



BALANCE HÍDRICO

HERRAMIENTA DE INTEGRACIÓN
BALANCE HÍDRICO EN
EDIFICACIONES



Guatemala Green Building Council
Septiembre 2020

© **PROHIBIDA SU COPIA Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**
Este documento fue elaborado por el Guatemala Green Building Council
(Consejo de Construcción Sostenible de Guatemala) como parte de las
herramientas de evaluación y certificación del Departamento Técnico del GGBC.
Queda prohibido cualquier tipo de reproducción total o parcial sin el previo
conocimiento y autorización escrita por parte de sus autores.

Ciudad de Guatemala, 2020



Guatemala Green Building Council
www.guatemalagbc.org
15 Calle 1-11 zona 10, Edificio Terraesperanza
Tel. (502)3038-0590 / (502)3038-0019 / (502)3038-0569

PARTICIPANTES

La herramienta "Integración Balance Hídrico" es un documento elaborado gracias a los esfuerzos de los miembros del Guatemala Green Building Council:

Autores:

- Arq. José Manuel Ávila - Director del Departamento Técnico GGBC
- Arq. Ana Sofía Escalón - Equipo Departamento Técnico GGBC

Comité Técnico:

- Arq. Juan Carlos Valenzuela - W502
- Ing. Manuel Avila - WASYMA
- Ing. Pamela Mota - Corpasco

Guatemala Green Building Council:

- Licda. Pamela Castellán - Directora Ejecutiva GGBC
- Arq. Kathya Ardón - Coordinadora de Proyectos GGBC

Revisores:

ÍNDICE

I. Introducción	3
II. Objetivos	4
III. Definiciones, abreviaciones y acrónimos	9
IV. Marco teórico/conceptual	10
A. Situación actual del agua (Macro a lo micro).....	11
1. Situación Global	11
2. Situación Guatemala	12
3. Región Metropolitana	13
a) Disponibilidad y recarga hídrica (pozos)	14
b) Consumo y dotación de agua	16
c) Actores de gestión recurso hídrico	16
d) Presiones sobre el recurso hídrico	17
V. Metodología hacia edificios consumo Neto Zero	18
A. Eficiencia	19
B. ¿Qué representa el balance hídrico en una edificación?	21
2. Balance hídrico superficial	22
3. Definiciones de componentes	23
C. Diseño eficiente de consumo hídrico	24
1. Carga ocupacional	26
2. Diseño de artefactos	28
3. Determinando la línea base (.....)	30
4. Artefactos eficientes	34
5. Métodos de irrigación eficientes	36
D. Uso de agua en sitio	38
1. Agua Residuales	41
a) Definición de conceptos (Aguas negras y aguas grises)	41
b) Tipos de tratamiento	42
c) Estrategias de reuso	43
2. Aguas Pluviales	44
a) Captación de agua de lluvia	45
b) Estrategias para reducción de escorrentía	46
c) Estrategias de reuso	48
VI. Pasos para utilizar la Herramienta de Integración de Balance Hídrico	56
A. Formularios y diagramas	
VII. Conclusiones	66
VIII. Fuentes de consulta	58
IX. Anexos	72

I. INTRODUCCIÓN

El incremento del desarrollo inmobiliario significa una expansión y necesidad de uso de suelo para dar lugar a nuevos proyectos residenciales, comerciales, industriales y de muchos otros tipos. Esto, para las ciudades, significa la necesidad de tener acceso a un suministro de agua potable y de condiciones aptas para el uso y consumo humano, la cual, con el paso de los años, hemos visto que se ha limitado, llegando en algunos casos a situaciones de estrés y escasez del recurso.

Las construcciones tradicionales dependen de las fuentes municipales de agua potable o directamente de pozos privados para satisfacer sus necesidades de consumo, higiene y el mantenimiento de áreas exteriores y áreas verdes. La alta demanda, la poca recarga del recurso y el incremento de escorrentía pluvial debido al exceso de superficies impermeables, representan, para las ciudades, la necesidad de invertir en infraestructura pública y privada capaz de manejar los alterados ciclos hidrológicos, y a su vez tener la capacidad de satisfacer la demanda de una población en crecimiento.

Por otro lado, el cambio climático afecta los recursos hídricos mundiales de múltiples formas. Estos efectos agregaran desafíos a la gestión sostenible de los recursos hídricos, que ya se encuentran bajo una fuerte presión en muchas regiones alrededor del mundo, afectando la disponibilidad, calidad y cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades básicas humanas. Los cambios hidrológicos inducidos por el cambio climático implicarán riesgos importantes para la sociedad en los cambios de los ciclos hidrometeorológicos del agua, e indirectamente representará un riesgo para industrias cómo la producción de energía, producción alimentaria y el desarrollo económico. (WWDR, 2020)

Según reportes del Programa de las Naciones Unidas por el Medio Ambiente (UNEP), para el 2025, muchos países sufrirán una transición de estrés hídrico a una situación de escasez del recurso, significando que la cantidad de agua extraída de los lagos, ríos o aguas subterráneas es tan grande que los suministros de agua ya no son adecuados para satisfacer todos los requisitos humanos o de los ecosistemas de algunas regiones, lo que aumentará la competencia entre los usuarios y las demandas por el recurso. (UNEP, 2002)

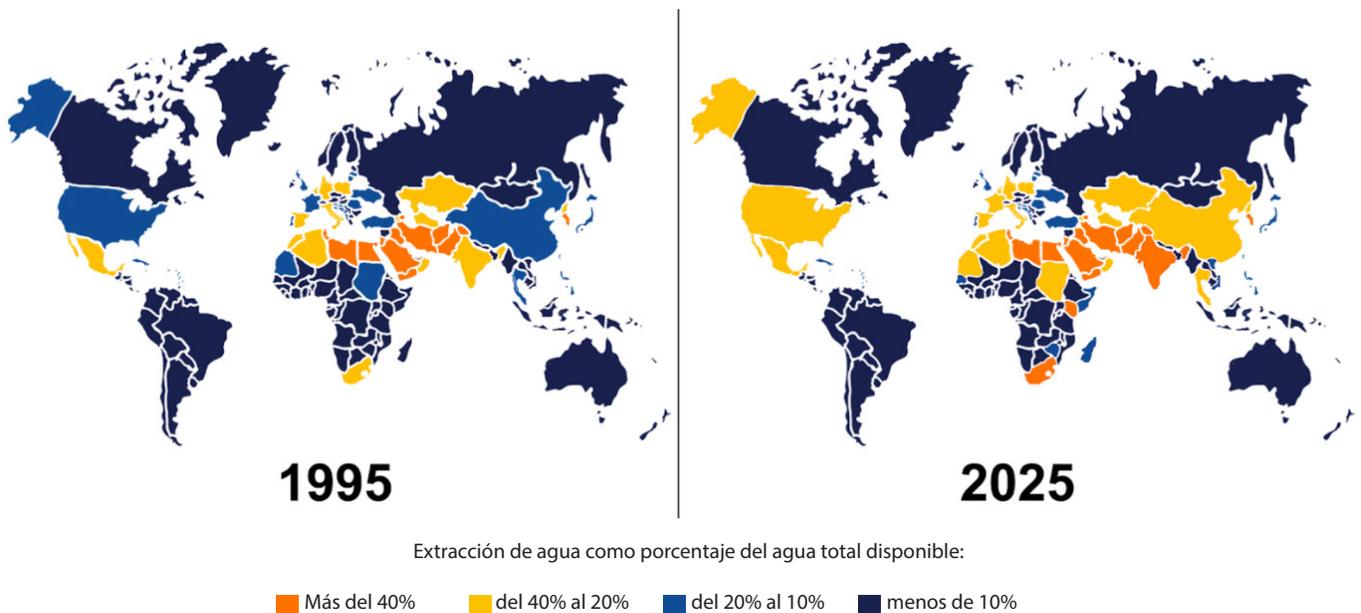


Ilustración No.1: Agua extraída como porcentaje del agua total disponible

Fuente: Elaboración propia según UNEP, "Vital Water Graphics, An Overview of the State of the World Fresh and Marine Waters" (2002)

El crecimiento poblacional y el desarrollo urbano, es una variable considerable para las ciudades en cuanto a garantizar la disponibilidad y la gestión integrada del agua. Según datos de la UNESCO la mayoría de la población mundial vive en ciudades (4.200 millones de los 7.600 millones en 2018). «Las proyecciones de asentamientos humanos en el futuro (con una población mundial de 8.600 millones en 2030 y 9.800 millones en 2050) muestran que hasta el 60% de la población mundial vivirá en las ciudades para 2030, y el 66.4% en 2050» (WWDR, 2020, p.111).

Este mismo efecto lo estamos viviendo en Guatemala, según proyecciones del INE-CELADE presentadas en la Agenda Urbana Guatemalteca, para el año 2032 seremos 22 millones de habitantes en el país, y Guatemala experimentará una transición, urbana en los próximos 20 años, pasando de contar con una población predominantemente rural (57% al año 2000) a ser un país predominantemente urbano con una población urbana del 79% proyectado al 2032. (INFOM, 2016). Esto significa la incorporación de más de 6 millones de personas a las distintas ciudades que hoy están en desarrollo, y, por ende, la necesidad de infraestructura y servicios básicos para satisfacer la demanda de las nuevas urbes.

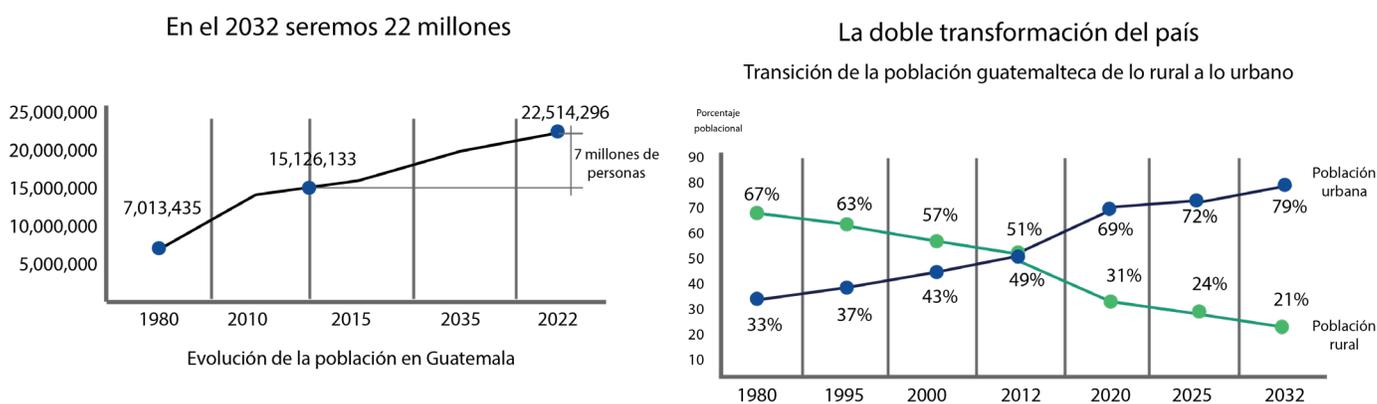


Ilustración No.2: Evolución de la Población en Guatemala y Transición de la Población Guatemalteca de lo Rural a lo Urbano.
Fuente: Elaboración propia según Agenda Urbana GT (2016)

Es evidente que el crecimiento poblacional traerá consigo un incremento en la necesidad de infraestructura para el acceso a servicios básicos como es el caso del agua, y sumado a las consecuencias del cambio climático, los sistemas de infraestructura y abastecimiento de agua convencional irán volviendo más vulnerables a las ciudades. Esto, en un futuro no muy lejano, puede incurrir en costos sobre el recurso cada vez más altos, o en impactos sociales y ambientales cada vez más fuertes y difíciles de revertir. La falta de infraestructura para el abastecimiento de agua hace que un país sea aún más vulnerable a los cambiantes ciclos hidrometeorológicos.

Es de carácter urgente que nuevas edificaciones en Guatemala comiencen a romper paradigmas en la promoción de desarrollar infraestructura enfocada a un uso racional del agua, como almacenamiento y sistemas confiables de suministro y tratamiento de agua.

Este documento busca generar una visión integrada para las nuevas edificaciones, y edificaciones existentes, que buscan replantearse hacia una visión más integral del uso del recurso, de tal forma que comprendan, de una manera holística, que las condiciones climáticas de Guatemala, integrada a tendencias de construcción sostenible y tecnologías más eficientes, presentando todas las oportunidades necesarias para la viabilidad de proyectos con un balance integrado del agua, en el camino hacia el desarrollo de ciudades más sostenibles.

II. OBJETIVOS

- Informar sobre la condición actual del recurso hídrico a nivel global, del País de Guatemala y la Región Metropolitana, para así darle relevancia a la situación crítica de disponibilidad y abastecimiento del recurso.
- Establecer una metodología clara para lograr el diseño de edificios de consumo “Neto Zero”.
- Definir qué es la eficiencia del consumo del agua, por qué es importante en el diseño y operación de edificaciones y cuáles son las estrategias para el uso eficiente del mismo.
- Determinar los pasos de diseño para lograr el balance hídrico, y las estrategias para tratar y reusar tanto aguas pluviales como residuales.
- Generar una guía práctica para hacer uso de la “Herramienta de Integración del Balance Hídrico”, acompañado de ejemplos gráficos y explicativos, que ayuden a determinar la línea base de consumo y estrategias a implementar, dependiendo del tipo de proyecto.

III. Definiciones, abreviaciones y acrónimos

Abreviaciones y Acrónimos

- WWDR: United Nations World Water Development Report [Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo]
- UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization]
- -UNEP: United Nations Environment Programme [Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas]
- FUNCAGUA: Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana de Guatemala
- RMG: Región Metropolitana de Guatemala
- PIB: Producto Interno Bruto
- IARNA: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente
- FTE: Full Time Equivalent [Equivalente a Tiempo Completo]
- IITCA: Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua
- EMPAGUA: Empresa Municipal de Agua
- FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations [Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación]

IV

EL RECURSO HÍDRICO

A) Situación actual del agua

1) Situación Global

El agua alrededor del mundo es un recurso cada vez más escaso, según datos de la UNESCO (2020, p.6) el consumo de agua tiende a aumentar 1% cada año. Alrededor del mundo, desde los años 80, los factores que más han influido en este incremento son, el crecimiento poblacional, el desarrollo socioeconómico y los cambios en los modelos de consumo. En 2016, Mekonnen y Hoekstra, establecen que aproximadamente 4000 millones de personas viven en condiciones de grave escasez física de agua durante al menos un mes al año; y en 2014 la ONU informan que alrededor de 1.6 mil millones de personas, o casi una cuarta parte de la población mundial, enfrentan escasez económica de agua, lo que significa que carecen de la infraestructura necesaria para acceder al recurso hídrico. (UNESCO, UN-Water, 2020, p.18) Los niveles de escasez seguirán aumentando a medida que crezca la demanda de agua y se intensifiquen los efectos del cambio climático.

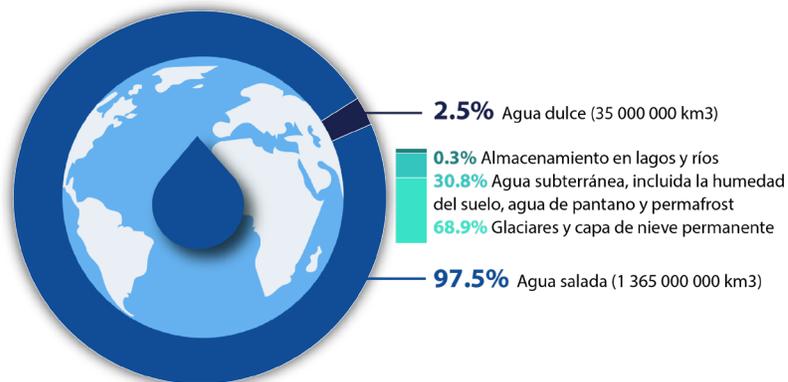
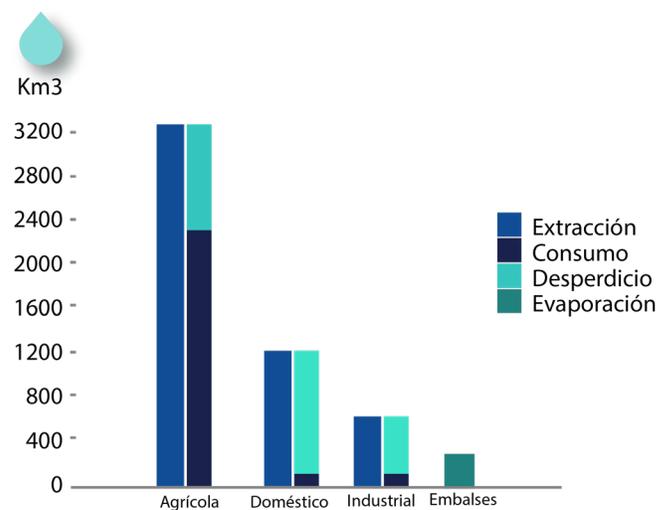


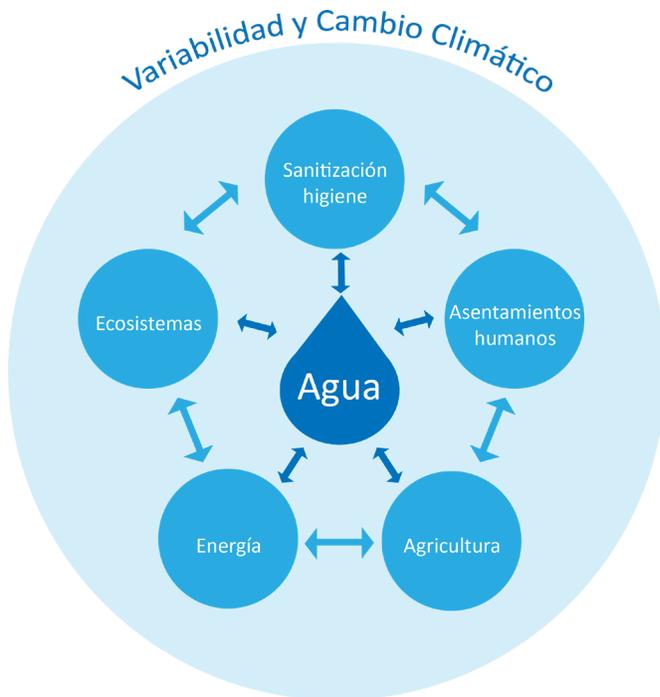
Ilustración No. 3: Estimaciones mundiales totales de agua salada y agua dulce
Fuente: Elaboración propia según UNESCO, París 1999

Se prevé un aumento en la demanda mundial de agua a un ritmo similar hasta el año 2050, esto representa un incremento del 20% al 30% por encima del nivel actual de uso del agua, debido principalmente al aumento de la demanda en los sectores industrial y doméstico. Para comprender la evolución del uso global del agua, puede observarse la ilustración No. X de «Extracción y consumo por sector. con una proyección para el 2025.» Donde sobresale que «el consumo de agua doméstica en países desarrollados (500-800 litros por persona por día) es aproximadamente seis veces más que en los países en desarrollo (60-150 litros por persona por día)», el mayor desperdicio de agua en comparación a la extracción del recurso, se da en el sector doméstico e industrial, por lo que debe darse mayor atención a la eficiencia en consumo hídrico en edificaciones, resaltando cómo la «integración de un balance hídrico» puede tener consecuencias positivas a gran escala.



Pronóstico del uso del agua por sector para 2025

Ilustración No.4: Pronóstico del uso del agua por sector para 2025
Fuente: Elaboración propia según UNEP, 2002, P.1

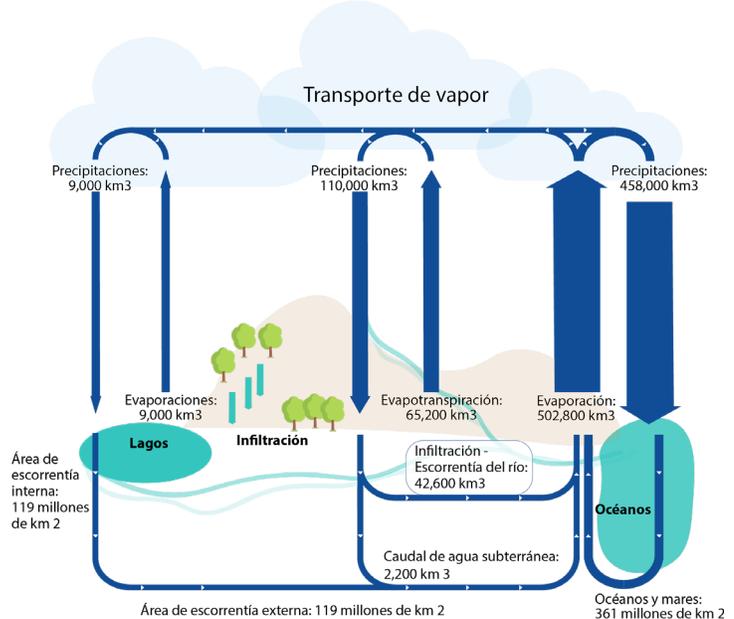


La variabilidad y cambio climático afectan las interacciones entre el agua y los mayores sectores socioeconómicos en el mundo, incluyendo la agricultura, energía, ecosistemas, sanitización e higiene y sobre todo los asentamientos humanos.

Ilustración No.5: Variabilidad y cambio climático
Fuente: Elaboración propia según Water and Climate Change, 2020, pp. 12

Para entender a profundidad la cantidad de agua existente en el planeta, puede evaluarse el «ciclo mundial del agua», incluyendo los procesos de precipitación, evaporación, evapotranspiración y escorrentía. En este ciclo puede observarse como el agua pasa por un proceso de precipitación y evaporación en fuentes de abastecimiento como lagos y ríos, se infiltra en áreas de escorrentía interna y externa, llegando a los mantos freáticos, hasta llegar a océanos y mares, todo este proceso de forma proporcional en áreas naturales; sin embargo, con el desarrollo urbano, los ciclos naturales del agua pueden modificarse negativamente, trayendo consecuencias en el abastecimiento y disposición del recurso.

El ciclo mundial del agua
Precipitación global, evaporación, evapotranspiración y escorrentía.



Nota: el ancho de las flechas azul y gris es proporcional a los volúmenes de agua transportada

Ilustración No.6: El ciclo mundial del agua
Fuente: Elaboración propia según UNEP, 2002, p.8

2) Situación Guatemala

Según el Plan de Conservación del Agua por FUNCAGUA, la situación actual del recurso hídrico en la Región Metropolitana de Guatemala (RGM) es de carácter crítico, en el documento se presenta un diagnóstico completo sobre el recurso en el área. Actualmente, la región presenta problemas de abastecimiento de agua que, de no abordarse de manera inmediata, representan un riesgo nacional, no solo a futuro, sino también a corto plazo. «Tanto la población como las actividades económicas tienen al agua como un insumo vital, por lo que su escasez constituye un riesgo significativo». (FUNCAGUA, 2018, pp. 1)

Utilización de agua en Guatemala por grandes grupos de actividades económicas y de consumo (millones de m³) 2006-2010

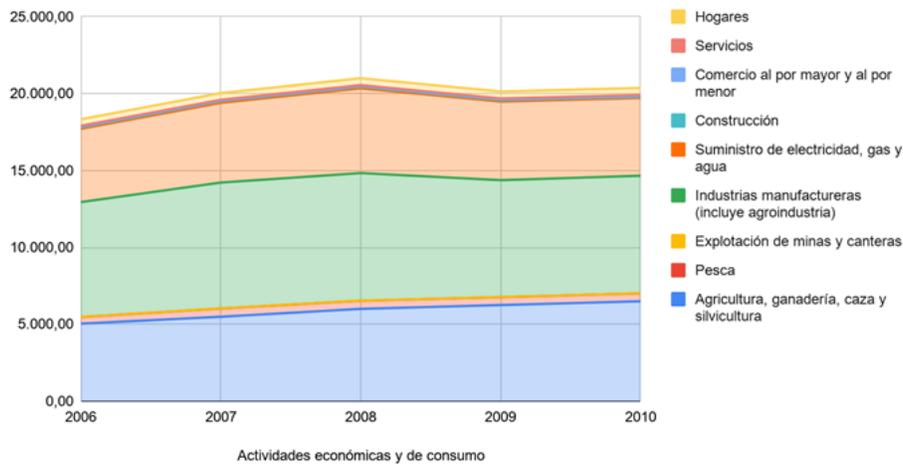


Ilustración No.7: Uso del recurso hídrico en Guatemala, según grupos de actividades económicas
Fuente: Elaboración propia según "Perfil Ambiental de Guatemala 2010 -2012" IARNA-URL (2012)

3) Región Metropolitana

Datos de interés:

- RGM: La Región Metropolitana se ubica en el departamento de Guatemala y está conformada por 12 municipios.
- La RGM posee una proporción poblacional del 19.15% (INE, 2016).
- Área territorial de 1,379 km².
- PIB (2000-2010) de un 47.67%, por lo que la región posee gran importancia debido a las actividades económicas desarrolladas en de los 12 municipios principales del departamento de Guatemala.



