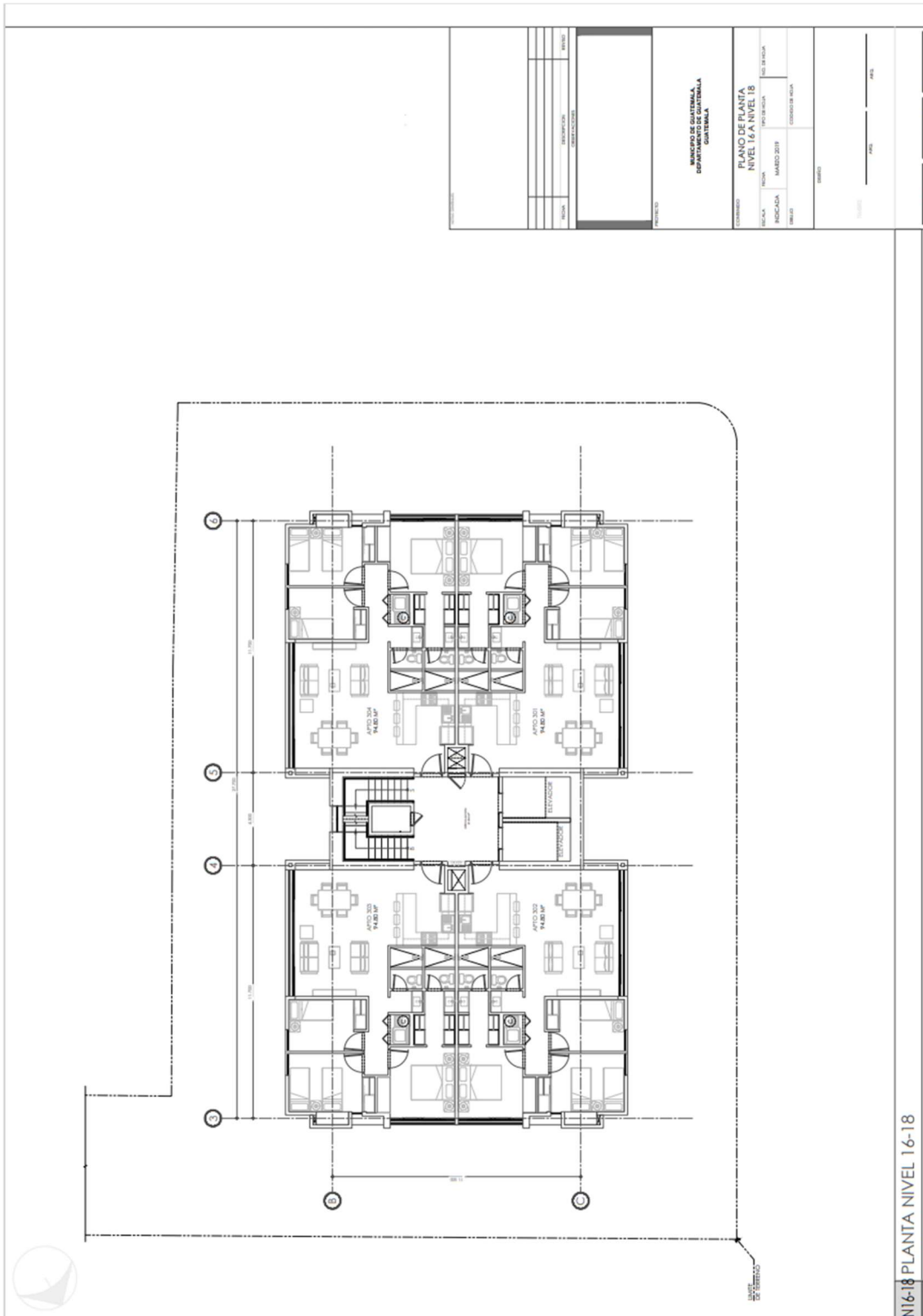
- región Loreto*. Obtenido de Tesis para optar el título profesos de Ingeniero Civil:
<https://core.ac.uk/download/pdf/287332483.pdf>
- Guerra, A. (25 de 5 de 2021). *La gestión integral del agua en Guatemala* . Obtenido de Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC):
https://www.fundesa.org.gt/content/files/publicaciones/Agua_gestion_integrada_en_Guatemala_Fundesa_por_ICC_25mayo2021.pdf
- I. Adler, G. C., & Bojalil, & J. (2008). *Manuela de captación de aguas de lluvia para centros urbanos*. Obtenido de
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33433992/manual_captacion_aguas_lluvias_centros_urbanos-libre.pdf?1397107740=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMANUAL_DE_CAPTACION_DE_AGUAS_DE_LLUVIA_P.pdf&Expires=1677893348&Signature=SAFTFrrJ7blwSkf
- INSIVUMEH. (2023). *PERSPECTIVA CLIMÁTICA*. Obtenido de
<https://insivumeh.gob.gt/?p=13162>
- Lentini, E. (2020). *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinates de éxito* . Obtenido de <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/05/2011.-Servicios-de-agua-potable-y-saneamiento-en-Guatemala.-CEPAL.pdf>
- Lozano, E. (2021). *El consumo de agua en la Ciudad de Guatemala es preocupante*. Obtenido de <https://soy.usac.edu.gt/?p=16007>
- Martín, L. (2020). *Las 10 mejores tecnologías para ahorrar agua, a revisión* . Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/luis-martin-martinez/10-mejores-tecnologias-ahorrar-agua-revision>
- Martinez, B. (2021). *Guatemala: Disponibilidad de agua potable se reduce en la región metropolitana*. Obtenido de <https://aladyr.net/guatemala-disponibilidad-de-agua-potable-se-reduce-en-la-region-metropolitana/>
- McGHEE, T. (1999). *Abastecimiento de agua y alcantarillado Ingeniería ambiental*. Bogotá: McGraw-Hill, Inc.
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas*. España: McGraw-Hill.
- MINAE. (2021). *Manual Técnico de Dotaciones de Agua* . Obtenido de https://da.go.cr/wp-content/uploads/2016/06/MANUAL_TECNICO_DE_DOTACIONES_DE_AGUA.pdf
- Ministerio de Salud Pública y Asistencial Social. (22 de 6 de 2009). *Reglamento para la Certificación de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Proyectos de Abastecimiento*. Obtenido de Acuerdo Gubernativo 178-2009:
<https://www.ecosistemas.com.gt/wp-content/uploads/2015/07/05-Acuerdo-gubernativo-178-2009-Reglamento-certificacion-calidad-del-agua.pdf>
- Municipalidad de Guatemala. (2020). *Acuerdo No. COM-24-2020*. Obtenido de https://www.muniguate.com/archivos/acuerdos/2020/24_2020_Instalacion_de_Artefactos_a_horradores_de_Recursos_Hidricos.pdf