Ilustración No. 8: Ubicación RGM
Fuente: Elaboración propia (2020)

a) Disponibilidad y recarga hídrica

La escasez del recurso hídrico puede comprobarse en una menor disponibilidad cada año, y en la disminución de los niveles en pozos; cada vez debe excavar más para encontrar agua, esto implica un costo en la construcción de pozos, y se vuelve una ciencia inexacta. Los niveles estáticos de los pozos en la zona metropolitana varían entre 25 hasta más de 600 metros de profundidad, dependiendo del acuífero o acuíferos captados.

Demanda y abastecimiento de agua potable

Cambio histórico en la profundidad de pozos mecánicos:

- 1965 y 1968: en el área de Ojo de Agua y Diamante se construían pozos mecánicos de no más de 450 pies de profundidad.
- 1976 y 1978: debido al incremento en la demanda de consumo de agua potable, se construían pozos de alrededor de 700 pies de profundidad.
- 1981: se registran pozos de profundidad promedio en el orden de 900 pies en el área urbana.
- 1990: en referencia al proyecto Emergencia y de EMPAGUA, con la planificación de perforación de más de 30 pozos en el área de zonas 15, 16 y 17, los pozos alcanzaron profundidades mínimas de 1,300 pies. (FUNCAGUA, 2018, pp. 126-127)

Con ello se observa la tendencia de explotación de acuíferos en la zona, resaltando la presencia de pozos con profundidades, que en la actualidad dependiendo de su ubicación, pueden alcanzar hasta 2,000 pies en el área Noroeste, 1,700 en el área del noreste y 1,500 pies en el área sur de la RMG, debido a que, según registro de pozos, el nivel estático regional se encuentra en alrededor de 850 a 900 pies de profundidad. (Idem) Puede concluirse que las distancias de excavación, para encontrar agua, se han triplicado en un lapso de 25 años.

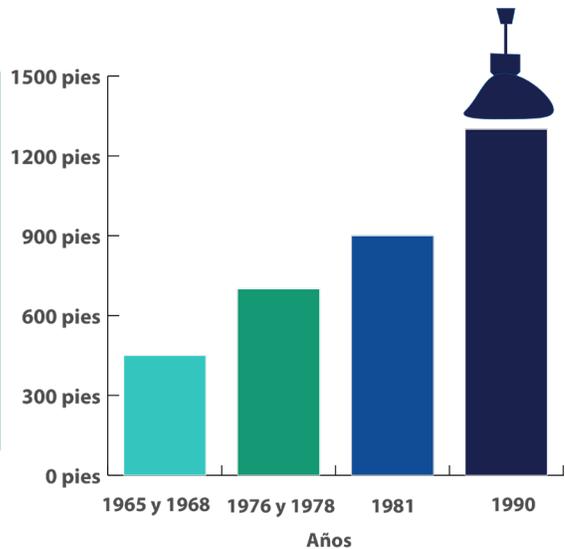


Ilustración No.9: Profundidad de excavación de pozos RMG
Elaboración propia según FUNCAGUA, 2018, pp. 126-27

(1) Comparación ciclo hidrológico

Análisis de la recarga hídrica en la RMG

La explotación no controlada del agua subterránea en la RMG ha provocado que el comportamiento del nivel freático de la zona descienda, causando una tasa negativa de la recarga hídrica anual en la mayor parte del territorio. Los niveles de agua o nivel freático de los pozos mecánicos ubicados en el área registran un descenso anual de varios metros según su ubicación. El promedio de descenso del nivel freático es de 9 metros anuales en los últimos 10 años de monitoreo. La constante de los pozos es de un metro por año, variando, dependiendo de la condición de lluvia en el año de evaluación. (Idem)

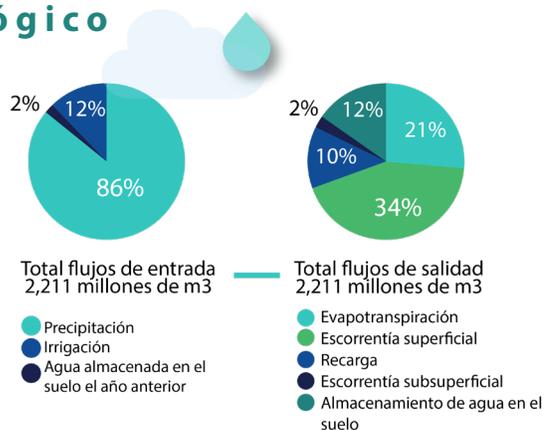


Ilustración No. 10: Balance hidrológico de la zona metropolitana, incluyendo las subcuencas Xayá y Pixcayá
Fuente: Elaboración según IARNA, 2013

Datos sobre la explotación de acuíferos:

- Ubicación: 16 microcuencas de la región
- Explotación de acuíferos: 502.3 millones de m³
- Recarga disponible: 139.8 millones de m³
- Régimen hidrológico: déficit por alrededor de 362.5 millones de m³, se sobrepasa el límite de balance entre la relación extracción y recarga.

*Sin tomar en cuenta el aporte en alimentación de los acuíferos que tienen las microcuencas subterráneas y el intercambio de flujos entre los pocos afluentes superficiales al agua subterránea de la región, lo cual compone la reserva del acuífero general. (FUNCAGUA, 2018, pp. 106 y 113)

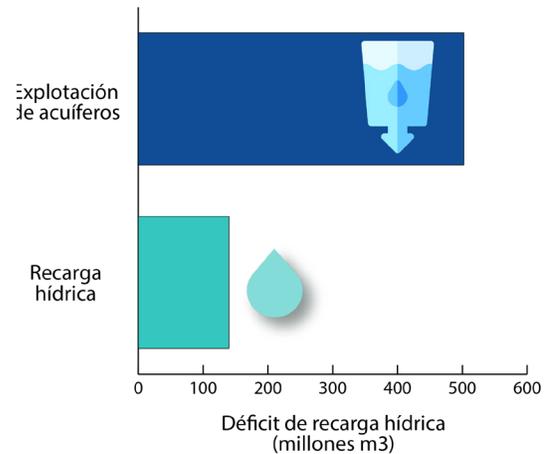


Ilustración No.11: Comparación explotación y recarga hídrica de acuíferos RMG
Elaboración propia según: IARNA (2012)

Cobertura y uso de la tierra en las áreas de recarga hídrica

En la ilustración puede observarse la distribución de áreas de recarga hídrica (m³/km²/año).

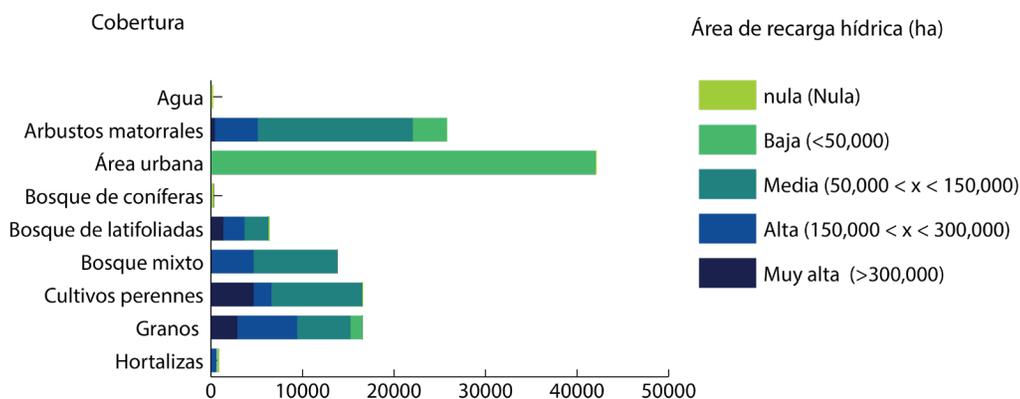


Ilustración No.12: Cobertura y uso de la tierra en las áreas de recarga hídrica
Fuente: FUNCAGUA, 2018, pp. 108-127

En la gráfica puede verse que la mayoría de recarga hídrica en área urbana, es baja, en relación el resto de las áreas, 20,786 hectáreas (17%) de alta recarga hídrica está ocupado por:

- bosque mixto (22%)
- cultivos de granos básicos (32%)
- matorral (23%)
- y el resto de bosque latifoliada (11%) y cultivos perennes (10%)

La impermeabilización del suelo, debido al desarrollo inmobiliario, tendrá un impacto en la recarga de los mantos freáticos y por ende en la oferta de recurso con relación al consumo, resultando en un efecto negativo en la disponibilidad del recurso para satisfacer las necesidades básicas de las personas.

b) Consumo y dotación de agua

Según FUNCAGUA (2018) la demanda de agua en la RGM, específicamente en el área domiciliar, está aumentando, en gran parte, por el crecimiento poblacional. La dotación de agua domiciliar que indica el Instituto de Fomento Municipal es de «90-150 l/p/día en el área rural y de 150-250 l/p/día en el área urbana». La demanda teórica de agua domiciliar asciende a 738,786 metros cúbicos por día o 269.6 millones de metros cúbicos por año.

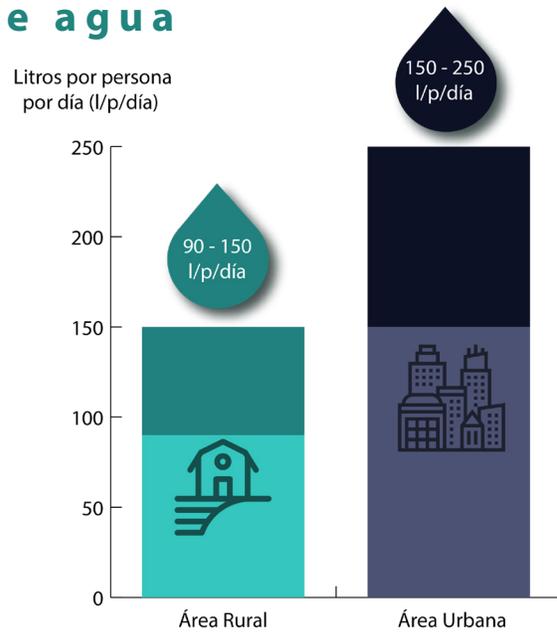


Ilustración No. 13: Consumo hídrico en el área rural y en el área urbana
Elaboración propia según: INFOM, 2010.

c) Actores de gestión recurso hídrico

En Guatemala, los actores en la gestión del recurso hídrico pueden clasificarse en actores públicos, actores sociales y en el sector privado, todos con un rol importante en su gestión. Los edificios no consumen agua, las personas sí, por lo que puede reflexionarse acerca de la importancia de la responsabilidad en el consumo hídrico, en el marco legal y normativo establecido por los actores públicos, el diseño adecuado de sistemas hidráulicos y el consumo responsable por parte de los usuarios.



Ilustración No.14: Actores en la gestión del recurso hídrico
Fuente: Elaboración propia con base en FUNCAGUA, 2018, pp. 26

d) Presiones generales sobre el recurso hídrico

En la RGM los acuíferos regionales se abastecen anualmente, de la recarga hídrica natural proveniente de lluvias, generalmente durante la época de lluvia de mayo a octubre, aumentando los niveles de agua en esta época; sin embargo, según FUNCAGUA (2018) actualmente la recarga hídrica es afectada por varios factores, incluyendo:

- La deforestación, implicando un incremento de escorrentía superficial y una menor infiltración en el suelo.
- El cambio climático, afecta las precipitaciones en la zona, sobre todo aumentando la intensidad de la lluvia en cortos periodos de tiempo, en época lluviosa, y, por otro lado, prolongando los períodos de sequía; se espera una disminución significativa de las lluvias en la RMG y su área de influencia, en un futuro cercano.
- Incremento en la demanda de agua debido a una alta concentración poblacional, ya que se ha superado por mucho la capacidad de gestión y planificación de la ciudad del país, las razones, incluyen las migraciones internas, sobre todo en zonas como la 18,17 y 21, así como un mayor crecimiento poblacional en la zona 24 y 25, el aumento en desarrollo de proyectos residenciales en la 16,17 y 18, implicando mayor demanda de agua y ejerciendo mayor presión sobre las fuentes superficiales y subterráneas, esto también implica una mayor cantidad de aguas residuales, con una doble presión sobre los ríos de la zona. (pp. 129-131)
- Incremento del desarrollo inmobiliario, sobre todo dentro de la ciudad, considerando que en Guatemala se usan más de 20 mil millones de m³ de agua al año. La operación de los edificios (suministro de electricidad, gas y agua, hogares, actividades económicas y de consumo) y construcción, representa aproximadamente 6.8 mil millones de m³ de agua al año, el 34% del uso total de agua, se relaciona con la operación de edificaciones comerciales y domésticas a nivel local. (IARNA, 2012)
 - La impermeabilización de terrenos (zonas de recarga) por construcción y urbanización de áreas; actualmente, en el área de interés alrededor de 70% está cubierto por desarrollos urbanos e industria.
 - Sobreexplotación de acuíferos por entes privados y públicos para proyectos propios, sin control ni monitoreo. (FUNCAGUA, 2018, p. 129-131)

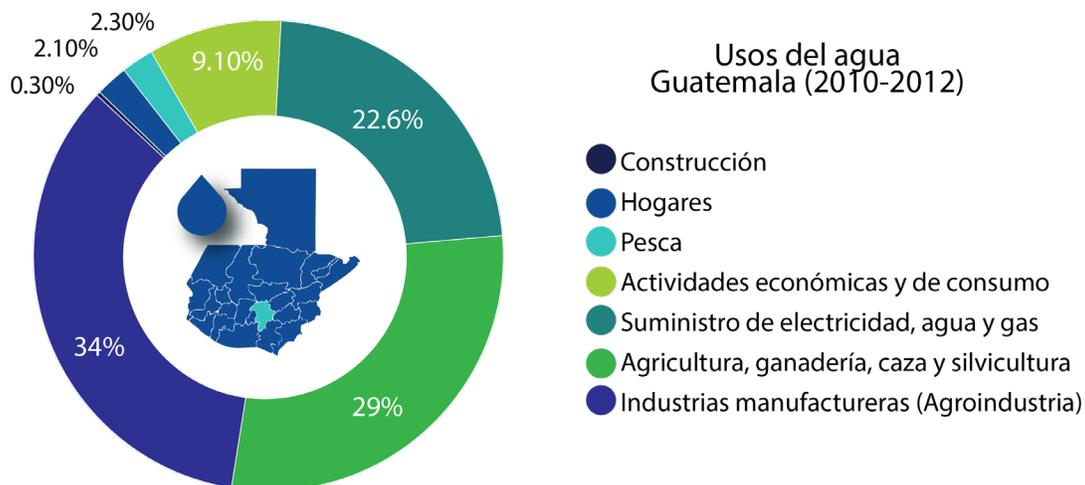


Ilustración No.15: Uso del agua en Guatemala, del 2010 al 2012, según sector económico
Fuente: "Perfil Ambiental de Guatemala 2010 -2012" IARNA-URL (2012)

V

Metodología
hacia edificios consumo Neto Zero

A) Eficiencia

¿Qué es la eficiencia?

Según la Real Academia Española (2020), eficiencia se define como la:

«Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado»

«La eficiencia técnica examina la relación entre el producto o resultado generado y la cantidad de un determinado insumo utilizado en su generación. Algunas definiciones señalan que la eficiencia técnica mide la relación entre el producto y la energía utilizada en su producción.» (Mokate, 1999, p. 6) La eficiencia puede relacionarse con un menor consumo de energía con relación al trabajo.

¿Cómo definimos la eficiencia en consumo hídrico, si este es esencial para la supervivencia del ser humano? La respuesta puede resolverse con otra pregunta ¿Cuál es la cantidad mínima que las personas necesitan para llevar a cabo sus actividades y/o consumos diarios? En la medida en la que el ser humano valore y disponga del recurso, podrá hacer un consumo responsable del mismo. Según EPA, «la eficiencia del agua es el uso inteligente de nuestros recursos hídricos a través de tecnologías de ahorro de agua y pasos simples que todos podemos tomar en el día a día. El uso eficiente del agua ayudará a garantizar un suministro de agua confiable hoy y para las generaciones futuras».

Al trasladar este concepto a la eficiencia en consumo hídrico para el entorno construido, puede interpretarse como aquel capaz de imitar los sistemas y ciclos naturales del agua, utilizando únicamente la que se necesita, y devolviendo a las fuentes naturales, en el caso de la naturaleza, a través de la permeabilidad y evapotranspiración. Es necesario establecer una línea base, en la cual basar un caso de mejora, determinar qué tan eficiente es un proyecto en relación con otros, en el contexto guatemalteco.

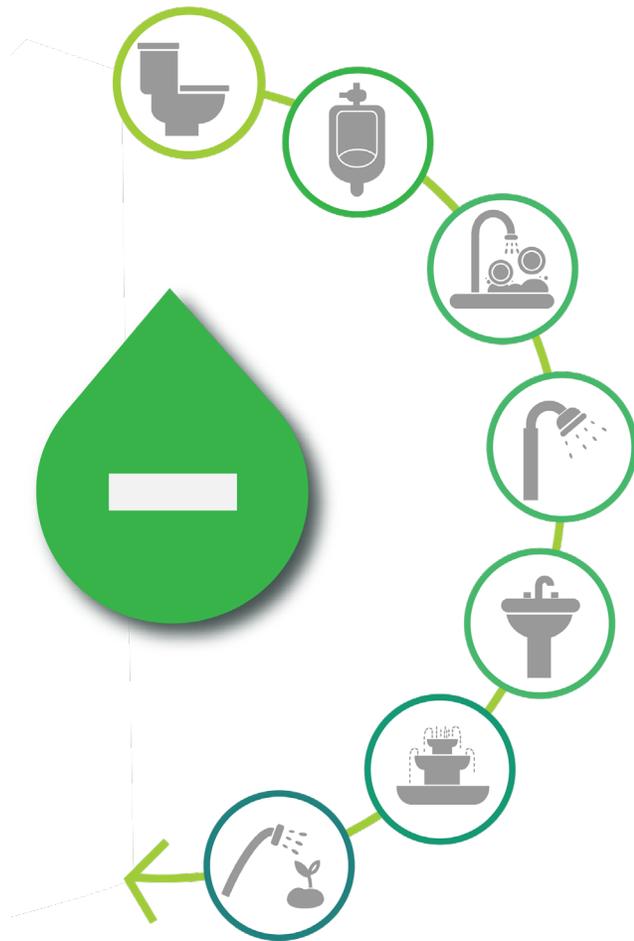


Imagen No.16: Artefactos en el consumo de agua
Fuente: Elaboración propia (2020)

¿Por qué es esto importante para los edificios?

A medida que se expande el desarrollo residencial, comercial, industrial y de otros tipos, también lo hace el uso del suministro limitado de agua potable (agua apta para el consumo); la mayoría de los edificios dependen de las fuentes municipales de agua potable para satisfacer sus necesidades, desde inodoros hasta lavado de platos y riego de jardines. La alta demanda agota los suministros y, en condiciones extremas, es necesario racionar el agua. Además, grandes cantidades de aguas residuales pueden abrumar las instalaciones de tratamiento, y el desbordamiento no tratado puede contaminar ríos, lagos y la capa freática con bacterias, nitrógeno, metales tóxicos y otros contaminantes. Para evitar este daño al ecosistema, se deben construir instalaciones municipales adicionales de suministro y tratamiento, a costo público. El bombeo y el tratamiento del agua, tanto dentro, como fuera del proyecto, también requieren energía, cuya producción genera emisiones adicionales de gases de efecto invernadero.

¿Cuáles son las estrategias que aumentan la eficiencia del agua?

La construcción ecológica fomenta estrategias innovadoras de ahorro de agua que ayudan a los proyectos a utilizar el agua de manera inteligente. Los equipos del proyecto pueden seguir un proceso integrado para comenzar a evaluar los recursos hídricos existentes, las oportunidades para reducir la demanda de agua y los suministros de agua alternativos. Las estrategias efectivas incluyen



Ilustración No.17: Estrategias en el uso eficiente del agua y factores que afectan la eficiencia
Fuente: Elaboración propia (2020)

B) ¿Qué representa el balance hídrico en una edificación?

Un proyecto que posee una «integración del balance hídrico» es un proyecto capaz de manejar el agua superficial de manera eficiente, tratando de replicar los ciclos naturales del agua de lluvia, y por ende, hacer un uso razonable del recurso de tal forma que sus sistemas de abastecimiento, descarga, manejo de escorrentía y aprovechamiento, permite generar un «circuito cerrado» permitiendo reducir o eliminar la dependencia de fuentes municipales, preservar las aguas naturales subterráneas e incluso devolver los excedentes para aumentar la permeabilidad potencial del sitio.

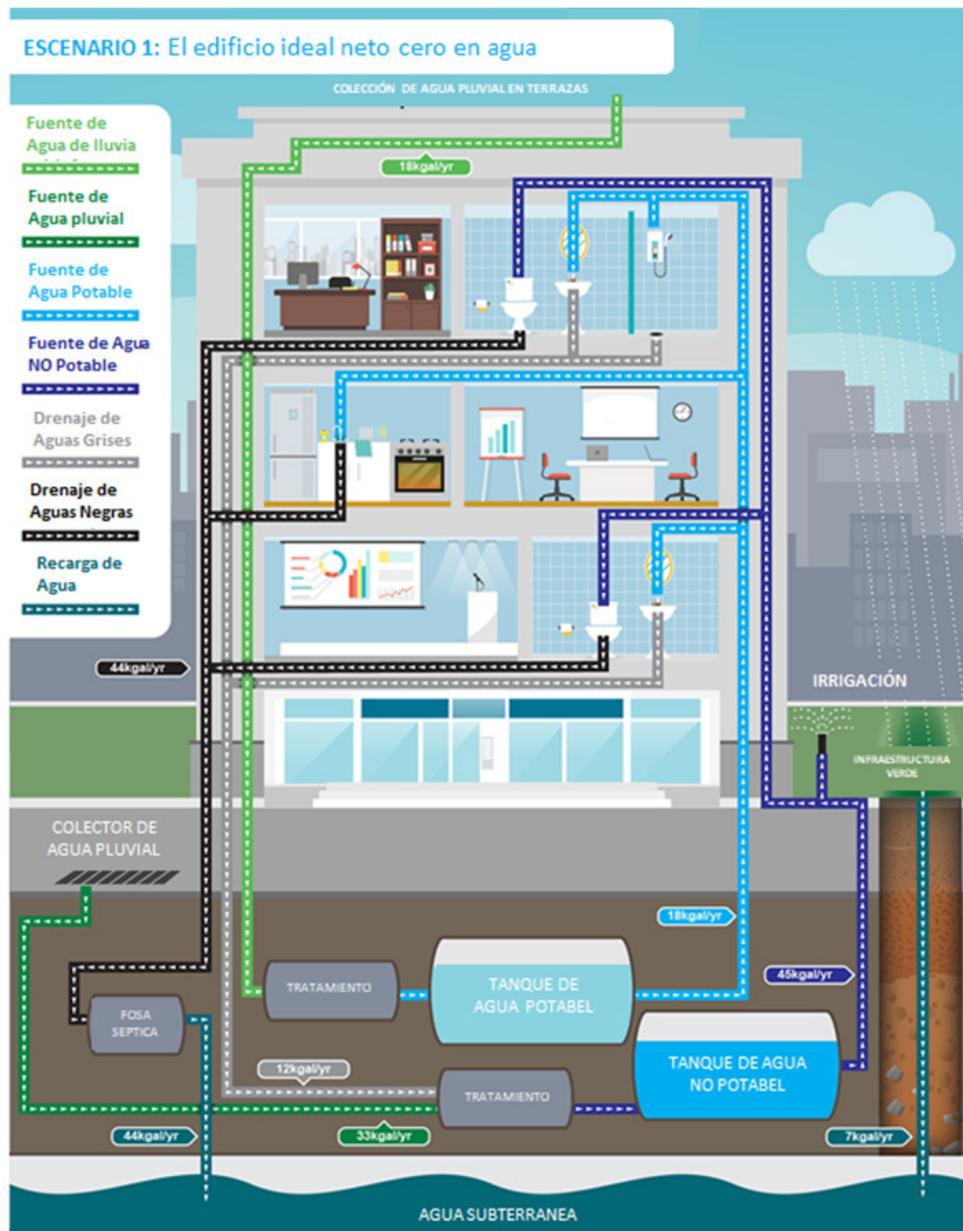
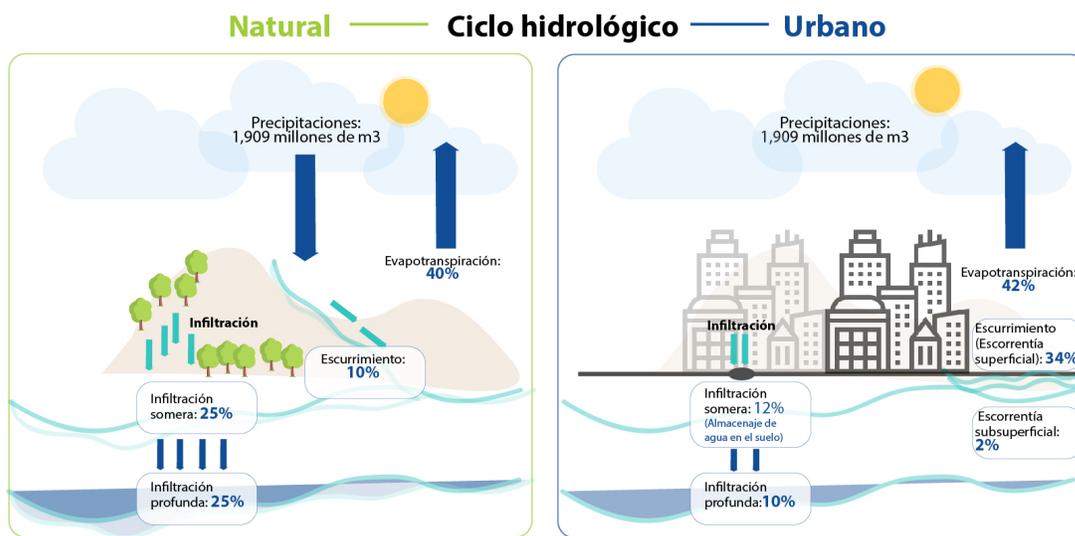


Ilustración No.18: El edificio ideal neto cero en agua
Fuente: World GBC (2020)

1) Balance hídrico superficial

Para Pladeyra (2003), la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca, requieren de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender las diferentes fases del ciclo hidrológico, incluyendo la forma en que el agua que se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración. (Ordoñez, 2011, p.20)

Del Balance Hidrológico, podemos conocer el estado de humedad de la cuenca, la cual está asociado al aporte de precipitación recibida y descontando las pérdidas generadas, estamos en la condición de clasificar el tipo de año (húmedo, normal o seco). Esto permitirá planificar el recurso hídrico, en base a las demandas. (Idem)



Zona metropolitana, incluyendo las subcuencas Xayá y Pixcayá (IARNA, 2013)

Ilustración No.19: Comparación del ciclo hidrológico en un estado natural y en RGM
Fuente: Elaboración propia, según Dr José Arturo Gleason/IITAC. Agua.org. y IARNA, 2013

En el gráfico puede observarse la comparación entre los porcentajes de agua en un Ciclo Hidrológico natural, versus aquel que se ve modificado debido al desarrollo urbano, de los 1,909 millones de m3 en precipitaciones en la zona metropolitana, incluyendo las subcuencas de Xayá y Pixcayá (IARNA, 2013), la evapotranspiración, según reportes presentados por IARNA y FUNCAGUA, puede encontrarse en un rango de 30% a 40% en áreas naturales, es de suma importancia preservar las áreas naturales que ayudan a mantener la evapotranspiración ya que ayudan a la regulación del balance y redistribución del ciclo hidrológico, proceso encargado de devolver el agua superficial a la atmósfera y por ende al ciclo natural. En el caso de la RMG, esta se encuentra dentro de este rango, debido a los barrancos en áreas urbana, la escorrentía debido a la impermeabilización de suelos es triplicada de un 10% a un 34%, afectando su infiltración y almacenamiento de agua en el suelo, de un 25% a un 12%, afectando drásticamente el recurso hídrico que llega a los mantos freáticos, de un 25% de infiltración profunda a un 10%.

2) Definiciones de componentes

Los componentes clave para las instalaciones de agua de un edificio, se originan desde las fuentes de abastecimiento municipales, en el caso del RMG, puede evaluarse la situación de los hogares por tipo de abastecimiento de agua y sectores.

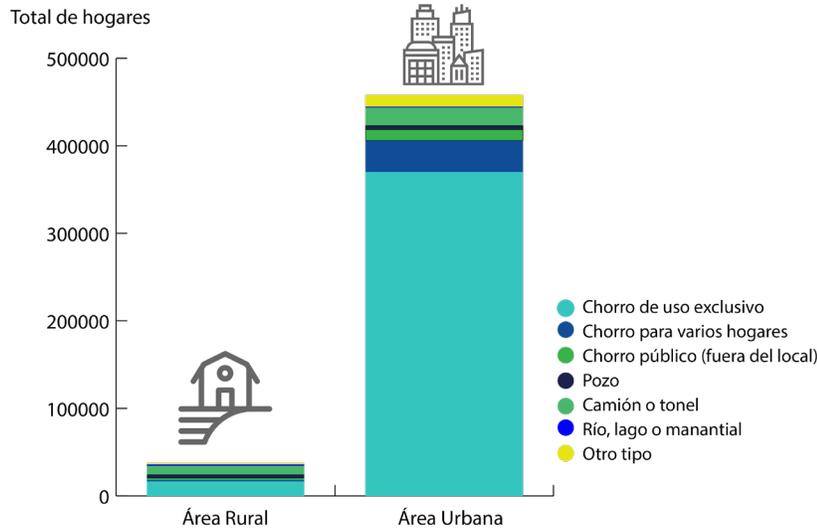


Ilustración No.20: Total de hogares y sus fuentes de abastecimiento del recurso hídrico en la RMG
Fuente: Elaboración propia según Censo de población y habitación 2002, INE.

Definición de conceptos:



Ilustración No.21: Diagrama de fuente y disposición del recurso hídrico en Guatemala
Fuente: Elaboración propia con base en García (2017)

C) Diseño eficiente de consumo hídrico

Para diseñar de forma eficiente el sistema de consumo hídrico de una edificación, debe seguirse una serie de pasos que permitan determinar la línea base de consumo, según el uso o tipología de la edificación y los patrones de uso de los distintos componentes y los artefactos sanitarios utilizados. Existen diversas rutas para determinar la ocupación de los proyectos, la demanda hídrica, y por consiguiente la línea base de consumo y una propuesta de mejora; a continuación, se presentan dichos pasos acompañados por ejemplos explicativos, tomando como base el siguiente proyecto conceptual.

Proyecto:

Tipología: Mixto

- Nivel 1: comercios
- Nivel 2-6: residencial
- Terreno: 2038 m²
- M² de construcción: 793m² x nivel
- Apartamentos: 60m²
 - 2 dormitorios
 - 2 baños completos
 - Cocina
 - Sala
 - Comedor
- Estacionamiento: 946 m²
- Jardín: 242m²
- Acera: 57 m²

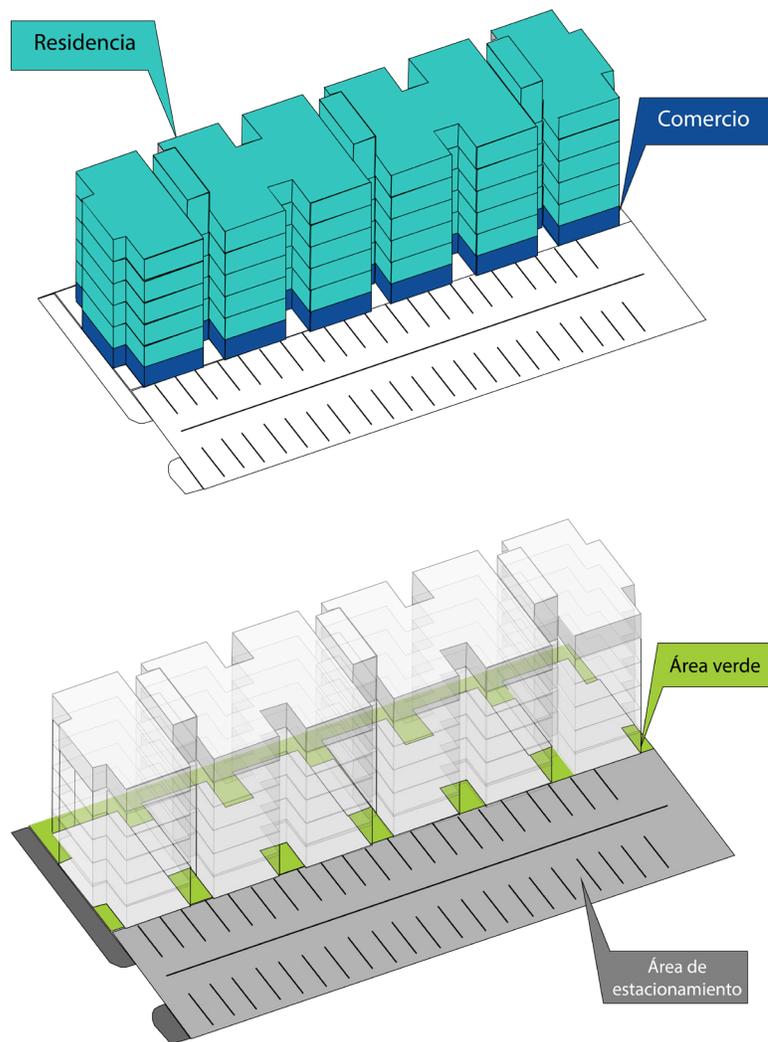
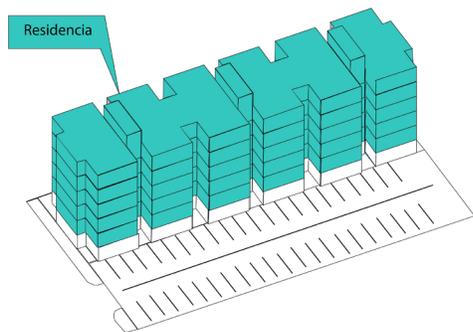
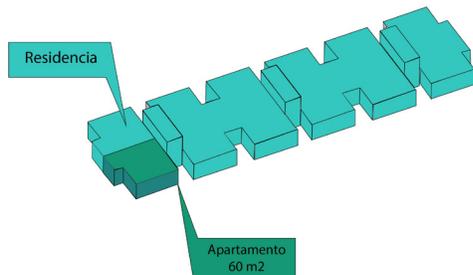


Ilustración No.22: Proyecto de uso mixto utilizado en ejercicios de Balance Hídrico
Fuente: Elaboración propia (2020)

1) Carga ocupacional

El primer paso para el diseño eficiente del consumo hídrico, es diseñar los sistemas de consumo hídrico de acorde a la carga ocupacional más precisa según el tipo de edificación y su carga ocupacional máxima.

Pasos para determinar el número de ocupantes del área residencial (RE) según los datos del proyecto, en este caso:



Residencia
Nivel 2-6

- Área apartamento: 60 m2
- 2 Personas x dormitorio
- 2 dormitorios x apartamento = 3-4 personas x apartamento.
- Valor proyectado por apartamento = 3.5 se utiliza el promedio para el cálculo.
- 12 apartamentos por nivel
- 5 niveles residenciales en el edificio
-

$$Co (RE) = 12 \text{ no. de aptos} * 5 \text{ no. niveles} * 3.5 \text{ promedio ocupantes}$$

$$Co (RE) = 210 \text{ ocupantes}$$

Para determinar la carga de ocupación de otros tipos de uso, puede seguirse el procedimiento establecido en la NRD2

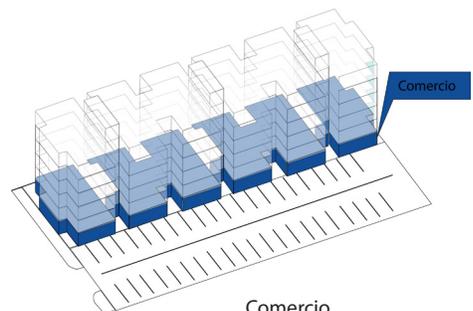
En el Manual de uso para la «Norma de Reducción de Desastres Número Dos (NRD2)», se establecen los lineamientos locales para calcular la «Carga de Ocupación (Co)», dependiendo del tipo de proyecto, para este cálculo se debe presumir que todas las partes del edificio están ocupadas al mismo tiempo. (CONRED, 2019, p.9-13)

El cálculo es el siguiente:

Sin asientos fijos:

$$Co \text{ Máxima} = \frac{\text{Área (m2)}}{\text{Factor de Carga de Ocupación, según el Uso* (Ver Tabla 1, p.13)}}$$

*Se refiere al tipo de servicio que va a prestar un edificio, parte del edificio o instalación



Comercio
Nivel 1

En este caso:

$$Co \text{ Máxima (Área comercial (CO))} = 397 \text{ m2} / (9.3)^*$$

$$Co \text{ Máxima (Área comercial)} = 42.6 \text{ visitantes}$$

*Se utilizó el factor de «Otros usos: 9.3». Según la Tabla No. 1 NRD2.

Ilustración No.23: Proyecto de uso mixto utilizado en ejercicios de Balance Hídrico
Fuente: Elaboración propia (2020)

En segundo caso, cuando no se conoce la carga de ocupación real de un proyecto, puede establecerse este consumo en base al tiempo laboral de los ocupantes de una edificación, a través los FTE (Full time equivalent) estas siglas corresponden a el Equivalente a tiempo completo.

Los FTEs son las horas trabajadas por un empleado a tiempo completo. El concepto se utiliza para convertir las horas trabajadas por varios empleados a tiempo parcial en las horas trabajadas por empleados a tiempo completo. Sobre una base anual, se considera que un FTE es de 2080 horas, que se calcula como:

$$8 \text{ horas al día} \times 5 \text{ días laborables a la semana} \times 52 \text{ semanas al año} = 2080 \text{ horas al año}$$

En los Cálculos de ocupación, se suman todas las horas laborales completos y medios tiempos, dentro de 8, el resultado es cantidad de FTEs.

En este caso: se establecen los FTES de los trabajadores en locales comerciales

- Primer nivel: 700m2
- Cantidad de comercios (30m2): 12 locales
- 12 trabajadores de tiempo completo
- Horario laboral de: 09:00 - 17:00 hrs (1 hora de almuerzo) = 7 horas laborales diarias

Fórmula: $FTEs = (A \times B) / C$

- A = Trabajadores
- B = Horas laborales diarias
- C = Jornada laboral diaria

$$FTE's = (12 \times 7) / 8 = 10.5$$

Cálculo FTE's		
Paso No.		
1	Cantidad de personas que laboran en la unidad.	12
2	Cantidad de horas laborales diarias totales de la unidad. (7 horas x persona)	84
3	Cantidad de FTEs totales de la unidad.	84/8 = 10.5

Cuando una empresa emplea una cantidad significativa de personal a tiempo parcial, puede ser útil convertir sus horas trabajadas en equivalentes a tiempo completo, para ver a cuántos empleados a tiempo completo se equiparan. En espacios como hoteles, hospitales y residencias, puede contarse el número de camas o habitaciones.

TABLA RESUMEN OCUPANTES EDIFICIO

Residencia (RE) = 210 ocupantes
 Comercio (CO) visitantes = 42.6
 Empleados (FTEs) = 10.5

2) Diseño de artefactos

El diseño de instalaciones hidráulicas y sanitarias, se ve directamente relacionado con las especificaciones de los artefactos. En el documento «International Plumbing Code» (2015) se establecen parámetros y consideraciones técnicas para instalaciones hidráulicas e hidrosanitarias. (p.1) El sistema llevará la identificación del fabricante y cualquier marca requerida por las normas de referencia aplicables. Todos los materiales utilizados deben ser instalados en estricta conformidad con las normas bajo las cuales los materiales son aceptados y aprobados. En ausencia de tales procedimientos de instalación, las instrucciones del fabricante se seguirán. (p.17)

Cálculo de accesorios:

- Para determinar el número requerido de artefactos, la relación o las proporciones de cada tipo de artefacto se aplicará a la carga de ocupantes de cada sexo de acuerdo con la Tabla 403.1
- Los números fraccionarios que resulten de aplicar las proporciones de accesorios de la Tabla 403.1 se redondeará al siguiente número entero.
- Para los cálculos que involucran múltiples ocupaciones, dichos números fraccionarios para cada ocupación se sumarán primero y luego se redondeará al siguiente número entero.
- Para determinar la carga de ocupantes de cada sexo, la carga total de ocupantes se dividirá por la mitad.

*Excepción: No se requerirá que la carga total de ocupantes se divida por la mitad cuando los datos estadísticos aprobados indiquen una distribución de los sexos que no sean 50 por ciento de cada sexo.

Según la tabla No. X por el International Plumbing Code, en este caso lo artefactos mínimos para los usos del ejercicio son:

7, R-2) Residencial, edificio de apartamentos =
mínimo 1 inodoro, lavamanos, ducha y fregadero de cocina x apartamento
más 1 conexión para lavadora de ropa por cada 20 viviendas.

2) Business (Comercio)=
Inodoros = 1 por cada 25, en este caso son 10, se requiere 1 inodoro
Lavamanos = 1 por cada 40, en este caso son 10, se requiere 1 inodoro
Ducha no se necesita
Bebederos = 1 por cada 1,000 personas, se requiere 1 bebedero
Lavamanos de servicio = 1

El documento «International Plumbing Code» (2015), presenta una línea base para calcular la cantidad de artefactos sanitarios mínimos, dependiendo de la tipología del proyecto, resaltando la tendencia actual a sobrediseñar, la cantidad de artefactos, aunque mayor cantidad de artefactos no representa mayor consumo, la relación costo/beneficio puede mejorarse con un diseño inteligente y con un cálculo adecuado para tener “mejores mínimos” y diseñar mejor los espacios.

Tabla No. 1. Número mínimo de accesorios de plomería necesarios

Número	Clasificación	Ocupación	Descripción	Inodoros (urinarios: consulte la sección 419.2)		Lavamanos		Tina/ducha	Bebederos (consultar sección 410)	Otros
				Masculino	Femenino	Masculino	Femenino			
1 (cont.)	Montaje	A-4	Coliseos, estadios, pistas de patinaje, piscinas y canchas de tenis para eventos y actividades deportivas bajo techo	1 por cada 75 (para los primeros 1.500 y 1 por cada 120 (al sobrepasar los 1.500)	1 por cada 40 (para los primeros 1.520 y 1 por cada 60 (al sobrepasar los 1.520)	1 por 200	1 por 150	-	1 por cada 1,000 personas	1 lavamanos de servicio
		A-5	Estadios, parques de atracciones, gradas y tribunas para eventos y actividades deportivas al aire libre	1 por cada 75 (para los primeros 1.500 y 1 por cada 120 (al sobrepasar los 1.500)	1 por cada 40 (para los primeros 1.520 y 1 por cada 60 (al sobrepasar los 1.520)	1 por 200	1 por 150	-	1 por cada 1,000 personas	1 lavamanos de servicio
2	Business	B	Edificios para la transacción de negocios, servicios profesionales, otros servicios relacionados con mercancías, edificios de oficinas, bancos, industria ligera y usos similares.	1 por cada 25 (para los primeros 50 y 1 por cada 50 (al sobrepasar los 50)		1 por cada 40 (para los primeros 80) y 1 por cada 80 (por los casa 80 al sobrepasarlos)		-	1 por cada 100	1 lavamanos de servicio
3	Educacional	E	Instalaciones educativas	1 por cada 50		1 por cada 50		-	1 por cada 100	1 lavamanos de servicio
4	Fábrica e industria	F-1 y F-2	Estructuras en las que los ocupantes se dedican a labores de fabricación de montaje o procesamiento de productos de materiales	1 por cada 100		1 por cada 100		(Consultar sección 411)	1 por cada 400	1 lavamanos de servicio
5	Institucional	I-1	Atención residencial	1 por cada 10		1 por cada 10		1 por cada 8	1 por cada 100	1 lavamanos de servicio
		I-2	Hospitales, destinatario de cuidados en hogares de ancianos ambulatorios	1 por cada cuarto		1 por cada cuarto		1 por cada 15	1 por cada 100	1 lavamanos de servicio
			Empleados, que no sean cuidados residenciales	1 por cada 25		1 por cada 35		-	1 por cada 100	-
			Visitantes que no sean cuidados residenciales	1 por cada 75		1 por cada 100		-	1 por cada 500	-
		I-3	Prisiones	1 por cada celda		1 por cada celda		1 por cada 15	1 por cada 100	1 lavamanos de servicio
			Reformatorios, centros de detención y centros correccionales	1 por cada 15		1 por cada 15		1 por cada 15	1 por cada 100	1 lavamanos de servicio
I-4	Empleados	1 por cada 25		1 por cada 35		-	1 por cada 100	-		
I-4	Cuidados para el adulto mayor y "day care"	1 por cada 15		1 por cada 15		1	1 por cada 100	1 lavamanos de servicio		
6	Mercantil	M	Tiendas minoristas, estaciones de servicio, tiendas, salas de ventas, mercados y centros comerciales	1 por cada 500		1 por cada 700		-	1 por cada 1000	1 lavamanos de servicio
7	Residencial	R-1	Hoteles, moteles, pensiones (transitorios)	1 por unidad de dormir		1 por unidad de dormir		1 por unidad de dormir	-	1 lavamanos de servicio
		R-2	Dormitorios, fraternidades, hermandades y pensiones (no transitorio)	1 por cada 10		1 por cada 10		1 por cada 8	1 por cada 100	1 lavamanos de servicio
		R-2	Edificio de apartamentos	1 por unidad de vivienda		1 por unidad de vivienda		1 por unidad de vivienda	-	1 fregadero de cocina por unidad de vivienda; 1 conexión automática para lavadora de ropa por cada 20 viviendas.
		R-3	Instalaciones de convivencia con 16 personas o menos	1 por cada 10		1 por cada 10		1 por cada 8	1 por cada 8	1 lavamanos de servicio
		R-3	Casas de vivienda y alojamiento para una y dos familias con habitaciones (tipo lodge) o menos	1 por unidad de vivienda		1 por unidad de vivienda		1 por unidad de vivienda	-	1 fregadero de cocina por unidad de vivienda; 1 conexión automática para lavadora de ropa por cada 20 viviendas.
		R-4	Instalaciones de vivienda congregadas con 16 personas o menos	1 por cada 10		1 por cada 10		1 por cada 8	1 por cada 100	1 lavamanos de servicio
8	Almacenamiento	S-1 y S-2	Estructuras para el almacenamiento de mercancías, almacenes, almacenes-casas y depósitos de mercancías. Riesgo bajo y moderado	1 por cada 100		1 por cada 100		Consultar la Sección 411	1 por cada 1000	1 lavamanos de servicio

Fuente: International Plumbing Code, 2015, pág. 25-27

- A. Las luminarias se basan en una luminaria siendo el mínimo requerido para el número de personas indicado o cualquier fracción del número de personas indicado. El número de ocupantes que compartirá lo determinará el Código Internacional de la Construcción.
- B. Las instalaciones sanitarias para los empleados estarán separadas de las instalaciones para los reclusos o los beneficiarios de cuidados.
- C. Se permitirá un baño para un solo ocupante con un inodoro y un lavabo que sirva a no más de dos unidades adyacentes para dormir para pacientes, siempre que cada unidad para dormir para pacientes tengan acceso directo a la sala de baño y se proporcionen disposiciones para la privacidad del usuario del baño.
- D. La carga de ocupantes para las áreas de entretenimiento y asientos al aire libre de temporada se incluirá al determinar el número mínimo de instalaciones requeridas.
- E. Para ocupaciones comerciales y comerciales con una carga de ocupantes de 15 o menos, no se requerirán lavabos de servicio.