- Municipalidad de Guatemala. (2022). *Conociendo el POT*. Obtenido de <http://pot.muniguate.com/presentaciones.php>
- OLAS. (2020). *Guatemala*. Obtenido de <https://www.olasdata.org/es/guatemala/#:~:text=Guatemala%20cuenta%20con%20tres%20vertientes,a%20cuerpos%20de%20agua%20superficiales.>
- OPS & CEPIS. (2004). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. Obtenido de <file:///C:/Users/50258/Downloads/lluvia.pdf>
- Pizarro, R., Abarza, A., Morales, C., Calderón, R., Tápia, J., García, P., & Córdova, & M. (2015). *Manual Scalls Uncesco 2015*. Obtenido de Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile : <file:///C:/Users/50258/Downloads/Manual%20Scalls%20Unesco%202015.pdf>
- Reyes, L. (2019). *Propuesta de sistema de tratamiento de aguas grises para uso en un residencial en el departamento de Guatemala*. Obtenido de https://repositorio.uvg.edu.gt/static/flowpaper/template.html?path=/bitstream/handle/123456789/3837/Tesis_Luis%20Reyes%2014250.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Salamanca, E. (2014). *Tratamiento de aguas para el consumo humano*. Obtenido de <file:///C:/Users/50258/Downloads/mcabas,+2.pdf>
- Salguero, L. (2022). *Estrés hídrico (water stress) en América Latina*. Obtenido de <https://cemerl.org/mapas/m-estres-hidrico-america-latina-lt>
- Sarar Transformacion, S. (2016). *Manuela de uso, operación, mantenimiento y construcción Sistema Doméstico de Cosecha de Agua de Lluvia*. México.
- SEGEPLAN. (2011). *Política Nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia*. Obtenido de http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas_publicas/Recursos%20Naturales/Pol%C3%ADtica%20Nacional%20del%20Agua%20de%20Guatemala.pdf
- Semarnat. (2012). *DISPONIBILIDAD DEL AGUA*. Obtenido de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/06_agua/cap6_2.html#:~:text=Se%20refiere%20a%20la%20disponibilidad,forma%20natural%20en%20una%20regi%C3%B3n
- UNATSABAR. (2001). *Guía de Diseño para captación del agua de lluvia*. Obtenido de <https://www.aguasinfronteras.org/PDF/AGUA%20DE%20LLUVIA.pdf>
- UNESCO. (2014). *Agua para todos Agua para la vida*. Obtenido de <https://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>
- UNESCO. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021*. Obtenido de El valor del Agua: <file:///C:/Users/50258/Downloads/378890spa.pdf>
- UVG. (2023). *Universidad del Valle de Guatemala*. Obtenido de <https://www.uvg.edu.gt/investigacion/investigadoresceab/>

XI. ANEXOS



PLANO DE UBICACION			
DIRECCION DE LA OBRA: 11 AVE. 15-85 ZONA 10 VILLA DE GUADALUPE, MUNICIPIO DE GUATEMALA			
PROPIETARIO:			
DIRECCION DEL PROPIETARIO:			
No. DE MATRICULA:		No. CATASTRAL:	
REGISTRO DE LA PROPIEDAD, FINCA: ---		FOLIO:-- LIBRO:-- DE:GUATEMALA	
AREA REGISTRADA:	1094.51 m ²	AREA REAL:	1094.510 m ²
CONSTRUCCION EXISTENTE FIJA:	0 m ²		
AREA A CONSTRUIR:	808.05 m ²		
AREA LIBRE:	286.46 m ²		
FECHA: NOVIEMBRE 2018	ESCALA: 1/250	_____ ARQ.	



MINISTERIO DE GOBIERNO Y SEGURIDAD PÚBLICA DIRECCIÓN GENERAL DE REGISTRO Y CATASTRO	
TÍTULO: _____ FOLIO: _____ VOLUMEN: _____	PLAN DE PLANTA NIVEL 16 A NIVEL 18
ESCALA: _____ FECHA: _____ PROYECTO: _____	FECHA DE ELABORACIÓN: _____ MARZO 2019 CORRECCIÓN DE PLANOS: _____
AUTORIZADO: _____ FIRMA: _____ CARGO: _____	AUTORIZADO: _____ FIRMA: _____ CARGO: _____

N16-18 PLANTA NIVEL 16-18
 NIVEL 16 A NIVEL 18