3) Determinando la línea base

La demanda de recurso hídrico va directamente relacionada con el tipo de proyectos. La demanda total de agua de un proyecto es el volumen que consume cualquier edificación para atender las necesidades de sus ocupantes y sus procesos de operación. Todo cálculo para el abastecimiento de agua potable de un proyecto está relacionado a la dotación requerida por las entidades gubernamentales o municipales pertinentes. En el caso de Guatemala, la Ciudad de Guatemala cuenta con una serie de dotaciones requeridas por la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) para distintas tipologías de proyectos, basadas en los criterios establecidos por el Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable en México, y por Las Normas Técnicas para Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillados de Aguas Negras. Estas dotaciones están establecidas en la “Guía de Requisitos para la Evaluación de Sistemas de Agua y Alcantarillado de Proyectos en la Ciudad de Guatemala”, y son, hoy en día, el indicador base del cual se puede partir para determinar la eficiencia o sobreexplotación del recurso hídrico, ya sea por fuentes municipales o por cuerpos naturales.

Tabla No. 2: Dotaciones de agua potable según el tipo de Proyecto:

Tipo	Factor
Doméstico	1 dormitorio = 500 L/apartamento/día
Residenciales (>700 m2)	2 dormitorios = 850 L/apartamento/día
Urbanizaciones	3 dormitorios = 1200 L/apartamento/día
Apartamentos o vivienda multifamiliar (200 L/hab/día)	4 dormitorios = 1350/apartamento /día
Hoteles	
Hoteles 4-5 (estrellas) Gran turismo	500 litros/persona/día
Hoteles 2-3 (estrellas) Moteles	350 litros/persona/día
Hoteles 1 (estrella) Posada	200 litros/persona/día
Empleados	70 litros/persona/día
Salones	30 litros/persona/día
Centro de convenciones	5 litros/persona/día
Jardín	5 litros/m2/día
Restaurantes	
Restaurante convencional < 100 m2	40 litros/m2/día
Restaurante convencional > 100 m2	50 litros/m2/día
Jardines	5 litros/m2/día
Estacionamiento	2 litros/m2/día
Comercio	
Venta de producto y bodegas de almacén < 100 m2	10 litros/m2/día
> 100 m2	20 litros/m2/día
Centros comerciales	
Sin área de restaurantes	20 litros/m2/día
Espectáculos	
Cines	5 litros/persona/día
Teatros	
Centros de espectáculos	3 litros/asiento/día
Clínicas	
Hospitales	1000 litros/cama/día
Sanatorios	500 litros/persona/día
Clínicas médicas	500 litros/consultorio/día
Clínicas dentales	1000 litros/consultorio/día
Oficinas	6 litros/m2/día
Gasolinera	
Tienda de conveniencia	20 litros/m2/día
Bombas	800 litros/bomba/día
Supermercados	
Tienda	20 litros/m2/día
Bodega almacenaje en seco	1 litros/m2/día
Ofi-bodegas	
Oficinas	6 litros/m2/día
Comercio	6 litros/m2/día
Bodega almacenaje en seco	0.5 litros/m2/día

Fuente: “Guía de Requisitos para la Evaluación de Sistemas de Agua y Alcantarillado de Proyectos en la Ciudad de Guatemala” EMPAGUA (2018)

TABLA RESUMEN OCUPANTES EDIFICIO

Residencia (RE) = 210 ocupantes
 Comercio (CO) visitantes = 42.6
 Empleados (FTEs) = 10.5

En este caso:
 Apartamento: 200 L/hab/día X 210 ocupantes X 365 = 7,665,000 L/año

Categorización de proyectos

Identificar una línea base, permite a un proyecto establecer metas de ahorro y conservación del agua, a través de la generación de indicadores basados en su ocupación, tamaño, y / o procesos industriales o de operación. Así como las dotaciones de agua potable son establecidas por la tipología de un proyecto, estos indicadores también están relacionados al uso final del mismo. Por ejemplo, los edificios de oficinas por lo general carecen de grandes instalaciones de lavandería o cocinas, y el agua se utiliza para otros fines acorde su uso y su carga de ocupación, cómo lo pueden ser los sistemas de refrigeración de aire acondicionado, sanitarios y mantenimiento de áreas verdes. Por el contrario, en un restaurante los fregaderos y los lavavajillas de las cocinas dominan el uso final del agua.

Es posible entonces utilizar indicadores de uso final del agua entubada para ayudar a los equipos de proyecto a identificar a los principales usuarios de agua y evaluar la rentabilidad de las estrategias de conservación específicas, ya sea a través de accesorios de bajo consumo, tecnología de riego, sistemas de torres de enfriamiento eficientes, o bien tratamiento, recolección y recirculación de agua.

Definir las distintas tipologías de proyectos y edificaciones acorde al uso final de agua, y establecer una línea base para cada una de esas tipologías permite categorizar proyectos basado en sus indicadores de eficiencia, o sobreexplotación del recurso. Esta metodología de categorización, puede ser una herramienta de referencia que permitan al sector gubernamental y municipalidades, a establecer normas e incentivos en relación a la dotación y el consumo del agua, así cómo al sector privado a establecer metas de ahorro y buscar alcanzar indicadores de consumo de agua cada vez más eficiente.

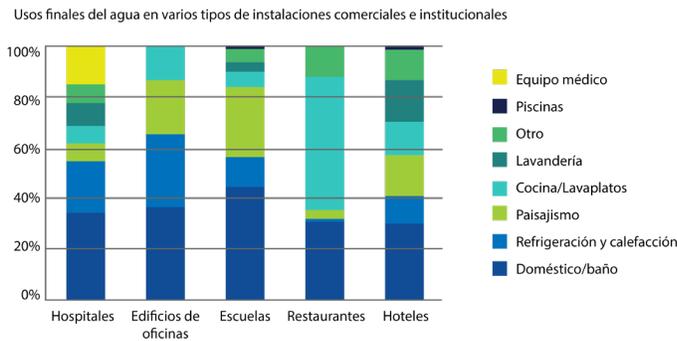
Tabal No. 3: Propuesta de Categorización de proyectos según su impacto hídrico

Tipo de Proyecto	Consumo de agua					
	E	D	C	B	A	
	Bajo Impacto	Impacto moderado	Medio / Línea Base	Alto Impacto	Muy Alto Impacto	
Residencial (RE)	100 lt / hab / día	150 lt / hab / día	200 lt / hab / día	300 lt / hab / día	400 lt / hab / día	
Oficinas (O)	3 litros / m2 / día	4.5 litros / m2 / día	6 litros / m2 / día	9 litros / m2 / día	12 litros / m2 / día	
Comercio (CO)	10 litros / m2 / día	15 litros / m2 / día	20 litros / m2 / día	25 litros / m2 / día	30 litros / m2 / día	
Restaurantes (R)	20 litros / m2 / día	30 litros / m2 / día	40 litros / m2 / día	60 litros / m2 / día	80 litros / m2 / día	
Hospitalarios (CH)	Encamamiento	500 litros / cama / día	750 litros / cama / día	1,000 litros / cama / día	1,500 litros / cama / día	2,000 litros / cama / día
	Clinicas de Consulta Médica	500 litros / clinica / día	750 litros / clinica / día	1,000 litros / clinica / día	1,500 litros / clinica / día	2,000 litros / cama / día
Hotels (HO)	Posadas / Hostales	100 lt / persona / día	150 lt / persona / día	200 lt / persona / día	300 lt / persona / día	400 lt / persona / día
	2 - 5 Estrellas	175 litros / persona / día	250 litros / persona / día	350 litros / persona / día	525 litros / persona / día	700 litros / persona / día
Entretenimiento / Espectáculo (E)	2.5 litros / persona / día	3.75 litros / persona / día	5 litros / persona / día	7.5 litros / persona / día	10 litros / persona / día	
Centros Educativos (CE)	57 litros / persona / día	85 litros / persona / día	115 litros / ocupante / día	172 litros / persona / día	230 litros / persona / día	
Industria (I)	Sin consumo industrial de agua	5 litros / m2 / día	7.5 litros / m2 / día	10 litros / m2 / día	15 litros / m2 / día	20 litros / m2 / día
	Con consumo industrial de agua	* Los proyectos con consumo de agua para procesos industriales deben ser dotados según su volumen de agua por unidad de producción, por lo que su eficiencia debe ser medida en el tiempo según su línea base				

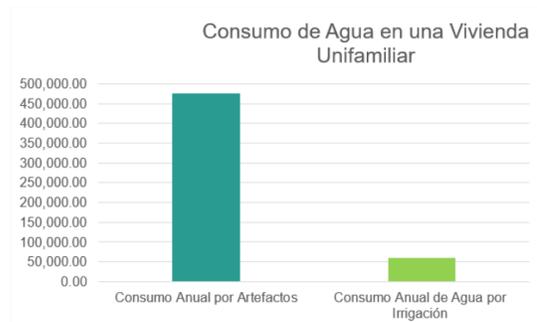
Fuente: Guatemala Green Building Council (2020)

4) Artefactos eficientes

Los accesorios y equipos sanitarios en baños y lavanderías pueden representar casi el 50% del uso total de agua dentro de una instalación comercial o institucional, y casi un 80% en el caso de una vivienda, variando según la carga de ocupación y tipo de proyecto residencial.



Fuente: "Water Sense at Work, Best Management Practices for Commercial and Institutional Facilities" EPA (2012)



Fuente: Caso de Estudio Vivienda Unifamiliar, GGBC (2020)

El consumo hídrico en el entorno construido, tiene un impacto global en su disponibilidad alrededor del mundo. Desde 1992, a través de la Ley de Política Energética de Estados Unidos (EPA) se estableció el volumen de consumo y descarga máximo para artefactos sanitarios (Water Sense At Work, 2012, p. 3-4). La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) a través del programa WaterSense® (lanzado en 2006) publicó las especificaciones necesarias para certificar productos en el uso eficiente del agua. Los productos etiquetados por WaterSense, están certificados independientemente para usar al menos un 20% menos de agua por sobre la línea base establecida en 1992 por la EPA. Estos programas se centran en incentivar prácticas de uso eficiente del agua por parte de profesionales. (EPA Watersense, 2012, p.1).

En la Ciudad de Guatemala, en el 2020 entra en vigencia la gobernanza municipal (Acuerdo No. COM-24-2020) para la instalación de artefactos sanitarios ahorradores de agua, la cual establece una línea base local de consumo por artefacto. Basado en la línea base utilizada por Watersense, este acuerdo busca promover el ahorro de agua a través de artefactos sanitarios para nuevos proyectos. (Ver Tabla No. 4) (Consulta el Acuerdo No. COM-24-2020 en: <https://bit.ly/2DiTQJ8>)

Tabla No. 4: Propuesta de Categorización GGBC para poder categorizar los consumos de varios tipos de proyecto, dependiendo de su consumo, mejoras en base a su línea base específica.

Artefacto	Línea base	20%	30%	35%	40%	45%
Inodoro	6.0 lpd	4.8 lpd	4.2 lpd	3.9 lpd	3.6 lpd	3.3 lpd
Urinal	3.8 lpd	3.0 lpd	2.7 lpd	2.5 lpd	2.3 lpd	2.1 lpd
Lavamanos	8.3 lpm	6.7 lpm	5.8 lpm	5.4 lpm	5.0 lpm	4.6 lpm
Lavaplatos	8.3 lpm	6.7 lpm	5.8 lpm	5.4 lpm	5.0 lpm	4.6 lpm
Ducha	9.5 lpm	7.6 lpm	6.6 lpm	6.2 lpm	5.9 lpm	5.2 lpm

Fuente: Guatemala Green Building Council (2020)

Cálculo anual de agua

$$\text{Consumo anual de agua} = (\text{FTE's}) * (\text{uso/dd/pp}) * (\text{Consumo de agua por artefacto}) * 365$$

Tabla No. 5: Uso de accesorios predeterminados (proyectos no residenciales)

Usos de accesorios predeterminados (uso/dd/pp) para proyectos NO residenciales								
Tipo de artefacto	Tasa de flujo / descarga máxima instalada			Duración (seg)	Usos por día			
	IP	SI			Empleados (FTE)	Visitantes	Clientes minoristas	Estudiantes
Inodoro (Hombres)	1,6 gpf	6 lpf		n/a	1	0,1	0,1	1
Inodoro (Mujeres)	1,6 gpf	6 lpf		n/a	3	0,5	0,2	3
Urinal	1 gpm	3,8 lpm		n/a	2	0,4	0,1	2
Grifo de lavabo público (baño)	0,5 gpm	1,9 lpm		30	3	0,5	0,2	3
Grifo de lavabo privado (residencial)	2,2 gpm	8,3 lpm		60	0	0	0	0
Fregadero de cocina	2,2 gpm	8,3 lpm		15	1	0	0	0
Fregadero de cocina (residencial)	2,2 gpm	8,3 lpm		60	0	0	0	0
Ducha	2,5 gpm	9,5 lpm		300	0,1	0	0	0
Ducha (residencial)	2,5 gpm	9,5 lpm		480	0	0	0	0

Fuente: Basado en LEED, Reference Guide de Building Design and Construction (Tabla No. 8)

Tabla No. 6: Uso de accesorios predeterminados (proyectos residenciales)

Factor de uso por artefacto para proyectos residenciales (RE)	
Artefacto	uso/dd/pp
Inodoro	7
Ducha	1
Lavamanos	8
Lavaplatos	3

*uso/dd/pp = proyección de uso diario por persona

$$\text{CDT} = (\text{uso/dd/pp}) * (\text{LB}) * (\text{Co})$$

CDT = Consumo diario total por artefacto

uso/dd/pp = uso diario por persona

LB = Línea base por artefacto (El consumo es considerado cómo los litros por descarga o por tiempo de uso del artefacto, según sea el caso) (Ver Tabla No. 3)

Cdo = Carga de ocupación

Fuente: CASA (2020)

Paso No 1. Determinar el total de consumo por tipología del proyecto

Dependiendo del tipo de instalación y del número de ocupantes y visitantes, los accesorios y equipos sanitarios pueden brindar oportunidades significativas para ahorrar agua y energía.

Para establecer el consumo real y el consumo eficiente de una instalación es importante conocer la carga de ocupación, el factor de uso de los artefactos en una jornada completa y el consumo del artefacto.

Paso No 2: Determinar el consumo total de agua del proyecto

$$\text{Consumo total de agua} = 17.499.195,00 + 29.854,0 + 168.821,63 = \mathbf{17.697.870,71 \text{ lt/año}}$$

Paso No. 3: Ejercicio caso de diseño - línea mejorada

$$\text{Eficiencia} = 1 - (\text{Caso de Diseño} / \text{Línea Base del Edificio})$$

Ejercicio consumo diario por artefacto, según tipología

TABLA RESUMEN OCUPANTES EDIFICIO

Residencia (RE) = 210 ocupantes

Comercio (CO) visitantes = 42.6

Empleados (FTE's) = 10.5

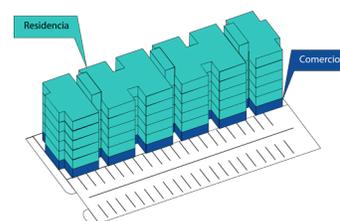
Para establecer la línea base mejorada, debe evaluarse el consumo de los artefactos, según su especificación técnica, dónde puede verse el consumo de artefactos ahorradores en comparación a la línea base establecida. Para más información sobre artefactos ahorradores en el mercado guatemalteco, consulta el catálogo verde del Guatemala Green Building Council (GGBC): <https://direccion730.wixsite.com/cvggbc>

Ejercicio del cálculo anual de agua para el área residencial y comercial

Residencia

LÍNEA BASE: Residencia (RE)					
Artefacto	uso/dd/pp	LB	Tiempo (t) (Minutos)	Co	CDT
Inodoro	7	6	-	210	8.820,00
Ducha	1	9,5	10	210	19.950,00
Lavamanos	8	8,3	1	210	13.944,00
Lavaplatos	3	8,3	3	210	15.687,00
CDT = (uso/dd/pp)(LB)*(Co)				Total	58.401,00
					Consumo Anual = 21.316.365,00

LÍNEA MEJORADA: Residencia (RE)					
Artefacto	uso/dd/pp	LB	tiempo (t) (Minutos)	Co	CDT
Inodoro	7	3,3	-	210	4.851,00
Ducha	1	4,2	10	210	8.820,00
Lavamanos	8	4,6	1	210	7.728,00
Lavaplatos	3	4,6	3	210	8.694,00
CDT = (uso/dd/pp)(LB)*(Co)				Total	30.093,00
					Consumo Anual = 10.983.945,00



Datos de interés (RE):

Lt/hab/día (línea mejorada)
= 143.3

Eficiencia:

$1 - (10,983,945.00 / 21,316,365.00)$
= 48,47%

Comercio

LÍNEA BASE: Área Comercial (CO)					
Clientes minoristas					
Artefacto	uso/dd/pp	LB	Tiempo (t) (Minutos)	Co*	CDT
Inodoro (Hombres)	0,1	6	-	21,3	12,78
Inodoro (Mujeres)	0,2	6	-	21,3	25,56
Urinal	0,1	3,8	-	21,3	8,09
Grifo de lavabo público	0,2	8,3	0,5	42,6	35,36
CDT = (uso/dd/pp)(LB)*(Co)				Total	81,79
					Consumo Anual = 29.854,08
Empleados (FTE's)					
Artefacto	uso/dd/pp	LB	Tiempo (t) (Minutos)	Co*	CDT
Inodoro (Hombres)	1	6	-	10,5	63,00
Inodoro (Mujeres)	3	6	-	10,5	189,00
Urinal	2	3,8	-	10,5	79,80
Grifo de lavabo público	3	8,3	0,5	10,5	130,73
CDT = (uso/dd/pp)(LB)*(Co)				Total	462,53
					Consumo Anual = 168.821,63
*Co (Total) = 42.6 (total)/2 = 21.3 (hombres) y 21.3 (mujeres)					
TOTAL					21.515.040,71

LÍNEA MEJORADA: Área Comercial (CO)					
Clientes minoristas					
Artefacto	uso/dd/pp	Consumo de artefacto eficiente	tiempo (t) (Minutos)	Co*	CDT
Inodoro (Hombres)	0,1	3,6	-	21,3	7,67
Inodoro (Mujeres)	0,2	3,6	-	21,3	15,34
Urinal	0,1	2,3	-	21,3	4,90
Grifo de lavabo público	0,2	5	0,5	42,6	21,30
CDT = (uso/dd/pp)(LB)*(Co)				Total	49,20
					Consumo Anual = 17.959,10
Empleados (FTE's)					
Artefacto	uso/dd/pp	Consumo de artefacto eficiente	tiempo (t) (Minutos)	Co*	CDT
Inodoro (Hombres)	1	3,6	-	10,5	37,80
Inodoro (Mujeres)	3	3,6	-	10,5	113,40
Urinal	2	2,3	-	10,5	48,30
Grifo de lavabo público	3	5	0,5	10,5	78,75
CDT = (uso/dd/pp)(LB)*(Co)				Total	278,25
					Consumo Anual = 101.561,25
*Co (Total) = 42.6 (total)/2 = 21.3 (hombres) y 21.3 (mujeres)					
TOTAL					11.103.465,35

Datos de interés (CO):

Lt/hab/día (línea mejorada)
= 28.31

Eficiencia:

$1 - (119,520.35 / 198,675.71)$
= 39.84%

Fuente: Elaboración propia (2020)

5) Métodos de irrigación eficientes

Estrategias para el diseño de un jardín eficiente

Al planificar un diseño paisajista, además de considerar su uso final del jardín, es decir si es ornamental, recreativo, o cualquier otro tipo de uso, también deben considerarse factores como la ubicación, el clima local y condiciones de microclima cómo las condiciones de sol y la sombra del sitio. Esto juega un papel importante en la frecuencia con la que el jardín recibe lluvia, en la selección de plantas mejor acondicionadas a una zona climática determinada, y su necesidad de mantenimiento, por ende, la demanda de agua del área jardinizada.

Existen diversas estrategias que permiten reducir el consumo de agua a través de un buen diseño paisajista y un mantenimiento apropiado

Condiciones del suelo y del sitio:

- Mantener el suelo saludable: Los suelos saludables mantienen el ciclo de los nutrientes de manera efectiva, minimiza la escorrentía, retienen el agua y absorben el exceso de nutrientes, sedimentos y contaminantes.
- Airear el suelo: El suelo puede compactarse durante la construcción de un edificio o por el tránsito peatonal normal. Airear su suelo con un aireador de césped puede aumentar la infiltración de agua en el suelo, mejorar el flujo de agua a la zona de la raíz de la planta y reducir la escorrentía de agua.
- Use mantillo para ahorrar agua y mejorar la salud del suelo. El mantillo o acolchado agrega una capa adicional entre las raíces de las plantas y el aire, lo que ayuda a proteger las plantas de diversas formas. El mantillo ayuda a reducir la evaporación, lo que permite que el suelo retenga el agua por más tiempo y significa que las plantas requieren un riego menos frecuente. El mantillo también ayuda a las plantas a prosperar al inhibir el crecimiento de malezas, prevenir la erosión del suelo y moderar la temperatura del suelo.
- El mantillo orgánico como astillas de madera dura, paja, hojas, agujas de pino o recortes de césped ayudarán a mejorar la condición del suelo al agregar nutrientes a medida que se descompone. Los mantillos inorgánicos como rocas, guijarros o grava pueden ayudar a eliminar las malas hierbas. Debe evitarse el uso de mantillos de roca en áreas soleadas o alrededor de plantas de clima no árido, ya que irradian grandes cantidades de calor y promueven la pérdida de agua que puede provocar quemaduras.

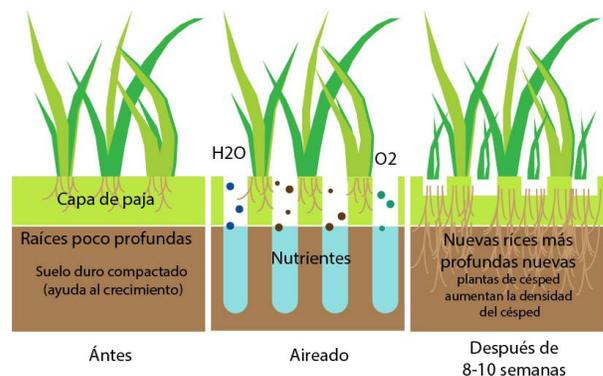


Ilustración No.24: Proceso para airear el suelo
Fuente: Elaboración propia según: <https://bit.ly/3nbl30C>

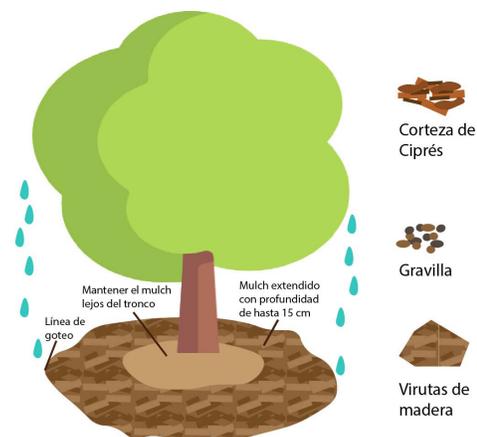


Ilustración No.25: Uso de mantillo o mulch orgánico
Fuente: Elaboración propia según: <https://bit.ly/36f55H2>

- Minimizar las pendientes pronunciadas. Las pendientes pueden presentar riesgos debido al potencial de erosión y escorrentía pluvial. Si no es posible evitar pendientes en el diseño, se pueden instalar plantaciones de raíces más profundas, como cubiertas de tierra nativas y arbustos para proporcionar estabilización y prevenir la erosión. (EPA,2020)

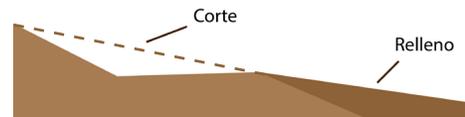


Ilustración: Minimizar las pendientes pronunciadas
 Fuente: Elaboración propia según: <https://bit.ly/3eQCckl>

Plantas:

- Utilice plantas autóctonas y de bajo consumo de agua apropiadas para la región. Las plantas regionales requieren poca agua adicional al agua de lluvia. Además, debido a que las plantas nativas están adaptadas a los suelos y condiciones climáticas locales, rara vez requieren la adición de fertilizantes y son más resistentes a las plagas y enfermedades que otras especies.
- Reconocer las condiciones del sitio. Las áreas del mismo sitio pueden variar significativamente en el tipo de suelo o la exposición al sol y al viento, así como las tasas de evaporación y los niveles de humedad. Por ejemplo, colocar plantas que prefieren la sombra al sol afectará su capacidad para prosperar. Debe tenerse en cuenta la exposición de un sitio a sus condiciones de microclima, para elegir plantas capaces de prosperar en las condiciones del terreno.
- Agrupe plantas similares para riego. Agrupar la vegetación con necesidades de riego similares en "hidrozonas" específicas reduce el uso de agua y protege a las plantas tanto del riego insuficiente como del exceso de agua, permitiéndole regar según las necesidades específicas de cada zona. Por ejemplo, las áreas de césped y las áreas de arbustos siempre deben separarse en diferentes hidrozonas debido a sus diferentes necesidades de agua.



Ilustración No. 26: Jardines de bajo consumo
 Fuente: <https://bit.ly/2Ug9ude> (2020)

Metodología para el diseño de un jardín eficiente

- La metodología para determinar el consumo de agua de un jardín está basada en la metodología propuesta por la EPA en el WaterSense Budget Tool. Esta metodología de cálculo funciona como una herramienta de toma de decisiones, que permite al profesional diseñar un paisaje sostenible basado en un uso eficiente del agua (EPA, 2014). Esta herramienta de cálculo de desempeño es utilizada para el cumplimiento de certificaciones internacionales para edificios, como LEED en sus créditos para la eficiencia de agua en exteriores. Esta misma metodología fue adaptada para el uso local, a través de la certificación CASA Guatemala, tomando en cuenta información local, condiciones climáticas y dimensionales necesarias para el cálculo.
- Esta aproximación toma diversas condiciones del sitio, como el tipo de planta, las necesidades de agua de la planta, el diseño del sistema de riego y el agua aplicada que recibe el paisaje.

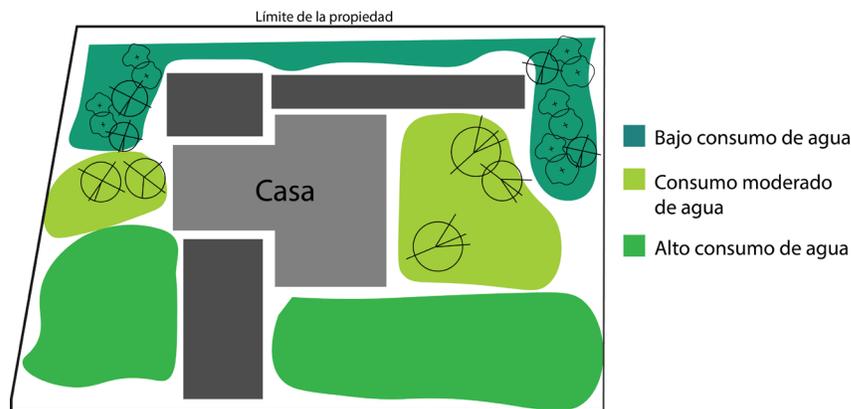


Ilustración No. 27: Ejemplo de diferentes Hidrozonas en planta

Para determinar el consumo de agua por diseño debe utilizarse la siguiente ecuación:

$$A_i = a_j * \frac{Et_p (k_s * k_d * k_{mc})}{n_i}$$

En donde:

- A_i es el total de agua de irrigación requerida para un periodo establecido, en litros.
- a_j es el área de jardín para la cual se está haciendo el cálculo de requerimiento de irrigación, en m^2 .
- E_0 es la evapotranspiración potencial para la ubicación del proyecto, en mm de lluvia.
- k_s es el factor de corrección que considera el requerimiento real de las especies de plantas usadas en el área de jardín para la cual se está haciendo el cálculo.
- k_d es el factor de corrección que considera el requerimiento real por la densidad de plantas en el área de jardín para la cual se está haciendo el cálculo.
- k_{mc} es el factor de corrección que considera el requerimiento real por la condición de microclima a de plantas en el área de jardín para la cual se está haciendo el cálculo.
- n_i es el factor de corrección que considera la eficiencia en el manejo del agua del sistema de irrigación usado en el jardín, en relación a cuánta agua se desperdicia por sobre la necesidad real de irrigación.

Parámetros y Especificaciones:

Zona Climática Según Evapotranspiración Potencial

Evapotranspiración Potencial	mm
Zona Climática 1a	1800.00
Zona Climática 1b	1600.00
Zona Climática 1c	2000.00
Zona Climática 2	1500.00
Zona Climática 3	1400.00
Zona Climática 4	1800.00

Fuente: CASA Guatemala (2020)

Para mayor información sobre los municipios que se consideran bajo cada una de las zonas climáticas indicadas, véase el mapa siguiente. Los datos de evapotranspiración potencial se obtienen de registros históricos del INSIVUMEH para la República de Guatemala.

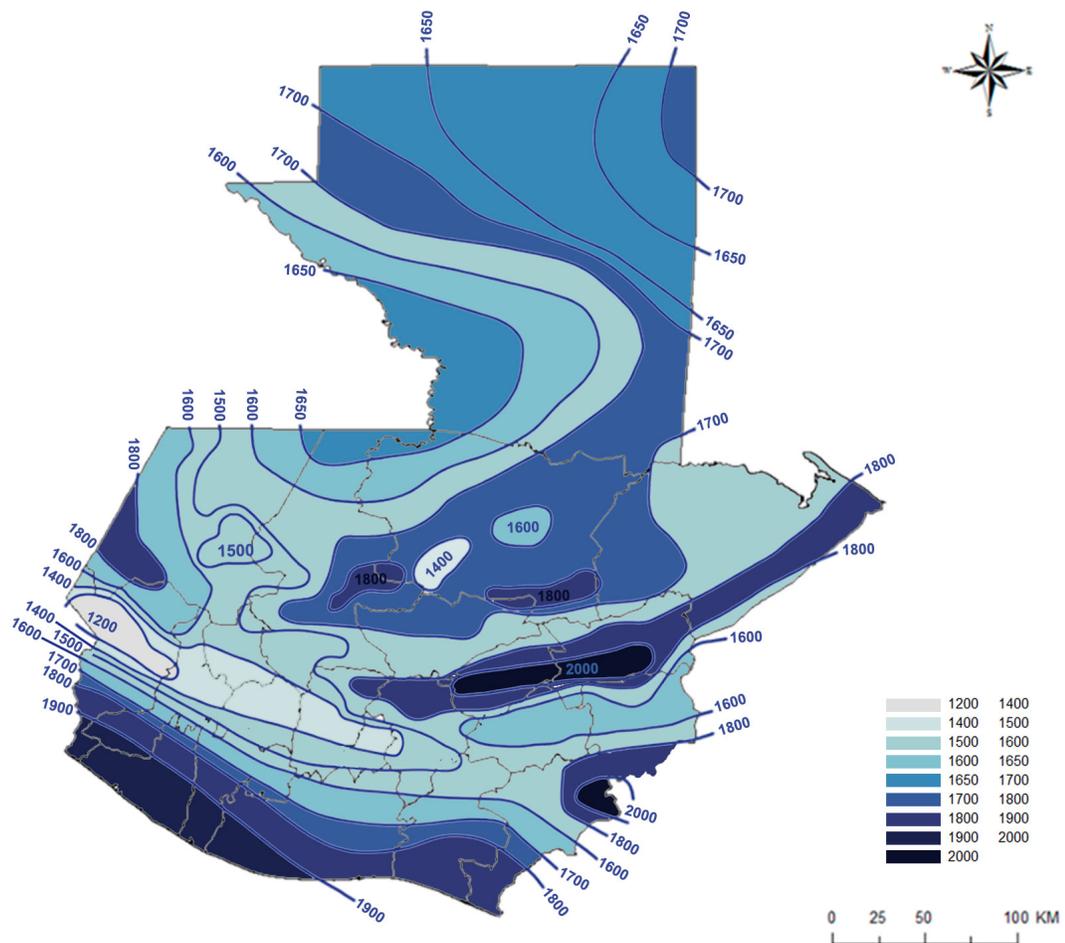


Ilustración No. 28: Atlas Hidrológico, Evapotranspiración potencial promedio anual
Fuente: Elaboración propia según el Departamento de Investigación y servicios hidrológicos, INSIVUMEH (2018)

Tabla No. 7 Consideraciones para zonificación de jardines

k_s	Coefficiente de Especies	Coefficiente	Consideraciones
	Céspedes - Grupo 1	0.6	Considera especies de céspedes o gramas que resisten bien las condiciones de sequia
	Céspedes - Grupo 2	0.7	Considera especies de céspedes o gramas que resisten medianamente las condiciones de sequia
	Céspedes - Grupo 3	0.8	Considera especies de céspedes o gramas que no resisten apropiadamente las condiciones de sequia
	Mixto - Grupo 1	0.2	Considera la mezcla de diferentes especies de cubresuelos, céspedes o arbustos en la zona de jardín considerada, que en conjunto pueden considerarse como resistentes a sequias.
	Mixto - Grupo 2	0.5	Considera la mezcla de diferentes especies de cubresuelos, céspedes o arbustos en la zona de jardín considerada, que en conjunto pueden considerarse como medianamente resistentes a sequias.
	Mixto - Grupo 3	0.9	Considera la mezcla de diferentes especies de cubresuelos, céspedes o arbustos en la zona de jardín considerada, que en conjunto pueden considerarse como no resistentes a sequias.
	Cubresuelos - Grupo 1	0.2	Considera que la zona de jardín en cuestión esta primordialmente cubierta (>75%) con cubresuelos resistentes a sequias
	Cubresuelos - Grupo 2	0.5	Considera que la zona de jardín en cuestión esta primordialmente cubierta (>75%) con cubresuelos medianamente resistentes a sequias
	Cubresuelos - Grupo 3	0.7	Considera que la zona de jardín en cuestión esta primordialmente cubierta (>75%) con cubresuelos no resistentes a sequias
	Arbustos - Grupo 1	0.2	Considera que la zona de jardín en cuestión esta cubierta principalmente (>75%) con arbustos resistentes a sequias
	Arbustos - Grupo 2	0.5	Considera que la zona de jardín en cuestión esta cubierta principalmente (>75%) con arbustos medianamente resistentes a sequias
	Arbustos - Grupo 3	0.7	Considera que la zona de jardín en cuestión esta cubierta principalmente (>75%) con arbustos no resistentes a sequias
	Arboles - Grupo 1	0.2	Considera que la zona de jardín en cuestión esta cubierta principalmente (>75%) con la copa de arboles altamente resistentes a sequias, y que debajo de la copa de estos arboles la vegetacion es escasa.
	Arboles - Grupo 2	0.5	Considera que la zona de jardín en cuestión esta cubierta principalmente (>75%) con la copa de arboles medianamente resistentes a sequias, y que debajo de la copa de estos arboles la vegetacion es escasa.
Arboles - Grupo 3	0.9	Considera que la zona de jardín en cuestión esta cubierta principalmente (>75%) con la copa de arboles no resistentes a sequias, y que debajo de la copa de estos arboles la vegetacion es escasa.	

k_d	Coefficiente de Densidad	Coefficiente	Consideraciones
	Baja densidad	0.5	La densidad de las plantas en el area de la zona de jardín es baja. Se encuentran areas de suelo sin plantas con cobertura para prevenir evaporación excesiva al estar expuestas a radiación solar directa. No se aplica a areas de jardín de céspedes.
	Media Densidad	0.8	La densidad de las plantas en la zona de jardín es considerada intermedia. No se aplica a areas de jardín cubiertas con céspedes. En algunos casos, dependiendo de la especie, si pueden considerarse algunos cubresuelos rastroeros en estas areas de jardín.
	Alta Densidad	1.1	Las plantas cubren la totalidad del area de suelo en la zona de jardín considerada.
Super Alta Densidad	1.3	Las plantas cubren la totalidad del area de suelo en la zona de jardín considerada, en varias capas de vegetacion. Esta condicion se puede dar cuando hay arboles o arbustos que cubren otras areas igualmente jardinizadas con cubresuelos o céspedes.	

k_{mc}	Coefficiente de Microclima	Coefficiente	Consideraciones
	Soleado	1.1	Considera una exposición abierta al sol, o laderas de cerros orientados al sur. Hay muy pocas horas en el día en donde el sitio esta bajo sombra
	Medio Soleado	0.9	Considera una exposición que, a pesar que cuenta con aproximadamente el 30% de las horas del día bajo sombra, primordialmente se encuentra expuesto al sol en la mayor parte del día. Puede ser una ladera orientada al poniente o al oriente, sin muchos elementos de sombra que cubran el jardín durante el día.
	Medio Sombra	0.7	Se usa para cuando el sitio se encuentra aproximadamente en un 50% de las horas del día bajo sombra o bajo incidencia indirecta de radiación solar. Consiste en una ladera orientada al norte con arboles o edificios cercanos que proyectan sombra sobre el area de jardín
Sombreado	0.5	Se usa para cuando el sitio se encuentra principalmente en sombra a lo largo del día.	

n_i	Indice de Irrigación (eficiencia)	Coefficiente	Consideraciones
	Irrigación Natural	0	La zona de jardín se mantiene solo con la lluvia anual y no recibe irrigacion complementaria para mantenerse en buen estado.
	Subterránea + Sensores Humedad	1	La zona de jardín cuenta con irrigacion con ductos subterráneos controlados por sensores de humedad en el suelo de la zona de jardín. Solo se aplica irrigacion cuando los sensores de humedad detectan niveles bajos respecto a lo que las plantas necesitan.
	Subterránea + Horario	1.09	La zona de jardín cuenta con irrigacion con ductos subterráneos controlados valvulas activadas automaticamente por horario sin considerar los niveles de humedad en suelo de la zona de jardín. Los horarios de irrigacion son establecidos en horas en donde no hay incidencia solar directa (noche o penumbra).
	Superficial + Sensores Humedad	1.05	Para la zona de jardín considerada, se cuenta con riego superficial con aspersores que se controlan con sensores de humedad instalados en el suelo de la zona. Solo se aplica agua cuando los sensores definen que hay resequedad en el suelo segun los parametros establecidos por diseño.
	Superficial Goteo + Horario Anual	1.11	La zona de jardín considerada es irrigada con un sistema por goteo instalado por encima del suelo pero por debajo del cuerpo de las plantas, generalmente cubresuelos o arbustos. La irrigacion se proporciona a traves de un controlador con fijaciones de horario modificables para los 365 dias del año individualmente, permitiendo ajustar los tiempos de irrigacion de acuerdo a calendarios de lluvia tipicos segun registros meteorologicos de la localidad.
	Superficial Aspersión + Sensores Humedad	1.09	La zona de jardín considerada es irrigada con un sistema por goteo instalado por encima del suelo pero por debajo del cuerpo de las plantas, generalmente cubresuelos o arbustos. La irrigacion se proporciona a traves de un controlador que responde a las necesidades de agua del suelo definidos por sensores de humedad instalados en la zona de jardinizacion considerada.
	Superficial Aspersión + Horario Anual	1.33	La zona de jardín es irrigada con un sistema superficial de aspersores, accionados por un controlador que puede ajustar su horario individualmente para los 365 dias del año, permitiendo ajustar el horario segun las proyecciones de lluvias de un año de lluvias típico. La programacion de irrigacion se fija de manera tal que no sucede irrigacion en el jardín en horarios en donde hay incidencia solar directa.
	Superficial Aspersión + Horario Simple	1.54	El jardín cuenta con un sistema de irrigacion superficial por aspersión accionado con un controlador de horario simple que no excede capacidades de programacion de 7 dias diferenciados. La irrigacion se ha programado para suceder en horarios cuando el jardín no recibe incidencia solar directa.
Superficial por Riego Manual	1.67	El jardín es regado a mano con manguera sin seguridad de control de horario ni volumen de agua aplicada.	

Fuente. CASA Guatemala (2020)

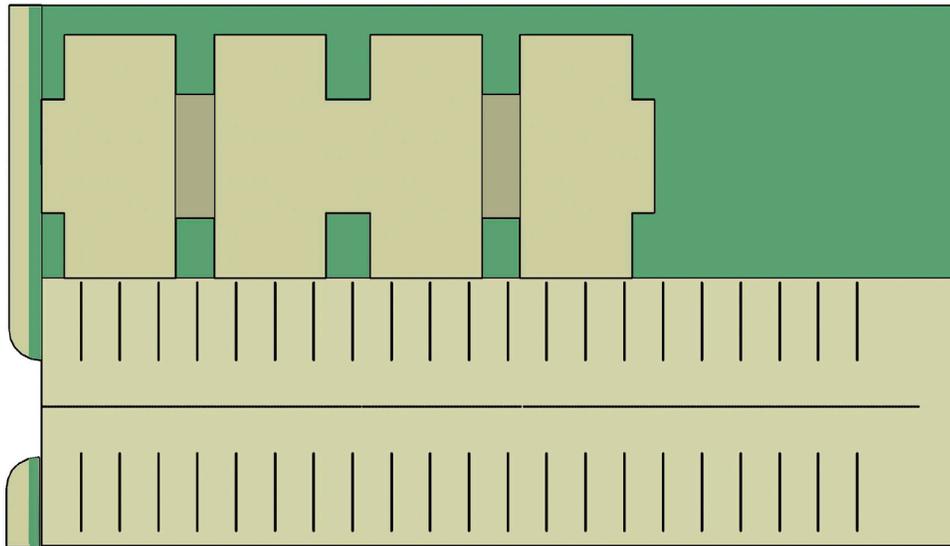
Ejercicio

Línea Base de consumo de jardín

Para calcular la línea base de requerimiento de irrigación del jardín de un proyecto y su demanda real (línea de proyecto) para determinar los ahorros logrados por la selección de especies de plantas, condiciones del sitio y sistemas de irrigación; en correlación con un diseño zonificado de jardines. Dicha zonificación se determina priorizando el sistema de irrigación en cada zona sobre la selección de especies de plantas para cada zona. Siguiendo como base las tablas de "Consideraciones para zonificación de jardines" (Ver p. 36) , tomando en cuenta "Coeficientes de especies, densidad, microclimas e índices de irrigación".

Pasos:

1. Determinar la evapotranspiración potencial (Etp) según el Mapa de "Evapotranspiración potencial promedio anual" (Ver p.37) en este caso sería 1500 mm
2. Determinar el área total jardinizada del proyecto, en este caso el área total del Jardín es de 510 m²
3. Seguir el método de cálculo para jardines eficientes (ver p. 36) para establecer el requerimiento de irrigación anual por zona, en este caso de **765,000 lt.**



Línea Base										
Nombre de Zona	Área de zona (m ²)	Coeficiente de especies (Ks)	Coeficiente de densidad (kd)	Coeficiente de microclima (Kmc)	Índice de Irrigación (Ie)	Requerimiento de Irrigación Anual por Zona (lt)				
Todas las zonas	510	Especie de referencia	1.0	Densidad media	1.0	Medio soleado	1.0	Superficial con horario simple	1.0	765,000.00

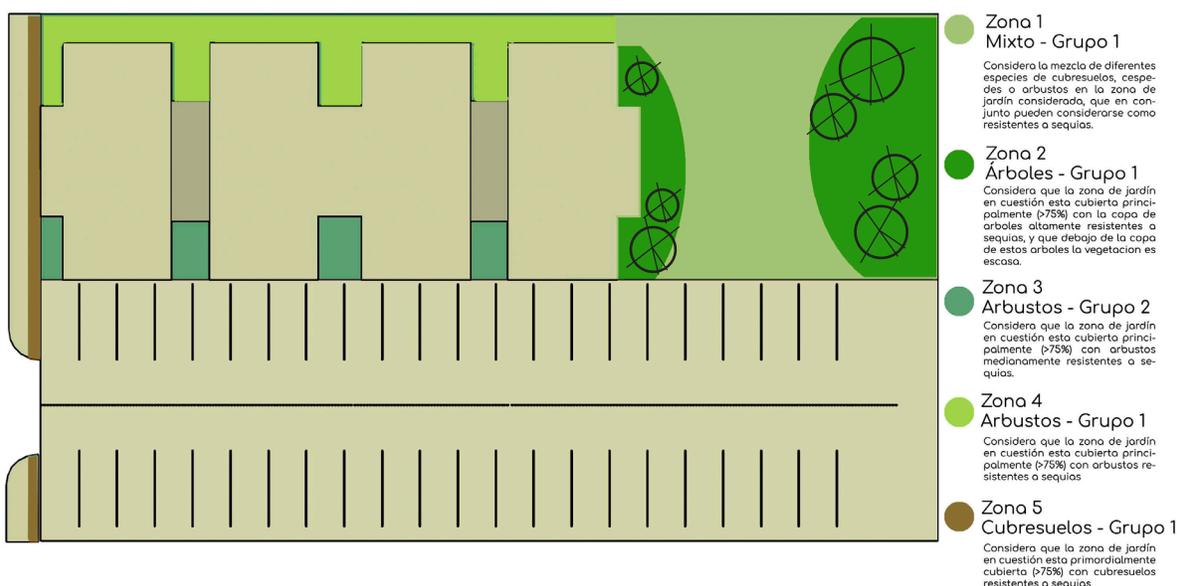
*Cálculo según tabla "Consideraciones para zonificación de jardines" siguiendo la ecuación en la p. 36.

Línea de diseño mejorada - ahorro de agua por diseño de jardín

Para encontrar una línea de mejora de consumo en irrigación, se deberá establecer zonas en el área del jardín, cada una de estas deberá tener diferentes sistemas de irrigación o significativas diferencias de especies de plantas. Podrá seleccionarse las opciones según las tablas de "Consideraciones para zonificación de jardines" (Ver p. 36), correspondientes para la condición de especies por zona, densidad de sembrado y condición de microclima. Se deberá seleccionar la opción de sistema de irrigación para calcular la eficiencia del sistema de irrigación proyectado. Puede existir diferentes sistemas de irrigación entre zonas.

Algunos de los sistemas de irrigación incluyen:

- Irrigación natural
- Subterránea + sensores de humedad
- Subterránea + horario
- Superficial + sensores de humedad
- Superficial goteo + horario anual
- Superficial aspersión + sensores de humedad
- Superficial aspersión + horario anual
- Superficial aspersión + horario simple
- Superficial por riego manual



Línea de diseño mejorada											
Nombre de Zona	Área de zona (m2)	Coficiente de especies (Ks)	Coficiente de densidad (kd)	Coficiente de microclima (Kmc)	Índice de Irrigación (Ie)			Requerimiento de Irrigación Anual por Zona (lt)			
Zona 1	200	Mixto - Grupo 1	0.2	Media densidad	0.8	Soleado	1.1	Superficial + sensores de humedad	4	01.05	55,440.00
Zona 2	145	Árboles - Grupo 1	0.2	Alta densidad	1.1	Sombreado	0.5	Irrigación natural	1	0	0.00
Zona 3	124	Arbustos - Grupo 1	0.2	Alta densidad	1.1	Medio Sombra	0.7	Superficial Goteo + Horario Anual	5	1.11	31,794.84
Zona 4	41	Arbustos - Grupo 2	0.5	Alta densidad	1.1	Medio Sombra	0.7	Superficial Goteo + Horario Anual	5	1.11	26,282.03
Zona 5	18	Cubresuelos - Grupo 1	0.2	Baja densidad	0.5	Soleado	1.1	Subterránea + Horario	3	01.09	3,237.30
Irrigación Total Anual de Jardín										116,754.17	

*Cálculo según tabla "Consideraciones para zonificación de jardines" siguiendo la ecuación en la p. 36.

En el ejercicio, puede observarse cómo la zonificación de áreas según las condiciones del sitio, y la selección de ciertos tipos de especies y métodos de irrigación eficiente, resultan en un **85% de ahorro de agua por diseño.**

D) Uso de agua en sitio

A continuación se definen los conceptos básicos para «aguas residuales» y «agua pluviales». En el caso de aguas residuales es importante conocer los tipos de tratamiento y estrategias de reuso permitidos por la ley, en este caso de la Ciudad de Guatemala; así como algunas estrategias de reuso. Por otro lado, se establecen las estrategias para reducción de escorrentía de aguas pluviales, y estrategias de captación de agua de lluvia; ambos puntos son la base, para utilizar correctamente el agua en sitio.

1) Aguas residuales

Definición de conceptos



Aguas residuales

Originadas por desechos humanos, contaminantes llegan usualmente a través de sistemas hidráulicos de los retretes de los sistemas sanitarios.

Aguas Negras

Aguas residuales contaminadas provenientes generalmente de inodoros y drenajes.



Contaminantes: *materia fecal y orina de origen humano y animal, pueden contener microorganismos perjudiciales al ser humano*

Aguas grises

Originadas por las manipulaciones domésticas, limpieza en general, preparación de alimentos, exceptuando las aguas provenientes de los inodoros.



Contaminantes: *jabones, desinfectantes y detergentes domésticos, restos orgánicos como grasas, cabello, restos de alimentos y otros desechos caseros.*

Ilustración No.29: Separación entre aguas negras y aguas grises.
Fuente: Elaboración propia según García (2017)

Las aguas negras, requieren mayor atención por autoridades, tratamiento seguro y eficaz, puede ser un problema para su disposición, pueden representar un peligro para la salud pública. (Depto. de Sanidad de Nueva York, 2005. Las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas, son denominadas «aguas residuales de tipo especial». Asimismo es importante conocer el significado del término «humedal», este es un sistema acuático natural o artificial, de agua dulce o salada, de carácter temporal o permanente, generalmente en remanso y de poca profundidad. (Acuerdo Gubernativo 236-2006, . p.2) Para prevenir la generación de aguas residuales, puede optarse por la instalación de inodoros de compostaje.

Descargas y reuso

En el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 (2006). Se establece el Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, donde se describen los criterios y requisitos, con el objetivo de mejorar las características de dichas aguas, desarrollando un proceso para:

- Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
- Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.
- Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

También es objeto del presente Reglamento establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueve la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.

Tipos de tratamiento

Todo proyecto debe cumplir con las disposiciones del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (Reglamento de las Descargas y reuso de aguas residuales y de las disposiciones de lodos) y sus actualizaciones. En el tratamiento de lodos, se hace referencia a los parámetros de tratamiento de lodos del Acuerdo Gubernativo, Capítulos VIII. Donde en el Artículo 38, se establece el tratamiento obligatorio de aguas residuales que representen un riesgo para el ambiente y la salud y seguridad humana deben cumplir los límites máximos permisibles para su disposición final del presente Reglamento.



Ilustración No.30: Tipos de tratamiento para aguas residuales según Acuerdo Gubernativo No. 236-2006

*Ver anexos No. 1 y 2 sobre los parámetros y límites máximos permisibles para reuso y para descargas

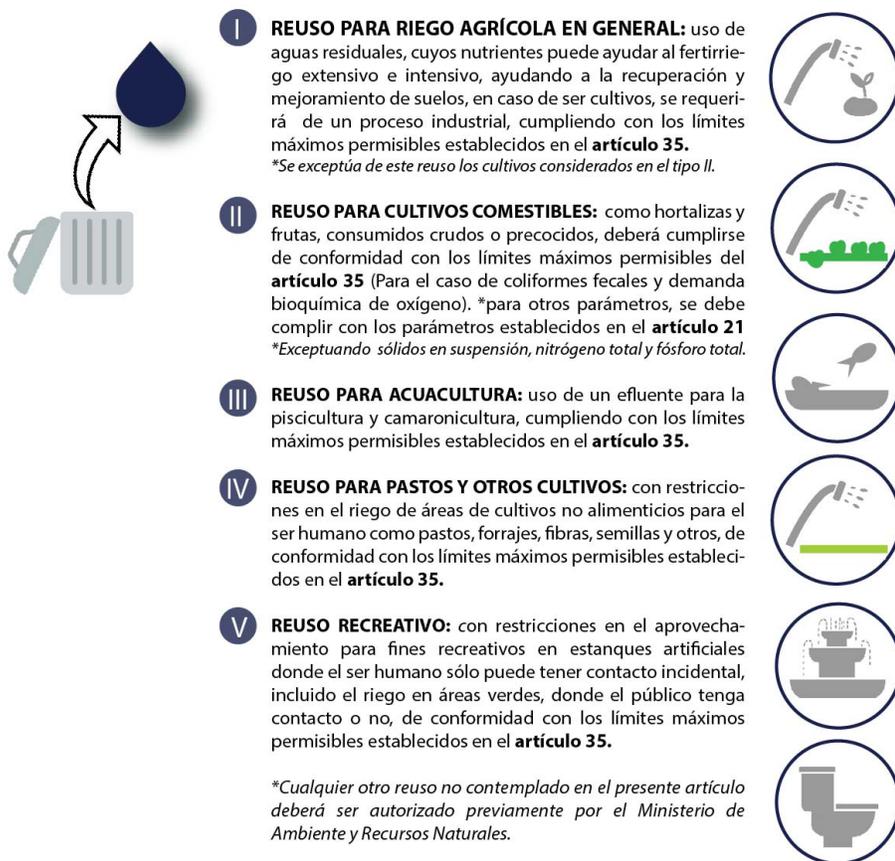
En el Artículo 40, se hace referencia a su tratamiento por medio de la tecnología o los sistemas, incluyendo la incineración a temperaturas mayores de mil quinientos grados Celsius. En el artículo 41, se permite su disposición en la:

- Aplicación al suelo: acondicionador, abono o compost.
- Disposición en rellenos sanitarios.
- Confinamiento o aislamiento.
- Combinación de las antes mencionadas.

Estrategias de reuso

En el «Capítulo vii parámetros de aguas para reuso», en su Artículo 34 Y 35, se autoriza los tipos de reuso de aguas residuales, que cumplan con los límites máximos permisibles que a cada uso correspondan. Cualquier otro reuso no contemplado en el presente artículo deberá ser autorizado previamente por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Existen diversas formas de reuso de agua dependiendo del tipo de proyecto. (pp. 19-20)

Reuso de aguas residuales



I REUSO PARA RIEGO AGRÍCOLA EN GENERAL: uso de aguas residuales, cuyos nutrientes puede ayudar al fertirriego extensivo e intensivo, ayudando a la recuperación y mejoramiento de suelos, en caso de ser cultivos, se requerirá de un proceso industrial, cumpliendo con los límites máximos permisibles establecidos en el **artículo 35**.
**Se exceptúa de este reuso los cultivos considerados en el tipo II.*

II REUSO PARA CULTIVOS COMESTIBLES: como hortalizas y frutas, consumidos crudos o precocidos, deberá cumplirse de conformidad con los límites máximos permisibles del **artículo 35** (Para el caso de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno). *para otros parámetros, se debe cumplir con los parámetros establecidos en el **artículo 21**
**Exceptuando sólidos en suspensión, nitrógeno total y fósforo total.*

III REUSO PARA ACUACULTURA: uso de un efluente para la piscicultura y camaronicultura, cumpliendo con los límites máximos permisibles establecidos en el **artículo 35**.

IV REUSO PARA PASTOS Y OTROS CULTIVOS: con restricciones en el riego de áreas de cultivos no alimenticios para el ser humano como pastos, forrajes, fibras, semillas y otros, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el **artículo 35**.

V REUSO RECREATIVO: con restricciones en el aprovechamiento para fines recreativos en estanques artificiales donde el ser humano sólo puede tener contacto incidental, incluido el riego en áreas verdes, donde el público tenga contacto o no, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el **artículo 35**.

**Cualquier otro reuso no contemplado en el presente artículo deberá ser autorizado previamente por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.*

Ilustración No.31: Reuso de aguas residuales

Fuente: Elaboración propia según el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

Tipos de tratamiento y tipos de reuso	Nivel de tratamiento					
	Preliminar	1	2	3	4	5
1) Reuso agrícola genera		X				
2) Reuso para cultivos comestibles			X			
3) Reuso para acuicultura			X			
4) Reuso para pastos y otros cultivos			X			
5) Reuso recreativo				X		
*Potabilización: para uso humano					X	

Consulta los límites máximos permisibles en Anexos 1 y 2

2) Aguas pluviales

Definición de conceptos

Precipitación “El agua que se precipita en forma de lluvia” puede:

- Quedar depositada en la superficie vegetal, en caso de lluvias muy cortas y/o de bajo volumen de precipitación y en situaciones en que la vegetación es muy densa. El agua se evapora desde la superficie vegetal y retorna a la atmósfera, sin haber llegado al suelo.
- Alcanzar la superficie del suelo e infiltrarse: El suelo es un medio poroso y, por lo tanto, permeable, que presenta diferentes velocidades de infiltración del agua en el perfil. Cuanto más agua se infiltra durante una lluvia, tanto mejor para su aprovechamiento, ya que los caminos que puede seguir son útiles: producción vegetal y recarga de la napa freática.
- Alcanzar la superficie del suelo y escurrir. Cuando la intensidad de la precipitación supera la velocidad de infiltración del suelo se produce la escorrentía superficial. (FAO, 2013, pp 12-15)

Escorrentía: La escorrentía puede ser superficial o subsuperficial

La distribución entre la **escorrentía superficial** y la **subsuperficial** está determinada por la tasa de infiltración y capacidad de almacenamiento del suelo, las cuales dependen, básicamente, de factores climatológicos, geológicos, hidrológicos y edáficos. (Idem)

- **El flujo subsuperficial**, es aquel que inicialmente se infiltra en el suelo, y escapa de la evapotranspiración, sin embargo, no infiltra completamente, y puede circular horizontalmente por la parte superior de la zona del suelo no saturada y volver a la superficie, este tipo de flujo, predomina en la mayor parte de las situaciones, excepto en caso de lluvias de fuerte intensidad.
- Por otro lado, **la escorrentía superficial** es la parte de la precipitación que no llega a penetrar el perfil de suelo y, por consiguiente, circula sobre la superficie del terreno.
- **El índice de infiltración del suelo** es el flujo de agua que penetra por unidad de tiempo, otros factores que afectan esta infiltración incluyen, la calidad del agua, la formación de costras superficiales y trabajos agrícolas.

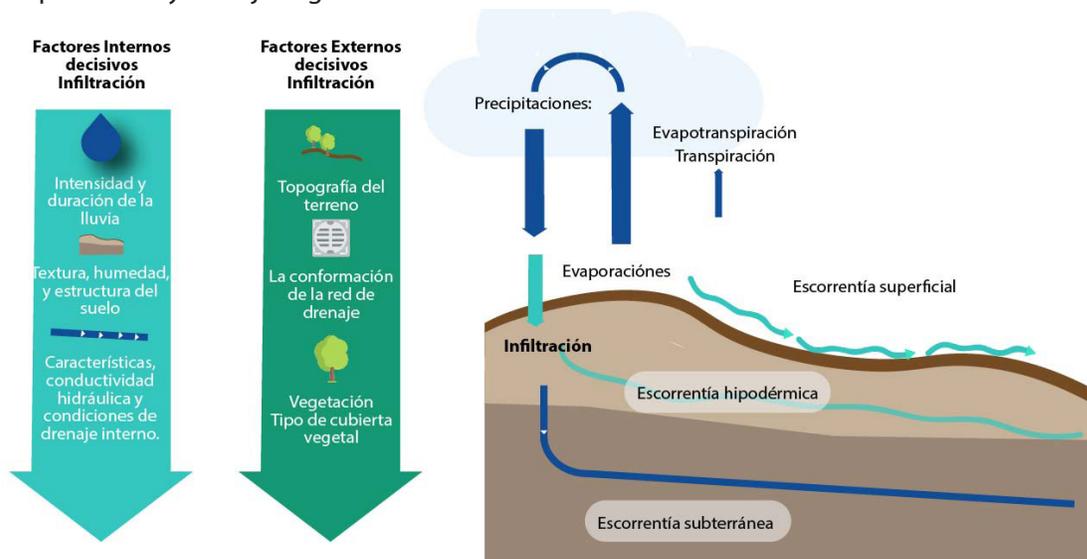
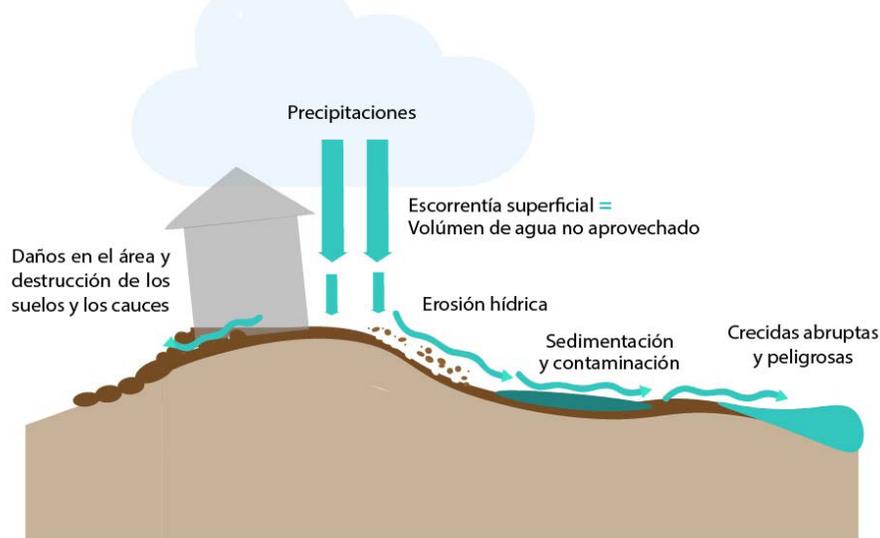


Ilustración No.32: Factores internos y externos decisivos en el proceso de infiltración y su rol en el ciclo del agua.
Fuente: Elaboración propia según FAO (2013)

Estrategias para reducción de escorrentía

Las lluvias muy intensas que superan la capacidad de infiltración de agua en el suelo o que caen sobre superficies poco permeables (suelos delgados, terrenos rocosos, caminos, patios, techos, etc.)

Consecuencias escorrentía no controlada



En épocas "secas" los caudales se reducen a niveles críticos, los manantiales pequeños tienden a secarse y hay menos agua para uso de la gente.

Ilustración No.33: Consecuencias de la escorrentía no controlada
Fuente: Elaboración propia según FAO (2013)

En épocas "secas" los caudales se reducen a niveles críticos, los manantiales pequeños tienden a secarse y hay menos agua para uso de la gente. Con el fin de reducir la escorrentía en edificaciones, aprovecharse al agua para:

- Diseños que simulan o se adaptan a los ciclos naturales del agua
- Captación, tratamiento y reuso para diferentes usos (doméstico, animal, riego, etc.).
- Aumentarse el área permeable
- Infiltración de aguas pluviales
- Techos verdes y jardineras

Se recomienda «manejar y captar después de que se inicia. De no ser así, puede derivar en un problema de difícil control y causar daños (surcos, cárcavas)». (FAO, 2013, pp 12-15)

Captación de agua de lluvia

En el aprovechamiento de agua de lluvia, deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- » Frecuencia de las lluvias y volumen.
- » Intensidad: las lluvias muy intensas tienden a perderse por escorrentía, mientras que las menos intensas tienden a infiltrarse y se aprovechan más. (FAO, 2013, pp 12-15)

El INSIVUMEH, cuenta con estaciones para la recaudación y proceso de datos meteorológicos, estos son de acceso público y permiten realizar análisis climáticos. Por ejemplo para la Ciudad de Guatemala las:

- **Intensidades de la lluvia promedio (Mínimo) son de:** 150 mm/h
- **Tiempo de concentración (mínimo):** 15* min (EMPAGUA, 2018, pp. 79),

*está sujeto a revisión debido al cambio climático.

Almacenamiento

El volumen de agua almacenado es aquel que, a pesar de estar en movimiento, permanece en la zona radical del cultivo el tiempo suficiente para ser absorbido. En este aspecto, los microporos del suelo cumplen una función importante, al mantener el agua por más tiempo. El volumen de microporos en el suelo depende de los contenidos de arcilla y materia orgánica. Por lo tanto, hay que desarrollar estrategias y aplicar prácticas que permitan una mayor infiltración. (FAO, 2013, pp 12-15)

Infiltración

Se entiende por infiltración el flujo de agua que penetra a través de la superficie del suelo y se redistribuye desde las zonas saturadas hacia las no saturadas del perfil. Parte del volumen de agua que infiltra fluye rápidamente a través de los macroporos, en los cuales se presenta baja energía de retención, y sale de la zona radical para abastecer la napa freática. Es un volumen de agua no aprovechado inmediatamente por las plantas; sin embargo, abastece la napa freática y, por consiguiente, los manantiales. Por ello es importante el rol que cumplen la fauna del suelo (lombrices, insectos y otros), los microorganismos y las raíces, al crear bioporos (poros grandes y continuos) para que el agua de lluvia (o de riego) se infiltre rápidamente. (FAO, 2013, pp 12-15)

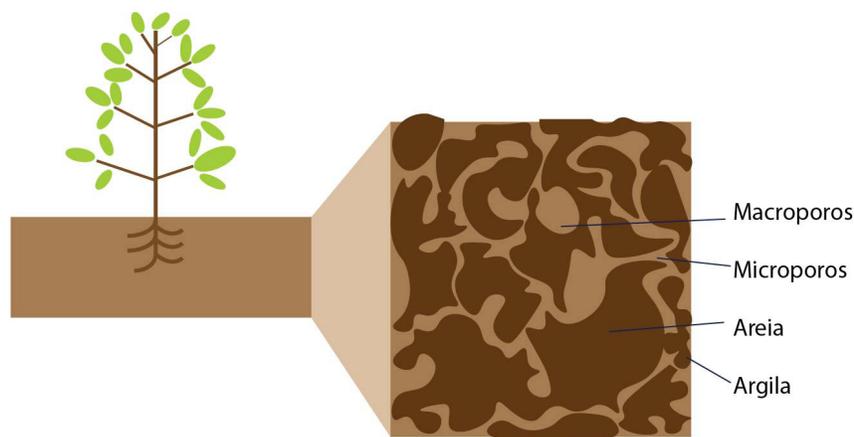


Ilustración No.34: Esquema ilustrativo de macroporos y microporos en el suelo, los cuales facilitan la infiltración.
Fuente: Elaboración propia en base a: <https://bit.ly/3oA1oK5>

Recomendaciones para una mayor infiltración o incluso características del suelo para jardineras y techos verdes.

- Mantener la superficie cubierta por vegetación, viva o muerta, de tal manera que proteja la estructura superficial del suelo del impacto de las gotas de lluvia.
- Mantener la estructura del suelo sin grama, con elevada estabilidad de agregados de tamaños mayores (no pulverizado) y la macro porosidad elevada.
- Aumentar los contenidos de materia orgánica para garantizar una estructura más estable y favorecer el almacenamiento de agua. (FAO, 2013, pp 12-15)

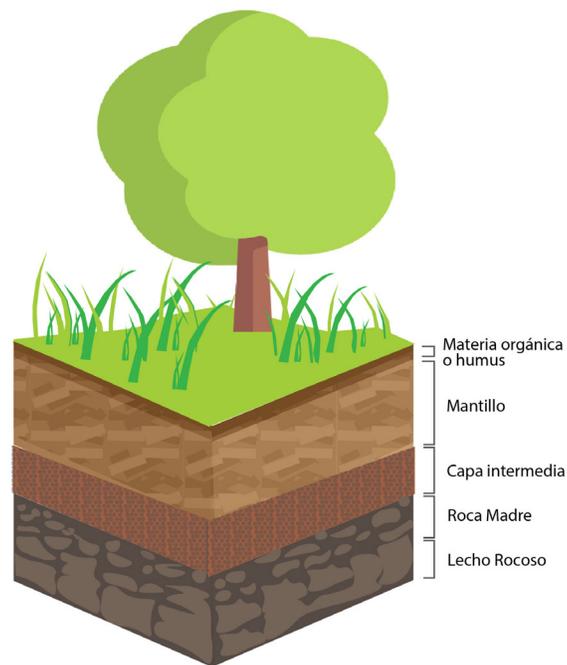


Ilustración No.35: Estructura del suelo.
Fuente: Elaboración propia según <https://bit.ly/3pB6iqU> (2020)

Adecuaciones en áreas urbanas para inducir la infiltración del agua al subsuelo:

Según LEED, Sección 4 Green Building core concepts and applications strategies (2019, p.59), algunas estrategias incluyen:

Estrategias para la gestión del agua lluviosa mediante el diseño:

- Minimizar áreas impermeables aumentar el área de superficies permeables, como techos con vegetación, pavimento poroso y áreas ajardinadas.
- Controlar el agua de lluvia instalar estanques secos, jardines de lluvia, bioswales y similares características del paisaje diseñadas para retener el agua y reducir la tasa de escorrentía.
- Incorporar la gestión del agua de lluvia al diseño del sitio funciones de uso que cumplen múltiples funciones, como jardinerías que recogen agua de lluvia, calles que incluyen jardines de lluvia urbanos, para capturar y retener el agua de lluvia, y mantillo que construye el suelo y retiene la humedad.

Estrategias de gestión de aguas lluvias en operaciones y mantenimiento:

- Redireccionar el agua de lluvia dirija la escorrentía a los jardines de lluvia, bioswales y otros características del paisaje que retienen el agua.
- Recolección de agua de lluvia dentro de los límites del proyecto, el agua recolectada se puede utilizar como procesar agua, tirar inodoros o proporcionar riego

Ejemplos:

1 Uso de pisos permeables en parques, estacionamientos y calles públicas

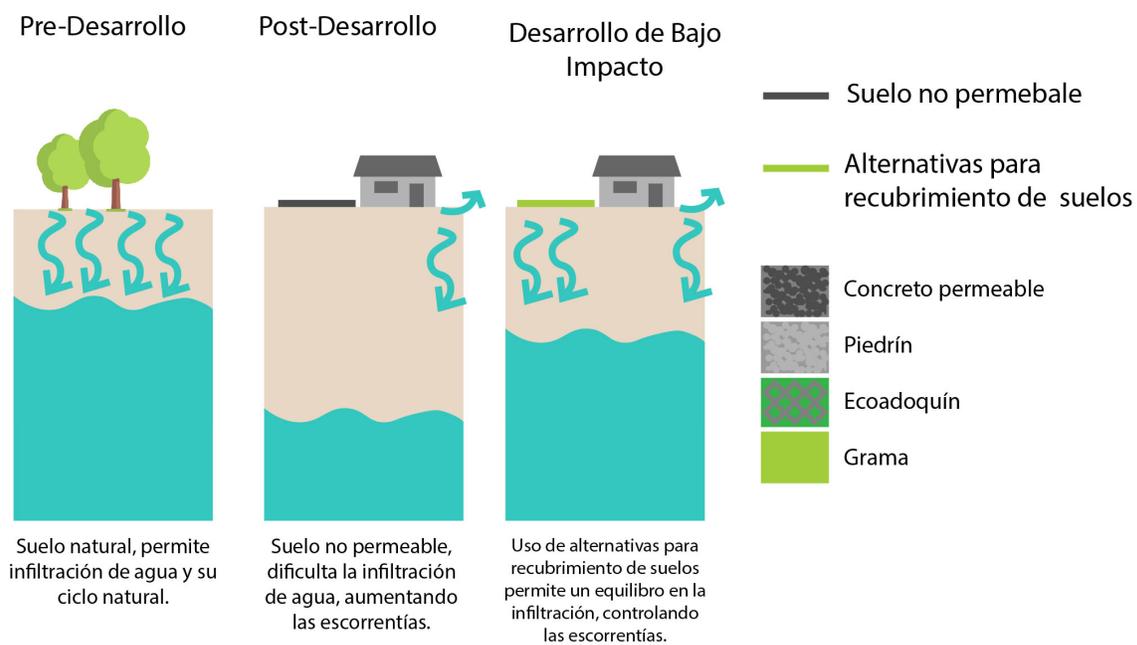


Ilustración No.36: Ejemplo uso de pisos permeables
Fuente: Elaboración propia

2 Separación del agua pluvial de las aguas grises, conduciendo hacia pozos o lagunas de infiltración

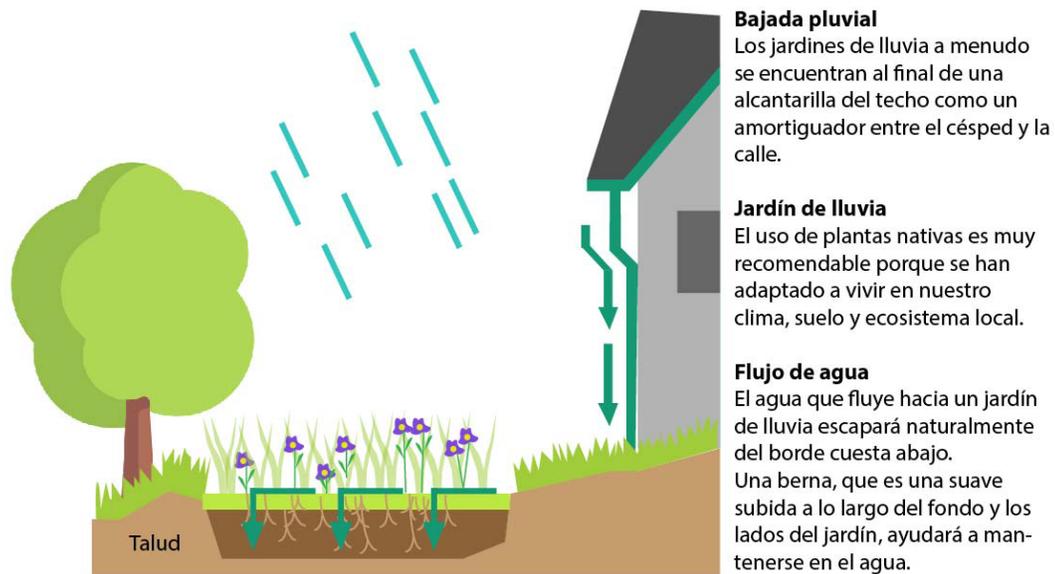


Ilustración No.37: Jardín de infiltración
Fuente: Elaboración propia según <https://bit.ly/2K5tu0h>

3 Ampliación de las áreas verdes que usen una impermeabilización mínima, dejando cobertura arbórea

Ampliación de las áreas verdes que usen una impermeabilización mínima

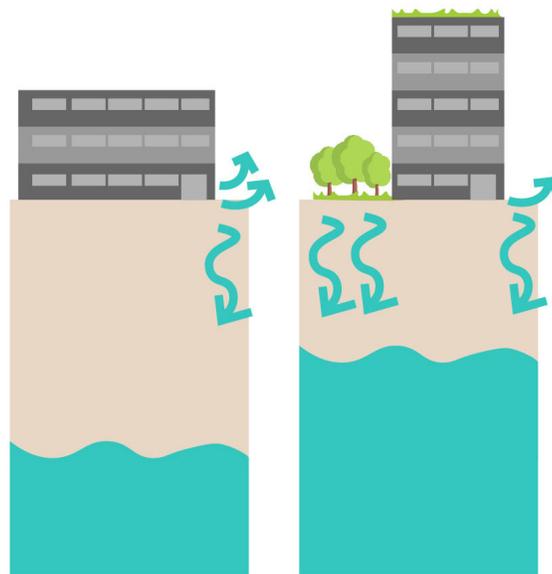


Ilustración No.38: Ejemplo uso de pisos permeables
Fuente: Elaboración propia

Estas medidas son más fáciles de implementar en nuevas urbanizaciones o áreas de construcción y podría incentivarse por parte de las ordenanzas municipales y también por compromisos voluntarios de los constructores. En las zonas que ya están construidas, los cambios se pueden hacer de manera paulatina, especialmente cuando se hacen reparaciones o remodelaciones. (FUNCAGUA, 198)

Estrategias de reuso

Estrategias de reducción de uso de agua en el riego de jardines:

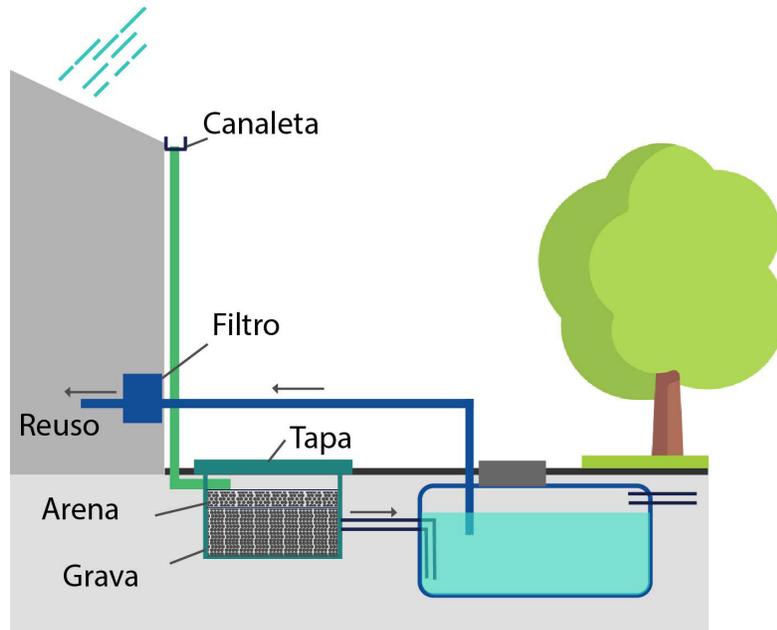


Ilustración No.39: Sistema de reuso de agua pluvial
Fuente: Elaboración propia según <https://bit.ly/3gzz1Za>

Pueden utilizarse:

- Sistemas de reutilización de agua
- Implementación de sistemas de captación de agua de lluvia
- Tecnología eficiente para almacenamiento de agua.
- Sub Medidores/contadores de agua

Determinación de Escorrentía Pluvial

Los techos y pavimentos, por su condición impermeable, son capaces de producir un volumen de escorrentía cercano al volumen de lluvia incidente en el sitio.

El manejo inadecuado de las escorrentía pluvial en los terrenos construidos puede provocar serios problemas en los cauces de desfogue de agua pluvial, y sobrecargar los sistemas públicos de alcantarillado, poniendo en riesgo la infraestructura construida por efectos de erosión, deslizamiento, sedimentaciones de suelo y hasta inundación.

La escorrentía de pluvial de un sitio se puede resumir cómo:

Escorrentía = precipitación - Infiltración

(FAO, 2013, pp 62)

La capacidad de un proyecto de reducir, retener y aprovechar la lluvia incidente, depende directamente de la huella de construcción de un proyecto, y el coeficiente de escorrentía de las superficies y materiales utilizados.

Coeficiente de Escorrentía (C): «Expresa la relación (proporción o porcentaje) entre la magnitud de escorrentía (expresada en mm de lámina de agua) y una determinada magnitud de lluvia (también expresada en mm de lámina de agua) correspondiente a un evento o un periodo lluvioso en una cuenca o área de captación determinada.» (FAO, 2013, pp 62)

Método Racional:

El Método Racional permite determinar el caudal potencial de una superficie o cuenca determinada, a partir de una intensidad de precipitación constante en un tiempo determinado.

$$Q = \frac{C * I * A}{0.36}$$

Donde:

Q = Caudal (L/seg)

C = Coeficiente de Escorrentía

I = Intensidad de lluvia, según los datos de precipitación locales (mm/h)

A = Superficie de la cuenca hidrográfica (Ha)

Para determinar el volumen de agua pluvial resultante puede interpretarse la siguiente fórmula:

$$V = (Q * T) * 60$$

Donde:

V = Volumen (Litros)

Q = Caudal (L/seg)

T = Tiempo de concentración, según el mínimo definido por los códigos o normas de construcción locales

Conocer el comportamiento del agua superficial del proyecto, ayuda al equipo de diseño y especialistas a tomar decisiones basada en la eficiencia de los sistemas de retención, almacenaje y/o aprovechamiento de agua pluvial.

Tabla No. 8 Valores de Referencia para el Coeficiente de Escorrentía en distintos tipos de superficie

Tipo de Superficie	Coeficiente de Escorrentía (C)
Superficies	
Asfalto	0.88
Concreto	0.70 - 0.95
Adoquín	0.70 - 0.85
Superficies semipermeables (Pavimento permeable, eco adoquines, etc)	0.50
Mantillo o grava	0.70
Techos	
Concreto	0.70 - 0.95
Lámina	0.90
Tejas de barro	0.75
Áreas Verdes / Jardín	
Pendientes < 2%	0.35
Pendiente entre 2% – 7%	0.40
Pendiente de 7% o más	0.45
Áreas No Desarrolladas	
Pastizales (Lotes baldíos o cafetales)	0.43
Praderas	
Suelos arenosos planos (pendientes < 2%)	0.05 - 0.10
Suelos arenosos con pendientes medias (2% – 7%)	0.10 - 0.15
Suelos arenosos escarpados (7% ó más)	0.15 - 0.20
Suelos arcillosos planos (2% ó menos)	0.13 - 0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (2% – 7%)	0.18 - 0.22
Suelos arcillosos escarpados (7% ó más)	0.25 - 0.35
Áreas Cultivadas	
Áreas Cultivadas	0.08 - 0.41

Basado en el libro de Hidrología Aplicada de Ven Te Chow.

Fuente: Adaptado de: SIAPA, 2014, FAO, 2013

Ejercicio de aplicación de estrategias para manejo de agua en sitio

CASO BASE Terreno Natural

Considerando:

- Intensidad de lluvia = 150mm/h
- Tiempo de concentración = 15 minutos
- Área = 2038

Volumen de Escorrentía
Natural = **32,862.57 litros**

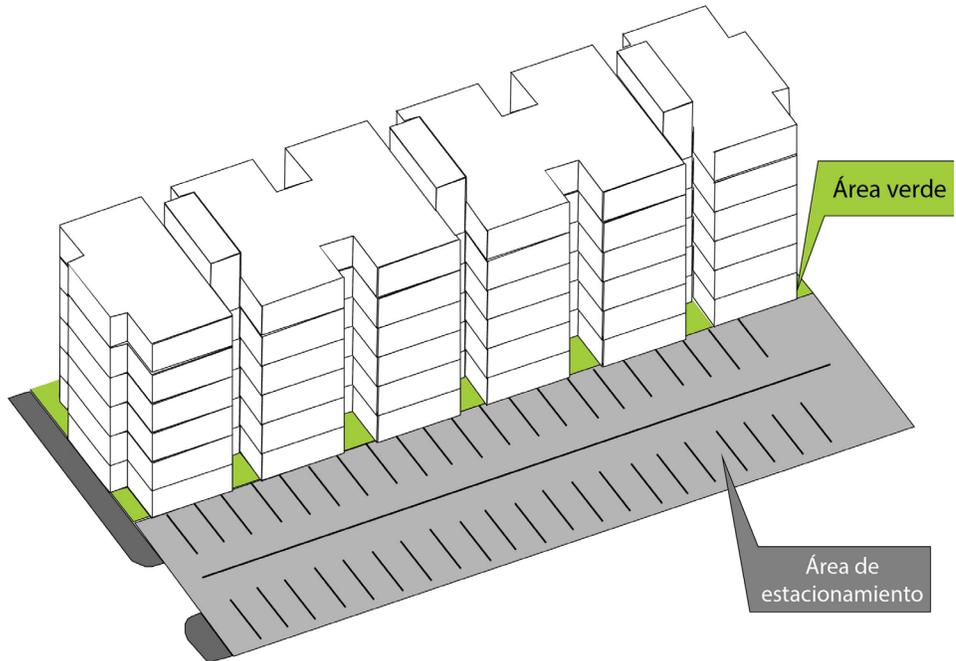
CASO 1 Módulo tradicional

Terreno: 2038 m²
Techos: 793m² = 39%
Estacionamiento: 946m² = 46%
Jardín: 242m² = 12%
Acera = 57 m² = 3%

Permeabilidad = 12% 

Volumen de Escorrentía
= 62,304.38 litros

Equivale a un **90%** más que un terreno en condiciones naturales.



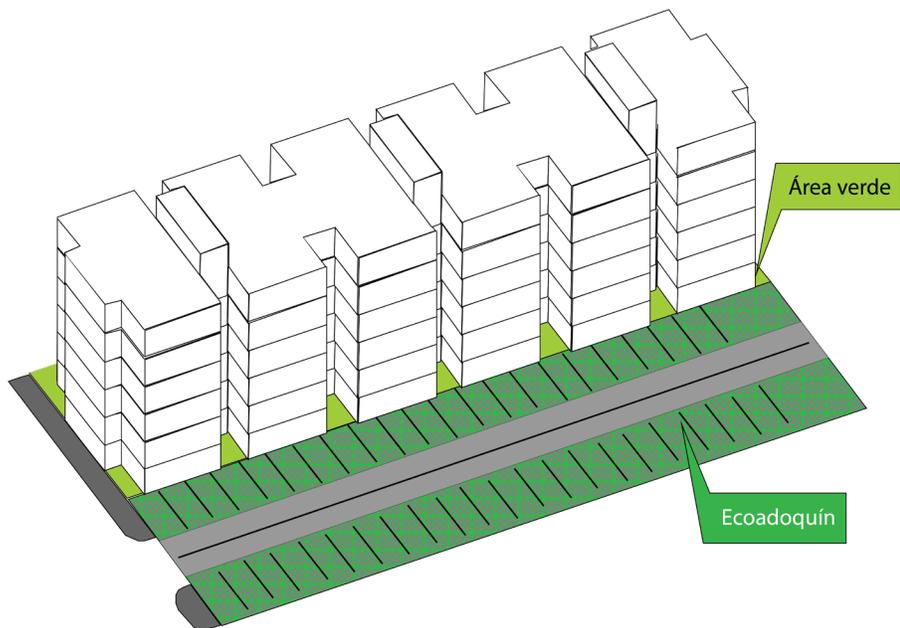
CASO 2 Módulo tradicional + estacionamiento con eco adoquín

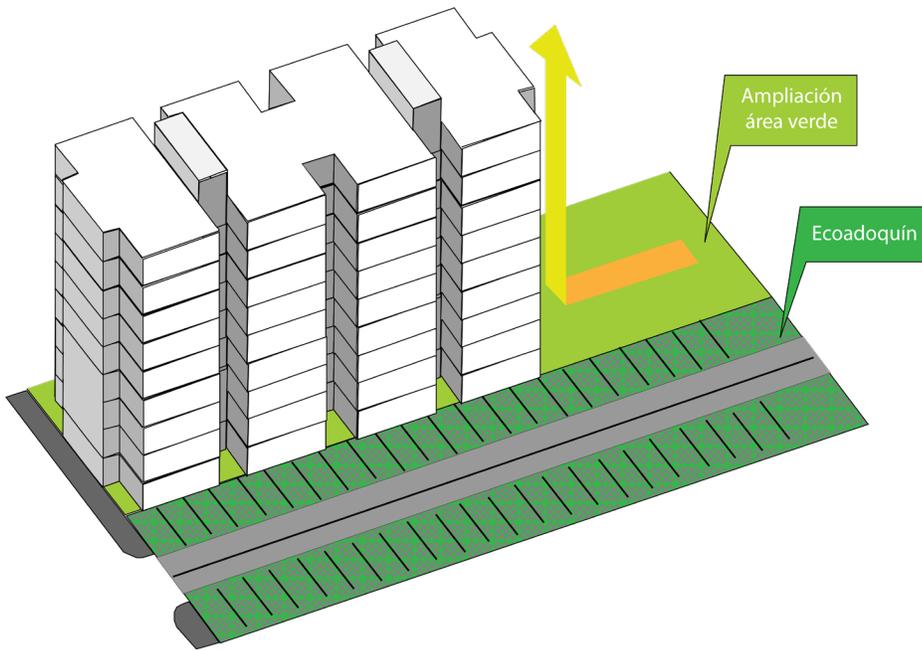
- Terreno: 2038 m²
- Techos: 793m² = **39%**
- Eco Adoquín: 458 m² = **25%**
- Calle de concreto: 488 m² = 24%
- Jardín: 242m² = 12%

Permeabilidad = 24.5% 

Volumen de Escorrentía
= 62,304.38 litros

Reduce un **11%** la escorrentía en comparación al CASO 1, y genera un excedente de escorrentía del **69%** en comparación al terreno en condiciones naturales





CASO 3

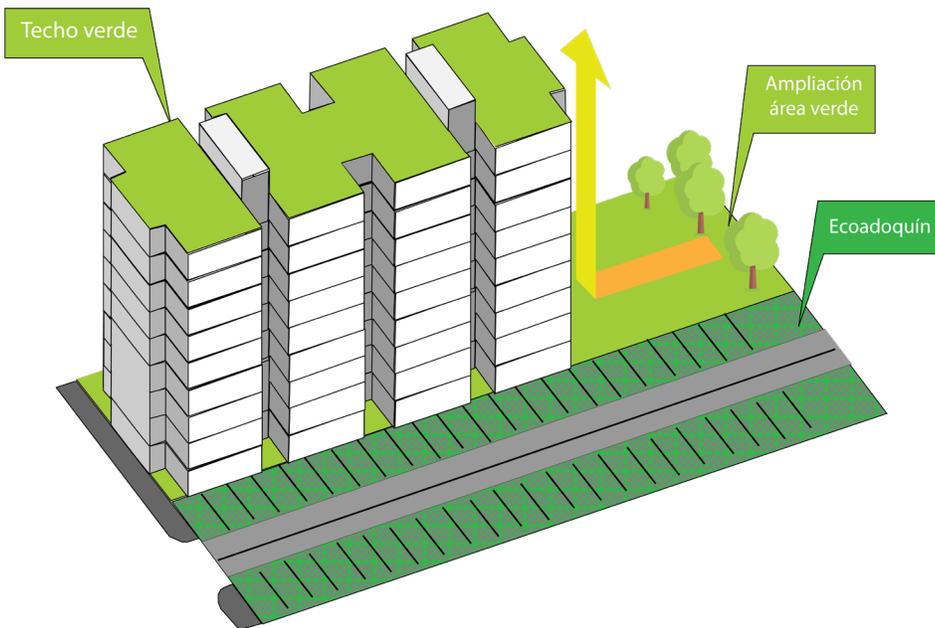
Módulo con estacionamiento techado (plaza techado) + eco adoquín + área verde ganada.

- a. Terreno: 2038 m²
- b. Techos: 528m² = 26%
- c. Eco Adoquín: 458 m² = 25%
- d. Calle de concreto: 488 m² = 24%
- e. Jardín: 508m² = 25%

Permeabilidad = 37.5% 

Volumen de Escurrentía = 50,478.38 litros

Reduce un 19% la escurrentía en comparación al CASO 1, y genera un excedente de escurrentía del 54% en comparación al terreno en condiciones naturales



CASO 4

Igual al CASO No. 3 + terraza jardín

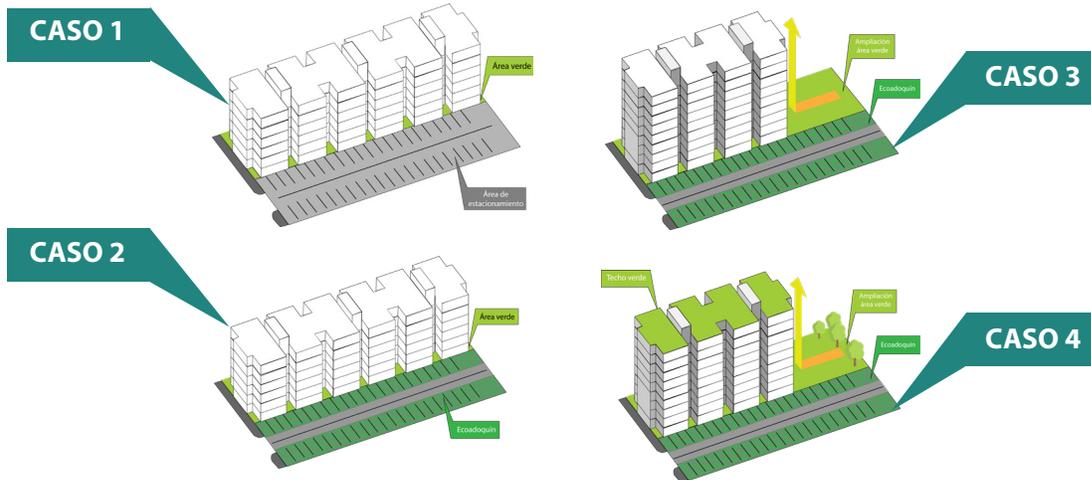
- a. Terreno: 2038 m²
- b. Techos verdes: 528m² = 26%
- c. Eco Adoquín: 458 m² = 25%
- d. Calle de concreto: 488 m² = 24%
- e. Jardín: 508m² = 25%

Permeabilidad = 37.5% 

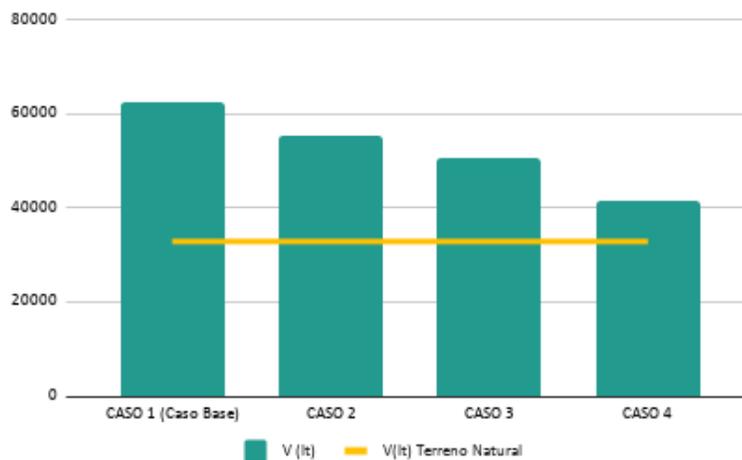
Volumen de Escurrentía = 41,568.38 litros

Reduce un 33% la escurrentía en comparación al CASO 1, y genera un incremento de escurrentía de únicamente el 26% en comparación al terreno en condiciones naturales.

Volumen de Escorrentía Superficial Generada



Comparación entre casos



La huella de construcción relacionada al uso desmedido del sitio y el incremento de las superficies impermeables tiene un impacto considerable en la escorrentía pluvial generada, llegando a representar casi el doble de volumen de escorrentía pluvial comparado al terreno en condiciones consideradas como “naturales”. El manejo eficiente de la escorrentía pluvial del entorno construido se logra a través de la integración de estrategias de diseño que permitan optimizar la huella de construcción, mejorar la permeabilidad y diseñar superficies que ayuden a retener naturalmente el agua de lluvia incidente.

Optimizar las condiciones que influyen directamente en el comportamiento de la escorrentía pluvial del sitio, ayuda al equipo de diseño y especialistas a proponer estrategias más eficientes para la retención y aprovechamiento del agua de lluvia de una forma integrada.

Aprovechamiento de Agua Pluvial Disponible

La capacidad de captación y aprovechamiento de agua pluvial, cómo método de abastecimiento, depende directamente de las incidencias de lluvia en una zona determinada.

Precipitación Anual para Ciudad de Guatemala años 1990 - 2020 (mm)

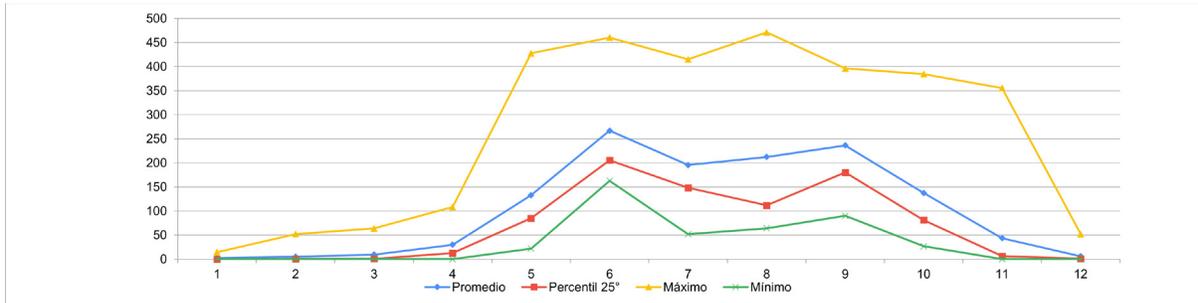


Ilustración No. 40: Precipitación Anual para la Ciudad de Guatemala
Fuente: INSIVUMEH (2020), Elaboración: Guatemala Green Building Council

La disponibilidad de agua pluvial puede traducirse cómo:

$$\text{Recolección / mes (V)} = (\text{Precipitación / mes}) * (\text{Área de recolección}) * (\text{Factor de escorrentía})$$

Mes	Precipitación (mm)	Área colectora m2	Factor Incidencia	Recolección / mes
Enero	1.93	528 m2	40.00	40,656.00
Febrero	0.4	528 m2	40.00	8,448.00
Marzo	0.75	528 m2	40.00	15,840.00
Abril	12.55	528 m2	40.00	265,056.00
Mayo	78.50	528 m2	40.00	1,657,920.00
Junio	193.60	528 m2	40.00	4,088,832.00
Julio	116.53	528 m2	40.00	2,461,008.00
Agosto	113.10	528 m2	40.00	2,388,672.00
Septiembre	176.08	528 m2	40.00	3,718,704.00
Octubre	86.20	528 m2	40.00	1,820,544.00
Noviembre	4.45	528 m2	40.00	93,984.00
Diciembre	0.73	528 m2	40.00	15,312.00

Potencial Anual de Agua Pluvial 16,574,976.00 litros / anuales

VI

Integración de Balance Hídrico

Pasos para utilizar la herramienta

¿Cómo funciona la Guía?

La guía busca mejorar las condiciones actuales de consumo hídrico, presentando una línea base y una línea mejorada, gracias a la aplicación de estrategias de irrigación eficiente, recolección de aguas pluviales y artefactos eficientes.

1. Determinar el tipo de proyecto, según listado de tipologías/uso de suelo

La clasificación del proyecto dentro de estas categorías, representa condicionantes y normativas específicas en cuanto a ocupación x m², cantidad de artefactos, dotación de recurso hídrico por proyecto y la oportunidad de captación y reutilización de agua dependiendo del caso.

RE - Residencial

O - Oficinas

CO - Comercio

R - Restaurante

CH - Centros Hospitalarios

HO - Hoteles (HO)

EN - Entretenimiento

IN - Industria

Residencial (RE) 	Viviendas unifamiliares o bifamiliares (no incluyen muro de contención).
	Viviendas unifamiliares o bifamiliares
	Viviendas multifamiliares
	Viviendas populares o de ayuda social (que se encuentren asegurados por FHA y que como mínimo el 50% de unidades habitacionales debe de cumplir con el Decreto No. 9-2012).
	Lotificaciones y urbanizaciones (sin fraccionamiento).
	Apartamentos para uso propio o alquiler sin muro de contención.
	Apartamentos para uso propio o alquiler
Complejos residenciales (colonias y condominios).	

Tabla completa No. X, en Anexos

2. Establecer la línea base - Datos del proyecto

Formulario de Manejo de Agua: Consumo y eficiencia en el uso del agua

Se establece el "Caso Base" como línea de comparación para evaluar las mejoras en el "Caso de Diseño" e identificar logros en eficiencia de consumo hídrico en el proyecto.

Caso base - consumo de agua

Se llenana los siguientes datos del proyecto:

- Nombre del proyecto: Ejemplo 01
- Área del terreno (m2): 2,038 m2
- Unidades habitacionales: 12 x 5 = 60 apartamentos
- Carga de ocupación, según NRD2 o Ocupación de tiempo completo:
- 210 ocupantes (*Ver ejercicio pag. 23)
- Consumo anual de agua por higiene:
- CONSUMO ANUAL DE AGUA PARA EL EJEMPLO: 21,831,264 L/año
- Metros cuadrados de jardinización: 242 m2
- Consumo anual por irrigación: 363,000 L/año
- Consumo anual proyectado: 22,194,264.66 L/año

Como resultado un indicador de consumo de agua, clasificable entre las categorías de la siguiente tabla:

Tipología	Indicadores de consumo de agua				
	E	D	C	B	A
	Bajo impacto	Impacto moderado	Medio/Línea Base	Alto Impacto	Muy Alto Impacto
RE	100 lt/hab/día	150 lt/hab/día	200 lt/hab/día	300 lt/hab/día	>400 lt/hab/día
O	3.5 lt/m2/día	4.5 lt/m2/día	6 lt/m2/día	7 lt/m2/día	8 lt/m2/día
CO	7 lt/m2/día	10 lt/m2/día	20 lt/m2/día	25 lt/m2/día	30 lt/m2/día

En este caso el proyecto se clasifica en la categoría «RE Tipo C» de consumo medio.

3. Especificar los artefactos

Formulario de Artefacto Hidrosanitarios:

Utilice este formulario para determinar la eficiencia de los artefactos sanitarios propuestos, y proyectar el ahorro de consumo de agua por artefacto. Indique el consumo de agua de dicho artefacto en cumplimiento a la gobernanza municipal ACUERDO No. COM-24-2020.

Pasos por definir en herramienta:

1. Se elige entre las 3 tipologías planteadas: Residencial (RE), Oficinas (O) y Comercio (CO).
2. Se establece el nombre del espacio y nivel de planta.
3. Se especifican las características de los artefactos, incluyendo la marca, modelo/código y consumo mejorado.
4. En base a la unidad de medida, puede establecerse el porcentaje de ahorro hídrico

4. Balance Hídrico

Para que el cálculo de «Balance Hídrico» sea preciso, se debe determinar el caudal de agua pluvial a manejar en sitio, por lo que se establecen los siguientes puntos:

A. Determinar datos pluviales, en base a ubicación e información meteorológica INSIVUMEH

Se ingresa la dirección y ubicación del proyecto, en este caso la herramienta se enfoca en el área Metropolitana, por lo que se cuenta con los datos meteorológicos únicamente de esta área específica.

Agua pluvial (cantidad): Establecer promedio de precipitación pluvial

Percentil 25° (Máximo y mínimo)

Agua pluvial (frecuencia)

Percentil 25° (Máximo y mínimo) Término estadístico

¿Que significa percentil?

De los milímetros (mm) de precipitación por mes y año, el percentil se refiere a las condiciones de lluvia, de las eventualidades de lluvia potencial, qué porcentaje o cuanto se considera para manejo.

El porcentaje 25 es relativamente bajo, porque no llueve constantemente y el percentil, 65°, 85° y 90° que solicitan certificaciones como LEED, para el manejo de agua en sitio, puede significar la construcción de almacenaje para agua pluvial, mucho mayor al real, pero que puede favorecer en situaciones de emergencia como una tormenta tropical. La otra opción es utilizar la media anual, pero esta varía mucho, en este caso el percentil utilizado es del 25°.

B. Herramienta de Balance hídrico - Formulario de Manejo de Agua

La herramienta del balance hídrico, consta de 3 formularios para establecer las características del proyecto, sus condicionantes y determinar oportunidades de mejora, ayudando a la elección de estrategias sostenibles en el diseño, manejo y uso del agua.

Formularios base:

B.1 Formulario de Manejo de Agua: Tratamiento, Aprovechamiento de Agua y Balance.

Este formulario ayuda a establecer las características del proyecto y oportunidades para lograr un Balance Hídrico eficiente, posee 5 secciones importantes:

- B.1.1 Áreas para desfogue de Agua Pluvial
- B.1.2 Determinar el caudal y el porcentaje de retención
- B.1.3 Áreas para recolección y aprovechamiento de Agua Pluvial
- B.1.4 Aprovechamiento de Aguas

B.1.1 Áreas para desfogue de Agua Pluvial

Cada proyecto cuenta con un terreno específico cuyas áreas de desfogue, porcentajes de permeabilidad y factores de escorrentía, ayudarán a determinar la cantidad de agua captable en el mismo. Por lo que se definen los siguientes datos:

1. Áreas destinadas a desfogue de agua pluvial, como área de jardines y techos.
2. Dimensiones en metros² del área
3. El factor de escorrentía



B1.1.2 Determinar el caudal y el porcentaje de retención:

“Para el aprovechamiento del recurso hídrico, es necesario conocer en un punto dado o en la salida de la cuenca, el caudal disponible a partir de las precipitaciones. El problema es aparentemente simple en su presentación, pero de una solución en muchos casos compleja, para ello se han ideado una serie de metodologías que van desde las más simples a las más complejas, como: isolíneas de escorrentía, caudales específicos, generación por modelos de simulación precipitación – escorrentía, etc.”(Ordoñez, 2011, p.34) En este caso se utiliza el «Método racional hidrológico» para determinar el caudal de lluvia en sitio.

Método racional hidrológico: Fórmula utilizada para una proyección estimada del caudal en sitio según la intensidad de lluvia.

$$Q \text{ (lt/s)} = C \times i \times A \quad Q \text{ (lt)} = Q \text{ (lt/s)} \times T \times 60$$

0.36

- Q = Caudal
- C = La intensidad de la lluvia según el lugar
- A = El área en hectáreas
- i = El factor de escorrentía según el material
- T = Tiempo promedio de precipitación

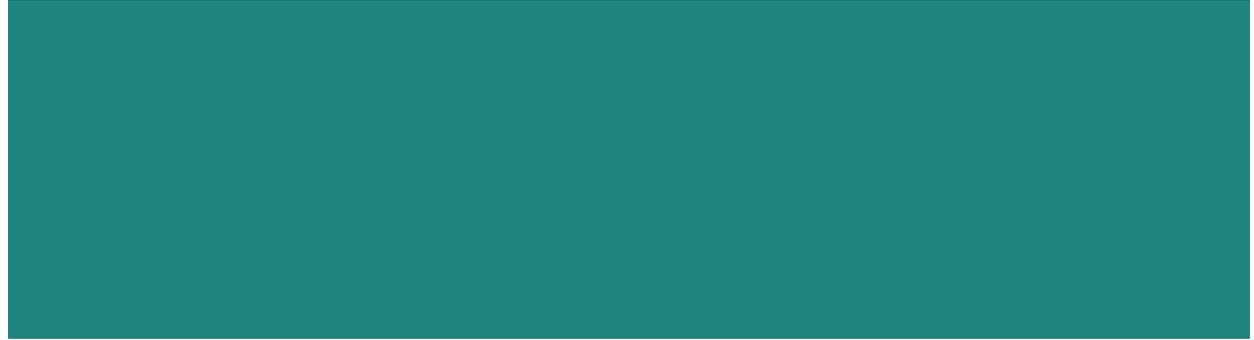


*Para esta sección, se debe ingresar la «Intensidad de lluvia» y «Tiempo de lluvia en minutos», según la región del país. El porcentaje de retención de agua de lluvia según la ubicación del proyecto, es establecido por la Municipalidad pertinente al caso, y la posibilidad de conectarse a la red de drenajes municipal. Cabe resaltar que la implementación de estrategias de captación de agua de lluvia, como techos verdes, y sistemas de reutilización de agua de lluvia para riego o incluso para uso en inodoros, puede ayudar a reducir significativamente, el caudal de escorrentía en el proyecto.



B.1.13 Áreas para recolección y aprovechamiento de Agua Pluvial:

estas áreas representan una oportunidad para recolectar agua de lluvia. Las áreas de desfogue, son posibles áreas de recolección.



B.1.1.4 Aprovechamiento de Aguas

Aguas residuales: (AP) Total de Aguas tratadas aprovechadas = (A X C) / 100

Aguas servidas = Volumen de agua anual descargada en lt/anuales = Consumo anual proyectado* x 0.95

Aguas servidas x día = Aguas servidas(A) /350

% Porcentaje de Aguas tratadas aprovechadas

*Consumo anual proyectado = Consumo anual proyectado** +

Las aguas de proceso (si aplica) +

Consumo proyecto para uso de piscinas +

Consumo proyectado para sistemas de enfriamiento + Consumo proyectado para otros sistemas de agua de proceso.

**Consumo anual proyectado = consumo anual de agua por higiene + consumo anual de agua por irrigación.

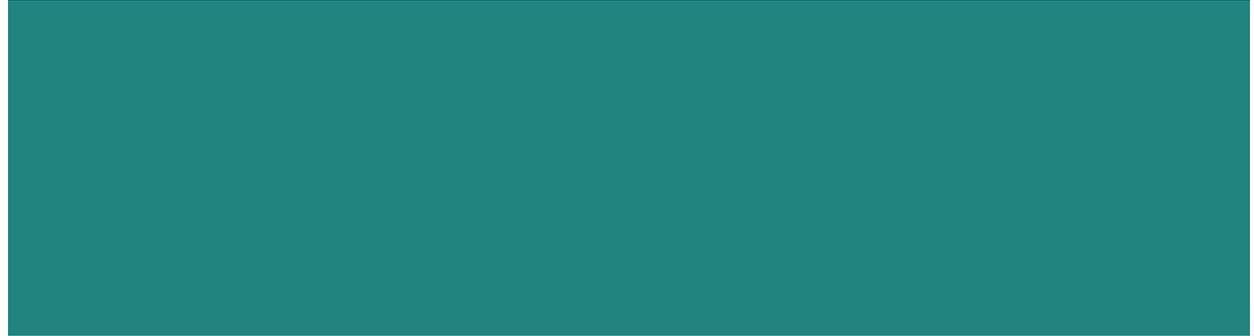


$$\text{Aguas pluviales} = (\text{AP}) \text{ Total de Aguas Pluviales aprovechadas} = (\text{A} \times \text{C}) / 100$$

Aguas captadas = Potencialidad total de Agua Pluvial Captada Anualmente.

Disponibilidad de agua pluvial x día = Aguas captadas (A) /350

% Porcentaje de Aguas Pluviales Aprovechadas



5. Herramienta de Balance Hídrico - Resultado

Resultado de Balance (5) = $1 - (\text{Balance Hídrico} / \text{Consumo Anual Proyectado})$

Balance hídrico = $A - B - C - D$

A: Consumo de agua anual (lt/año)

B: Agua residual aprovechada (AR)

C: Agua pluvial aprovechada (AP)

D: Volumen de agua infiltrada

El Indicador de consumo de agua mejorado, es igual a =

$$\text{Balance Hídrico} / \text{Consumo Anual proyectado} (\text{RE} + \text{O} + \text{CO}) / 365$$



RESULTADOS

Caso de diseño mejorado - consumo de agua

Para establecer una línea de diseño mejorada debe establecerse y ingresarse los siguientes puntos:

Consumo de agua con artefactos eficientes mejorados por higiene.

Si se utiliza una irrigación de jardines eficiente, puede indicarse el consumo de agua detallado. (Ver página X)

Consumo para aguas en proceso, piscina, sistemas de enfriamiento, entre otros.

Al ingresar estos datos, se obtiene como resultado un indicador de consumo de agua mejorado.



*En este caso el proyecto se clasifica en la categoría «RE Tipo E» de Bajo Impacto.

Como resultado de los pasos anteriores, se obtienen gráficas de comparación entre el caso base y el caso mejorado, obteniendo la eficiencia en el uso de agua por artefactos ahorradores e implementación de estrategias.



MANEJO DE AGUAS RESIDUALES: El caudal de aguas residuales manejadas de forma eficiente, ya sea especificando el volumen de agua anual descargada, la disposición de las aguas residuales a un cuerpo receptor y el tipo de tratamiento implementado. Para saber cuánta del agua que se está tratando se está reutilizando.

VII

Conclusiones

- El análisis de la situación actual del recurso hídrico a nivel global y regional, específicamente en el área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala, permite visualizar una crisis de abastecimiento en todo el país, por lo que su disponibilidad mañana, depende de su consumo responsable hoy.
- Al definir las características de un diseño eficiente, se relaciona un menor consumo de energía en relación al trabajo desarrollado, en el caso del diseño de edificaciones con un consumo eficiente del recurso hídrico, representan una oportunidad de diseñar edificios que en su funcionamiento requieran una menor cantidad de recursos para satisfacer las necesidades de sus ocupantes.
- La operación y mantenimiento de edificaciones, en relación al consumo hídrico, depende de un sistema completo, balanceando el manejo adecuado de aguas pluviales y residuales, pudiendo captar, tratar y utilizar recurso que de otra forma sería desechado, y utilizando el recurso de suministro público por medio de artefactos y sistemas hidráulicos eficientes.
- Es importante analizar el sin fin de estrategias para el uso eficiente del agua, desde artefactos, hasta diseño de jardines de bajo consumo.
- Al determinar los pasos de diseño para lograr el balance hídrico, y las estrategias para tratar y reusar tanto aguas pluviales como residuales, se puede determinar la línea base de consumo y estrategias a implementar, dependiendo del tipo de proyecto.

VIII

Fuentes de
consulta

- Accounting Tools (2019) How to calculate FTEs. <https://www.accountingtools.com/articles/how-to-calculate-ftes.html>
- Acuerdo Gubernativo 236-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. http://www.infom.gob.gt/archivos/Docs-Pdf/Anexo-Legal/ANEXO_1_Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG236-2006.pdf
- Acuerdo Gubernativo No. COM-24-2020 (2020) Instalación obligatoria de artefactos ahorradores de recurso hídrico dentro de la Ciudad de Guatemala. <https://bit.ly/2DiTQJ8>
- CASA (2020) CASA GUATEMALA. <https://www.guatemalagbc.org/nuestras-herramientas/>
- CEPAL (2006) Eficacia, eficiencia, equidad y sostenibilidad: ¿Qué queremos decir? https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/9/37779/gover_2006_03_eficacia_eficiencia.pdf
- CONRED (2019) Manual de uso para la Norma de Reducción de Desastres Número DOS -NRD2- https://conred.gob.gt/normas/NRD2/Manual_NRD2.pdf
- ECU (2020) Cálculo de aforo de los locales <http://www.licenciasurbanisticaseclu.es/calculo-de-aforo-de-los-locales/>
- EPA (2017) WaterSense Water Budget Approach. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-01/documents/ws-homes-water-budget-approach.pdf>
- EPA Watersense (2012) Best Management Practices for Commercial and Institutional Facilities. <https://www.epa.gov/watersense/watersense-work-0>
- FAO (2013) Captación y almacenamiento de agua de lluvia: Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe Vitacura, Santiago, Chile <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>
- FUNCAGUA (2018) Plan de conservación del agua. Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana de Guatemala. 266p.
- García (2017) "Evaluación del tratamiento terciario actual de la planta de tratamiento de aguas residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar para determinar la remoción de la carga microbiológica contaminante en la descarga hacia el río contreras" <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2017/02/13/Garcia-Luis.pdf>
- Gobierno de la República de Guatemala, Secretaría de planificación y programación de la presidencia. Banco Interamericano de Desarrollo. (2006) Estrategia para la Gestión Integrada de Los Recursos Hídricos de Guatemala http://www.infom.gob.gt/archivos/Docs-Pdf/Documentos-Tecnicos/Diagnostico_del_Agua_Guatemala.pdf
- INFORM (2016) Guía de implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales. <http://www.infom.gob.gt/nuestros-servicios/plantas-de-tratamiento/>
- Leed, Section 4, Green building core concepts and application strategies, 3rd Ed. <https://www.usgbc.org/resources/leed-core-concepts-guide>

- Mokate (1999) Eficacia, eficiencia, equidad y sostenibilidad: ¿qué queremos decir?. INDES 2002.
- Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. París, UNESCO. <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>
- Ordóñez, J (2011) Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf
- Paz, V. (s.f) Fuentes de abastecimiento de agua en el Municipio de Guatemala Fuentes Superficiales. <http://aloas.org/institucional/Documents/Guatemala%20VICTOR%20PAZ.pdf>
- Real Academia Española (2020) Eficiencia. <https://dle.rae.es/eficiencia>
- UNEP (2002) Vital Water Graphics. An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/20624/Vital_water_graphics.pdf?sequence=1&%3BisAllowed=
- UNESCO, UN-Water, 2020: United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change, Paris, UNESCO.
- UNESCO, WWAP (2020) The United Nations World Water Development Report <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/>
- WWAP (2019) Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO.

IX

A n e x o s

Anexo No.1

Artículo 21. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA ENTES GENERADORES NUEVOS: Los entes generadores nuevos deberán cumplir, desde el inicio de sus operaciones, con una meta de tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno, con un parámetro de calidad asociado sea igual o menor a cien miligramos por litro en la demanda bioquímica de oxígeno, podrán realizar descargas mayores a tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno.

Adicionalmente, deberán cumplir los límites máximos permisibles de los parámetros siguientes:

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	20
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1 x10
Arsénico	Miligramos por litro	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.01
Niquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades platino cobalto	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006
<http://www.infom.gob.gt/nuestros-servicios/plantas-de-tratamiento/>

Anexo No. 2

Artículo 35. PARÁMETROS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA REUSO

El agua residual para reuso deberá cumplir con los límites máximos permisibles del siguiente cuadro:

Tipo de reuso	Demanda bioquímica de oxígeno, miligramos por litro	Coliformes fecales, número más probable por cien milímetros
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	< 2 x 10 (2)
Tipo III	200	No aplica
Tipo IV	No aplica	< 1 x 10 (3)
Tipo V	200	< 1 x 10 (3)

Anexo No. 3

Artículo 11. Límites máximos permisibles para las descargas al Lago de Atitlán: Los entes generadores que descarguen aguas residuales al lago de Atitlán, deben cumplir con los límites máximos permisibles de los parámetros que se indican a continuación:

Parámetros	Dimensionales	Fecha máxima de cumplimiento	
		31/08/2011	30/07/2013
		Uno	Dos
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7° *	TCR +/- 7° *
Grasas y aceites	Miligramos por litro	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	75	50
Demanda química de oxígeno	Miligramos por litro	150	100
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100	60
Nitrógeno total	Miligramos por litro	25	10
Fósforo total	Miligramos por litro	15	5
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno (Ph)	6-9	6 -9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1 x10	< 1 x10
Color aparente	Unidades platino cobalto	500	300

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius

Anexo No. 4

Artículo 12. Límites máximos permisibles para las descargas a ríos, riachuelos, quebradas y zanjones. Los entes generadores que descarguen aguas residuales en ríos, riachuelo, quebradas o zanjones de la cuenca del lago de Atitlán, deben cumplir con los límites máximos permisibles de los parámetros que se indican a continuación:

Parámetros	Dimensionales	Fecha máxima de cumplimiento	
		31/08/2011	30/07/2013
		Uno	Dos
Temperatura	Grados Celsius	Menor de 25	Menor de 25
Grasas y aceites	Miligramos por litro	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	75	50
Demanda química de oxígeno	Miligramos por litro	150	100
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100	60
Nitrógeno total	Miligramos por litro	25	10
Fósforo total	Miligramos por litro	15	5
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno (Ph)	6-9	6 -9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1 x10	< 1 x10
Color aparente	Unidades platino cobalto	500	300

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius

Anexo No. 5

Artículo 13. Límites máximos permisibles para las descargas al subsuelo. Los entes generadores que descarguen aguas residuales al subsuelo en la cuenca del lago de Atitlán, deben cumplir con los límites máximos permisibles de los parámetros que se indican a continuación.

Parámetros	Dimensionales	Fecha máxima de cumplimiento	
		31/08/2011	30/07/2013
		Uno	Dos
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 3° *	TCR +/- 3° *
Grasas y aceites	Miligramos por litro	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	50	30
Demanda química de oxígeno	Miligramos por litro	100	60
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	60	40
Nitrógeno total	Miligramos por litro	25	5
Fósforo total	Miligramos por litro	10	3
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno (Ph)	6-9	6 -9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1 x10	500
Color aparente	Unidades platino cobalto	750	400

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius