

2024 ●

**COMPENDIO
DE CONTENIDOS
ESENCIALES SOBRE**

**AGUA Y
SANEAMIENTO**



CONTENIDOS

Sarah Briceño – Universidad Yachay Tech
 Eliana Boada – Universidad Yachay Tech
 Carlos Pazmiño – Universidad Yachay Tech
 Luis Pineda – Universidad Yachay Tech
 Marvin Ricaurte – Universidad Yachay Tech
 Daniel Proaño Bravo – Fundación Un Cambio por la Vida
 Alex Goodland – Fundación Un Cambio por la Vida
 Charlie Ferguson – Fundación Un Cambio por la Vida
 Valeria Ochoa-Herrera – Universidad San Francisco de Quito y Galapagos Science Center

REVISIÓN

Noemí d'Ozouville – Sociedad Civil
 Henry Agredo – Fundación Scalesia
 Miriam Chacón – Asesoría Pedagógica

EDICIÓN

Martín Narváez – Fundación Educación para Comunidades Sostenibles
 Ana María Loose – Fundación Educación para Comunidades Sostenibles
 Marvin Ricaurte – Universidad Yachay Tech

FOTOGRAFÍA

Rashid Cruz
 Martín Hidalgo – Universidad Yachay Tech

DIAGRAMACIÓN

Jenny Paspuel – Universidad Yachay Tech
 Martín Hidalgo – Universidad Yachay Tech
 Boris Landeta – Universidad Yachay Tech
 Nicolás Enríquez M. – Universidad Yachay Tech

COORDINACIÓN GENERAL

Fundación Educación para Comunidades Sostenibles – ©ECOS

Este material ha sido posible gracias al financiamiento de la Fundación Charles Darwin a través de COMON Foundation y ACQUASPLENDOR S.A.

La reproducción parcial o total de esta publicación, en cualquier forma y por cualquier medio mecánico o electrónico, está permitida siempre y cuando sea autorizada por los editores y se cite correctamente la fuente.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA

Para citar este documento:

Fundación Educación para Comunidades Sostenibles (2024). "Compendio de Contenidos Esenciales sobre Agua y Saneamiento". Puerto Ayora, Galápagos.



Contextualización Curricular
 con enfoque de Sostenibilidad
 para Galápagos

ISBN: 978-9942-48-383-6

INTRODUCCIÓN AL AGUA Y SANEAMIENTO	06
Definición y conceptos básicos	07
Importancia del agua en la vida humana y el medio ambiente.....	10
Saneamiento y su relevancia	14
Panorama actual del acceso al agua y saneamiento	18
Retos y desafíos en el acceso al agua y saneamiento	20
Iniciativas y acciones tomadas	21
FUENTES DE AGUA INTRODUCCIÓN AL AGUA Y SANEAMIENTO	22
Fuentes naturales	25
Aguas superficiales: ríos, lagos y embalses.....	25
Aguas subterráneas: acuíferos y manantiales	26
Fuentes no convencionales	28
Desalinización de agua de mar	28
Reutilización de aguas residuales.....	29
GESTIÓN DEL AGUA	30
Ciclo hidrológico	31
Balance hídrico.....	37
Ciclo social del agua	38
Ciclo del agua y cambio climático	39
EL AGUA Y SANEAMIENTO EN LAS ISLAS GALÁPAGOS	40
Agua en la historia y la economía actual de Galápagos	42
El clima en las islas Galápagos	43
Hidrogeología de las islas Galápagos	45
Suministro de agua y saneamiento en las islas Galápagos	48
Ecohidrología	58
GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA	60
Calidad del agua	61
Métodos de conservación del agua	63
Reciclaje del agua	64
Saneamiento ecológico	65

IMPACTOS Y BENEFICIOS DEL SANEAMIENTO	66
Impactos y beneficios del saneamiento en la salud pública	67
Impactos y beneficios del saneamiento en el medio ambiente	70
INNOVACIONES Y TENDENCIAS FUTURAS SOBRE EL SANEAMIENTO DEL AGUA	72
Tecnologías emergentes de tratamiento de agua.....	73
Beneficios y desafíos de las tecnologías emergentes para el tratamiento de agua potable	76
Cambio climático y resiliencia	77
Soluciones relacionadas con el agua	79
LITERATURA CITADA	80
ANEXOS	84
Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con el agua y el saneamiento	85
Parámetros que permiten determinar la calidad del agua	87

CONTENIDO

PRESENTACIÓN

La Contextualización Curricular con enfoque de Sostenibilidad para Galápagos (CCSG) fue expedida el 30 de marzo de 2021 mediante Acuerdo Ministerial MINEDUC-MINEDUC-2021-00016-A, para todo el sistema educativo nacional de las islas Galápagos y es de aplicación obligatoria en todas las instituciones educativas públicas, fisco-misionales y particulares de la provincia a partir del año lectivo 2021- 2022.

El currículo de Galápagos alinea las destrezas de aprendizaje del currículo nacional a catorce temas y problemáticas de sostenibilidad para Galápagos, organizados en categorías transversales, sobre las nociones generales de: economía, ambiente y sociedad, junto a una articulación de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU.

El tema Agua y Saneamiento consta en el currículo como un subtema dentro del Eje “Interdependencia y Co-existencia armónica en la Naturaleza” y del tema esencial No. 7: “Agua, Saneamiento y Energía Renovable”.

La implementación de la CCSG se realiza a través de un trabajo colaborativo entre docentes, estudiantes, organizaciones externas aliadas y el Ministerio de Educación en el marco de un modelo de gestión coordinado por la Fundación ECOS, a través del cual se brinda a los docentes información, capacitación y materiales sobre cada uno de los temas de sostenibilidad, que son apoyados y/o facilitados por expertos locales e internacionales conocedores del tema.

Para el tema Agua y Saneamiento, se contó con la asistencia técnica de la Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay (Universidad Yachay Tech), la Universidad San Francisco de Quito, la Fundación Un Cambio por la Vida y representantes de la sociedad civil, quienes en conjunto y luego de un trabajo coordinado y arduo desarrollaron el “Compendio de Contenidos Esenciales sobre Agua y Saneamiento”, que constituye un documento de consulta que sistematiza la información más relevante sobre el tema y está dirigido a los docentes para diseñar actividades pedagógicas para todos los subniveles de educación.

Este recurso se suma a las demás herramientas educativas que se han elaborado sobre esta importante temática del currículo que tiene un gran impacto en la conservación y desarrollo sostenible de Galápagos.

01

INTRODUCCIÓN AL AGUA Y SANEAMIENTO

Esta obra explora la importancia del agua potable y el saneamiento para el desarrollo sostenible y el bienestar humano. Partimos de conceptos fundamentales sobre el agua y el saneamiento, examinando su impacto en la vida y el medio ambiente. También se presenta un análisis detallado del panorama global, respaldado por estadísticas actualizadas, que nos lleva a reflexionar sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 6 “Agua Limpia y Saneamiento”.

El propósito fundamental de este Compendio es proporcionar información rigurosa y actualizada, con la finalidad de inspirar acciones concretas en el área educativa en las islas Galápagos para enfrentar estos desafíos globales. Te invitamos a utilizar este material para fomentar una reflexión profunda sobre la gestión sostenible del agua, como recurso vital, preparando a las futuras generaciones para que sean agentes de cambio en un mundo que necesita urgentemente soluciones innovadoras y sostenibles en la gestión integral del agua y el saneamiento.

Definición y conceptos básicos

Es fundamental entender las definiciones y conceptos básicos que guían las políticas, proyectos y estudios del agua y el saneamiento. A continuación, se presentan definiciones y conceptos esenciales relacionados a estos temas:

Agua potable: Se refiere al agua que es segura para beber y apta para el consumo humano. Debe cumplir con los estándares de calidad físicos, químicos y microbiológicos establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 del Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) y las guías de los organismos internacionales de salud pública, como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS). Los parámetros de la calidad del agua potable incluyen la ausencia de patógenos, niveles aceptables de sustancias inorgánicas y radioactivas, orgánicas, compuestos químicos y características organolépticas adecuadas (olor, sabor, color, turbidez, entre otras).

Saneamiento: Es el conjunto de prácticas y sistemas destinados a la gestión de excretas humanas, aguas residuales y desechos sólidos para prevenir enfermedades y proteger la salud pública. Incluye instalaciones como inodoros, sistemas de alcantarillado, plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), sistemas de pozos sépticos, biodigestores, baños secos y servicios de gestión de residuos sólidos. El saneamiento adecuado es crucial para la prevención de enfermedades transmitidas por el agua y para el mantenimiento de un entorno saludable.

Agua residual (AR): Es el agua utilizada en actividades humanas y como resultado presenta contaminación. Este tipo de aguas pueden provenir de hogares, industrias o de las actividades agrícolas. Aquí se incluyen aguas grises (procedentes de inodoros) y aguas negras (procedentes de lavabos, duchas y lavandería). Las aguas residuales, antes de ser liberarlas al medio ambiente, deben tratarse de manera adecuada para prevenir la contaminación y proteger los recursos hídricos.



Ciclo hidrológico: Es el proceso continuo de circulación del agua en la Tierra entre diferentes reservorios, que incluye la evaporación de agua de superficies, la formación de nubes, la precipitación (lluvia, granizo o nieve), la infiltración en el suelo y la escorrentía hacia ríos y océanos. Este ciclo es esencial para el mantenimiento de los ecosistemas y para el suministro de agua potable.

Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH): El agua es crucial para el progreso económico, social y ambiental, pero no debe gestionarse aisladamente. Los responsables enfrentan decisiones difíciles sobre su distribución, con una oferta decreciente y una demanda creciente, agravadas por cambios

demográficos y climáticos. El enfoque tradicional fragmentado ya no es efectivo, por lo que se requiere una gestión integral. La gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) emerge como una solución internacionalmente aceptada para manejar eficiente y sosteniblemente este recurso limitado, atendiendo a las diversas demandas competitivas. La siguiente figura detalla cómo se desarrolla el proceso de la gestión integrada de los recursos hídricos. La GIRH busca equilibrar las necesidades de los diferentes usuarios (domésticos, industriales, agrícolas) y preservar los ecosistemas acuáticos y la salud pública. Promueve la coordinación entre diferentes sectores y niveles de gobierno para una gestión sostenible del agua.



OBJETIVOS DE DESARROLLO



Agua no segura: Es aquella que presenta características físicas, químicas o microbiológicas en niveles que superan los estándares de calidad establecidos. El consumo de agua no segura puede provocar una variedad de enfermedades de tipo diarreicas, hepatitis, cólera, entre otras. La provisión de agua segura es un componente esencial del saneamiento y de la salud pública.

Agua no contabilizada: Es aquella que se distribuye por la red, pero no está reflejada en los volúmenes entregados o facturados. Se representa en porcentaje (%) de las pérdidas que existen en los sistemas de distribución.

Eficiencia en el uso del agua: Hace referencia a la optimización del uso del agua para minimizar desperdicios y maximizar la productividad. En la agricultura esto puede incluir técnicas como el riego por goteo, mientras que en la industria puede implicar la implementación de procesos de reciclaje de agua. A nivel doméstico se puede implementar grifos con temporizadores o inodoros eficientes que consumen menos agua, entre otras alternativas. La eficiencia en el uso del agua es crucial para la sostenibilidad de los recursos hídricos.

Servicios de agua y saneamiento: Incluyen la provisión de agua potable, la gestión de aguas residuales y la eliminación de excretas y residuos sólidos. Estos servicios son esenciales para el bienestar humano y el desarrollo económico, los cuales deben ser accesibles, asequibles y sostenibles.

Figura 1. Fases de la planificación e implementación de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

Importancia del agua en la vida humana y el medio ambiente

El agua es un recurso vital para la supervivencia y el bienestar de todos los seres vivos en la Tierra. Su importancia se manifiesta en diversos aspectos de la vida humana y el medio ambiente, influyendo en la salud, la economía, la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas. A continuación, se exploran varios tópicos imprescindibles para comprender su impacto en la vida y nuestro interés en su estudio.

Agua y salud humana

Todos los seres vivos estamos compuestos en un alto porcentaje de agua en nuestros cuerpos y tejidos. De hecho, se estima que en los seres humanos este porcentaje se encuentra entre 55 y 70%. Es por esto que, sin agua dulce, no podemos sobrevivir más de 7 días. El agua en nuestro organismo permite mantener el equilibrio de todos los elementos y procesos metabólicos de manera funcional. Pero no es cualquier tipo de agua la que necesitamos, dependemos de agua dulce y libre de contaminación.

El acceso a agua potable es fundamental para la salud pública. El agua limpia y segura es esencial, para prevenir enfermedades transmitidas por el agua y ayudar a mantener la higiene personal. La limpieza adecuada, incluyendo el lavado de manos con agua y jabón, puede reducir significativamente la transmisión de enfermedades infecciosas y enfermedades de la piel.

El agua limpia también es esencial para la preparación segura de alimentos. El uso de agua contaminada en la cocina puede introducir patógenos que causan enfermedades. La limpieza adecuada de frutas, verduras y utensilios de cocina con agua potable es una práctica vital para la seguridad alimentaria y la salud.

Para comprender la importancia del agua en nuestros hogares, echemos un vistazo a algunas estadísticas sobre su uso:



Uso del inodoro: representa una parte importante del consumo doméstico de agua. Una descarga media consume unos 6 litros de agua, y los modelos más antiguos pueden consumir incluso mayor cantidad de agua.

Duchas y baños: este tipo de instalaciones consumen aproximadamente 9,5 litros por minuto, mientras que las bañeras pueden consumir hasta 265 litros de agua.

Grifos: los grifos normales vierten unos 7,5 litros de agua por minuto. Sin embargo, esto puede reducirse significativamente con el uso de grifos de bajo caudal o con temporizadores.

Lavavajillas: pueden consumir entre 23 y 60 litros de agua por ciclo, mientras que lavar los platos a mano puede consumir entre 30 y 102 litros de agua.

Lavado de ropa: las lavadoras tradicionales de carga superior consumen entre 114 y 170 litros (30-45 galones) por carga, mientras que las de carga frontal de alta eficiencia pueden consumir entre 57 y 114 litros (15-30 galones) por carga.

Piscinas: para el llenado inicial de una piscina se debe considerar su tamaño. En piscinas pequeñas se necesitarán entre 10.000 y 20.000 litros, una mediana requerirá de 40.000 a 50.000 litros, una piscina grande utilizará entre 75.000 y 100.000 litros; mientras que una piscina olímpica requiere 3'375.000 litros de agua. Además, hay que considerar el mantenimiento semanal, que consiste en la reposición del agua perdida por salpicaduras y evaporación, requerirá una cantidad adicional de entre 1.000 y 3.000 litros por semana.

Riego de jardines: para establecer la cantidad de agua necesaria en el riego de jardines se debe tomar en cuenta la superficie que se requiere regar, para esto, si se considera un área de 100 metros cuadrados, se utilizarán aproximadamente 1.250 litros. Estos valores dependen de la frecuencia y la duración del riego que se aplique, lo cual puede representar un uso significativo a largo plazo.

Lavado de vehículos: el lavado completo de un automóvil en un domicilio utilizando una manguera puede requerir alrededor de 380 litros de agua. Por otra parte, si el lavado es realizado por negocios especializados en esta tarea, el consumo de agua es significativamente menor, con un promedio entre 57 a 227 litros dependiendo del sistema utilizado.

Agua y desarrollo económico

La disponibilidad de agua limpia y segura impacta directamente a diversos sectores económicos, desde la agricultura y la industria hasta la generación de energía y el turismo, entre otros. El agua es fundamental para la agricultura, representando el 70 % del uso global de agua dulce. El riego eficiente y el acceso a fuentes de agua limpia permiten a los agricultores aumentar la productividad y mejorar la calidad de los cultivos, lo que es crucial para mantener precios estables y accesibles. Esto también ayuda a reducir la pobreza y mejorar la nutrición en las comunidades rurales.

El agua tratada es un recurso indispensable para muchas industrias. Desde las industrias de manufactura hasta la minería, numerosas actividades económicas dependen del acceso a agua limpia y segura. La disponibilidad de agua afecta directamente la productividad y la sostenibilidad de estos sectores. Las industrias que tienen acceso a agua limpia son más competitivas en el mercado global, ya que pueden producir bienes de mayor calidad y a menor costo; esto es particularmente relevante en sectores de alimentos, bebidas, farmacéutico, y textiles.

Agua y ecosistemas

“El agua es esencial para la existencia y el funcionamiento de todos los ecosistemas del planeta, tanto acuáticos como terrestres.”

Estos ecosistemas albergan una gran biodiversidad y proporcionan servicios ecosistémicos vitales que sostienen la vida humana, contribuyendo al bienestar económico y social.

Los ecosistemas acuáticos —ríos, lagos, humedales, océanos y acuíferos— son hábitats vitales para una amplia diversidad de vida, que incluye peces, invertebrados, anfibios, reptiles, aves y mamíferos; así como para innumerables especies de plantas y microorganismos. Además, muchos ecosistemas terrestres dependen del agua. Bosques, praderas, páramos, humedales, manglares y desiertos son influenciados por la disponibilidad de agua dulce, que determina la distribución y la diversidad de las especies que pueden sobrevivir allí.

Agua y cambio climático

El agua juega un papel fundamental en el sistema climático de la Tierra, ya que es un componente esencial en el ciclo hidrológico y actúa como regulador de la temperatura y del clima global.

El incremento de las temperaturas globales intensifica la evaporación del agua de los océanos, lagos y ríos, aumentando la humedad atmosférica y modificando los patrones de precipitación. También, provoca el derretimiento acelerado de glaciares y capas de hielo con graves repercusiones; en particular, altera el flujo de agua dulce en ríos y lagos. Esto afecta tanto los ecosistemas acuáticos como los suministros de agua potable para millones de personas a nivel mundial. Adicionalmente, los eventos extremos de lluvia, las inundaciones y el aumento del nivel del mar pueden contaminar las fuentes de agua con agua de mar, heces fecales, nutrientes, patógenos, metales pesados y otros contaminantes; afectando significativamente la disponibilidad, accesibilidad y calidad del agua, y por tanto afectar a la seguridad hídrica.

Los impactos en la salud humana son grandes, estudios recientes han demostrado que el ingreso de adultos mayores en hospitales por enfermedades gastrointestinales aumentó en un 10 %, lo cual se encuentra directamente relacionado con el incremento de la turbidez del agua consumida.

La inversión en infraestructuras resilientes al clima, como embalses, sistemas de riego eficientes y

“La relación entre el agua y el cambio climático es bidireccional: mientras el cambio climático afecta la disponibilidad, accesibilidad, calidad y distribución del agua, el manejo y uso adecuado de los recursos hídricos influyen en la mitigación y adaptación al cambio climático.”

plantas de tratamiento de aguas servidas, es esencial para asegurar el suministro de agua durante eventos extremos, así mismo, implementar enfoques de gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) permite coordinar eficientemente el uso y la conservación del agua entre diferentes sectores y usuarios, mejorando la capacidad de respuesta a los cambios en la disponibilidad, accesibilidad y calidad del agua.



Saneamiento y su relevancia

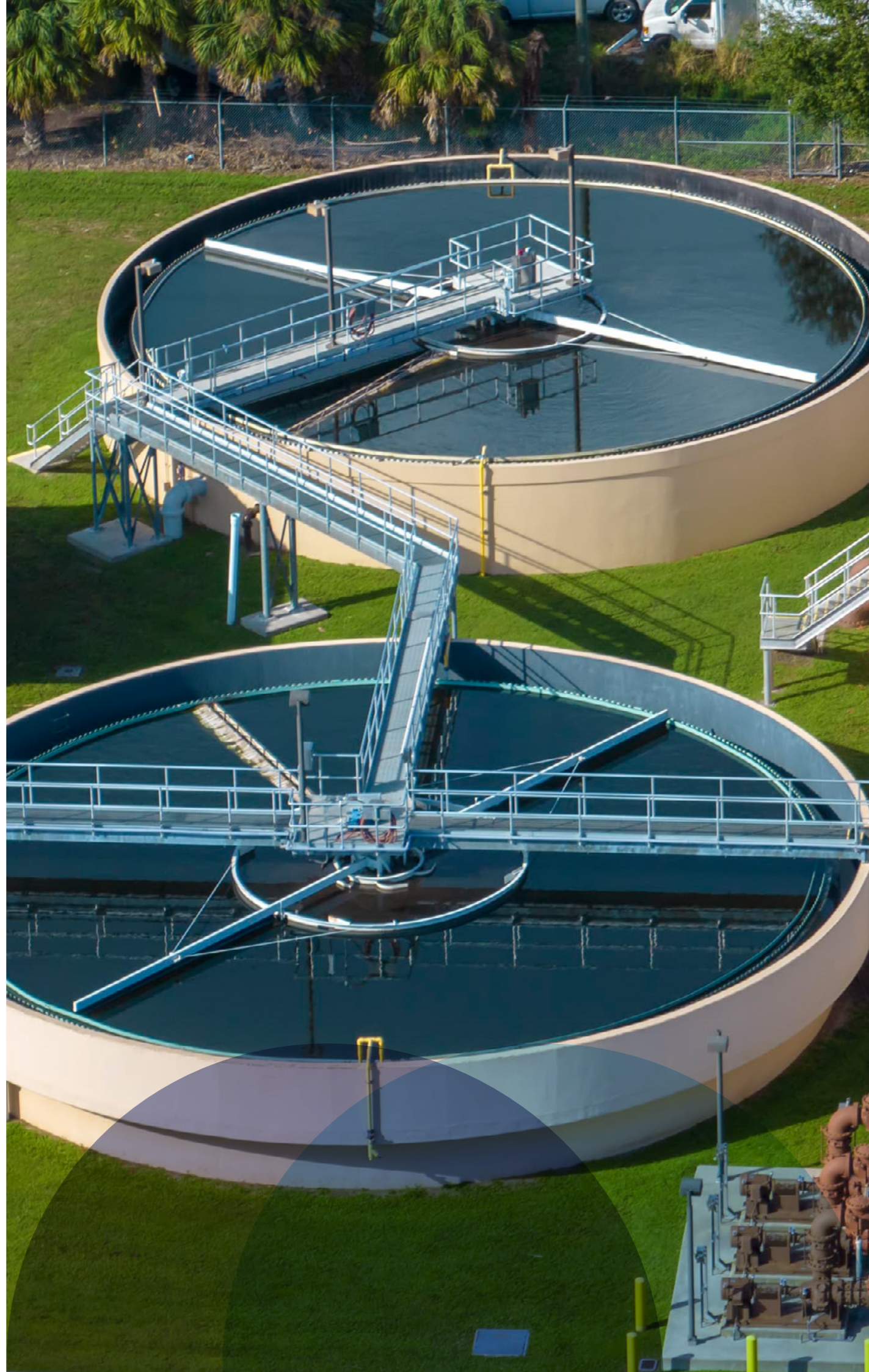
El saneamiento se refiere al desarrollo de instalaciones y servicios para eliminar excretas humanas y desechos sólidos, para mejorar la calidad del agua utilizada y disminuir los impactos de su uso en el ambiente. Incluye el acceso a instalaciones higiénicas y servicios adecuados para la gestión de residuos y aguas residuales. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el saneamiento implica *“el acceso a instalaciones que aseguren la gestión higiénica de los excrementos humanos, incluyendo los servicios de eliminación segura de las aguas residuales y los excrementos”*.

Tipos de saneamiento

Existen varios tipos de saneamiento, dependiendo de la infraestructura y los métodos utilizados para gestionar los residuos humanos y las aguas residuales.

Saneamiento mejorado: Se refieren a instalaciones y servicios diseñados para asegurar la eliminación higiénica de excretas y el manejo seguro de las aguas residuales. Estos sistemas minimizan el riesgo de exposición a patógenos y previenen la contaminación del medio ambiente.

- **Inodoros con descarga:** Los inodoros con descarga son instalaciones conectadas a un sistema de alcantarillado o una fosa séptica. Estos sistemas utilizan agua para transportar las excretas, a través de tuberías hacia instalaciones de depuración de aguas residuales, donde deberían ser tratadas de manera segura.
- **Letrinas mejoradas:** Son instalaciones diseñadas para contener y tratar excretas de manera segura sin necesidad de una conexión a un sistema de alcantarillado, estos sistemas utilizan diversos procesos microbiológicos que permiten disminuir los contaminantes presentes en las aguas residuales generadas.
- **Baños secos:** Los baños secos, también conocidos como inodoros secos, no utilizan agua para el transporte de excretas. En su lugar, emplean métodos de deshidratación y compostaje para tratar las excretas de manera segura.



Saneamiento no mejorado: El saneamiento no mejorado incluye instalaciones y prácticas que no garantizan la eliminación segura de excretas, lo que aumenta el riesgo de exposición a patógenos y la contaminación ambiental. Algunos ejemplos de saneamiento no mejorado son:

- **Letrinas no mejoradas:** Estas letrinas carecen de las características necesarias para contener y tratar excretas de manera segura.
- **Eliminación al aire libre:** La eliminación al aire libre es una práctica en la que las personas defecan directamente en campos, bosques, arroyos u otros espacios abiertos. Esta práctica es peligrosa, ya que facilita la propagación de enfermedades y puede contaminar las fuentes de agua.

“¿Sabías qué la fundación Bill y Melinda Gates han invertido millones de dólares en retos de innovación, para encontrar soluciones novedosas para atender las necesidades de saneamiento en el mundo?. La iniciativa se llama “Reinventar el baño”. Tenemos una organización premiada del Ecuador y un modelo de estos baños se utilizan en algunos lugares del Parque Nacional Galápagos.”

Relevancia del saneamiento en la salud pública

El saneamiento adecuado es fundamental para la salud pública, ya que previene la propagación de enfermedades, mejora la calidad de vida y contribuye al bienestar general de las comunidades. La falta de acceso a instalaciones de saneamiento seguro y la práctica de saneamiento inadecuado provocan problemas, que pueden incluir enfermedades infecciosas, de la piel, gastrointestinales y respiratorias, con altas tasas de mortalidad.

El acceso a instalaciones de saneamiento adecuado es crucial para prevenir enfermedades transmitidas por el agua. La falta de saneamiento facilita la transmisión de patógenos a través del agua, mediante el contacto con superficies contaminadas, animales domésticos y alimentos. Las enfermedades ocasionadas por un deficiente sistema de saneamiento pueden clasificarse, según los efectos sobre la salud y los agentes causantes de estas. Así tenemos:

- **Enfermedades diarreicas:** Las enfermedades diarreicas son infecciones del tracto digestivo que resultan en la evacuación frecuente de heces líquidas o semilíquidas. La principal causa de las enfermedades diarreicas es la ingestión de agua o alimentos contaminados con microorganismos patógenos, como bacterias, virus y parásitos. Entre las principales tenemos el cólera, la disentería, fiebre tifoidea y rotavirus, entre otras.
- **Enfermedades parasitarias:** Las enfermedades parasitarias son causadas por la infección de parásitos que se transmiten a través de agua, alimentos o suelo contaminados con excretas de animales y de humanos. Estas infecciones pueden causar una amplia gama de síntomas y complicaciones de salud, especialmente en niños, adultos mayores y personas vulnerables. Dentro de las principales se tiene la ascariasis, tricuriasis, anquilostomiasis y giardiasis.

Impacto del saneamiento en la equidad y justicia social

El acceso al saneamiento es un derecho humano fundamental y es esencial para la equidad y justicia social. La falta de acceso a instalaciones sanitarias adecuadas afecta desproporcionadamente a las comunidades vulnerables, incluyendo a mujeres, niños y personas con discapacidades y vulnerables. Garantizar el acceso equitativo al saneamiento puede reducir las desigualdades sociales y mejorar la calidad de vida de las poblaciones más desfavorecidas.

Las mujeres y las niñas se ven afectadas por la falta de agua o servicios higiénicos adecuados para la gestión de la higiene menstrual en escuelas y lugares de trabajo, lo que causa ausencia escolar y laboral, limitando sus oportunidades educativas, económicas y de desarrollo.

Finalmente, se debe considerar el efecto de la falta de instalaciones sanitarias accesibles con la exclusión social y económica de las personas con discapacidad, que se enfrentan a barreras significativas para acceder a servicios adecuados de saneamiento, lo cual afecta su dignidad y calidad de vida. Esto hace indispensable la implementación de instalaciones sanitarias adecuadas y accesibles.

Saneamiento y sostenibilidad ambiental

El saneamiento adecuado no sólo es esencial para la salud humana, sino que también juega un papel crucial en la sostenibilidad ambiental. La gestión adecuada de los residuos humanos y las aguas residuales puede prevenir la contaminación de los cuerpos de agua y de los suelos, proteger los ecosistemas acuáticos y contribuir a la preservación de la biodiversidad.

Uno de los mayores desafíos ambientales asociados con el saneamiento es la prevención de la contaminación de los cuerpos de agua. La descarga inadecuada de aguas residuales y excrementos de animales y de humanos en ríos, lagos y zonas costeras puede llevar a problemas complejos como la eutrofización, que consiste en la proliferación de algas en lagos y lagunas, lo que puede ocasionar la afectación o muerte de los organismos acuáticos. Así también, puede provocar desequilibrios en los ecosistemas y en casos extremos, la contaminación por compuestos tóxicos que no sólo afectan los ecosistemas acuáticos y terrestres, sino que pueden poner en riesgo la salud humana.

Desarrollo económico y saneamiento

El acceso a servicios de saneamiento adecuados es un componente esencial para el desarrollo económico. La falta de saneamiento no sólo afecta la salud y el bienestar de las personas, sino que también tiene un impacto significativo en la productividad y el crecimiento económico. La construcción y mantenimiento de infraestructuras de saneamiento, como plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y sistemas de alcantarillado, generan empleos directos e indirectos. Además, el desarrollo de tecnologías de saneamiento innovadoras puede abrir nuevas oportunidades de negocio y fomentar el emprendimiento.

La mejora en la calidad de vida y el bienestar están directamente relacionados con el acceso a saneamiento adecuado, esto a su vez tiene un impacto positivo en el desarrollo económico. Las comunidades con buenos servicios de saneamiento son más saludables, productivas y tienen un mayor potencial para el desarrollo económico. Esto atrae inversiones, promueve el turismo y aumenta el valor de las propiedades. También se debe considerar el impacto del acceso al saneamiento con la educación. Los niños que conviven con condiciones sanitarias deficientes tienen una mayor probabilidad de faltar a la escuela debido al desarrollo de enfermedades. Por otro lado, al mejorar las instalaciones sanitarias de las escuelas, se incrementa la tasa de asistencia y el rendimiento académico. Además, la capacitación y educación de prácticas de saneamiento puede empoderar a los estudiantes y a las comunidades para gestionar de una manera adecuada sus recursos hídricos, proteger los sistemas acuáticos y mejorar su desarrollo económico. En la sección de Anexos puedes revisar información sobre los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de las Organización de las Naciones Unidas (ONU) relacionados con el agua y el saneamiento.

Panorama actual del acceso al agua y saneamiento

El acceso al agua potable varía significativamente en todo el mundo debido a factores económicos, geográficos y de infraestructura. A nivel global, aproximadamente el 74 % de la población utiliza fuentes de agua gestionadas de forma segura, lo que representa alrededor de 5,82 mil millones de personas. Esto implica que 2,2 mil millones de personas aún carecen de acceso a agua potable. De estos, 115 millones dependen de fuentes superficiales como ríos y lagos, 296 millones utilizan fuentes no mejoradas, 292 millones tienen acceso limitado y 1,5 mil millones carecen de servicios básicos.

Dentro de un mismo país, el acceso al agua potable puede variar considerablemente entre áreas urbanas, rurales e insulares. En general, las zonas urbanas tienen un mayor acceso debido a la infraestructura de distribución desarrollada, capaz de suministrar adecuadamente agua a sus habitantes. A nivel global, el 85 % de la población urbana tiene acceso a servicios de agua potable. En Ecuador, el porcentaje de la población urbana con acceso a agua potable es del 87 %.

En las áreas rurales, el acceso es menor debido a la falta de infraestructura y los costos más altos para desarrollar sistemas de distribución eficientes. Globalmente, sólo el 63 % de la población rural tiene acceso a agua potable. En Ecuador, el 70 % de los habitantes rurales tienen acceso a agua potable.

En las zonas insulares, el acceso al agua es limitado por la dependencia en fuentes naturales y costosas alternativas como la desalinización. En las Galápagos, el 89,9% de los hogares obtienen agua principalmente de la red pública, el 3,9 % de la distribución por camiones cisterna, el 5,2 % de otras fuentes como agua de lluvia, el 0,3 % de pozos y el 0,6 % de fuentes como manantiales, acequias o canales.

Las islas habitadas de las Galápagos enfrentan desafíos significativos relacionados con el acceso y suministro al agua. La población conectada a los sistemas municipales recibe el recurso durante un tiempo limitado del día, especialmente en verano, por lo que se necesitan cisternas o reservorios en los techos de los hogares, lo que aumenta la presión hídrica sobre los pobladores.

El acceso a servicios de saneamiento varía significativamente en todo el mundo. El 54 % de la población mundial utiliza servicios de saneamiento gestionados de forma segura, el 28 % carece de acceso a servicios básicos de saneamiento y el 6 % practica la defecación al aire libre.

Entre países, se puede observar que, dependiendo del nivel de ingresos, el acceso a estos servicios difiere considerablemente. En naciones de alto ingreso como Japón y Canadá, más del 98 % de la población dispone de saneamiento. En contraste, en países de bajos ingresos como Etiopía y Madagascar, menos del 30 % de la población puede acceder a este servicio básico.

Además, existe una notable diferencia en el nivel de saneamiento entre áreas urbanas, rurales e insulares. A nivel global, aproximadamente el 79 % de la población urbana cuenta con este servicio gestionado de forma segura. En países desarrollados como Alemania y Estados Unidos, el porcentaje de acceso supera el 90%. En cambio, en zonas rurales a nivel mundial, sólo el 44 % de la población dispone de servicios de saneamiento. Esto es más pronunciado en países como India y Nigeria, donde las áreas rurales tienen un acceso considerablemente menor que el promedio global.

En áreas insulares, el desafío para disponer de estos servicios es similar al del agua potable, principalmente debido al aislamiento geográfico. Por ejemplo, en las Islas del Pacífico, menos del 50 % de la población tiene acceso a servicios de saneamiento.

En Ecuador, según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), aproximadamente el 80 % de la población tiene acceso a servicios de saneamiento. En zonas urbanas, el 87 % de la población cuenta con saneamiento, mientras que, en áreas rurales e insulares, es del 45 % y 60 %, respectivamente.

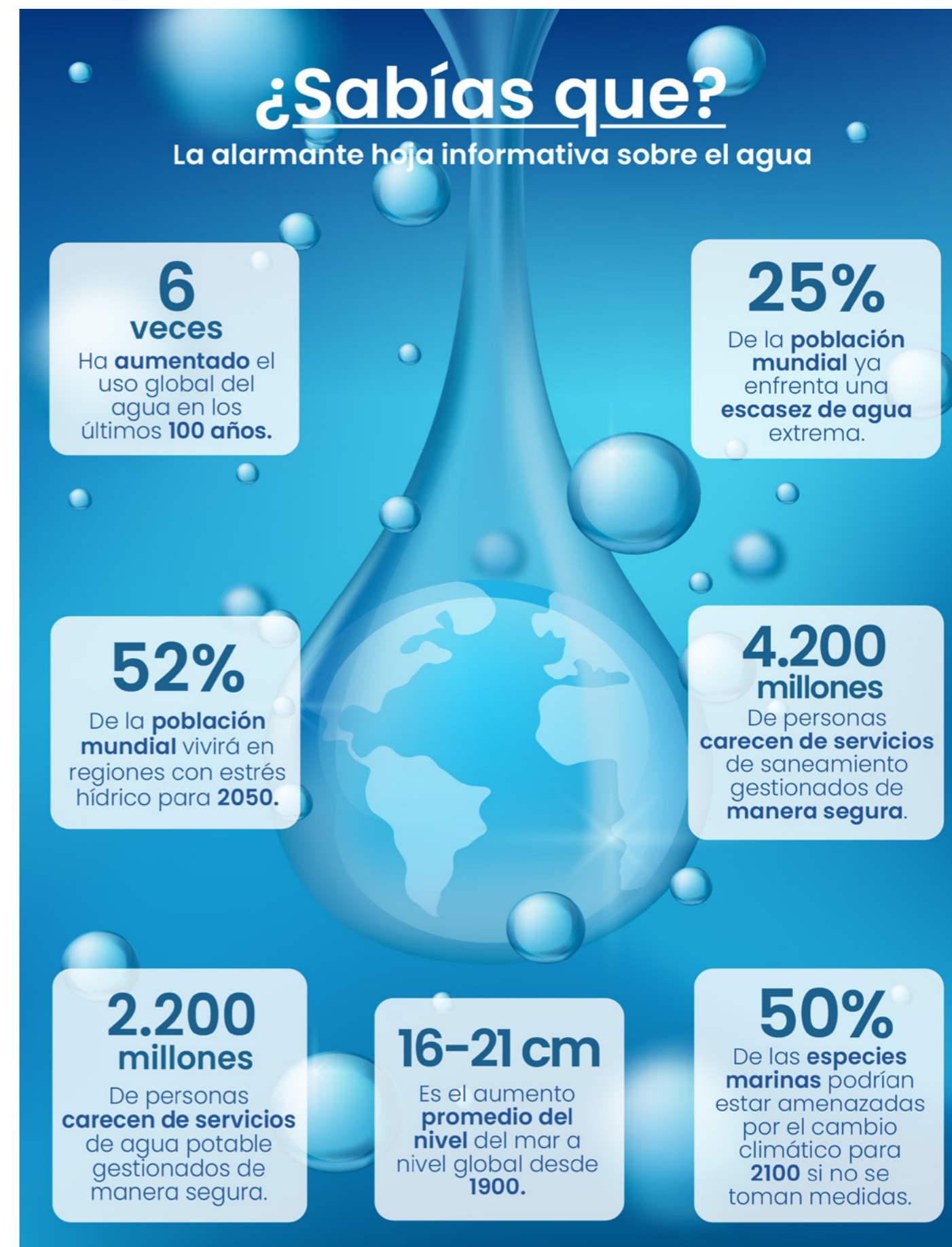


Figura 2. La alarmante hoja informativa del agua.

Retos y desafíos en el acceso al agua y saneamiento

Contaminación del agua: La contaminación por residuos industriales, agrícolas y urbanos sigue siendo un gran problema en el mundo. El Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés) señala que más del 80 % de las aguas residuales generadas por actividades humanas se vierten en ríos o mares sin ningún tipo de tratamiento, contaminando fuentes de agua dulce de gran importancia. Además, la escorrentía agrícola aporta a los cuerpos de agua carga de nutrientes como amonio, nitratos y fosfatos, lo que lleva a la eutrofización y la muerte de especies acuáticas por falta de oxígeno. Adicionalmente, la escorrentía puede aportar con una carga importante de contaminantes orgánicos como pesticidas, e inorgánicos como metales pesados, y una alta contribución microbiana como coliformes totales y coliformes fecales.

Escasez de agua: El cambio climático y el uso

insostenible de los recursos hídricos están exacerbando la escasez de agua en muchas partes del mundo. La OMS estima que para 2025, la mitad de la población mundial vivirá en áreas con escasez de agua. Actualmente, más de 2 mil millones de personas viven en países que experimentan niveles altos de estrés hídrico. Esto afecta la producción agrícola, la industria y la generación de energía, impactando en el desarrollo económico, la seguridad alimentaria y la salud de dichas poblaciones.

Falta de infraestructura: Según el Banco Mundial, se necesita una inversión adicional de \$114 mil millones anuales hasta 2030 para alcanzar las metas de acceso universal al agua potable y saneamiento. La falta de infraestructura adecuada limita el acceso a estos servicios esenciales, así como también a la contaminación del agua y la propagación de enfermedades.



Iniciativas y acciones tomadas

Cooperación internacional: La colaboración entre países y organizaciones internacionales para compartir conocimientos, tecnologías y recursos es vital para abordar los desafíos del agua a nivel global. Iniciativas como el "Programa Conjunto de Monitoreo de Agua, Saneamiento e Higiene" de la OMS y UNICEF promueven la cooperación y el intercambio de datos y mejores prácticas entre

naciones para permitir el acceso a agua potable y saneamiento en todo el mundo.

En este ámbito, diversas agencias y fondos juegan un papel crucial en la promoción y financiamiento de proyectos que buscan mejorar el acceso al agua potable y al saneamiento, especialmente en las regiones más vulnerables. A continuación, tenemos algunos ejemplos:

Agencias Multilaterales

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF)

Implementa programas de agua, saneamiento e higiene (WASH, por sus siglas en inglés) en más de 100 países, centrados en el suministro de agua potable, la promoción de prácticas de higiene y la construcción de infraestructuras sanitarias.

Banco Mundial

A través de su división de Agua, financia iniciativas y programas destinados a mejorar el acceso al agua potable y los sistemas de saneamiento en países en vías de desarrollo.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)

Fomenta el programa "Hidrología para el Medio Ambiente, la Vida y la Política" (HELP, por sus siglas en inglés), enfocado en la gestión integrada de los recursos hídricos.

Agencias Bilaterales

Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID)

Apoya proyectos de agua y saneamiento en naciones en desarrollo, promoviendo prácticas sostenibles y soluciones tecnológicas innovadoras.

Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (GIZ)

Trabaja con varios países para implementar sistemas de gestión del agua y saneamiento, además de fomentar prácticas de higiene.

Bancos de Desarrollo

Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

Financia proyectos de agua y saneamiento en América Latina y el Caribe, impulsando la sostenibilidad y la inclusión social.

Banco Asiático de Desarrollo (ADB)

Apoya iniciativas para mejorar el suministro de agua y los sistemas de saneamiento en países asiáticos, con un enfoque en la gestión integrada de los recursos hídricos.

Fondos Ambientales

Fondo Verde para el Clima (GCF)

Financia proyectos que abordan el cambio climático, incluyendo iniciativas relacionadas con la gestión de los recursos hídricos y el saneamiento.

Proyectos de Infraestructura: La construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, sistemas de suministro de agua potable y redes de alcantarillado, además de la protección de las fuentes hídricas son fundamentales para mejorar el acceso al agua y saneamiento. Un ejemplo interesante es el programa *“Saneamiento Total Liderado por la Comunidad”* en Bangladesh, un país ubicado en el sur de Asia y que es uno de los países más densamente poblados del mundo, que enfrenta serios desafíos en el acceso a servicios de sanitarios adecuados, donde el programa ha ayudado a más de 40 millones de personas a obtener acceso a saneamiento mejorado, reduciendo significativamente las enfermedades diarreicas en la región. Este programa se enfoca en cambiar la

Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF)

Apoya proyectos de conservación y uso sostenible de los recursos hídricos, mejorando el acceso al agua potable y al saneamiento.

construcción subsidiada de inodoros en domicilios individuales por una transformación de actitudes y de conducta de la comunidad entera teniendo como fin detener la defecación a campo abierto. Esto a través de la movilización de la comunidad propiciando que sus miembros utilicen sus propias iniciativas para construir letrinas e infraestructura sanitaria de acuerdo con sus necesidades y realidades. El programa no utiliza normas ni diseños estándares para las letrinas, sino que anima la creatividad local. Esto beneficia una mayor apropiación de la infraestructura a nivel local y, como resultado, su sostenibilidad.

Programas de educación y concienciación: Las campañas para educar a las comunidades sobre la importancia del agua potable, el saneamiento y la higiene son cruciales. Por ejemplo, la iniciativa ONU-Agua a través de su plataforma agua para niños (Water Kids en inglés) de UNICEF (<https://www.watereducation.org/water-kids>) o la iniciativa agua para la gente (<https://www.waterforpeople.org/es/kids/>) ha mejorado las instalaciones de agua, saneamiento e higiene en más de 100.000 escuelas en todo el mundo, beneficiando a millones de niños y mejorando sus condiciones de salud y aprendizaje.

Innovaciones tecnológicas: El desarrollo y el despliegue de tecnologías de desalinización, el reciclaje y la reutilización del agua; así como el tratamiento de aguas residuales, son esenciales para abordar los desafíos hídricos. Tecnologías como la ósmosis inversa para la desalinización y las plantas de tratamiento de aguas residuales, han ayudado a comunidades en regiones desérticas a obtener agua potable y a gestionar eficazmente los recursos hídricos de los que disponen. Por otra

parte, el desarrollo de tecnologías, como las celdas de combustible microbiano (MFC, por sus siglas en inglés), que permiten la depuración de aguas residuales y la generación de energía renovable, permiten resolver problemas de contaminación y escasez de recursos energéticos. Estas tecnologías no sólo mejoran la calidad del agua al eliminar contaminantes, sino que también producen bioelectricidad, biometano y biohidrógeno. Al integrar la reutilización de aguas residuales con la producción de energías limpias, las MFC apoyan una economía circular y sostenible. Adicionalmente, estas tecnologías pueden aportar a la seguridad alimentaria ya que se requiere energía y agua para producir alimentos. Es así que el nexo Agua – Energía – Alimentos (WEF, por sus siglas en inglés) es un enfoque integrador que considera las interrelaciones entre estos tres sectores, y en la actualidad su implementación es de gran utilidad como una estrategia de adaptación y mitigación al cambio climático, particularmente en los lugares más vulnerables.



02

FUENTES DE AGUA



Fuentes Naturales

Aguas superficiales: ríos, lagos y embalses

La mayor parte del agua que se ve fluir en los ríos proviene de la escorrentía de las precipitaciones de la superficie terrestre a lo largo del río. Por supuesto, no toda la escorrentía termina en los ríos. Una parte se evapora en el viaje cuesta abajo, puede ser desviada y utilizada por la gente para sus usos e incluso puede ser bebida por animales. Los ríos fluyen a través de valles en el paisaje que tienen crestas de tierras más altas que los separan de otros valles. El área del valle entre crestas que recoge la precipitación es una cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje. La mayoría de las precipitaciones en una cuenca van directamente a los ríos; una parte penetra en el suelo para recargar los acuíferos subterráneos, y algunas pueden volver a filtrarse en los lechos de los ríos.

Ríos

Un río se forma a partir del agua que se mueve de una elevación más alta a una elevación más baja, todo debido a la gravedad. Cuando la lluvia cae sobre la tierra, se filtra en el suelo o se convierte en escorrentía, que fluye cuesta abajo hacia ríos y lagos, en su viaje hacia los mares. En la mayoría de los paisajes, el terreno no es perfectamente plano: desciende en alguna dirección. El agua corriente encuentra inicialmente su camino cuesta abajo en forma de pequeños arroyos. A medida que los pequeños arroyos fluyen cuesta abajo, se unen para formar arroyos y ríos más grandes. Los ríos eventualmente terminan desembocando en los océanos. Si el agua fluye hacia un lugar que está rodeado por tierras más altas por todos lados, se formará un lago. Si la gente ha construido una presa para impedir el flujo de un río, el lago que se forma es un embalse. Los ríos están alimentados también por fuentes de agua subterráneas a lo largo de su camino, y, pueden estar conectados con sistemas acuíferos de gran extensión que permite que estos fluyan de forma permanente.

Lagos y embalses

Un lago es un lugar donde la escorrentía de agua superficial (y potencialmente el nivel saturado de agua subterránea) se ha acumulado en un lugar bajo, con relación al terreno circundante. No es que el agua que forma los lagos quede atrapada, sino que el agua que entra en un lago entra más rápido de lo que puede escapar, ya sea a través de un río, filtración en el suelo o por evaporación. Y si existen poblaciones cercanas, los niveles del agua pueden verse afectados por la extracción de agua para las necesidades humanas.

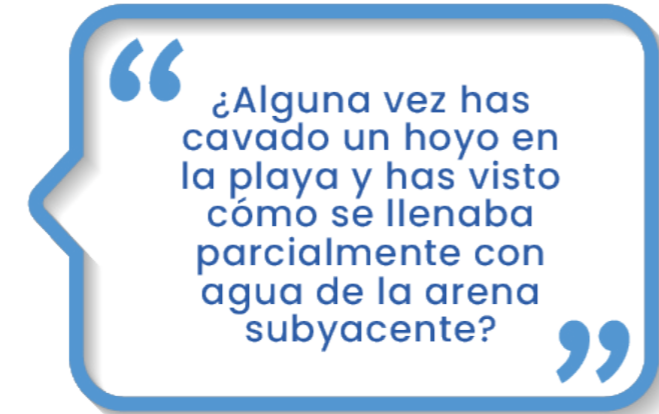
En la mente de muchas personas, un embalse es lo mismo que un lago. Pero, de hecho, un embalse es un lago artificial que se crea cuando se construye una presa en un río. El agua del río retrocede detrás de la presa creando un embalse.

Aguas subterráneas: acuíferos y manantiales

Acuíferos

Un acuífero es un cuerpo de roca y/o sedimento que contiene agua subterránea. Agua subterránea es la palabra utilizada para describir la precipitación que se ha infiltrado en el suelo, más allá de la superficie, y se ha acumulado en espacios vacíos bajo tierra. Hay dos tipos generales de acuíferos: confinados y no confinados. Los acuíferos confinados tienen una capa de roca o arcilla impenetrable encima, mientras que los acuíferos libres se encuentran debajo de una capa permeable de suelo.

Muchos diferentes tipos de sedimentos y rocas pueden formar acuíferos, incluidos grava, arenisca, conglomerados y piedra caliza fracturada. Los acuíferos a veces se clasifican según el tipo de roca o sedimentos que los componen. Un error común acerca de los acuíferos es creer que son ríos o lagos subterráneos. Si bien el agua subterránea puede filtrarse hacia o desde los acuíferos debido a su naturaleza porosa, no puede moverse lo suficientemente rápido como para fluir como un río.



Esta es una excelente manera de ilustrar el concepto de cómo el suelo, si es lo suficientemente permeable, puede retener agua, pero seguir siendo sólido. La superficie superior de esta área llena de agua o zona de saturación, se llama nivel freático. El área saturada debajo del nivel freático se llama acuífero, y los acuíferos son áreas en las cuales se retiene y se almacena agua en todos los espacios disponibles e interconectados y permite su movilización. En nuestro ejemplo de pozo de arena, esencialmente se ha cavado un pozo que deja al descubierto el nivel freático, con un acuífero debajo. En la playa, el nivel freático siempre está al

mismo nivel que el océano, que está justo debajo de la superficie de la playa. La mayoría de los espacios vacíos en las rocas debajo del nivel freático están llenos de agua. Estas rocas tienen características de porosidad y permeabilidad, lo que significa que el agua no se mueve igual en todas las rocas subterráneas.

Cuando una roca portadora de agua transmite fácilmente agua a pozos y manantiales, se le llama acuífero. Se pueden perforar pozos en los acuíferos y bombear agua. La precipitación eventualmente agrega agua (recarga) a la roca porosa del acuífero. Sin embargo, la tasa de recarga no es la misma para todos los acuíferos y eso debe tenerse en cuenta al bombear agua de un pozo. Bombear demasiada agua de manera rápida consume el agua del acuífero y eventualmente hace que un pozo produzca cada vez menos agua e incluso se seque. De hecho, bombear demasiado un pozo puede incluso hacer que el pozo de su vecino se seque si ambos están bombeando del mismo acuífero.

Manantiales o vertientes

Un manantial o vertiente es un punto de salida natural en el que el agua subterránea emerge del acuífero y fluye hacia la parte superior de la corteza terrestre para convertirse en agua superficial. Los manantiales han sido durante mucho tiempo importantes para los humanos como fuente de agua dulce, especialmente en regiones áridas que tienen relativamente pocas precipitaciones anuales.

Las vertientes son impulsadas hacia la superficie por diversas fuerzas naturales, como la gravedad y la presión hidrostática. Un manantial producido por la aparición de agua subterránea calentada

geotérmicamente se conoce como manantial termal. Existen diferentes tipos de vertientes:

- Las vertientes de depresión se forman en acuíferos no confinados cuando la topografía cruza el nivel freático. Como las vertientes se forman debido a la atracción gravitacional de la Tierra, se denominan vertientes de depresión o de gravedad.
- Las vertientes de fractura se dan por la existencia de zonas permeables en rocas de baja permeabilidad. El movimiento del agua subterránea se da por fracturas que constituyen la porosidad y permeabilidad de los acuíferos. Las vertientes se forman donde estas fracturas se cruzan con la superficie del suelo.
- El término "Karst" se deriva de una palabra eslava que significa tierra árida y pedregosa. También es el nombre de una región de Eslovenia que es muy conocida por sus dolinas y manantiales. Los geólogos han adoptado el término karst para referirse a todos esos terrenos. Las cavidades se forman en rocas carbonatadas debido a la disolución del material rocoso por reacción química. El agua se mueve a través de estas cavidades y aberturas para formar un manantial o un sistema de manantiales.
- Las fallas también pueden dar lugar a condiciones en las que el agua subterránea (en profundidad) bajo presión hidrostática (como en acuíferos confinados) puede ascender a lo largo de dichas aberturas de falla para formar un manantial.
- Las vertientes de contacto surgen en contactos donde rocas relativamente permeables se superponen a rocas de baja permeabilidad. En tales contactos emerge agua de manantial.



Fuentes no convencionales

Desalinización de agua de mar

El agua salada contiene cantidades significativas de sales disueltas, siendo la más común la sal que todos conocemos: cloruro de sodio (NaCl). La concentración es la cantidad (en masa por unidad de volumen) de sal en el agua, expresada en partes por millón (ppm). Si el agua tiene una concentración de 10.000 ppm de sales disueltas, entonces el uno por ciento (10.000 dividido por 1'000.000) del peso del agua proviene de sales disueltas.

Esta es la clasificación del agua basada en el contenido de sales:

- **Agua dulce:** menos de 1.000 ppm.
- **Agua ligeramente salada:** 1.000 ppm a 3.000 ppm.
- **Agua moderadamente salada:** 3.000 ppm a 10.000 ppm.
- **Agua altamente salada:** 10.000 ppm a 35.000 ppm.

“

El agua del océano contiene alrededor de 35.000 ppm de sal, es decir, la concentración de sal es 3,5 %.

”

Desalinización es la eliminación de sales disueltas del agua de mar y, en algunos casos, de las aguas salobres de los mares interiores, aguas subterráneas altamente mineralizadas y aguas residuales municipales. Este proceso hace que estas aguas, que de otro modo serían inutilizables, sean aptas para el consumo humano, el riego, las aplicaciones industriales y otros fines diversos. La tecnología de desalinización existente requiere una cantidad sustancial de energía, normalmente proveniente de combustibles fósiles, lo que hace costoso el proceso de desalinización y muy

demandante en términos energéticos. Por eso, se suele utilizar sólo cuando no hay fuentes de agua dulce disponibles. Además, la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero y aguas residuales (salmueras) que se generan por las plantas desalinizadoras plantean importantes desafíos ambientales, ya que si no son tratadas adecuadamente pueden afectar la vida acuática.

Los métodos de desalinización pueden utilizar procesos térmicos (que implican transferencia de calor y un cambio de fase) o procesos de membrana (que utilizan láminas delgadas de materiales sintéticos semipermeables para separar el agua de la sal disuelta). La destilación instantánea de múltiples etapas es un proceso térmico para desalar cantidades relativamente grandes de agua de mar. Basado en que la temperatura de ebullición disminuye según cae la presión del aire, este proceso se realiza en tanques cerrados ajustados a presiones más bajas. Cuando el agua de mar precalentada entra en la primera etapa, una parte hierve rápidamente, formando vapor que se condensa en agua dulce en intercambiadores de calor. El agua dulce se recoge en bandejas mientras el agua de mar restante pasa a la siguiente etapa, donde también se evapora y el proceso continúa. Uno de los sistemas más grandes, ubicado en Al-Jubayl, Arabia Saudita, puede producir más de 750 millones de litros (200 millones de galones) de agua libre de sales por día.

La desalinización solar/térmica también se puede implementar a pequeña escala. En comunidades pequeñas donde abunda el agua salada y la luz solar intensa, se puede utilizar un proceso térmico simple llamado humidificación solar. El calor del sol vaporiza parcialmente el agua salada bajo una cubierta transparente. En la parte inferior de la cubierta el vapor se condensa y fluye hacia un recipiente colector. La principal ventaja de este proceso es que se puede implementar a pequeña escala. Otro proceso térmico aprovecha el hecho de que, cuando se congela el agua salada, los cristales de hielo no contienen sal. En la práctica, sin embargo, quedan atrapadas cantidades objetables de agua salada entre los cristales, y la cantidad de agua dulce necesaria para eliminarla es comparable a la producida al derretirse los cristales de hielo.



Reutilización de aguas residuales

Las aguas residuales pueden ser tratadas y reutilizadas para fines beneficiosos como agricultura e irrigación, suministro de agua potable, reposición de aguas subterráneas, procesos industriales y restauración ambiental. La reutilización del agua puede proporcionar alternativas a los suministros de agua existentes y utilizarse para mejorar la seguridad, la sostenibilidad y la resiliencia a la escasez del agua.

La reutilización del agua se puede definir como planificada o no planificada. La reutilización planificada del agua se refiere a sistemas de agua diseñados para reaprovechar un suministro de agua reciclada. La reutilización no planificada del agua se refiere a situaciones en las que una fuente de agua está compuesta sustancialmente de agua utilizada anteriormente. A menudo, las comunidades buscarán optimizar su uso general del agua reutilizando el agua en la medida de lo posible dentro de la comunidad, antes de que el agua regrese al medio ambiente. Las islas Canarias tienen excelentes ejemplos de desalinización y también de reutilización planificada de este precioso recurso, para que vuelva a la irrigación de los campos productivos.

Las fuentes de agua para posible reutilización pueden incluir aguas residuales municipales, procesos industriales y agua de refrigeración, aguas pluviales, escorrentías agrícolas y flujos de retorno, y agua producida a partir de actividades de extracción de recursos naturales. Estas fuentes de agua se tratan adecuadamente para cumplir con las especificaciones adecuadas para el propósito para un próximo uso en particular. Las especificaciones adecuadas para el propósito son los requisitos de tratamiento para llevar el agua de una fuente particular a la calidad necesaria, para garantizar la salud pública, la protección ambiental o las necesidades específicas de los usuarios. Por ejemplo, el agua recuperada para el riego de cultivos tendría que ser de buena calidad para evitar daños a las plantas y los suelos, mantener la seguridad alimentaria y proteger la salud de los trabajadores agrícolas. En usos donde hay una mayor exposición humana, el agua puede requerir de sistemas de tratamiento más sofisticados dependiendo de la aplicación final que se le dará a la misma.

03

CICLO DEL AGUA



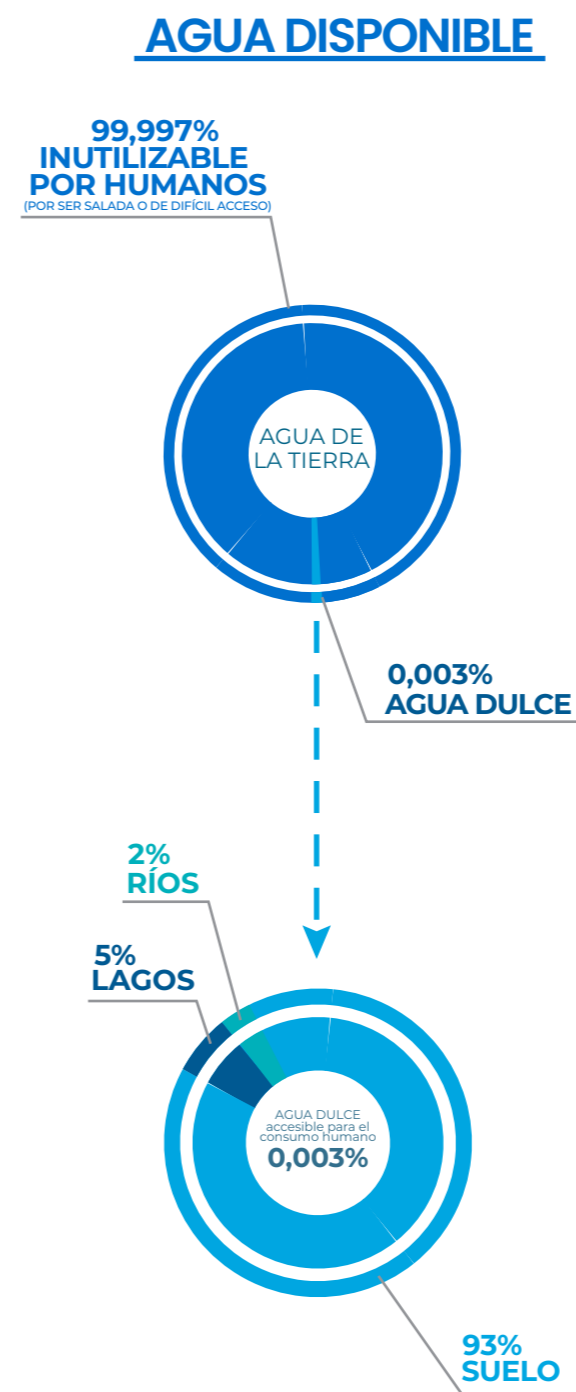
Ciclo hidrológico

Aproximadamente el 75 % del mundo entero está cubierto de agua. El agua es la única sustancia en la Tierra que se presenta naturalmente en forma gaseosa (vapor de agua), líquida y sólida (hielo). La distribución del agua en sus tres estados es bastante variada, ya que muchas regiones la tienen en abundancia mientras que en otras su disponibilidad es escasa.

En la Tierra, el agua está en continuo movimiento en sus diferentes estados. Continuamente vemos

como el agua de la superficie (estado líquido) de lagos, lagunas, ríos y el océano se evapora, el agua de las nubes (estado gaseoso) se precipita, y el agua de los glaciares (estado sólido) y la lluvia (estado líquido) se infiltra en el suelo, etc. Sin embargo, la cantidad total de agua no cambia, simplemente fluye o circula. Es decir, La Tierra es esencialmente un sistema cerrado. De hecho, la misma agua que se formó hace millones de años en este planeta todavía está aquí.

“ El 0,003 % del volumen total de agua del planeta es accesible para consumo humano. ”



De toda el agua del planeta, sólo el 3 % es agua dulce, y el 0,003 % es de fácil acceso, y el resto (2,997 %) es difícil de acceder ya que es subterránea o se encuentra en los casquetes polares y en los glaciares, por lo que no puede usarse para consumo humano.

Gracias al ciclo del agua o ciclo hidrológico, este líquido vital continuamente se mueve de un lugar a otro y cambia de un estado físico a otro. Por lo tanto, un conocimiento profundo de los procesos que forman parte de este ciclo es esencial, tanto para entender el impacto de las actividades humanas como para planificar el uso racional y eficiente del agua disponible.

El ciclo del agua podría definirse como **la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra, pasando por diferentes reservorios y procesos, sosteniendo en el camino diversos tipos de ecosistemas.** Los reservorios son lo que hemos visto en la sección anterior: ríos, lagos, embalses, acuíferos y vertientes.

Donde la energía del sol y la gravedad impulsan cada proceso, ya que el sol proporciona la energía para elevar el agua; y la gravedad terrestre hace que el agua condensada descienda. Los procesos o fenómenos desarrollados durante el ciclo del agua son: evaporación, transpiración, condensación, precipitación, interceptación, infiltración (absorción – filtración – escurrimiento), flujo como agua subterránea. La siguiente figura representa cada uno de ellos en un ecosistema.

Figura 3. Distribución del agua disponible en la Tierra.

EL AGUA DE LA TIERRA ESTÁ EN CONTINUO PROCESO DE CAMBIO. SE LA ENCUENTRA EN LA ATMÓSFERA, EN LA SUPERFICIE TERRESTRE Y EN EL SUELO, EN SUS DIFERENTES ESTADOS. LA CANTIDAD TOTAL DE AGUA NO CAMBIA, YA QUE LA TIERRA ES ESENCIALMENTE UN SISTEMA CERRADO.

El 80% de la evaporación total del agua proviene de los océanos .

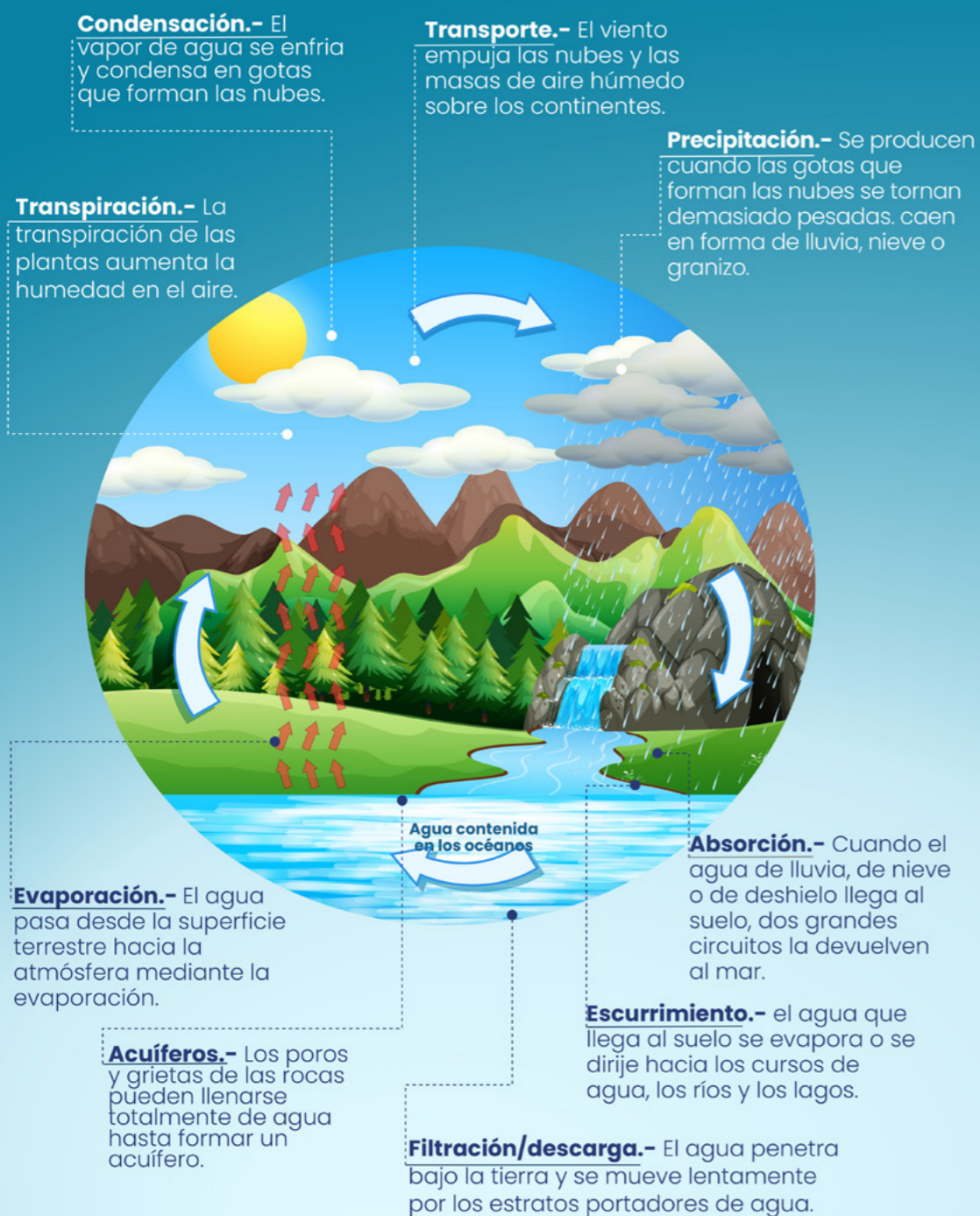


Figura 4. El ciclo del agua. (Fuente: Unesco).

Estos procesos pueden ocurrir en diferentes escalas geográficas (por ejemplo, sólo localmente en las islas Galápagos o en océanos enteros), pero son los mismos en todo el mundo. A continuación, se describen brevemente de cada uno de ellos:

Evaporación

Es el mecanismo por el cual el agua de la superficie terrestre se convierte en vapor de agua que asciende a la atmósfera. La evaporación ocurre cuando el calor proveniente del sol rompe los enlaces que mantienen unidas las moléculas de agua. Cuando el agua está a temperatura de ebullición, este proceso ocurre muy rápidamente. Es posible observar continuamente procesos de evaporación en nuestro entorno. Por ejemplo, en una olla con sopa caliente, observamos cómo el vapor de agua asciende y el nivel de agua de la olla va disminuyendo; aquí la fuente de calor fue la llama de la cocina que calentó la sopa y el vapor que observamos proviene del agua presente en la sopa.

Es fácil observar el proceso cuando tienes un gradiente de calor importante (temperaturas bajas frente a altas). Pero sabías que el proceso de evaporación todavía ocurre a temperaturas más bajas (¡incluso a cero grados Centígrados!), pero a un ritmo mucho más lento. Como los océanos cubren más del 70 % de la superficie terrestre, producen la mayor parte del vapor de agua de la atmósfera. Un volumen importante de este vapor vuelve a caer al océano: sólo el 10 % del agua evaporada de los océanos vuelve a la tierra (la mayoría vuelve a caer al mar). En la siguiente figura se observan los procesos de evaporación que se dan en el océano y a nivel terrestre, pero en este último aparece una variación de esta evaporación llamada: transpiración.

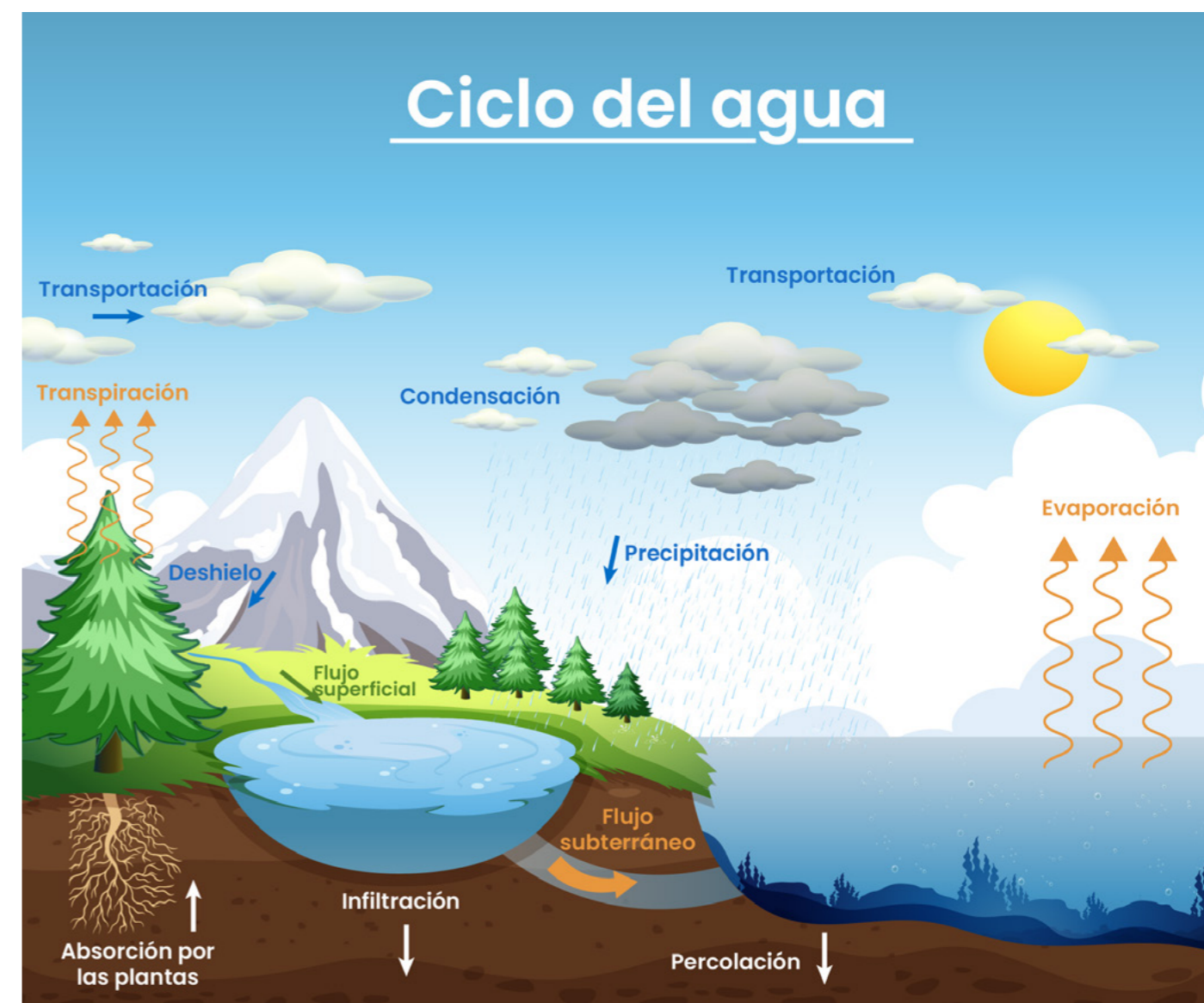


Figura 5. El ciclo del agua. (Fuente: NOAA).

También en esta sección debemos hablar de la transpiración ya que es la evaporación de agua desde las hojas y los tallos de las plantas hacia la atmósfera. A través de sus raíces, las plantas absorben agua subterránea. Por ejemplo, las plantas de maíz tienen raíces que pueden alcanzar hasta 2,5 m de profundidad, mientras que en el desierto algunas plantas tienen raíces que penetran hasta 20 m en el suelo. El agua se transporta desde las raíces hacia las partes aéreas de las plantas mediante tejidos

especializados. Este transporte compensa la pérdida de agua por evaporación a través de los pequeños poros, llamados estomas, que se encuentran en la superficie de las hojas. La transpiración representa aproximadamente el 10 % de toda el agua evaporada que sube a la atmósfera.

La cantidad de agua en estado gaseoso presente en el aire se denomina humedad. Para cada temperatura hay una cantidad máxima de agua que puede estar en forma de vapor y esta cantidad aumenta con la temperatura. Si intentáramos agregar más vapor de agua al aire, el vapor se condensaría formando agua líquida. La humedad relativa es la comparación entre la humedad existente y la máxima que podría haber a esa temperatura. Cuando el aire está tan húmedo que no puede aceptar más vapor de agua se dice que está saturado y que la humedad relativa es del 100 %.

Condensación

En promedio, el vapor de agua permanece en la atmósfera durante 8 a 10 días (1,5 semanas) antes de condensarse (puedes ver cuánto tiempo permanece cada gota de agua en diferentes estados en la tabla de más adelante). La condensación es lo opuesto a la evaporación.

Ocurre cuando el vapor de agua se enfría lo suficiente como para que las moléculas de agua se vuelvan a unir. La condensación crea nubes en el cielo, antes de que las gotas de agua se vuelvan lo suficientemente pesadas como para caer a la tierra.



Gráfico 1. Tiempo de residencia promedio de las moléculas de agua. (Fuente: Robert et al., 2016).

La condensación es el cambio del agua de su estado gaseoso (vapor de agua) a su estado líquido. Este fenómeno generalmente ocurre en la atmósfera cuando el aire caliente asciende, se enfría y disminuye su capacidad de almacenar vapor de agua. Como resultado, el vapor de agua en exceso condensa y forma las gotas de nube. Los movimientos de ascenso que generan nubes pueden ser producidos por convección en aire inestable, convergencia asociada con ciclones, actividad frontal y elevación del aire por la presencia de montañas.

En meteorología se denomina convección a los movimientos del aire, principalmente en dirección vertical. A medida que la superficie se calienta por acción del sol, las diferentes superficies absorben distintas cantidades de energía, y la convección puede ocurrir cuando la superficie se calienta muy rápidamente. Cuando la superficie aumenta su temperatura, calienta el aire en la porción inferior de la atmósfera, y ese aire gradualmente se torna menos denso que el del entorno y comienza a ascender.

Precipitación

La precipitación es el proceso por el cual el agua que se encuentra acumulada en las nubes vuelve a caer a la tierra. La lluvia, el granizo y la nieve son diferentes formas de precipitación. La velocidad de caída de una gota de lluvia varía de 8 a 32 kilómetros por hora (de 5 a 20 millas por hora) dependiendo del tamaño de la gota. La formación del granizo ocurre por el congelamiento de las gotas de agua, cuando éstas son elevadas por corrientes ascendentes hacia capas más frías de la atmósfera, cayendo al suelo en forma de hielo. Mientras que la nieve se forma cuando el vapor de agua en las nubes se congela directamente en cristales de hielo, agrupándose en forma de copos. Para que ocurra una nevada se necesitan temperaturas negativas desde las nubes hasta el

suelo. En los países tropicales (como el Ecuador) son más comunes la lluvia y el granizo, dependiendo de las condiciones climáticas. Por su parte, en los países con cuatro estaciones, regularmente las nevadas ocurren en el invierno.

La medida de la precipitación se establece como una altura vertical de agua sobre una superficie dada. Por ejemplo, cuando se dice "ha llovido 100 mm este mes" significa que han caído 100 mm (10 cm) de agua en el suelo en promedio en la localidad indicada donde llovió.

En la atmósfera se crean diferentes tipos de lluvia, a continuación, te explicamos brevemente cada una ellas:



Intercepción

La interceptación se refiere a la lluvia que es capturada por la vegetación antes de que llegue al suelo. Hay dos tipos de interceptación: La primera es la interceptación del dosel, donde el agua es capturada por hojas y ramas. El segundo es la interceptación en el suelo del bosque, donde el agua es capturada por el follaje al nivel del suelo.

En un bosque se puede interceptar aproximadamente entre el 15 y el 20 % de la lluvia (¡depende de muchas cosas!). Aproximadamente el 75% de un árbol vivo es agua, la misma proporción que el cerebro humano.

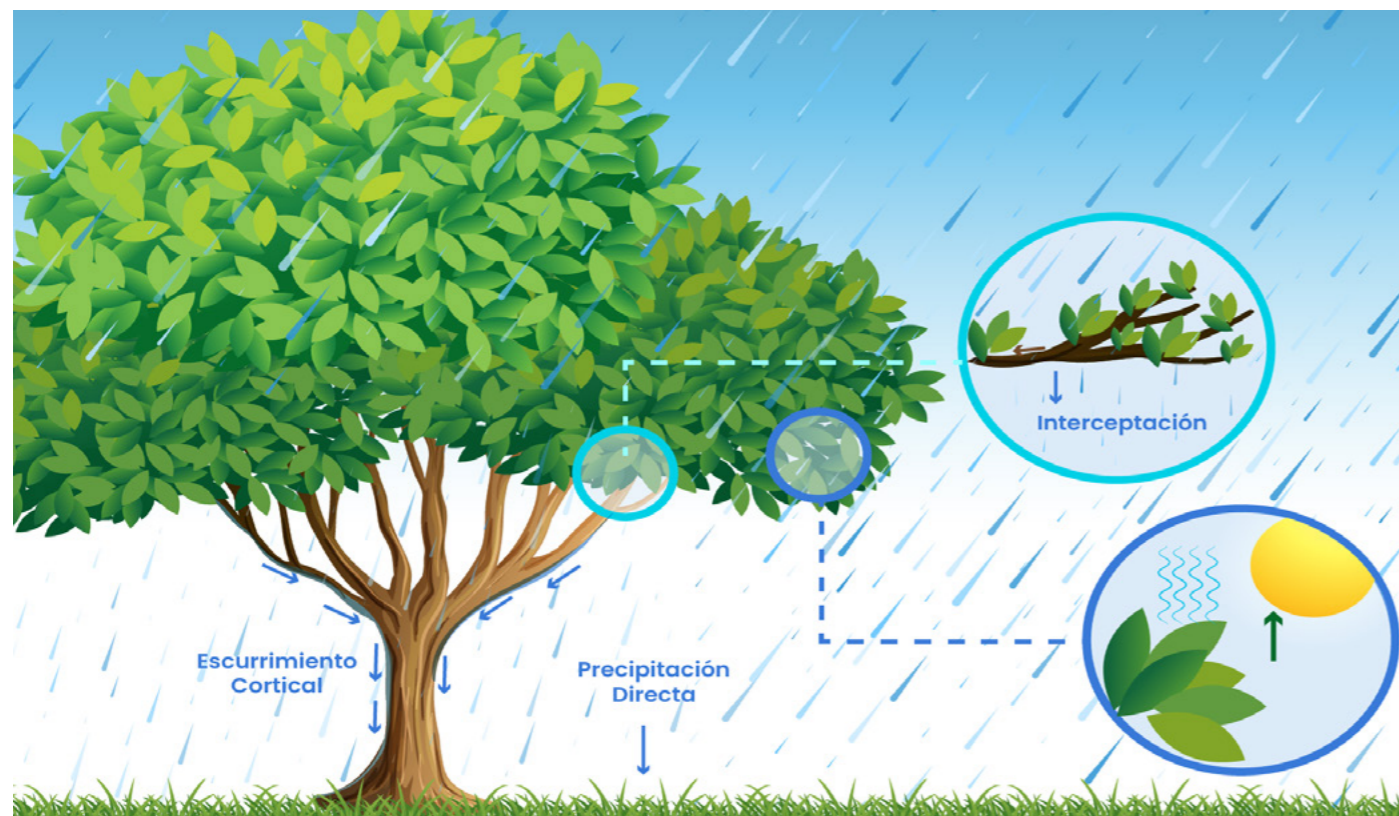


Figura 6. Interceptación y captación de agua por la vegetación. (Fuente: Morales y Gómez-Tagle, 2021).

Infiltración

La infiltración ocurre cuando la lluvia llega al suelo y es absorbida. Este proceso está gobernado por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar. Los poros muy pequeños empujan el agua por la acción capilar además de hacerlo contra la fuerza de la gravedad. La tasa de infiltración se ve afectada por características del suelo como la facilidad de entrada, la capacidad de almacenaje y la tasa de transmisión por el suelo.

Los diferentes materiales tienen diferentes tasas de infiltración. Las superficies de tierra como el hormigón o el asfalto tienen tasas de infiltración muy bajas. Las superficies del suelo, como la hierba o la arena, tienen tasas de infiltración mucho más altas. Los diferentes tipos de rocas y suelos tienen diferentes tasas de infiltración. Cuando el agua se infiltra en el suelo, cambia de agua superficial a agua subterránea.

Flujo de agua subterránea

El flujo de agua subterránea se refiere al agua que se infiltra en la superficie del suelo y luego se mueve hacia el suelo o la roca que se encuentra debajo. Hay diferentes zonas de agua subterránea donde el agua cumple varias funciones. El agua se infiltra en la superficie del suelo y se mueve verticalmente hacia abajo a través de la zona no saturada. Se mueve a través de los poros (o espacios abiertos) entre las rocas. El agua pasa a la zona saturada (donde llena todos los espacios en la roca). La línea que separa las zonas saturadas y no saturadas se llama nivel freático. Este nivel freático puede moverse hacia arriba y hacia abajo (dependiendo de la cantidad de agua que se infiltre). El agua subterránea puede fluir hacia los acuíferos o regresar a la superficie del suelo como un manantial.



Balance hídrico

En la imagen se muestran los volúmenes de agua contenidos en el suelo, los océanos y la atmósfera. Las flechas indican el intercambio anual de agua entre los distintos reservorios. Si calculamos el intercambio neto de agua entre los reservorios con los restantes, veremos que es nulo, lo que confirma que en la Tierra no existen fuentes ni sumideros de agua. Los océanos contienen el 97,5 % del agua del planeta; las regiones continentales,

el 2,4 %, mientras que la atmósfera contiene menos del 0,001 %, lo que puede parecer sorprendente debido a que el agua juega un rol importante en el acontecer de los fenómenos meteorológicos. Las precipitaciones anuales son más de 30 veces la cantidad total de agua presente en la atmósfera, lo que muestra la rapidez con que se recicla el agua entre la superficie terrestre y la atmósfera.

BALANCE DEL AGUA

Agua que se intercambia en nuestro planeta (en billones de m³ por año)

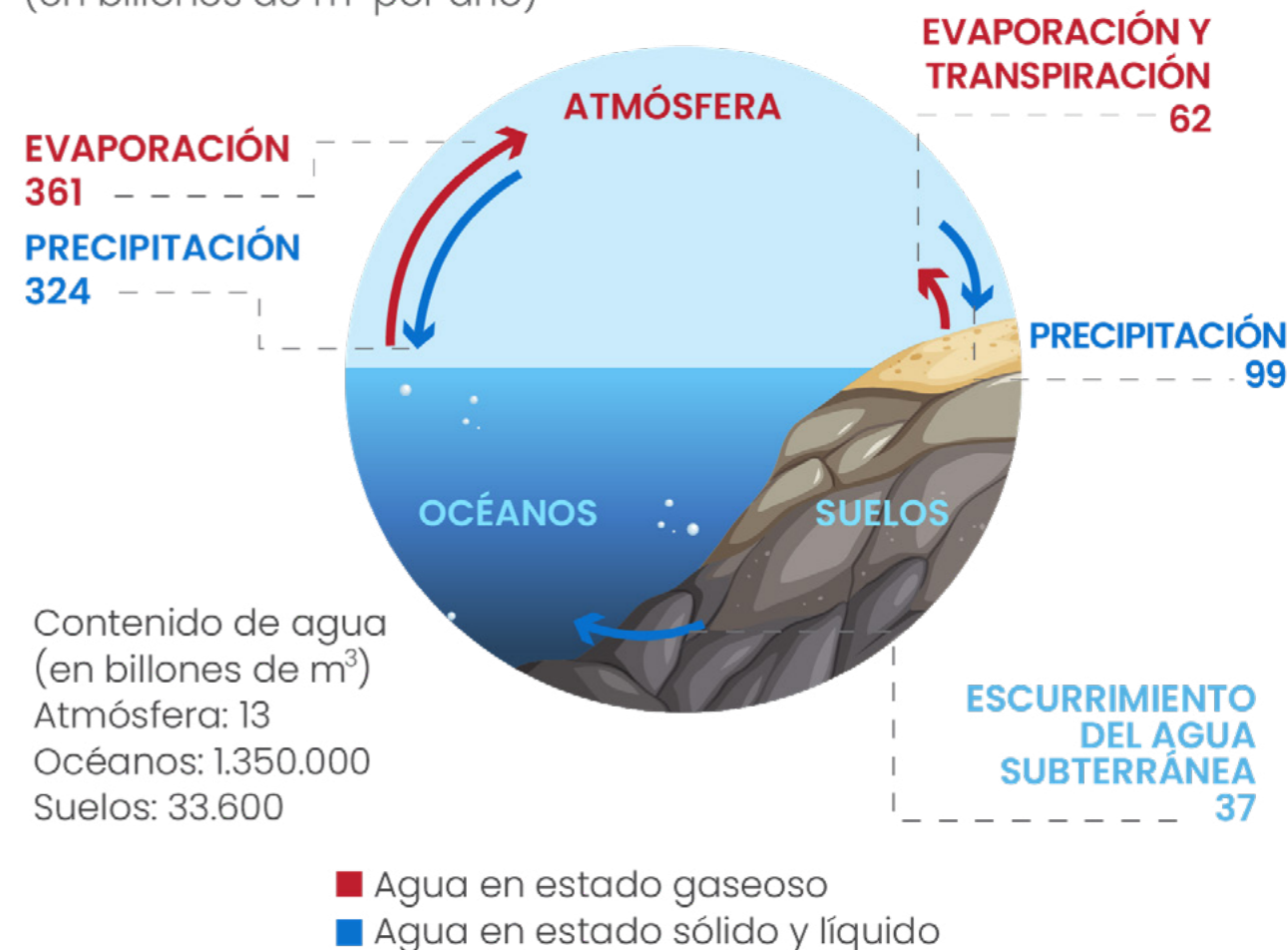


Figura 7. Balance del agua. (Fuente: Programa Capacitación Multimedia).

Ciclo social del agua

En las sociedades modernas, surgen edificios, plantas y tierras de cultivo, y la población se congrega cada vez más en las ciudades, de hecho, más del 50 % de la población mundial vive actualmente en las ciudades. Las actividades humanas interfieren y alteran considerablemente el ciclo natural del agua. A este movimiento del agua cambiado y altamente interactivo lo llamamos ciclo social del agua.

El ciclo social del agua se caracteriza por la extracción, el uso y consumo del agua, el tratamiento, la reutilización y el vertido de las aguas residuales. Cuando no se interviene, la mayor parte de la precipitación se convierte en escorrentía superficial o repone las aguas subterráneas. Sin embargo, en entornos construidos, el suelo está más cubierto por superficies pavimentadas e impermeables que por tierra. Cuando llueve, gran parte del agua que cae no logra infiltrarse y en consecuencia se convierte en escorrentía pluvial. La escorrentía de aguas pluviales puede recoger contaminantes como pesticidas, fertilizantes, aceite usado y basura a lo largo de su camino. Si no se tratan, las aguas pluviales terminan contaminando el cuerpo de agua receptor.

Además, el suelo impermeable también provoca una mayor pérdida de agua por evaporación. Para proporcionar una fuente confiable de agua potable a los humanos y al ganado y a los cultivos, se necesita drenar el agua de ríos, lagos y acuíferos. Por eso construimos presas y embalses, canales de desvío, estaciones de bombeo y pozos. La extracción artificial de agua reduce la cantidad de escorrentía superficial que se supone alimenta los cuerpos de agua dulce en el suelo. También corre el riesgo de agotar los acuíferos subterráneos que pueden tardar millones de años en reponerse.

El agua que extraemos se utiliza en los sectores domésticos, agrícolas e industriales. Construimos plantas de tratamiento de agua potable para eliminar contaminantes y patógenos del agua cruda. Luego construimos estaciones de bombeo, torres de agua y tuberías para enviar agua del grifo a hogares, empresas y escuelas. Cada país podrá fijar sus estándares de calidad del agua en función de los diferentes usos. La contaminación del agua es un importante desafío derivado del ciclo social del agua. Aparte del agua que consumimos, como el agua que bebemos, gran parte del agua que utilizamos termina como agua residual. Algunos ejemplos de aguas residuales pueden ser el agua de refrigeración industrial, agua utilizada para teñir, agua para lavar ropa y escorrentía de tierras agrícolas y agua proveniente de baños y cocinas. Por eso diseñamos y construimos plantas de tratamiento de aguas residuales para tratar aguas usadas en actividades domésticas y efluentes industriales. Estas aguas residuales deben recibir un tratamiento adecuado antes de devolverlas de forma segura a los ríos y corrientes. Sin embargo, en todo el mundo, la contaminación de fuentes de agua causada por la agricultura y el riego sigue siendo un dolor de cabeza persistente. Los pesticidas y fertilizantes tienden a viajar a lo largo y profundo con el agua de riego.

Actualmente la humanidad está intentando reciclar el agua usada en lugar de dejarla ir mediante el aprovechamiento de la tecnología. Al tratar las aguas residuales con diferentes tipos de tratamientos y según diferentes estándares, podemos reciclar agua y ahorrarla para usos adecuados. Por ejemplo, el agua recuperada se puede utilizar para bañarse, crear fuentes de agua urbanas, irrigar e incluso beber.

Figura 8. El ciclo social del agua. (Fuente: Hao y Yuan, 2021).



Ciclo del agua y cambio climático

Es probable que el cambio climático está acelerando partes del ciclo del agua, ya que el aumento de las temperaturas globales incrementa la tasa de evaporación en todo el mundo. El aumento de la evaporación provoca más precipitaciones. Ya estamos viendo los efectos del aumento de las tasas de evaporación y precipitación, el deshielo de los glaciares de montaña y los casquetes de hielo. Se espera que los efectos aumenten a lo largo de este siglo a medida que el clima se calienta.

Los mayores índices de evaporación y precipitación no se distribuyen uniformemente por todo el mundo. Algunas zonas pueden experimentar eventos extremos, precipitaciones más abundantes de lo normal y otras pueden volverse propensas a las sequías, ya que las ubicaciones tradicionales de los cinturones de lluvia y los desiertos se desplazan en respuesta a un clima cambiante. Algunos modelos climáticos predicen que las regiones costeras se volverán más húmedas y el centro de los continentes más seco. Además, algunos modelos prevén más evaporación y precipitaciones sobre los océanos, pero no necesariamente sobre la tierra.

Las temperaturas más cálidas asociadas al cambio climático (la temperatura de la superficie del planeta ha aumentado en 1,16°C) y al aumento de los niveles de dióxido de carbono (CO₂) pueden acelerar el crecimiento de las plantas en regiones con abundante humedad y nutrientes. Esto podría provocar un aumento de la transpiración, la liberación de vapor de agua al aire por parte de las plantas como resultado de la fotosíntesis.

El calentamiento climático está provocando cambios meteorológicos en distintas regiones del mundo. En particular, está provocando fenómenos meteorológicos más extremos que en el pasado. Estos fenómenos meteorológicos extremos pueden repercutir en la salud humana, limitando el acceso al agua de consumo humano, los alimentos y la vivienda y mermando la capacidad de las personas para hacer frente al calor, la sequía o las inundaciones. A continuación, se listan algunas de las consecuencias del cambio climático:

Más lluvia e inundaciones: Al haber más evaporación, hay más agua en el aire, por lo que las tormentas pueden producir precipitaciones más intensas en algunas zonas. Esto puede provocar inundaciones, riesgos de deslizamientos y proliferaciones de plagas, aumento de patógenos lo que representa riesgos para el medio ambiente y la salud humana.

Sequías más extremas: Las temperaturas más cálidas provocan una mayor evaporación, convirtiendo el agua en vapor en el aire y causando

sequías en algunas zonas del mundo. Se prevé que los lugares propensos a la sequía sean aún más secos durante el próximo siglo. Esto es una mala noticia para los agricultores, que pueden esperar menos cosechas en estas condiciones.

Huracanes más fuertes: El calentamiento de las aguas superficiales de los océanos puede intensificar los huracanes y las tormentas tropicales, provocando condiciones más peligrosas cuando estas tormentas tocan tierra. Los científicos siguen investigando cómo afecta el cambio climático al número de estas tormentas, pero sabemos que las tormentas serán más potentes y destructivas en el futuro.

Olas de calor: Es probable que las olas de calor se hayan vuelto más comunes en más zonas del mundo.

Actualmente, el efecto combinado de todas las nubes es de enfriamiento neto, lo que significa que las nubes están amortiguando el ritmo de calentamiento del clima. Pero los científicos están estudiando si las nubes tendrán el mismo efecto sobre el clima a medida que la Tierra siga calentándose. Si la proporción de los distintos tipos de nubes cambia, podría afectar al ritmo del cambio climático, ya que los distintos tipos de nubes tienen efectos diferentes en el clima de la Tierra. Mientras que algunos tipos de nubes contribuyen a calentar la Tierra, otros ayudan a enfriar.

El cambio climático también afecta la calidad del agua de diversas maneras, impactando tanto la salud humana como los ecosistemas acuáticos. A medida que las temperaturas incrementan, los cuerpos de agua tienden a calentarse, lo que reduce el oxígeno disuelto y perjudica a organismos sensibles. Además, eventos climáticos extremos, como inundaciones, pueden arrastrar contaminantes hacia fuentes de agua dulce, lo que deteriora su calidad. La eutrofización, impulsada por el crecimiento de algas nocivas cuyo desarrollo se ve favorecido por el aumento de las temperaturas, también se intensifica, generando zonas muertas donde la vida acuática no puede sobrevivir.

Asimismo, el derretimiento de glaciares y los cambios en los patrones de precipitación alteran los flujos de agua, afectando la disponibilidad y calidad del recurso. La intrusión de agua salina en acuíferos costeros y el crecimiento de patógenos en fuentes de agua son problemas adicionales. Estos cambios no solo amenazan la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos, sino que también dificultan el abastecimiento de agua potable, resaltando la necesidad de implementar prácticas sostenibles y políticas de adaptación para mitigar estos efectos.

04

EL AGUA Y SANEAMIENTO EN LAS ISLAS GALÁPAGOS



Las islas Galápagos tienen 13 islas principales, 6 islas pequeñas y decenas de islotes y rocas de origen volcánico. El gobierno de Ecuador designó parte de las islas Galápagos como santuario de vida silvestre en 1935, y en 1959 el santuario se convirtió en el Parque Nacional Galápagos. Posteriormente, en 1978 las islas fueron designadas Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO y en 1998 se creó la Reserva Marina de Galápagos para proteger las aguas circundantes al archipiélago. En el año 2022 se creó la Reserva Marina Hermandad para proteger el corredor biológico que existe entre las islas Galápagos, la isla Cocos en Costa Rica y otras

islas oceánicas de países vecinos como Coiba de Panamá y Malpelo de Colombia, que son parte del Corredor Marino del Pacífico Este Tropical.

Con este antecedente de los reservorios y flujos del ciclo de agua, los conceptos importantes de la gestión del agua potable y del saneamiento, y el paraguas del ODS 6, vamos ahora a explorar qué pasa en las islas volcánicas de Galápagos. Nuestro enfoque aquí será sobre las 4 islas habitadas y la isla de Baltra que cuenta con infraestructura estratégica y viviendas.

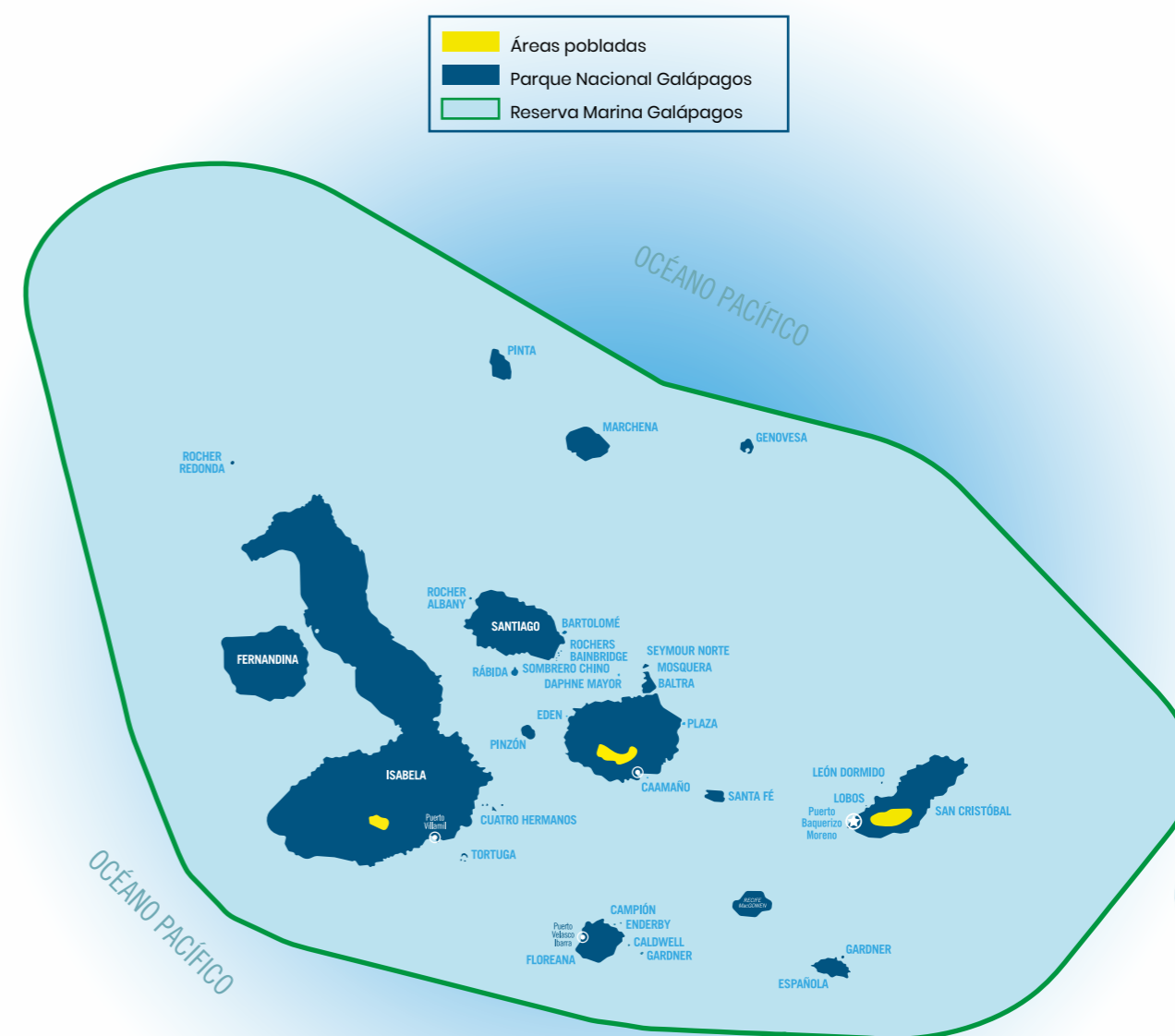


Figura 9. Las islas Galápagos.

Agua en la historia y la economía actual de galápagos

- La primera descripción escrita sobre las islas Galápagos data de 1535 y fue realizada por el Fray Tomás de Berlanga. Allí se reporta que no se encontró agua, ni al excavar pozos, sólo agua más salada que la del mar. Durante los días que duró la expedición murieron hombres y caballos. No se otorgó un nombre formal a las islas.
- Durante los siglos XVI y XVIII, piratas, bucaneros y luego balleneros utilizaron las islas como refugios. Poco a poco se reconocieron algunos "ojos de agua" a veces siguiendo los caminos dejados por las tortugas, que también se alimentaban del líquido vital.
- Durante los siglos XIX y XX, ocurre el anexo de las islas Galápagos a la República del Ecuador (1832), además de la visita del naturalista británico Charles Darwin (1835) y otras expediciones científicas. La instalación de la empresa agroindustrial "Hacienda El Progreso" en la isla San Cristóbal a finales del siglo XIX, permitió el primer asentamiento humano permanente en las islas. Con el pasar del tiempo, se identificaron algunas fuentes de agua en esa isla y se instalaron sistemas de captación de agua dulce, que

permitieron abastecer a la isla San Cristóbal y llevar agua en barcaza a otras islas. **Los tanques de almacenamiento de agua estaban ubicados donde hoy se encuentra el mercado municipal de Puerto Baquerizo Moreno. Las barcazas están varadas y oxidadas en la playa Las Bachas.** Las colonizaciones del inicio del siglo XX en la isla Santa Cruz encontraron en las fracturas abiertas de la roca volcánica la manera de acceder a agua salobre apta para usos domésticos.

El turismo es la fuente más importante de ingresos y empleo en las islas Galápagos. Aunque las islas tienen recursos hídricos limitados, el turismo se ha expandido en los últimos 40 años de manera abrumadora. El aumento proporcional de la demanda de agua se ve amplificado por el consiguiente crecimiento de la población local que proporciona instalaciones y servicios a los turistas. Los turistas suelen ejercer una demanda sin un equilibrio sostenible, lo que provoca degradación ambiental y presión sobre los recursos naturales, particularmente el agua. Este crecimiento rápido de las comunidades no ha permitido a las autoridades plenamente asumir sus competencias e implementar y mantener las infraestructuras necesarias y adecuadas para responder a las necesidades actuales. Existen hoy en día importantes deficiencias en los servicios de suministro de agua para el consumo humano y alcantarillado en las 4 islas pobladas.



El clima en las islas Galápagos

Galápagos tiene dos estaciones: la época cálida de enero a mayo y la época fría de junio a diciembre. La época cálida es también conocida como "invierno" porque ocurren precipitaciones convectivas: lluvias de fuerte intensidad. La época fría es también conocida como "garúa" porque se establece un nivel de inversión encima de 400 metros sobre el nivel del mar (400 msnm) con llovizna.

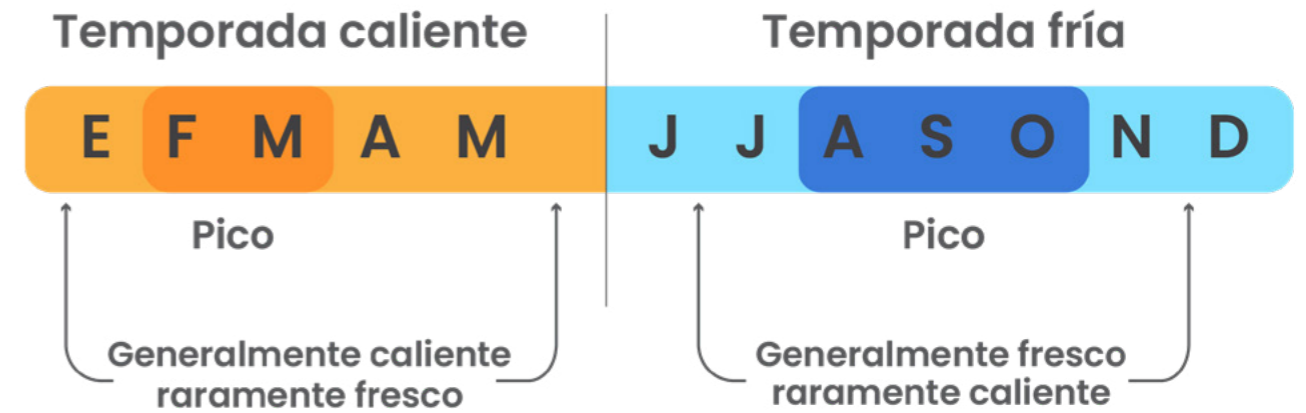


Figura 10. El clima en las islas Galápagos. (Fuente: Fundación Charles Darwin).

Esta estacionalidad y el régimen de lluvias (pluviometría) que resulta está influido principalmente por la interacción de factores atmosféricos, oceánicos y geográficos.

- La migración latitudinal de la zona de convergencia intertropical (donde se encuentran las celdas de circulación atmosférica) está cerca de Galápagos en 1°N durante los meses de la época cálida y se ubica más al norte 10°N durante los meses de la época fría.
- Los vientos alisios del sureste: son debilitados durante los meses de la época caliente y son muy constantes y fuertes durante los meses de la época fría.
- Las corrientes marinas en particular la corriente fría de Humboldt desde el Perú durante la época fría y la corriente oceánica subsuperficial ecuatorial (Corriente de Cromwell) que se choca con las islas, generando afloramientos y que trae a las islas aguas profundas frías y ricas en nutrientes. Este fenómeno de afloramiento favorece el crecimiento del fitoplancton, que constituye la base de la cadena alimentaria marina y sustenta la diversa vida marina que rodea las islas.

A los factores oceanográficos y atmosféricos mencionados, sumamos la geografía en cuanto a la elevación de las islas. Debido a la naturaleza del movimiento de las masas de aire y de la precipitación vamos a observar en las Galápagos lluvias convectivas en la

época caliente y lluvias orográficas en la época fría. En ambos casos, la elevación desempeña un papel con un aumento de las precipitaciones por cada rango de aumento de altitud por el enfriamiento del aire. En las islas Galápagos se calcula que el gradiente de temperatura es $-0,8^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$. Por ejemplo, si hace 24°C en la costa, es probable que a 400 m de elevación la temperatura sea de $2,8^{\circ}\text{C}$. El gradiente orográfico de lluvias está calculado en $398 \text{ mm} / 100 \text{ m}$ de elevación en el rango de 0 a 650 msnm.



Otro aspecto de la topografía y elevación de las islas es la interceptación de la mayor cantidad de aire húmedo traído por los alisios del SE. Las islas con elevación mayor a 100 m tienen un lado barlovento (al viento), expuestos al sur, que contiene una zona “húmeda”, fértil, con suelo, que se ha transformado en la zona “agrícola” de las 4 islas habitadas. Este patrón también genera un “efecto de sombra” en el lado “sotavento” (debajo del viento) detrás de la línea de cresta o topografía más alta de las islas. Los flancos al lado norte de las islas como Santa Cruz y San Cristóbal son mucho más secos que los flancos del lado sur. Se nota esta diferencia en las zonas de vegetación y su distribución del lado sur y norte de las islas. Los volcanes de la isla Isabela presentan un fenómeno muy particular. Por tener una elevación tan alta, las masas de aire sueltan toda su humedad antes de llegar a la cumbre, y esto genera un “inversión” del gradiente orográfico y una zona más seca en la parte alta de los volcanes que en los flancos.

Las islas Galápagos también experimentan el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), un patrón climático periódico caracterizado por el calentamiento (El Niño) y el enfriamiento (La Niña) de las temperaturas de la superficie del mar en el Pacífico central y oriental. Durante un año donde domina la fase caliente, condiciones de El Niño, las islas suelen experimentar condiciones más cálidas

y un aumento de las precipitaciones. Durante un año donde domina la fase fría, condiciones de La Niña, se han registrado temperaturas más frías de la superficie del mar y una drástica reducción de las precipitaciones, lo que provoca condiciones de sequía en las islas. Los registros climatológicos y oceanográficos permiten ver las tendencias de ocurrencia del ENOS. El cambio climático puede influir en el aumento de la frecuencia de los eventos y también la intensidad de estos.

Datos meteorológicos registrados en la estación científica Charles Darwin cerca a Puerto Ayora a 2 msnm y en Bellavista a 194 msnm en la isla Santa Cruz muestran las diferencias de precipitación entre las zonas bajas secas y las altas húmedas, así como la variación entre las épocas fría y cálida y los años con precipitación extrema frecuentemente relacionados a la ocurrencia de ENOS.

La isla de San Cristóbal presenta un patrón análogo. Los vientos que soplan del sureste traen aire cargado de humedad a la parte de barlovento de la isla, lo que da lugar a una precipitación media anual de unos 700 mm en las tierras altas. Por el contrario, el sotavento de la isla sólo recibe una fracción de esa cantidad, a menudo unos 100 mm, lo que pone de manifiesto el marcado contraste entre ambos lados.

Estadísticas de lluvia (en mm)

(años extremos entre paréntesis)

		Estación científica Charles Darwin	Bellavista
Anual	mediana	277	813
	mínimo	64 (1985)	448 (1988)
	máximo	2769 (1983)	2666 (1997)
Época cálida	mediana	196	351
Época fría	mediana	81	462

Tabla 1. Estadísticas de lluvia en las islas Galápagos. (Fuente: Trueman y d’Ozouville, 2010).

Puedes acceder a datos pluviométricos de las estaciones Charles Darwin y Bellavista en los siguientes enlaces:

<https://datazone.darwinfoundation.org/en/climate/puerto-ayora>

<https://datazone.darwinfoundation.org/en/climate/bellavista>

La isla de San Cristóbal presenta un patrón análogo. Los vientos que soplan del sureste traen aire cargado de humedad a la parte de barlovento de la isla, lo que da lugar a una precipitación media anual de unos 700 mm en las tierras altas. Por el contrario, el sotavento de la isla sólo recibe una fracción de esa cantidad, a menudo unos 100 mm, lo que pone de manifiesto el marcado contraste entre ambos lados.

Hidrogeología de las islas Galápagos

La hidrogeología es la rama de la geología y la hidrología que estudia las aguas subterráneas. La hidrogeología en Galápagos tiene características especiales porque las islas están formadas por ciclos de procesos volcánicos eruptivos y de periodos de erosión. Las formaciones rocosas producidas por los flujos de lava crean diques, grietas y túneles que determinan cómo se infiltra, almacena y circula el agua en cada isla. Por otro lado, como son islas rodeadas por mar, existen zonas costeras donde el agua dulce y el agua salada se encuentran produciendo fuentes de agua salobre. Todas estas características determinan las particularidades para cada isla sobre sus sistemas de aguas subterráneas. Vamos a explorar esto más en detalle:

- Las precipitaciones y la evapotranspiración:** Galápagos tiene dos épocas climáticas: enero a mayo, época caliente; y junio a diciembre, época fría. Durante la época caliente, usualmente hay lluvias de fuerte intensidad y corta duración, y también hay temperaturas y radiación altas lo cual implica que hay mucha evapotranspiración desde el suelo, cuerpos de agua y vegetación. En esta época existe poca agua disponible para contribuir a la recarga de los sistemas subterráneos, excepto cuando las lluvias son muy intensas como durante los años de El Niño. Durante la época fría, usualmente hay lluvias empujadas por los vientos alisios que son de baja intensidad y larga duración (pensamos en el fenómeno de la "garúa"). Las temperaturas y la radiación son más bajas, reduciendo la evapotranspiración. En esta época existe mayor disponibilidad de agua que llega al suelo a infiltrarse y contribuir a la recarga subterránea.
- Elevación y efectos sombra de lluvia (barlovento/sotavento):** Con relación a los patrones de la épocas frías y épocas calientes, podemos notar variación en función de la elevación, y la topografía de las islas. La zona costera tiene menos lluvia y mayor temperatura a lo largo del año, mientras que la zona alta tiene mayores precipitaciones y temperaturas más bajas a lo largo del año. Como referencia se estima que, por cada 100 m de elevación, la temperatura baja en 0,8°C. Entonces, podemos considerar que la posibilidad de recarga es más alta en la

parte alta de la isla que en la parte baja. Por otro lado, en las islas con una elevación mayor a 400 m, podemos notar una diferencia en cuanto a las condiciones climáticas entre el lado expuesto al viento o lado de barlovento, respecto al lado que está protegido del viento o lado de sotavento. Este fenómeno se conoce como el efecto sombra de lluvia y se verá reflejado en la hidrogeología, ya que esto ocasiona que no exista recursos hídricos o acuíferos del lado de sotavento en las islas de más de 400 m de elevación.

- La edad de las islas:** En Galápagos tenemos islas muy viejas (más de 2.5 millones de años) como Española, Santa Fe, Baltra; islas de edad intermedia (500.000 a 2 millones de años) como San Cristóbal, Santa Cruz, Santiago, Floreana; e islas "jóvenes" (menos de 500.000 años) como Isabela y Fernandina. Las islas antiguas no tienen mucha elevación y como vimos antes no van a recibir mucha precipitación; por lo tanto, no van a tener mucha recarga de aguas subterráneas ni superficiales. Las islas jóvenes con elevación importante tienen precipitaciones más altas en el lado barlovento, pero como los volcanes son sucesiones de erupciones sin mucha erosión, no se han creado barreras impermeables necesarias para generar acuíferos ni vertientes, lagos o ríos. Ahora llegamos a las islas de edad media y nos vamos a enfocar en Santa Cruz y San Cristóbal donde tenemos mejor conocimiento.

San Cristóbal tiene un lago de agua dulce y tiene encañadas con riachuelos permanentes que corren hasta el mar. Santa Cruz tiene una vertiente en la parte alta, varias lagunas de poca profundidad y agua salobre cerca de las costas. Las islas de Santiago y Floreana tienen la existencia de pequeñas vertientes en las partes altas que corrobora la existencia de pequeños acuíferos.

Los dos modelos muestran que en la franja costera hay un ingreso de agua de mar sobre la cual reposa una "capa" de agua dulce. Esta "mezcla entre el agua dulce y el agua de mar" produce el agua salobre cerca de la costa. El agua dulce es menos densa que el agua de mar por esto se mantiene relativamente separada. En Santa Cruz tenemos acceso a este acuífero a través de grietas, puntos de acceso de agua y el pozo profundo en el Km 6. En San Cristóbal está inferido por los resultados de sondeos geofísicos.

Tanto en San Cristóbal como en Santa Cruz, la alternancia de capas de rocas volcánicas, rocas erosionadas, capas de suelos, capas alteradas, capas

impermeables ha permitido en la parte alta de la isla la retención y recarga del agua infiltrada para formar acuíferos llamados acuíferos colgados. En la isla Santa Cruz, los acuíferos colgados no interceptan con la superficie y el agua sigue su movimiento bajo el suelo hasta encontrar el acuífero base. En la isla San Cristóbal, la edad de la isla ha permitido que se desarrollen procesos de erosión, donde la topografía intercepta los niveles saturados de los acuíferos colgados y se generan encañadas y pequeños ríos permanentes.

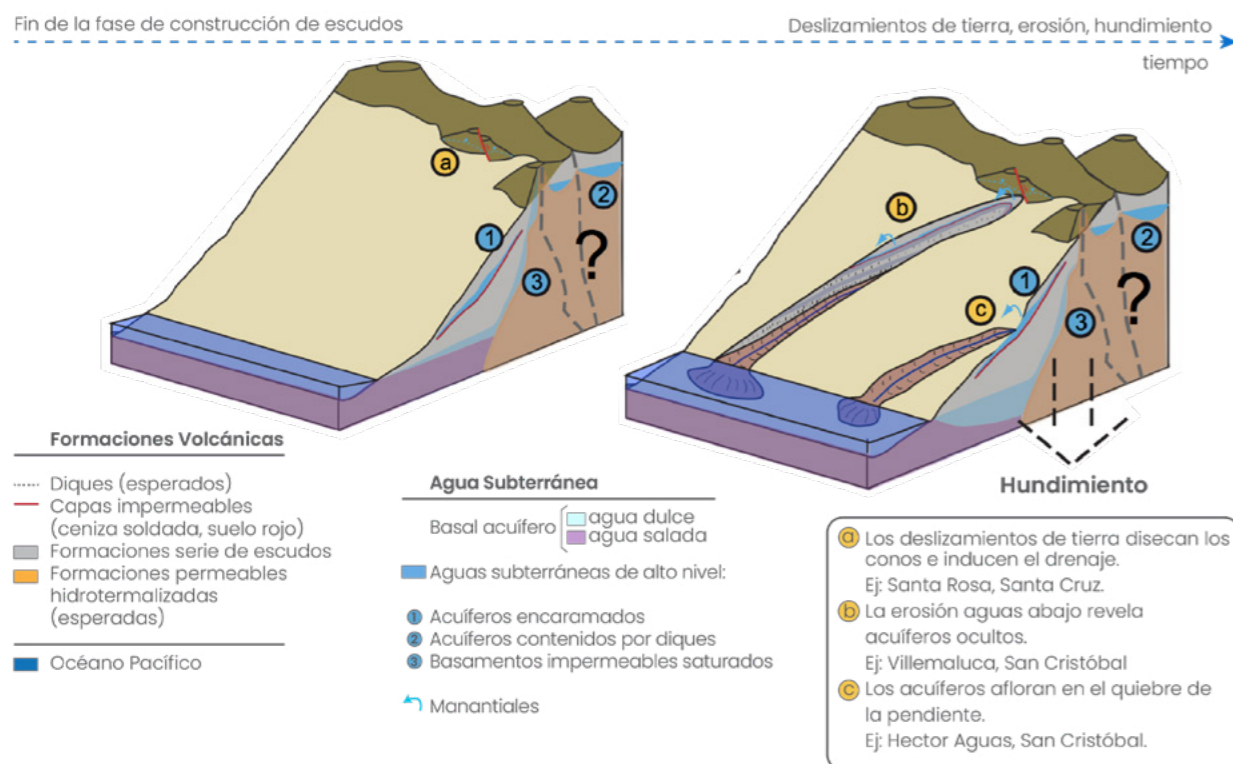


Figura 11. Modelos conceptuales hidrogeológicos de las islas San Cristóbal (derecha) y Santa Cruz (izquierda). (Fuente: Pryet, 2012).

Suministro de agua y saneamiento en las islas Galápagos

Desde mediados de la década de 1990, las islas Galápagos han experimentado una rápida expansión del turismo, alcanzando su punto máximo en 2023 con 320.000 turistas. Esto representó aproximadamente dos tercios del PIB del archipiélago. Las consiguientes oportunidades económicas han impulsado altos niveles de migración desde Ecuador. En la actualidad, se estima que existen más de 30.000 personas residiendo en las islas, con una expansión adicional del 30% esperada para 2030. Este crecimiento poblacional sistémico ha ocasionado que la infraestructura y los servicios sociales existentes hayan sobrepasado su capacidad. Superar estos desafíos requerirá enfoques innovadores y

multidisciplinarios para la gestión de la economía, los recursos naturales, la biodiversidad y el bienestar de la comunidad. Entre los desafíos más críticos se encuentra la provisión de agua potable y la gestión de los sistemas de aguas residuales en todo el archipiélago. Como señaló el propio Darwin en su diario del viaje del Beagle en 1835, *“el principal mal que padecen estas islas es la escasez de agua”*. Esto se debe primordialmente a las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas de las islas.

Los sistemas de agua potable y aguas residuales existentes en cada una de las cuatro islas habitadas (Santa Cruz, San Cristóbal, Isabela y Floreana) se detallarán a continuación:

Isla Santa Cruz



En la actualidad, el turismo y el crecimiento de la población ejercen una gran presión sobre los recursos hídricos. El estrés hídrico es de especial preocupación en Santa Cruz, donde la disponibilidad de agua se limita a agua salobre acumulada en grietas en la roca volcánica. En la Isla existen 3 asentamientos humanos: Puerto Ayora, Bellavista y Santa Rosa. Se cuenta con cuatro fuentes subterráneas para el suministro de agua municipal: La Camiseta, Pozo Bellavista, Grieta Ingala, Vertiente Santa Rosa y con siete fuentes para el suministro de agua de riego.

La perforación de pozos ha sido otra forma de abastecimiento de agua municipal. En los años 90s en el sector El Cascajo se encontró un depósito de lava grande a 100 m de profundidad. En los años 2000 se construyó un pozo profundo en Bellavista de 156 m de profundidad que alcanzó el acuífero base (un poco menos salobre que en la parte

costera); mientras que en el año 2022 se realizó la perforación de un pozo de 220 m en la parte alta fuera de la zona del acuífero colgado.

El abastecimiento no continuo de agua salobre se mantiene como el principal recurso de suministro de agua municipal. Este es complementado por agua potable desde plantas desalinizadoras privadas y tanqueros de distribución. El pueblo de Santa Rosa históricamente se ha abastecido de agua, proveniente de la única vertiente permanente de la isla, ubicada en el Cerro Bicunia. Sin embargo, el caudal reducido no es suficiente para toda la demanda del sector.

La proximidad del asentamiento urbano al acuífero basal, la intrusión de agua de mar y el tratamiento ineficiente de las aguas residuales han afectado negativamente la calidad de las fuentes de agua subterránea en Santa Cruz. Estudios recientes han

reportado que las concentraciones de salinidad en algunos sitios dentro de la isla superan los criterios de calidad establecidos por la OMS para agua potable hasta en un 100%. En Puerto Ayora, los efluentes domésticos son recolectados en fosas sépticas unifamiliares (92,7%) sin depuración, y su mal funcionamiento, que alcanza hasta el 90%, ha provocado la infiltración de aguas residuales en el acuífero basal. Esto ha ocasionado que ciertos pozos no puedan ser utilizados como fuentes de agua potable debido a la presencia de coliformes fecales.

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Cruz (EPMAPASC) se creó en diciembre de 2015 y comenzó a operar en enero de 2018. A partir de noviembre de 2020, EPMAPASC servía 2.410 conexiones de agua (residenciales y comerciales) en Puerto Ayora utilizando agua salobre de la grieta La Camiseta como fuente de agua de consumo humano. Sin embargo, el volumen limitado de esta fuente de agua, las ineficiencias del sistema y los déficits de ingresos han contribuido a que el sistema sea insuficiente para satisfacer una demanda creciente de agua potable, de la cual alrededor del 55% corresponde a turistas. Además, los servicios de agua se interrumpen con frecuencia, con un suministro promedio de aproximadamente 3 horas por día. Dado que el agua municipal no es potable en toda la isla, los residentes dependen de un mercado privado de agua embotellada para beber y cocinar.

Desde 2011, el suministro de agua municipal de Santa Cruz proviene en gran medida de una grieta

llamada La Camiseta. En la grieta existe un sistema de bombeo que transfiere hasta 3.000 m³ de agua mediante una tubería de 2 km de longitud hasta dos tanques de almacenamiento de 600 m³ y 800 m³. Estos tanques están a 2,5 km y 64 m arriba del principal centro urbano de Puerto Ayora. En este lugar se encuentra una planta desalinizadora en la que se invirtió \$7 millones en el año 2016. Se esperaba que esta planta suministre agua a Puerto Ayora que cumpliera con los estándares de agua potable. Sin embargo, hasta marzo de 2023, la planta aún se encontraba en fase de prueba y seguía siendo operada por el contratista y no toda la población contaba con el suministro de agua potable. Las razones de esto incluyen fallas de los equipos y capacidad insuficiente de los laboratorios para evitar que el medio ambiente se vea afectado por la descarga de salmuera. Ya que tanto equipos como infraestructura son continuamente afectados por el desgaste y la corrosión acelerada por la alta salinidad y las variaciones climáticas propias de la zona insular. Además, esta salmuera puede alterar la salinidad del agua marina y afectar negativamente a los ecosistemas marinos, que son particularmente sensibles en estas regiones insulares. Como resultado, el agua suministrada a las redes es salobre, con concentraciones de cloruro varían de 400 a 1.200 ppm. La falta de agua potable debe ser tratada de forma urgente, ya que el agua salobre distribuida en la isla impide el consumo humano (normalmente regulado entre 200 y 250 ppm de cloruro para exposición a largo plazo) y promueve altas tasas de corrosión de la infraestructura.

Figura 12. Localización de infraestructuras clave para los sistemas de agua y aguas residuales en Santa Cruz. (Fuente: FUNCAVID).



En Santa Cruz existen dos redes de distribución principales: la primera hacia el sur, hacia Puerto Ayora, y la otra hacia el norte, hacia Bellavista. Hacia Puerto Ayora hay dos sistemas separados, en gran medida impulsados por gravedad, para los distritos urbanos del norte y del centro. Una ubicación crítica de la red es la sede de la autoridad del agua de la isla, la EPMAPASC, sobre la grieta Ingala (una fisura abierta en una roca) que se usa para tanqueros hacia la parte alta. El suministro de estas redes suele limitarse a 3 horas al día y prevalecen las cisternas domésticas (tanques elevados o torres) para amortiguar el suministro durante las 24 horas: casi el 85 % de los hogares usan este tipo de sistemas en Puerto Ayora.

Históricamente, las conexiones a la red de suministro de agua de Puerto Ayora pagan una tarifa fija mensual dependiendo del tamaño y uso del edificio de hasta \$18/mes, mientras tanto, los residentes de Bellavista pagan aproximadamente \$1,20 por m³. Esto se debe en parte a que la mayoría de las conexiones de Bellavista a la red cuentan con medidores desde 2013. Esta estructura tarifaria ha creado tasas de consumo mucho más altas en Puerto Ayora; sin embargo, hay intentos en curso de introducir pagos con medidores en la ciudad. Desde febrero de 2019, EPMAPASC ha cobrado tarifas directamente a los usuarios de agua. La tarifa mensual de agua en Puerto Ayora es fija y actualmente se divide en dos categorías según el consumo y el área de construcción: (i) "comercial" si el área de construcción es mayor a 100 m² (\$11.24)

y (ii) "residencial" si el área de construcción es menor a 100 m² (\$5.24). Aproximadamente el 40% de los usuarios de agua paga la tarifa doméstica; el resto se considera usuarios comerciales.

En 2015 se estimaba que el 92 % de los habitantes de Puerto Ayora estaban conectados a la red municipal de suministro de agua, frente al 81 % de Bellavista debido al rápido crecimiento de la zona urbana en este sector en la última década. Sin embargo, mientras casi el 100 % de los residentes de Puerto Ayora reciben agua todos los días, en Bellavista sólo el 24 % lo hace. Las afueras de Bellavista, así como los pueblos de Santa Rosa y El Cascajo, y gran parte de la zona agrícola (un total aproximado de 2000 personas), se consideran fuera de la red, ya que dependen de las lluvias y de los camiones cisterna que llegan desde Puerto Ayora. Estos camiones cisterna se llenan en la sede de EPMAPASC, realizando hasta 18 viajes de camiones cisterna cada día. Este mecanismo de entrega resulta costoso para los residentes y el municipio, con valores que alcanzan \$30 dólares por m³ y los camiones cisterna cuestan alrededor de \$120. Para los agricultores de estas zonas, la falta de agua es el mayor riesgo para los medios de vida. Un ejemplo de ello es la sequía de 2016, que afectó gravemente al pastoreo en la isla. Desde entonces, el gobierno local ha llevado a cabo varios proyectos para construir micro-embalses (aproximadamente 500 m³) y promover tecnologías de riego por goteo, así como enfoques alternativos de captura de agua.

Santa Cruz no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) convencional en funcionamiento, a pesar de que es la isla más poblada del archipiélago. Aproximadamente el 80 % de los sistemas de alcantarillado doméstico y comercial drenan a fosas sépticas. Existe mantenimiento de pozos de revisión, sumideros, fosas sépticas mediante un equipo hidrocleaner que apoya también en la adecuación de pantanos secos que tratan el 29 % de las aguas servidas del cantón. Al no existir una planta de tratamiento de aguas residuales se generan vertimientos de aguas residuales directamente al mar. Actualmente está en proceso la construcción de una PTAR para Bellavista diseñada para 2.250 habitantes. Algunos hoteles, cuentan con sistemas de plantas compactas con la técnica de lodos activados. Existen dos pequeños sistemas con la tecnología de pantano artificial en el Parque Industrial y de la Cooperativa de Producción Pesquera Artesanal (COPROPAG), pero ninguno de los sistemas funciona al 100 % de su capacidad.

Además de la salinidad del suministro de agua, también existe una creencia comunitaria generalizada de que el suministro de agua causa enfermedades gastrointestinales e infecciones del tracto urinario (ITU). Varios estudios demuestran que la exposición a altos niveles de salinidad puede alterar la microbiota bacteriana intestinal, lo que desencadena trastornos digestivos asociados a problemas de malabsorción y otros desordenes digestivos. Por otro lado, la alta concentración de

sodio puede desencadenar daños en la función renal y en la capacidad del cuerpo de mantener un equilibrio adecuado de líquidos y sales, provocando deshidratación y, en consecuencia, aumentando el riesgo en el desarrollo de infecciones urinarias.

Basado en la información de los planes de ordenamiento territorial (POT), aproximadamente \$70 millones fueron asignados a proyectos relacionados con agua en Santa Cruz entre 2012 y 2016. Los fondos se dirigieron hacia la investigación, infraestructura, comunidad, políticas y fortalecimiento de capacidades. Lastimosamente, el portafolio de proyectos solo abordó una parte de los problemas de calidad del agua o dichos proyectos no fueron completados hasta el punto de generar beneficios en la gestión del agua. Aproximadamente, \$16 millones se asignaron en 2013 para construir un sistema integral de alcantarillado sanitario, y la expansión y mejora de los sistemas de agua potable para Puerto Ayora. Sin embargo, para 2017 solo el 31 % del proyecto se había completado y sólo el 44 % del dinero asignado se había desembolsado. Además, en 2017 se otorgó un crédito de \$4.8 millones al municipio para mejorar y expandir el sistema de agua potable y construir sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial en Bellavista. A pesar de la significativa inversión financiera, ninguno de estos proyectos ha sido concluido de forma exitosa y aún existen muchos retos en términos de calidad y gestión del agua potable y saneamiento en la isla Santa Cruz.



Isla San Cristóbal



San Cristóbal es la única isla del archipiélago que cuenta con ecosistemas acuáticos de agua dulce de forma permanente. Entre estos está el ecosistema acuático léntico: el lago de El Junco y los ecosistemas lóticos: las vertientes y riachuelos que llegan hasta descargarse al mar.

El abastecimiento de agua dulce en la isla San Cristóbal está documentado en los escritos del Viaje del Beagle que fue a Bahía de Agua Dulce a buscar el recurso vital y en el libro *Galápagos El Extremo del Mundo* de William Beebe. Las captaciones en la parte alta empezaron con el asentamiento humano de El Progreso bajo el mando de Manuel J. Cobos y se reforzaron con la presencia de colonos americanos. Hoy en día se mantienen como fuentes principales de abastecimiento las captaciones del Cerro Gato y la Toma de Los Americanos desde donde el agua llega a Puerto Baquerizo Moreno y El Progreso, respectivamente; y también de la Toma de La Policía donde se llenan tanqueros de agua.

La isla San Cristóbal tiene dos asentamientos humanos Puerto Baquerizo Moreno y El Progreso, usándose las fuentes de El Cerro Gato y La Toma como fuentes de agua de consumo humano. Estas fuentes superficiales están localizadas en la parte alta a 164 y 510 m de altitud, respectivamente. El Cerro Gato sirve como fuente para la Planta municipal de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Las Palmeras, mientras que La Toma alimenta a la PTAP El Progreso. Ambas plantas operan utilizando un proceso de tratamiento convencional compuesto de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Se estima que la tasa de flujo de ambas fuentes es de 39 L/s. Las plantas de tratamiento de agua potable Las Palmeras y El Progreso son aprovechadas en su totalidad, ambas funcionan en condiciones óptimas. La operación de ambas plantas está a cargo del Municipio que cuenta con personal calificado, cumpliendo los estándares exigidos en las normativas ecuatorianas.

El agua potable es suministrada a los 700 habitantes de El Progreso, de los que alrededor de dos tercios están conectados al sistema de tuberías municipal. Además, el agua se canaliza a dos tanques de almacenamiento (con un total de 400 m³) antes de suministrar hasta una gran instalación de almacenamiento (más de 1.000 m³ en múltiples tanques) ubicada en el distrito de Las Palmeras, en las afueras de la principal zona costera de Puerto Baquerizo Moreno.



Figura 13. Localización de infraestructuras clave para los sistemas de agua y aguas residuales en San Cristóbal. (Fuente: FUNCAVID).

Esta instalación de almacenamiento actúa como materia prima principal para la red municipal de suministro de agua en Puerto Baquerizo Moreno, donde vive más del 90 % de los habitantes de la isla. En San Cristóbal, el 92 % de las viviendas cuentan con agua distribuida a lo largo de la red municipal. El suministro se estima en 266 litros per cápita por día (aunque este es menor en las tierras altas agrícolas).

En San Cristóbal, los estudios a largo plazo han indicado que las dos plantas de tratamiento de agua potable son razonablemente efectivas, distribuyendo agua potable de buena calidad, libre de contaminación. Sin embargo, al evaluar tres años de datos sobre la calidad del agua, se concluyó que, si bien las plantas de tratamiento de agua potable técnicamente garantizan un enfoque de suministro de agua gestionado de forma segura, los residentes se enfrentaban a una mala calidad y disponibilidad del agua a nivel doméstico. Esto se debe en parte a que el flujo del agua potable es intermitente (3 horas al día) debido al suministro limitado y también al almacenamiento del agua en los hogares en tanques, cisternas, recipientes, entre otros. El estudio encontró que el régimen de suministro intermitente hacía que el sistema fuera susceptible a contaminación por coliformes totales y coliformes fecales a nivel domiciliario, con cloro residual insuficiente para una desinfección continua durante el almacenamiento en los hogares.

San Cristóbal es la única isla habitada en las

Galápagos que cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Esta planta opera utilizando procesos físicos, químicos, biológicos y de desinfección que incluyen un tanque equalizador, un tanque de sedimentación primaria, un reactor anaeróbico, un reactor de lodos activados seguido de un clarificador y una cama de deshidratación de lodos. En el período comprendido entre 2015 y 2018, se evaluó el funcionamiento de la PTAR y se estableció que a pesar de que todos los parámetros evaluados estaban dentro del estándar ecuatoriano para la descarga a un cuerpo de agua marina, con la excepción del azufre, la PTAR debía ser optimizada para mejorar su desempeño. Es importante mencionar que cuando ocurre una emergencia, como eventos de precipitación extrema, falta de electricidad o cualquier daño en la PTAR, las aguas residuales se vierten cerca de las playas Playa de Oro y Punta Carola sin tratamiento previo. En la actualidad sería importante evaluar el funcionamiento de la PTAR en términos de la eficiencia de eliminación de materia orgánica, nutrientes y sólidos suspendidos.

Las deficiencias en los sistemas actuales de aguas residuales y agua potable han requerido inversiones adicionales para mantener y actualizar los componentes existentes y construir nueva infraestructura en San Cristóbal. El GAD San Cristóbal ha invertido aproximadamente \$2.3 millones en infraestructura para un nuevo sistema de alcantarillado y mantenimiento de la PTAR, limpieza de tuberías de agua potable

y monitoreo de la calidad del agua entre 2014 y 2017. Alrededor de \$200.000 se propusieron en 2012 para la implementación de un plan integrado de gestión del agua para asegurar el monitoreo, control, remediación y recuperación de los recursos hídricos, considerando zonas para captura, recarga y escorrentía. Pese a las recientes inversiones gubernamentales en la gestión de agua potable y aguas residuales, es importante

encontrar alternativas para el tratamiento, uso y reutilización de las aguas residuales y mejorar las técnicas de captura de agua de lluvia en la Isla San Cristóbal. Estas estrategias de captura de agua lluvia no sólo aportarán en la mitigación de las inundaciones urbanas, la erosión del suelo y la destrucción de playas, sino que también podrían evitar que el agua contaminada llegue al mar a través de la escorrentía.

Isla Isabela



En la isla Isabela no hay cuerpos de agua superficiales permanentes. La principal área costera poblada es Puerto Villamil, que tiene una población de sólo 2.100 habitantes, pero ha experimentado un rápido crecimiento urbano en los últimos veinte años.

La isla Isabela cuenta con dos asentamientos humanos: Puerto Villamil y Tomás de Berlanga y utiliza tres fuentes subterráneas para el suministro de agua municipal (principalmente salobre): Chapin 1, Chapin 2, y Grieta San Vicente, con cinco fuentes subterráneas para el suministro de agua de riego. La isla cuenta con una planta desalinizadora desde 2014. Sin embargo, dicha planta es insuficiente para satisfacer la demanda de agua potable de los residentes y turistas. El agua potable generada por la planta de desalinización se bombea a dos tanques de almacenamiento con una capacidad de 300 m³ por día, y posteriormente se distribuye a lo largo de la red municipal de Puerto Villamil durante 3 horas por la mañana y 3 horas por la

tarde. Además, debido a la falta de mantenimiento de las tuberías, el agua potable que circula por la red a menudo se contamina con intrusión de agua de mar y, a veces, se pueden encontrar agujeros y fugas a nivel doméstico.

En la comunidad local existe gran preocupación por la disponibilidad de agua de consumo humano. Una encuesta reciente reportó que más de una quinta parte de los hogares tuvieron problemas para acceder a suficiente agua potable, a pesar de que la isla cuenta con un sistema municipal de distribución de agua. Las comunidades de las tierras altas de Isabela (que se concentran alrededor del pueblo de Tomás de Berlanga) se abastecen de agua municipal mediante camiones cisterna o mediante la captación de agua de lluvia. Proyectos recientes desarrollados en la isla Isabela por parte de la Fundación Charles Darwin sugieren que la recolección de niebla (la captura de humedad de la garúa mediante redes) también podría utilizarse en entornos agrícolas.

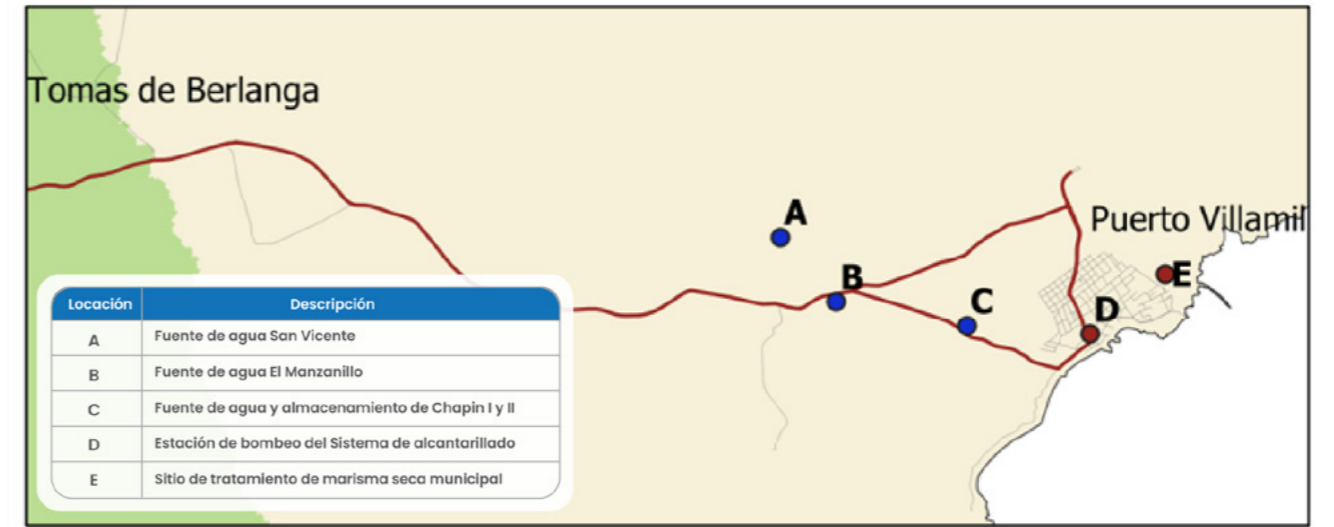
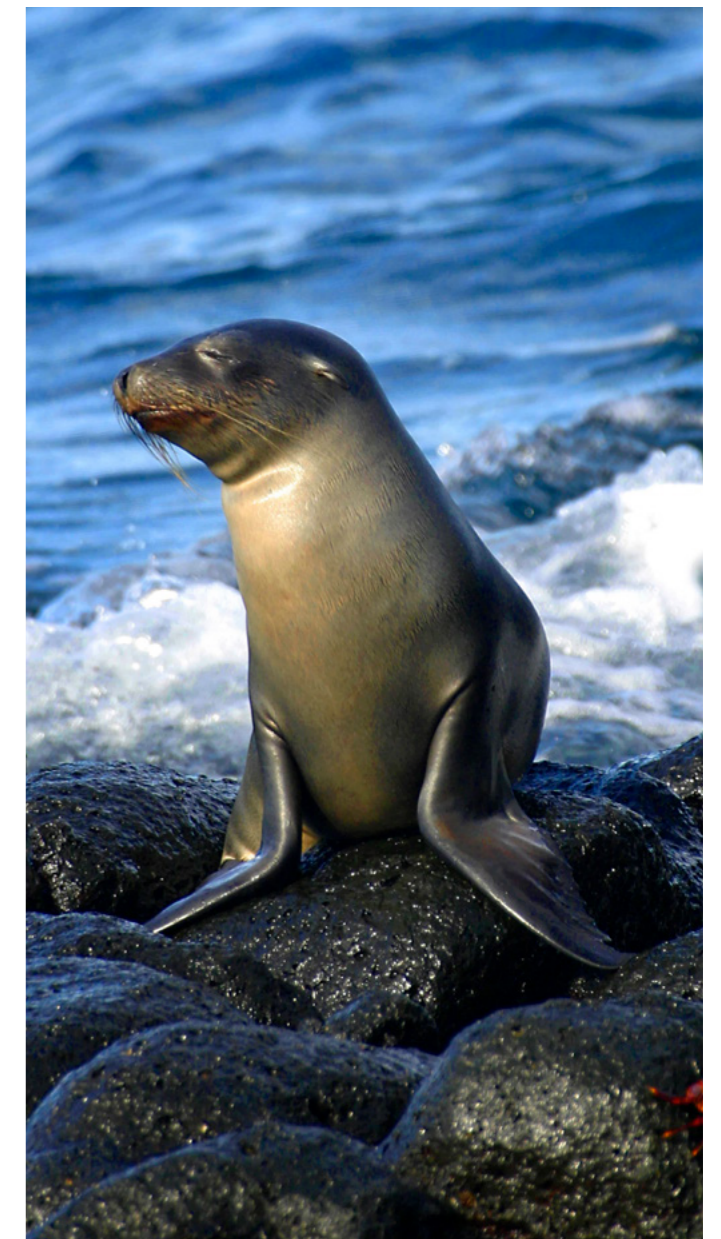


Figura 14. Localización de infraestructuras clave para los sistemas de agua y aguas residuales en Isabela. (Fuente: FUNCAVID).

En términos de calidad de agua, en un estudio reciente en Puerto Villamil se encontró presencia de *E. coli* en el agua del grifo en más de la mitad de los hogares analizados, lo que sugiere su contaminación directa con heces fecales o aguas negras no tratadas, esto incrementa la posibilidad de desarrollar problemas de salud por la presencia de virus, parásitos y bacterias patógenas. El 70 % de las enfermedades en esta localidad son producidas por el uso y contacto con el agua contaminada que se encuentra en el suministro de la ciudad.

En Puerto Villamil existe una única planta de tratamiento de aguas residuales, su instalación se completó en 2016. En 2019, había cinco humedales artificiales en funcionamiento y la instalación contaba con capacidad para tratar residuos de 1.500 habitantes. Actualmente, la red de alcantarillado llega al 30 % de los hogares de Puerto Villamil, y las áreas atendidas son en gran medida áreas centrales de la isla. Los barrios de nuevo desarrollo Pedregal 1 y 2 cuentan con una red de alcantarillado que no está operativa en la actualidad, ya que no está conectada a la planta de tratamiento de aguas residuales. Aunque Puerto Villamil cuenta con un sistema de tuberías que recoge aguas residuales de los hogares y las lleva a la planta de tratamiento de aguas residuales, la contaminación de las fuentes de agua subterránea sigue siendo un gran reto. El sistema de alcantarillado en la isla colapsa continuamente, causando no solo olores fuertes y condiciones insalubres en los barrios, sino también contaminando las fuentes de agua. Aún peor, en aquellos barrios donde no existe un sistema de alcantarillado, las aguas residuales domésticas van directamente a las grietas sin ningún tipo de tratamiento previo.



Isla Floreana



Floreana tiene la comunidad insular más pequeña del archipiélago de las islas Galápagos, con sólo 58 viviendas para el año 2018. La isla cuenta con cuatro manantiales de escaso caudal, lo que hace que los recursos hídricos de la isla sean muy limitados. El manantial principal de Floreana es conocido desde tiempos históricos y fue utilizado por piratas y balleneros, como muestra de ello se puede observar la fecha "1868" grabada en la pared de la

vertiente. El manantial usado para dotar de agua a Puerto Velasco Ibarra está en las tierras altas y se conduce mediante una tubería de 7 km hasta el centro poblado. El caudal del manantial presenta variaciones estacionales y a largo plazo puede verse afectado por periodos de sequía prolongada que reduce la recarga natural del acuífero que lo alimenta.



Figura 15. Fecha grabada en la pared de la vertiente – Isla Floreana. (Fuente: d'Ozouville N.).



El agua de consumo humano está almacenada en tanques para generar una temporización y mantener una variabilidad en el suministro constante a las viviendas. Una segunda fuente, ubicada en terrenos privados, contribuye a abastecer la red durante los períodos más secos. Paralelamente, existe una planta desalinizadora capaz de producir 500 litros por día, pero las necesidades energéticas y de costos hacen que sólo se utilice durante períodos prolongados de sequía. El paulatino crecimiento de la población y aumento de la frecuentación turística a la isla también ha contribuido al aumento de la demanda por el recurso hídrico. No existe una red de recolección de aguas residuales en la isla, por lo que los residentes dependen de fosas sépticas construidas de forma privada. La poca densidad de habitantes en Puerto Velasco Ibarra, la presencia de un suelo más suelto y menos basalto masivo agrietado y el hecho que el agua dulce proviene de la parte alta y no del acuífero base ubicado debajo de la ciudad misma implica que los retos se alinean a los que se encuentran en Puerto Baquerizo Moreno que también cuenta con agua dulce como fuente de consumo humano mas no a los de Puerto Ayora y Puerto Villamil que tienen agua salobre como fuente de agua.

gestión del agua en las Islas Galápagos, aún no se han logrado mejoras medibles en la calidad del agua. Los aspectos en los que se recomienda enfocarse son: (a) construir o mejorar la infraestructura para los sistemas de alcantarillado y los sistemas de recolección de agua dulce; (b) monitorear, prevenir y mitigar la contaminación del agua; y (c) la participación y el involucramiento de todos los actores de la sociedad para asegurar la efectividad de un plan integrado de gestión del agua. Se han asignado fondos considerables para abordar las necesidades de infraestructura; sin embargo, la mayoría de estos proyectos aún no se han completado o sólo abordan una parte de los problemas de la gestión de los recursos hídricos. Por lo tanto, es importante establecer mecanismos para rendir cuentas de los fondos utilizados en la gestión del agua, la eficacia de la implementación de dichos fondos y los resultados y avances obtenidos más allá de los periodos gubernamentales, que deberían ser accesibles para el monitoreo por las partes interesadas. Combinar estas estrategias de gobernanza puede ayudar a las Islas Galápagos y a otras islas en todo el mundo a mejorar la gestión de los recursos hídricos y aportar a la construcción de resiliencia climática.

En términos generales, se puede concluir que, a pesar de los numerosos recursos invertidos en la

Ecohidrología

La ecohidrología es una ciencia que integra la biología y la hidrología. La cual busca proporcionar una base científica para desarrollar metodologías de gestión sostenible de los recursos naturales entendiendo las relaciones entre los procesos hidrológicos y biológicos a diferentes escalas, desde la escala molecular a la de cuenca hidrográfica, fortaleciendo la seguridad hídrica. Esta ciencia pretende mitigar el impacto ambiental y aumentar el potencial ecológico de una cuenca hidrográfica, considerando todos sus elementos como agua, biodiversidad, servicios ecosistémicos para la sociedad; para armonizarlas con las necesidades de la sociedad y lograr la sostenibilidad de las cuencas hidrográficas.

Organismos como la UNESCO, manejan programas que promueven el uso de la ecohidrología para contribuir a un saneamiento sostenible de las fuentes de agua mediante iniciativas como la restauración de ecosistemas degradados con el apoyo de prácticas agrícolas sostenibles, tecnologías que ayudan al crecimiento de plantas en diferentes áreas, captación de aguas lluvias, captura de neblina para contribuir con la disponibilidad de agua para uso agropecuario, tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales, entre otros. En la siguiente figura puedes observar el enfoque ecohidrológico basado en tres principios que son expresados en componentes secuenciales, donde los procesos hidrológicos se integran con los procesos ecológicos y viceversa (marco conceptual); en segundo lugar, se identifica cómo estos procesos ecológicos e hidrológicos pueden regularse entre sí (objetivo); y, finalmente, la información generada mediante la observación de campo y el método científico, proveerán de herramientas que pueden ser utilizadas para la gestión de una cuenca hidrográfica (metodología).



Figura 16. Principios de la eco hidrología. (Fuente: Albarraccin et al. 2018).

En Galápagos, el Programa Hidrológico Intergubernamental (PHI) de la UNESCO ha apoyado la investigación y el fortalecimiento de capacidades para mejorar la comprensión de los vínculos de los procesos ecohidrológicos a nivel de la cuenca y la incorporación de soluciones de este tipo para la gestión integrada de recursos hídricos a través del desarrollo de sitios demostrativos de ecohidrología; donde el caso más representativo es el de Pelican Bay en Santa Cruz. Este sitio, ofrece un marco único y prioritario, pues esta cuenca designada desde la parte más alta de la isla hasta Puerto Ayora, incluye zonas húmedas protegidas por el Parque Nacional Galápagos, zonas agrícolas, los puntos de abastecimiento de agua potable,

los pantanos secos y las grietas del acuífero base, siendo ideal para la implementación de este tipo de estrategia. En este sentido el avance de la ecohidrología en Santa Cruz es particularmente importante en tres frentes: resiliencia frente al cambio climático, reducción de contaminación y aguas subterráneas. Donde por ejemplo se ha buscado la implementación de pantanos secos artificiales en Santa Cruz, para el tratamiento de las aguas servidas. También se ha trabajado en el aumento de la recarga hídrica de la zona mediante el análisis de la presencia de la vegetación en la franja de 450 a 650 msnm durante las estaciones y épocas de luz y sombra.

05

GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA

Calidad del Agua

La calidad y cantidad de agua dulce ha sido un problema siempre presente en las islas Galápagos. De las cinco islas habitadas, sólo San Cristóbal y Floreana cuentan con fuentes de agua dulce en forma de arroyos superficiales. Las otras islas dependen de pequeños manantiales, extracción de acuíferos basales salobres y la desalinización para su suministro de agua. Tanto Santa Cruz como Isabela experimentan contaminación de su suministro de agua subterránea debido a la ubicación del acuífero basal debajo de densos asentamientos urbanos, la falta de un tratamiento eficaz de las aguas residuales y la mezcla con agua de mar debido a los procesos de intrusión.

La mala calidad del agua se ha asociado con problemas de salud predominantes en esas comunidades. El agua potable depende de empresas privadas de purificación de agua y, para una parte de la población, de las precipitaciones. La calidad del agua es una preocupación importante ya que desde mediados de la década de 1980 se han identificado repetidamente altas concentraciones de *E. coli* (contaminación fecal) en el acuífero basal que abastece a Puerto Ayora. El uso de sistemas de eliminación de aguas residuales *in situ* en forma de fosas sépticas es inadecuado para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas con heces fecales. Estas fosas sépticas fueron utilizadas inicialmente por los primeros pobladores (década de 1930) y han persistido a través del tiempo independientemente de las realidades cambiantes, principalmente debido al costo prohibitivo de implementar saneamiento tradicional alimentado por gravedad en el suelo volcánico. Con la esperanza de encontrar soluciones innovadoras a largo plazo al problema, actualmente se están llevando a cabo iniciativas públicas y privadas de saneamiento a pequeña escala: el municipio opera dos humedales artificiales para tratar el efluente de las plantas de procesamiento y fabricación de alimentos, y un hotel y una pequeña urbanización en las tierras altas tienen cada uno un sistema completo de tratamiento de aguas residuales. Pese a las medidas tomadas para enfrentar esta situación en las 4 islas habitadas con redes de saneamiento y plantas de tratamiento, los sistemas aún no están operativos o presentan también problemas de mantenimiento e intermitencia del servicio del agua potable.

La calidad del agua se evalúa mediante análisis de laboratorio físico, químicos y biológicos, para garantizar que cumple con los estándares establecidos por los organismos de salud pública y medio ambiente. Los resultados de estas evaluaciones determinan las acciones necesarias para mejorar o mantener la calidad del agua,



protegiendo así la salud humana y el equilibrio ecológico. La evaluación de la calidad del agua en las islas Galápagos es un proceso crucial para la conservación de su biodiversidad única y el bienestar de su comunidad. Este proceso incluye varios métodos y parámetros específicos para asegurar que el agua cumpla con los estándares necesarios para sus múltiples usos. A continuación, se describe cómo se lleva a cabo esta evaluación.

La evaluación de la calidad del agua en las islas Galápagos se basa en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que aseguran su idoneidad para el consumo y la preservación del ecosistema. Entre los parámetros fisicoquímicos *in situ*, se destacan la temperatura, que varía entre 19 y 24 °C, afectando la biodiversidad acuática; el pH, que debe estar entre 6,0 y 8,0 para evitar impactos negativos en la vida acuática; la conductividad, que indica la presencia de sales disueltas y puede señalar contaminación; el oxígeno disuelto, esencial para la vida acuática, cuya concentración debe ser de al menos 4,0 mg/L; y la turbidez, que mide la presencia de partículas suspendidas en el agua. Estos parámetros se miden con equipos especializados como termómetros, medidores de pH y turbidímetros.

La calidad del agua también se establece en base a parámetros físico y químicos que se miden en laboratorios especializados tales como alcalinidad, dureza, nutrientes (amonio, nitrito, nitrato, sulfato, fosfato), iones (cloruro, fluoruro), elementos metálicos mayores y menores, contaminantes orgánicos y contaminantes emergentes. En este caso se requiere de infraestructura adecuada, equipos especializados, personal técnico capacitado, entre otros.

En la actualidad existe un gran interés sobre la presencia de contaminantes emergentes y más aún en un entorno tan único como las Islas Galápagos, una zona

en la que, hasta la fecha, no se han publicado estudios sobre la presencia de contaminantes emergentes excepto los microplásticos. En los últimos años, la contaminación por plásticos se ha convertido en un problema global importante que afecta a todas las poblaciones y las Islas Galápagos no son una excepción. De hecho, los últimos estudios reportan que la abundancia de microplásticos en el archipiélago de Galápagos oscila entre 0,003 y 2,87 elementos/m², y la abundancia de microplásticos varía de 0 a 2,524 partículas/m². Los contaminantes emergentes ingresan al ambiente marino a través de ríos, estuarios y desagües marinos. Su persistencia en el medio ambiente y la afinidad celular de los organismos por estos compuestos pueden resultar en su acumulación en los tejidos biológicos, y esto puede provocar la aparición de efectos adversos incluso cuando ingresan al sistema en concentraciones tan bajas como ng/mL (partes por trillón - ppt).

En cuanto al análisis microbiológico, se enfoca en detectar microorganismos patógenos, con especial atención a bacterias como coliformes totales y *E. coli* quien es un indicador de contaminación fecal. Técnicas tradicionales y modernas, como la secuenciación 16S, se utilizan para identificar patógenos y asegurar que el agua sea segura para el consumo. A nivel regulatorio, las islas cumplen con normativas nacionales e internacionales, incluyendo la Norma Técnica NTE INEN 1108, el Acuerdo Ministerial 097A TULSMA y estándares de la EPA y la OMS. Estas regulaciones abarcan no solo el control de calidad del agua potable, sino también la preservación de la vida acuática. Para una revisión detallada de estas normativas y estándares, consulte la sección de Anexos.

Métodos de conservación del agua

La conservación del agua en el hogar es esencial para garantizar un uso responsable y eficiente del agua. Aplicar métodos de conservación del agua puede reducir significativamente su despilfarro y contribuir a una gestión más sostenible del agua. He aquí algunos métodos eficaces de conservación del agua en el hogar:



- **Repare las fugas:** Incluso pequeñas fugas en grifos, tuberías o inodoros pueden desperdiciar una cantidad considerable de agua. Compruebe periódicamente si hay fugas y repáralas de inmediato.
- **Grifos de bajo caudal:** Instale duchas y grifos de bajo caudal. Estos accesorios están diseñados para reducir el caudal de agua manteniendo una presión adecuada, lo que ahorra una cantidad significativa de agua.
- **Duchas más cortas:** Anime a los miembros de la familia a ducharse menos tiempo. Considere la posibilidad de utilizar un temporizador para controlar la duración de la ducha.
- **Reutilización de aguas grises:** Implante un sistema de reciclaje de aguas grises para reutilizar el agua de duchas, baños y lavadoras con fines no potables, como las cisternas de los inodoros y el riego de las plantas.
- **Electrodomésticos de alta eficiencia:** Invierte en electrodomésticos que ahorren energía y agua, como lavadoras y lavavajillas de alta eficiencia, que consumen menos agua por ciclo.
- **Recoger agua de lluvia:** Instala sistemas de recogida de agua de lluvia para utilizarla en jardinería y otros usos no potables.
- **Mantillo:** Aplicar mantillo a los parterres puede ayudar a retener la humedad en el suelo, reduciendo la necesidad de regar con frecuencia.
- **Riegue con prudencia:** Riegue las plantas a primera hora de la mañana o a última de la tarde para reducir la evaporación. Evita regar en días ventosos, ya que puedes desperdiciar agua.
- **Barre, no uses manguera:** Utilice una escoba para limpiar calzadas y aceras en lugar de usar una manguera, lo que puede ahorrar una cantidad significativa de agua.

El agua es un recurso precioso que exige una gestión responsable y sostenible, especialmente en nuestros hogares. Aplicando métodos de reciclado del agua, conociendo las estadísticas de uso del agua y adoptando prácticas de conservación del agua, podemos contribuir a salvaguardar este recurso inestimable para las generaciones futuras. Los esfuerzos de cada persona por conservar el agua en su vida cotidiana pueden tener colectivamente un impacto significativo en el bienestar del planeta. Esforcémonos por ser usuarios conscientes del agua y defensores de su gestión sostenible para garantizar un futuro más brillante y verde para todos.

Reciclaje del agua

El reciclado del agua, también conocido como reutilización del agua o reciclado de aguas grises, consiste en tratar y reutilizar el agua para diversos fines no potables. Este enfoque ayuda a reducir la demanda de recursos de agua dulce y minimiza el vertido de aguas residuales sin tratar al medio ambiente. Algunos métodos habituales de reciclado del agua son:

- **Reciclaje de aguas grises:** Las aguas grises son aguas residuales generadas por actividades domésticas como ducharse, bañarse o lavar la ropa. Con un tratamiento adecuado, las aguas grises pueden reutilizarse para el riego, las cisternas de los inodoros o incluso para la limpieza.
- **Recogida de agua de lluvia:** La recogida de agua de lluvia consiste en recoger el agua de lluvia de los tejados u otras superficies y almacenarla para su uso posterior. Esta agua de lluvia recogida puede utilizarse para regar plantas, limpiar y otras aplicaciones no potables.
- **Tratamiento *in situ* de las aguas residuales:** Algunas viviendas disponen de sistemas de tratamiento de aguas residuales *in situ* que las depuran hasta un nivel adecuado para su reutilización en inodoros o sistemas de riego.

CONSEJOS PARA AHORRAR EL AGUA EN CASA

- Aseo personal**
Cierre la llave cuando se jabone las manos, cepille los dientes o en la ducha mientras se jabona.
- Disminuya los tiempos**
Procure que las actividades que involucren agua sean cortas.
- Recolecte agua**
Si acostumbra a dejar el agua correr mientras se calienta, fomente el ahorro recoja esta agua y aprovéchala en otras actividades.
- Fugas o filtraciones de agua**
Revise que al cerrar las llaves no queden goteando y tomar en cuenta que las griferías e inodoros tienen de 10 a 15 años de vida útil.
- Optimice el uso de electrodomésticos**
Cuando vaya a usar su lavadora y/o lavavajillas, procure que tengan la carga completa. Recuerde que puede recoger el agua que utiliza la lavadora y reutilizarla como en el lavado de pisos o auto.
- Use griferías ahorradoras**
Estas hacen que el consumo de litros por minuto sea menor, sin que esto signifique un cambio en la presión con la que sale el agua.
- Recolecte agua lluvia**
Aprovechar los canales de agua del techo de la casa es una buena opción y mejor si están conectados a tanques de reserva.
- Riego de plantas**
El agua que queda de los alimentos que se lavan o hierven puede ser reutilizada para regar las plantas.
- Carro**
Evite el uso de agua potable para lavar el vehículo u otro medio de transporte.

Figura 17. Consejos para ahorrar agua.

Saneamiento ecológico

La palabra saneamiento significa sanear, es decir mantener sano el ambiente donde vivimos y proteger la salud de las personas. El saneamiento ecológico, es un enfoque para el manejo de aguas residuales que busca proteger la salud humana y preservar el medio ambiente. Este enfoque se basa en principios ecológicos y sostenibles, promoviendo la reutilización segura de los nutrientes y la materia orgánica presentes en las aguas residuales para mejorar la fertilidad del suelo y la producción agrícola. Establecer sistemas de saneamiento sustentable es un enfoque de trabajo que implica el desarrollo e implementación de tecnologías orientadas a prevenir la contaminación de los ecosistemas y el ahorro de agua.

Algunos principios guías de los sistemas de saneamiento ecológico son:

- Reducción, reúso y reciclaje de agua.
- Separar y reciclar: Separar los residuos y tratarlos de forma independiente.
- Retorno de los nutrientes contenidos en aguas residuales al suelo y uso en la producción agrícola.
- Protección de la salud humana, mediante la prevención de la contaminación de fuentes hídricas superficiales y subterráneas.
- Prevención de la contaminación de los ecosistemas terrestres y acuáticos.
- No sobrepasar la capacidad de carga de los ecosistemas donde se insertan los sistemas de saneamiento.

06

IMPACTOS Y BENEFICIOS DEL SANEAMIENTO



El agua segura y fácilmente disponible es importante para la salud pública, ya sea que se le use para beber, para uso doméstico, para la producción de alimentos o para fines recreativos. La mejora del abastecimiento de agua y el saneamiento, así como una mejor gestión de los recursos hídricos, pueden impulsar el crecimiento económico de los países y contribuir en gran medida a la reducción de la pobreza. En el 2010, la Asamblea General de la ONU reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento. Toda persona tiene derecho a agua suficiente, continua, segura, aceptable, físicamente accesible y asequible para uso personal y doméstico.

El saneamiento del agua es un aspecto clave para la salud y el bienestar de las personas y la conservación del medio ambiente, en particular en entornos ecológicamente sensibles como lo son las islas Galápagos. En esta sección revisaremos los impactos y beneficios del saneamiento en la salud pública y el medio ambiente.

Impactos y beneficios del saneamiento en la salud pública

Tener acceso al agua potable, libre de contaminantes y patógenos, reduce la incidencia de enfermedades gastrointestinales en la población, lo cual disminuye la carga sobre los servicios públicos y privados de salud, y mejora la calidad de vida de las personas. Las enfermedades gastrointestinales están íntimamente relacionadas, representando el 60 % de las consultas médicas en comunidades sin acceso a un saneamiento adecuado.

La ausencia de servicios de agua y saneamiento inadecuados o mal gestionados exponen a las personas a riesgos prevenibles para la salud. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua contaminada y el saneamiento deficiente contribuyen a la transmisión de las enfermedades que se listan a continuación:

- **Diarrea:** Una de las principales causas de la diarrea es la ingesta de agua contaminada con patógenos fecales, tales como *E. coli*. Las enfermedades diarreicas pueden causar cuadros de deshidratación severos e inclusive la muerte, particularmente en niños menores de 5 años.
- **Cólera:** La presencia de *Vibrio cholerae* en aguas contaminadas es la causa del cólera, una enfermedad que produce una grave diarrea líquida y las formas graves de esta enfermedad pueden causar la muerte en cuestión de horas si no se tratan.

Según datos de la OMS y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF, por sus siglas en inglés), anualmente 297.000 niños menores de cinco años mueren debido a enfermedades diarreicas causadas por el consumo de agua contaminada y el saneamiento deficiente. Por otro lado, se estima que anualmente hay entre 1,3 a 4 millones de casos de cólera y entre 21.000 a 143.000 muertes a nivel mundial, por esta enfermedad transmitida por el agua contaminada. Sin embargo, no se han reportado brotes masivos de cólera en el

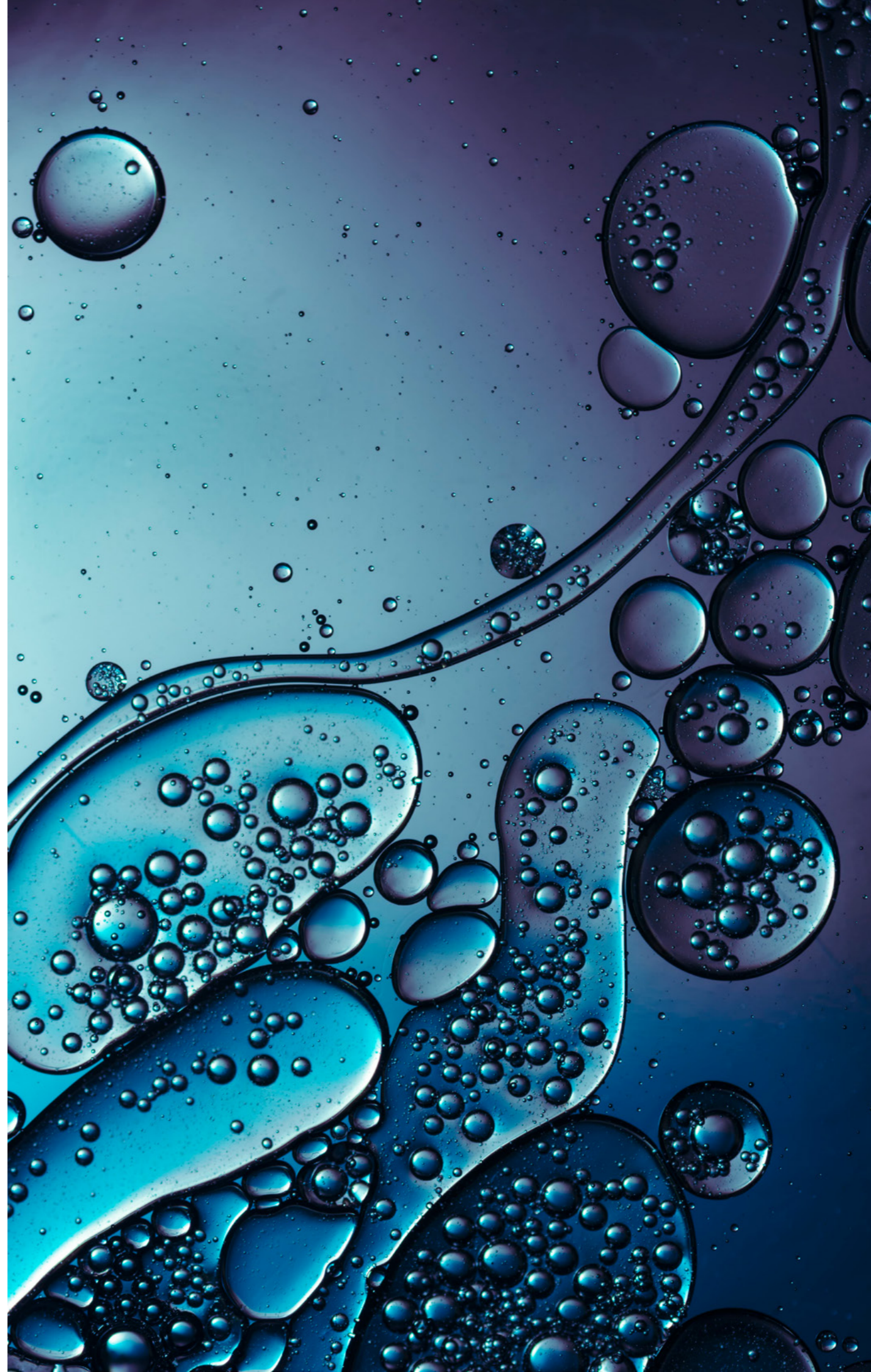
Ecuador en los últimos años.

- **Disentería:** La disentería es generalmente ocasionada por la bacteria *Shigella*. Un síntoma clave de esta enfermedad es la diarrea con sangre, acompañada de dolor abdominal, cólicos, fiebre y malestar general.
- **Hepatitis A:** El virus de hepatitis A se transmite por la vía fecal-oral, esto es, cuando una persona no infectada ingiere agua o alimentos contaminados por heces de una persona infectada. Los síntomas característicos de la hepatitis A son fiebre, malestar general, diarreas, náuseas, molestias abdominales y colocación oscura de la orina.
- **Fiebre tifoidea:** La fiebre tifoidea es causada por la ingesta de alimentos contaminados con la bacteria *Salmonella typhi*. Esta enfermedad se caracteriza por fiebre alta, dolor de cabeza, dolor estomacal, estreñimiento o diarrea.



Para prevenir enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento, se pueden implementar diferentes estrategias:

- **Mejoras en la infraestructura de saneamiento:** Inversiones en construcción y mantenimiento en sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es crucial, para garantizar el saneamiento adecuado que requieren las aguas servidas de la población en general.
- **Acceso a agua potable de calidad:** Esto es posible lograrlo mediante la instalación de sistemas de filtración y tratamiento físico-químico del agua. Para garantizar la efectiva calidad del agua es necesario que los sistemas de tratamiento sean bien diseñados y que estén adecuados a las necesidades del lugar donde se encuentre la fuente de agua. Adicionalmente, es necesario contar con sistemas de monitoreo efectivo que permitan detectar y mitigar problemas en la calidad del agua antes de que se conviertan en brotes de enfermedades.
- **Educación sanitaria:** Campañas educativas permanentes a la población general son necesarias para promover la higiene personal, que incluya el lavado constante de las manos con jabón. Adicionalmente, se pueden incluir campañas informativas sobre las mejores prácticas en la manipulación y preparación de alimentos, tanto en los hogares como en los restaurantes y otros lugares de venta de comida. La educación sanitaria puede reducir la incidencia de las enfermedades gastrointestinales hasta en un 40 %. Cuando no hay agua disponible, las personas pueden decidir que lavarse las manos no es una prioridad, lo que aumenta la probabilidad de diarrea y otras enfermedades.
- **Vacunación:** Realizar campañas de vacunación pueden reducir significativamente la incidencia de hepatitis A y fiebre tifoidea.



Como estrategia de prevención para garantizar una mejor calidad del agua y salud de la comunidad en el corto y largo plazo, se podrían implementar las siguientes estrategias:

- Monitoreo bacteriológico semanal de la calidad del agua de los suministros municipales. Los análisis deben realizarse en las islas Galápagos en laboratorios existentes por un técnico capacitado, en lugar de enviar muestras al continente.
- Establecimiento de un mandato municipal que requiera la esterilización certificada de garrafones reutilizables de 5 galones para agua potable.
- Cierre inmediato de cualquier sitio de extracción con niveles de *E. coli* superiores a los límites recomendados.
- Detener el uso de fosas sépticas y la implementación de sistemas de saneamiento alternativos, ya sea dentro de los hogares individuales (*in situ*) o mediante la recolección de residuos de las casas individuales y llevarlos a una planta de tratamiento externa. Implementación de una campaña de educación comunitaria sobre cómo proteger de la contaminación el agua potable de los hogares y el agua de uso doméstico.
- El agua potable y suficiente facilita la higiene, clave para prevenir enfermedades diarreicas, infecciones respiratorias agudas y numerosas enfermedades tropicales. En muchas partes del mundo, los insectos que viven o se reproducen en el agua son portadores y transmisores de enfermedades como el dengue. Algunos de estos insectos, conocidos como vectores, se reproducen en agua limpia, en lugar de sucia, y los recipientes domésticos de agua potable pueden servir como criaderos. La simple intervención de cubrir los recipientes de almacenamiento de agua puede reducir la reproducción de vectores y también puede reducir la contaminación ambiental y fecal del agua a nivel doméstico.

Impactos y beneficios del saneamiento en el medio ambiente

El adecuado saneamiento del agua ayuda a minimizar la contaminación de los ecosistemas marinos y terrestres, reduciendo la posibilidad de que sustancias tóxicas y patógenas puedan contaminar las fuentes de agua y el océano, lo que protege la vida marina y las líneas costeras. **La disposición de aguas residuales sin tratamiento o con un tratamiento inadecuado puede tener un impacto significativo en el ecosistema y en la biodiversidad de las Islas Galápagos, entre los que se puede destacar:**

- **Contaminación de fuentes de agua:** las aguas residuales sin tratar pueden contaminar acuíferos y cuerpos de agua, lo que además de generar contaminación ambiental podría generar problemas de salud para las personas que consumen esta agua.
 - **Daño de los ecosistemas marinos:** La descarga de aguas residuales sin tratar en el océano puede afectar la flora y la fauna marina.
 - **Impacto a la biodiversidad:** La contaminación por aguas residuales puede llevar a la disminución de especies endémicas y también alterar el equilibrio ecológico.
- Para minimizar el impacto ambiental de la descarga o vertido de aguas residuales es esencial implementar las siguientes estrategias:
- **Manejo integral de residuos:** La implementación de programas de manejo integral de residuos puede ayudar a reducir la carga de contaminantes en las fuentes de agua. Diversas campañas de recolección de desechos sólidos se realizan con frecuencia en las islas Galápagos. Sin embargo, la disposición adecuada de los desechos sólidos y líquidos sigue siendo un reto.
 - **Cumplimiento de las regulaciones:** Las regulaciones ambientales sobre el tratamiento y vertido de aguas residuales deben cumplirse para disminuir la contaminación de ecosistemas marinos y terrestres.

- **Restauración ecológica:** proyectos de recuperación y rehabilitación integral de las áreas afectadas por la contaminación de las aguas residuales, permite reducir la contaminación ambiental.
- **Educación y concientización ambiental:** la promoción de la educación ambiental y la concientización sobre la importancia del tratamiento y disposición adecuada de las aguas residuales ayuda a la protección del medio ambiente. Mediante campañas educativas es posible la participación local en programas de conservación y mantenimiento. En las islas Galápagos se realizan campañas de educación ambiental, que involucran a turistas y residentes, con la ayuda de diversas organizaciones nacionales e internacionales.
- **Tecnologías de tratamiento avanzadas:** El contar con sistemas de tratamiento de agua eficientes ayuda significativamente en la conservación de los recursos hídricos. El uso de tecnologías de tratamiento especialmente diseñadas y adecuadas a sistemas insulares puede reducir los niveles de contaminación. **En el capítulo siguiente se describen algunas**

innovaciones y tendencias futuras sobre el saneamiento del agua.

Galápagos por ser un lugar único en el mundo requiere la protección de sus recursos naturales y la implementación de prácticas sostenibles de saneamiento, que garanticen una convivencia armónica entre los seres humanos y el medio ambiente. Adoptar un enfoque integral de la gestión de recursos hídricos puede abordar los impactos acumulativos en múltiples sectores, incluidos los recursos de aguas residuales, agua dulce y agua salobre. Los esfuerzos de planificación y gestión coordinados pueden optimizar el uso de recursos, minimizar conflictos y mejorar la sostenibilidad frente a las cambiantes condiciones ambientales y climáticas. Involucrar a las comunidades locales y a las partes interesadas en los procesos de toma de decisiones es esencial para abordar los impactos acumulativos y los desafíos del cambio climático en la gestión integral de los recursos hídricos (GIRH). Los enfoques colaborativos que involucran diversas perspectivas pueden fomentar soluciones innovadoras, construir resiliencia social y promover la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos.



07

INNOVACIÓN Y TENDENCIAS FUTURAS SOBRE EL SANEAMIENTO DEL AGUA



Las soluciones de tratamiento de aguas residuales son una parte importante para garantizar el acceso a agua potable, prevenir o revertir el daño ecológico y ayudar a mitigar el cambio climático mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Tecnologías emergentes de tratamiento de agua

Las tecnologías emergentes están surgiendo como soluciones innovadoras para abordar la eliminación de contaminantes emergentes cambiando el panorama del tratamiento de agua potable. Aquí algunas de estas nuevas tecnologías:

Procesos de oxidación avanzados (POA): Los procesos de oxidación avanzada (POA) o procesos avanzados de oxidación se caracterizan por aprovechar la alta reactividad del radical hidroxilo (-OH) como agente oxidante para oxidar la materia orgánica disuelta en el agua hasta su mineralización. En otras palabras, los POA son procesos de oxidación de la materia orgánica a través de los radicales hidroxilos hasta convertirla en dióxido de carbono y agua o al menos en compuestos menos peligrosos. Entre los tratamientos de oxidación avanzada podemos incluir a la ozonización, la irradiación ultravioleta (UV), la cavitación hidrodinámica y acústica, los procesos Fenton, la oxidación electroquímica, la fotocatalisis, entre otros.

La desinfección UV utiliza luz ultravioleta para inactivar microorganismos patógenos y a diferencia de los métodos químicos, la luz UV no introduce compuestos residuales en el agua, lo que la convierte en una opción atractiva para las industrias que buscan cumplir con los estrictos estándares de seguridad. En tal sentido, los sistemas UV son eficientes y de fácil mantenimiento, lo que los hace una opción viable para muchas plantas de tratamiento de agua. Por otra parte, el ozono es un poderoso agente oxidante utilizado para desinfectar el agua, eliminando: bacterias, virus y microorganismos. Este método es altamente eficiente y se está integrando cada vez más en las plantas de tratamiento de agua debido a su capacidad para asegurar la calidad microbiológica, además, puede descomponer compuestos orgánicos, mejorando aún más la calidad del agua.



Electrocoagulación: Imagínese usar electricidad para hacer que pequeñas partículas del agua se peguen y luego eliminarlas fácilmente. Eso es lo que hace la electrocoagulación y ayuda a eliminar la suciedad y los metales pesados. La electrocoagulación se define como un proceso para eliminar sólidos suspendidos de las aguas residuales mediante el uso de electricidad para neutralizar partículas negativas formando complejos de hidróxido en el agua para reunirlos, ayudar a unir, unir y fortalecer el flóculo para la sedimentación por la fuerza de gravedad.

Nanotecnología: La nanotecnología tiene el potencial de tratar de manera rentable contaminantes en el agua que no son tratables con métodos convencionales, como la remoción de microplásticos. La nanotecnología se define como dispositivos y sistemas con un tamaño de 1 a 100 nanómetros (1 mil millonésimas parte de un metro) en al menos una dimensión, que aprovechan las propiedades únicas de las partículas a esta escala. En la actualidad se destacan las tendencias más prometedoras para la nanotecnología en el tratamiento del agua como: adsorción, fotocatalisis y membranas de intercambio iónico. Una oportunidad de la nanotecnología en aplicaciones de agua es que puede dar la base a una nueva industria en los países en desarrollo, una vez las aplicaciones desarrolladas en el laboratorio se traducen en productos comerciales que pueden usar la comunidad.

Filtración por membranas: La filtración por membranas ha ganado popularidad debido a su eficacia en la eliminación de contaminantes, este proceso incluye:

- **Microfiltración:** Remueve partículas de tamaño relativamente grande.
- **Ultrafiltración:** Elimina partículas más pequeñas, como macromoléculas y proteínas.
- **Ósmosis inversa:** Elimina sales disueltas y patógenos, garantizando agua de alta pureza.
- **Nanofiltración:** Una de las nuevas tecnologías basadas en el uso de la nanotecnología para el tratamiento de agua es la nanofiltración. La nanofiltración es un proceso que utiliza membranas semipermeables para separar y purificar el agua eliminando partículas y solutos con un peso molecular entre 200 y 1000 daltons. La nanofiltración se usa para ablandar el agua, eliminar color y reducir selectivamente contaminantes específicos en el agua debido a su capacidad para dejar pasar ciertos iones y moléculas mientras bloquea otros. Esta tecnología encuentra aplicaciones en el tratamiento de agua, el procesamiento

de alimentos y bebidas y diversos procesos industriales que requieren un control preciso sobre la composición del agua.

En la nanofiltración destacan filtros basados en grafeno y nanotubos de carbono. El grafeno es un material nanométrico bidimensional, que consiste en una sola capa de átomos de carbono fuertemente cohesionados. Los nanotubos de carbono son hojas de grafeno enrolladas que forman una pieza cilíndrica con un diámetro cercano a 1 milímetro y dependiendo de cómo se enrolla la hoja de grafeno, pueden presentar propiedades metálicas o semiconductoras. Estos nanomateriales basados en carbono se usan para crear filtros que pueden atrapar contaminantes en el agua, desde metales hasta aceites.

Celdas microbianas de combustible: Las celdas de combustible microbiano o MFC por sus siglas en inglés, son dispositivos bioelectroquímicos que utilizan microorganismos para convertir la energía química de los compuestos orgánicos que pueden estar presentes en aguas residuales, en energía eléctrica. Este proceso se lleva a cabo mediante la oxidación microbiana de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Las MFC representan una tecnología innovadora y sostenible para la generación de energía limpia y la gestión de residuos orgánicos.

Las MFC usan bacterias electroactivas como biocatalizadores, esto es, microorganismos especiales desarrollan reacciones bioquímicas en el interior del dispositivo, degradando los compuestos orgánicos presentes en el agua residual. Estas bacterias transfieren electrones, generados durante estas reacciones, a un electrodo conocido como ánodo, constituido de un material conductor y con alta porosidad, que transporta a otro electrodo conocido como cátodo. Este flujo de electrones produce un diferencial de corriente que genera electricidad que puede medirse y utilizarse posteriormente.

Las MFC presentan un gran potencial en su aplicación en diversas áreas relacionadas al uso del agua, siendo estos:

- **Descontaminación de aguas residuales:** Las MFC pueden utilizarse para tratar aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas. Al oxidar la materia orgánica presente en las aguas residuales, las MFC reducen la carga de contaminantes, mejoran la calidad del agua y permiten generar bioenergía que puede ser utilizada en distintos procesos que beneficiaría la autosuficiencia de las plantas de tratamiento que cuentan con esta tecnología.

- **Producción de biocombustibles:** Además de generar electricidad, las MFC pueden producir biocombustibles como biometano y biohidrógeno bajo condiciones específicas para los microorganismos. Estos biocombustibles pueden ser utilizados como fuentes de energía limpia y sostenible dentro de las mismas plantas o en procesos externos.
- **Desalinización del agua:** Las MFC pueden integrarse en procesos de desalinización para proporcionar una fuente de energía que impulse la eliminación de sales del agua, la descontaminación de aguas residuales y la

generación de energía. Esto hace posible la producción de agua potable a partir de agua salobre o marina y favorece la depuración de aguas con alta carga de contaminantes orgánicos.

Si bien las MFC presentan retos en su implementación, estos dispositivos han sido probados a nivel mundial, demostrando su aplicabilidad bajo distintas condiciones y abriendo la posibilidad de realizar procesos que promueven la sostenibilidad hídrica y energética utilizando microorganismos de gran interés.

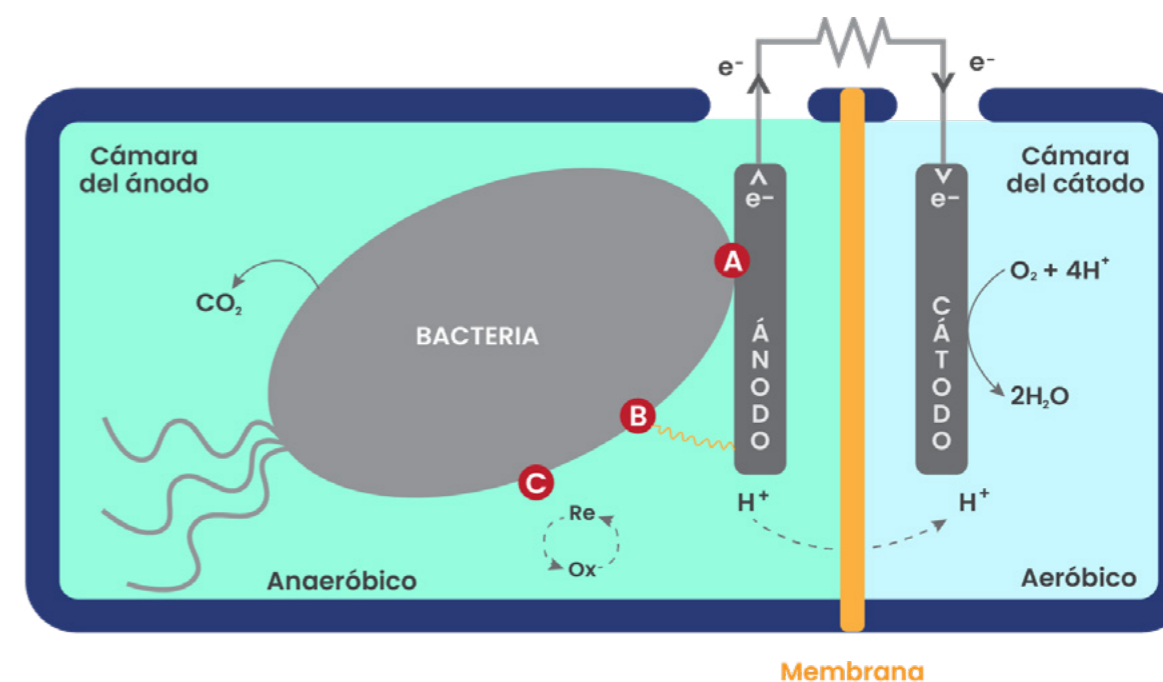


Figura 18. Configuración de una MFC. (Fuente: Microbial Fuel Cells).

Beneficios y desafíos de las tecnologías emergentes para el tratamiento de agua potable

Beneficios

- **Seguridad y calidad del agua:** Las tecnologías emergentes mejoran significativamente la calidad del agua, reduciendo la presencia de contaminantes y microorganismos patógenos. Esto es crucial para mantener la seguridad y calidad de los productos alimenticios.
- **Eficiencia operativa:** La implementación de estos sistemas puede resultar en una mayor eficiencia operativa y reducción de costos a largo plazo. Las tecnologías avanzadas pueden automatizar muchos procesos, reduciendo la necesidad de intervención manual.
- **Cumplimiento normativo:** Estas tecnologías ayudan a las empresas a cumplir con las estrictas regulaciones de calidad del agua y seguridad alimentaria. Cumplir con las normativas no sólo evita sanciones, sino que también fortalece la reputación de la empresa en el mercado.

Desafíos

- **Costos de implementación:** La inversión de instalación de esquemas de tratamiento de aguas residuales basados en tecnologías avanzadas puede ser alta, lo que representa un desafío para algunas empresas. Sin embargo, los beneficios a largo plazo pueden justificar esta inversión inicial.
- **Mantenimiento y operación:** El mantenimiento y la operación de estos sistemas requieren personal capacitado y pueden incurrir en costos adicionales. Es esencial invertir en formación continua y en la contratación de técnicos especializados para garantizar el funcionamiento óptimo de las tecnologías.
- **Eficiencia y escalabilidad:** Mejorar la eficiencia y la escalabilidad para aplicaciones a gran escala sigue siendo un desafío importante para los investigadores.



Cambio climático y resiliencia

El cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos del planeta. Estos cambios pueden ser naturales, debido a variaciones en la actividad solar o erupciones volcánicas grandes. Desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el motor del cambio climático, por la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas. La quema de combustibles fósiles genera emisiones de gases de efecto invernadero que actúan como una manta que envuelve a la Tierra, atrapando el calor del sol y elevando las temperaturas.

El cambio climático está exacerbando tanto la escasez de agua como los peligros relacionados con ella (como las inundaciones y las sequías), ya que el aumento de las temperaturas altera los patrones de precipitaciones y el ciclo del agua. El cambio climático afecta al agua presente en el planeta de formas complejas. Desde patrones de precipitación impredecibles hasta la reducción de las capas de hielo, pasando por el aumento del nivel del mar, inundaciones, sequías y deterioro en la calidad del agua: la mayor parte de los impactos del cambio climático se reducen al agua (ONU-Agua).





Soluciones relacionadas con el agua

Los humedales, así como los manglares, las praderas submarinas, las marismas y los pantanos son sumideros de carbono altamente efectivos que absorben y almacenan CO₂, lo que contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Los humedales también actúan como barrera contra los fenómenos meteorológicos extremos, ya que proporcionan un escudo natural contra las marejadas ciclónicas y absorben el exceso de agua y de precipitación. A través de las plantas y los microorganismos que albergan, los humedales también almacenan y purifican el agua.

Los sistemas de alerta temprana para inundaciones, sequías y otros peligros relacionados con el agua proporcionan un retorno de la inversión más de diez veces superior y pueden reducir significativamente el riesgo de desastres: una alerta de 24 horas sobre la llegada de una tormenta puede reducir el daño resultante en un 30 %. Los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento que puedan resistir el cambio climático podrían salvar la vida de muchas personas cada año. La agricultura climáticamente inteligente que recurre al riego por

goteo, el reciclaje y otros medios para usar el agua de manera más eficiente puede ayudar a reducir la demanda de suministros de agua dulce.

El cambio de los sistemas energéticos de los combustibles fósiles a las energías renovables, como la solar o la eólica, reducirá las emisiones que provocan el cambio climático. Pero tenemos que empezar ya mismo. Aunque una coalición cada vez más numerosa de países se compromete a alcanzar las emisiones cero para 2050, alrededor de la mitad de los recortes en las emisiones deben producirse antes de 2030 para mantener el calentamiento por debajo de 1,5 °C. Este logro requiere grandes reducciones en el uso de carbón, petróleo y gas. Para evitar consecuencias climáticas catastróficas, para antes de 2050, debemos reducir en más de dos tercios la extracción de las reservas actuales confirmadas de combustibles fósiles.

La acción climática requiere importantes inversiones financieras por parte de gobiernos y empresas. Pero la inacción climática es mucho más cara para el planeta y la humanidad.

Alarcon I; Alvarado A, (2022). *Garbage with asian labels contaminates Galapagos islands*.
<https://earthjournalism.net/stories/garbage-with-asian-labels-contaminates-galapagos-islands>

Albarraccin M.; Gaona J.; Chicharo L.; Zalewski M., (2018). *Ecohidrología y su implementación en Ecuador*.
https://www.researchgate.net/publication/360322755_Ecohidrologia_y_Su_Implementacion_en_Ecuador

Badhwa N., Fejfar D., Pozo R., Nicholas K., Grube A., Stewart J, Thompson A. and Ochoa-Herrera V. (2022) *Water quality and access in Isabela. Results from a household water survey*. In: Thompson A., Ochoa-Herrera V. and Teran E. (eds). *Water, Food and Human Health in the Galapagos, Ecuador: A little word within itself. Social and Ecological Interactions in the Galapagos Islands*. Springer, pp 1-289, ISBN: 978-3-030-92410-2.

Banco Mundial, (2016). *High and dry. Climate change, water, and the economy*.
<https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/high-and-dry-climate-change-water-and-the-economy>

Banco Mundial, (2022). *Water supply and sanitation*.
<https://www.worldbank.org/en/topic/watersupply>

Bear R.; Rintoul D.; Snyder B.; Smith-Caldas M.; Herren C.; Horne E., (2016). *Principles of biology*. Open Access Textbooks. 1.
<https://newprairiepress.org/textbooks/1>

Bill & Melinda Gates Foundation, (2024). *Reinvent the toilet challenge. A brief history*.
<https://www.gatesfoundation.org/our-work/programs/global-growth-and-opportunity/water-sanitation-and-hygiene/reinvent-the-toilet-challenge-and-expo>

Beltram F.; Lamb R.; Smith F.; Witman J., (2019). *Rapid proliferation and impacts of cyanobacterial mats on Galapagos rocky reefs during the 2014-2017 El Niño Southern Oscillation*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 514-515(), 18-26.
[doi:10.1016/j.jembe.2019.03.007](https://doi.org/10.1016/j.jembe.2019.03.007)

Deakin K.; Savage G.; Jones J.; Porter A.; Muñoz-Pérez J.; Santillo D.; Lewis C., (2024). *Sea surface microplastics in the Galapagos: Grab samples reveal high concentrations of particles <200 µm in size*. *Science of the Total Environment*, 923, 2024, 171428.
[doi:10.1016/j.scitotenv.2024.171428](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171428)

d'Ozouville N., (2024). *Tecnologías emergentes en el tratamiento de agua potable para la industria alimentaria*.
<https://thefoodtech.com/tecnologia-de-los-alimentos/tecnologias-emergentes-en-el-tratamiento-de-agua-potable-para-la-industria-alimentaria/>

El Universo, (2011). *El inodoro ecológico seco, una propuesta ecuatoriana*.
<https://www.eluniverso.com/2011/08/07/1/1430/inodoro-ecologico-seco-propuesta-ecuatoriana.html>

Gehrke I.; Geiser A.; Somborn-Schulz A., (2015). *Innovations in nanotechnology for water treatment*. *Nanotechnology, Sciences and Applications* 8,1-17. doi: 10.2147/NSA.S43773
 Goodland A.; Ferguson C.; Proaño D. (2023). *Fundación Un Cambio Por La Vida*. Avda. Miconia 381, Puerto Ayora, Galápagos.

Grube A.; Stewart J.; Ochoa-Herrera V., (2020). *The challenge of achieving safely managed drinking water supply on San Cristobal Island, Galapagos*. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 228, 11354
[doi: 10.1016/j.ijheh.2020.113547](https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113547)

Hao W.; Yuan M., (2021). *Water education for teenagers, age 12 - 16*. Popular Sciences Press. ISBN: 978-7-900282-89-7. <http://www.cspbooks.com.cn>

Hanna Instruments, (2022). *La guía para el análisis de la calidad de agua en el medio ambiente*.
<https://hannainst.ec/blog/acuacultura/la-guia-para-el-analisis-de-la-calidad-de-agua-en-el-medio-ambiente%EF%BF%BC/>

Harpk K.; Mittelstaedt E.; d'Ozouville N.; Graham D., (2014). *The Galápagos: A natural laboratory for the earth sciences. Geophysical monograph series, 204*. Washington, DC: American Geophysical Union.
[doi:10.1002/9781118852538](https://doi.org/10.1002/9781118852538)

IPCC, 2022: *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, pp. 3-33, doi:10.1017/9781009325844.001.

León L.; Polit R.; Culda C.; Páez-Rosas D.; Lenin R.; Figueroa D.; Mihalca A., (2024). *Vigilancia sanitaria con perspectiva de Una-Sola-Salud: vinculación e investigación en Galápagos, Ecuador 2021-2022*. *Esferas* 5, 10-38.
[doi:10.18272/esferas.v5i.3133](https://doi.org/10.18272/esferas.v5i.3133)

Liu J.; d'Ozouville N., (2013) *Water contamination in Puerto Ayora. Applied interdisciplinary research using Escherichia coli as an indicator bacteria*. GALAPAGOS REPORT 2011-2012
https://www.researchgate.net/publication/245234639_Water_contamination_in_Puerto_Ayora_Applied_interdisciplinary_research_using_Escherichia_coli_as_an_indicator_bacteria

Mateus C.; Guerrero C.; Quezada G.; Lara D.; Ochoa-Herrera V., (2019). *An integrated approach for evaluating water quality between 2007-2015 in Santa Cruz Island in the Galapagos Archipelago*. *Water*, 11(5), 937.
[doi:10.3390/w11050937](https://doi.org/10.3390/w11050937)

Mateus C., Valencia M., DiFrancesco K., Ochoa-Herrera V., Gartner T. and Quiroga D. (2020). *Governance mechanisms and barriers for achieving water quality improvements in Galapagos*. *Sustainability*, 12(21), pp.1-24, 8851
[doi:10.3390/su12218851](https://doi.org/10.3390/su12218851)

Ministerio de Ambiente, (2015). *Reforma texto unificado legislación secundaria, medio ambiente, libro VI. Acuerdo ministerial 097A*.
<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>

Morales N., (2010). *Sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas*. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* 20(1), 33-44. ISSN 0124-8170

Morales R.; Gómez-Tagle A., (2017). *Interceptación y captación de agua por la vegetación*. <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/389-numero-45/728-interceptacion-y-captacion-de-agua-por-la-vegetacion.html>

OMS/UNICEF, (2021). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020: Five years into the SDGs*. <https://washdata.org/reports/jmp-2021-wash-households>

OMS, (2023). *Agua para consumo humano*.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

OMS/UNICEF. Joint monitoring programme for water supply, sanitation and hygiene. <https://washdata.org/>

ONU, (s.f.). El agua: en el centro de la crisis climática. <https://www.un.org/es/climatechange/science/climate-issues/water>

ONU, (s.f.). ¿Qué es el cambio climático?. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>

ONU, (s.f.). Gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH). <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>

OECD, (s.f.). Microbial fuel cells: generating energy from wastewater. <https://www.oecd.org/sti/inno/microbial-fuel-cells-generating-energy-from-wastewater.htm>

Pacheco I, (2021). Sistemas de saneamiento ecológico. Nuestras excretas como recursos, no como desechos. <https://www.igmapacheco.com/p/saneamiento-ecologico>

Pinos V, (2020). Procesos de oxidación avanzada. <https://www2.ucuenca.edu.ec/260-espanol/investigacion/blog-de-ciencia/ano-2020/enero-2020/1509-oxidacion>

Pryet A, (2012). Hydrogeology of volcanic islands: a case-study in the Galapagos Archipelago (Ecuador). Tesis doctoral. Universidad Pierre y Marie Curie, París, Francia. doi:10.13140/RG.2.2.26696.01286

Reyes M; Trifunović N; Sharma S; d'Ozouville N; Kennedy M, (2017). Quantification of urban water demand in the Island of Santa Cruz (Galápagos Archipelago). *Desalination and Water Treatment*. 64, 1-11. doi:10.5004/dwt.2017.20284

Trueman M; d'Ozouville N, (2010). Characterizing the Galapagos terrestrial climate in the face of global climate change. *Galapagos Research* 67, 26-37. <https://aquadocs.org/handle/1834/36285>

UNESCO, (2027). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247153>

UNICEF, (s.f.). Total sanitation campaign in Bangladesh. <https://www.unicef.org/bangladesh/en/stories/community-led-total-sanitation>

UNICEF, (s.f.). Wash in schools. <https://www.unicef.org/wash/schools>

UNICEF, (s.f.). Diarrhoeal disease. <https://data.unicef.org/topic/child-health/diarrhoeal-disease/>

Vásquez W. F., Raheem N, Quiroga D, Ochoa-Herrera V. (2021). Household preferences for improved water services in the Galápagos Islands. *Water Resources and Economics*, 34, 100180 <https://doi.org/10.1016/j.wre.2021.100180>

Vásquez W.; Raheem N.; Quiroga D.; Ochoa-Herrera V., (2022). Valuing improved water services and negative environmental externalities from seawater desalination technology: A choice experiment from the Galápagos. *Journal of Environmental Management*, 304, 114204 doi:10.1016/j.jenvman.2021.114204

WWF, (s.f.). Water Pollution. <https://www.worldwildlife.org/threats/water-pollution>

WWAP, (2017). *The United Nations World Water*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247153>

Zailani L; Zin N, (2018). Application of electrocoagulation in various wastewater and leachate treatment—a review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 140, 012052. doi:10.1088/1755-1315/140/1/012052

Zambrano-Romero A., Encalada A.C., Escobar-Camacho D., Rosero-López D., Pazmiño D., Arguello D., Vásconez H., Ayala M.J., Gallegos P., Morales R.F., Hernández S., Russel K. and Ochoa-Herrera, V. (2024). Water in the Galapagos Islands: a multifaced battle from water scarcity to wastewater management (sometido).

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con el agua y el saneamiento

El 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales de las naciones a través de la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) adoptaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, reconociendo que el mayor reto del mundo actual es erradicar la pobreza y que esto no se puede lograr sin esfuerzos para conseguir un desarrollo sostenible.

La Agenda 2030 ha fijado 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y un total de 160 metas que abarcan

los ámbitos sociales, ambientales y económicos. Estos objetivos fueron elaborados durante más de dos años a partir de consultas públicas, interacciones con la sociedad civil y negociaciones entre países. Los ODS se interrelacionan entre sí, incorporando desafíos globales apremiantes que se reflejan en nuestra realidad diaria, como la desigualdad, el cambio climático, la degradación ambiental, la necesidad de paz y justicia y la pobreza.

ANEXOS



OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



El Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6) es "AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO". Se centra en la necesidad de garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos los pobladores del planeta, enfocándose en la generación de medidas que favorezcan el acceso universal al agua potable segura y asequible hasta el año 2030. Dentro de las estrategias claves para lograr este objetivo se incluye la necesidad de aumentar la inversión y la capacitación en todo el sector, promoviendo la innovación y las acciones coordinadas y de cooperación intersectoriales

en temas de infraestructura e instalaciones de saneamiento, la protección y el establecimiento de los ecosistemas relacionados con el recurso hídrico, la educación en materia de higiene y la gestión integral del agua.

La importancia del agua no sólo repercute en la salud de la población del planeta, sino también en el establecimiento de la paz, la seguridad alimentaria, los derechos humanos, el cuidado de los ecosistemas, el acceso a la educación y la reducción de la pobreza.

El ODS6 tiene metas específicas que buscan abordar diferentes aspectos del acceso al agua y al saneamiento, así como la gestión sostenible de los recursos hídricos:

Meta 6.1: Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable segura y asequible para todos.

Meta 6.2: Lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.

Meta 6.3: Mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, eliminando el vertido y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales no tratadas y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización segura a nivel mundial.

Meta 6.4: Aumentar la eficiencia del uso del agua en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para afrontar la escasez y reducir considerablemente el número de personas que sufren escasez de agua.

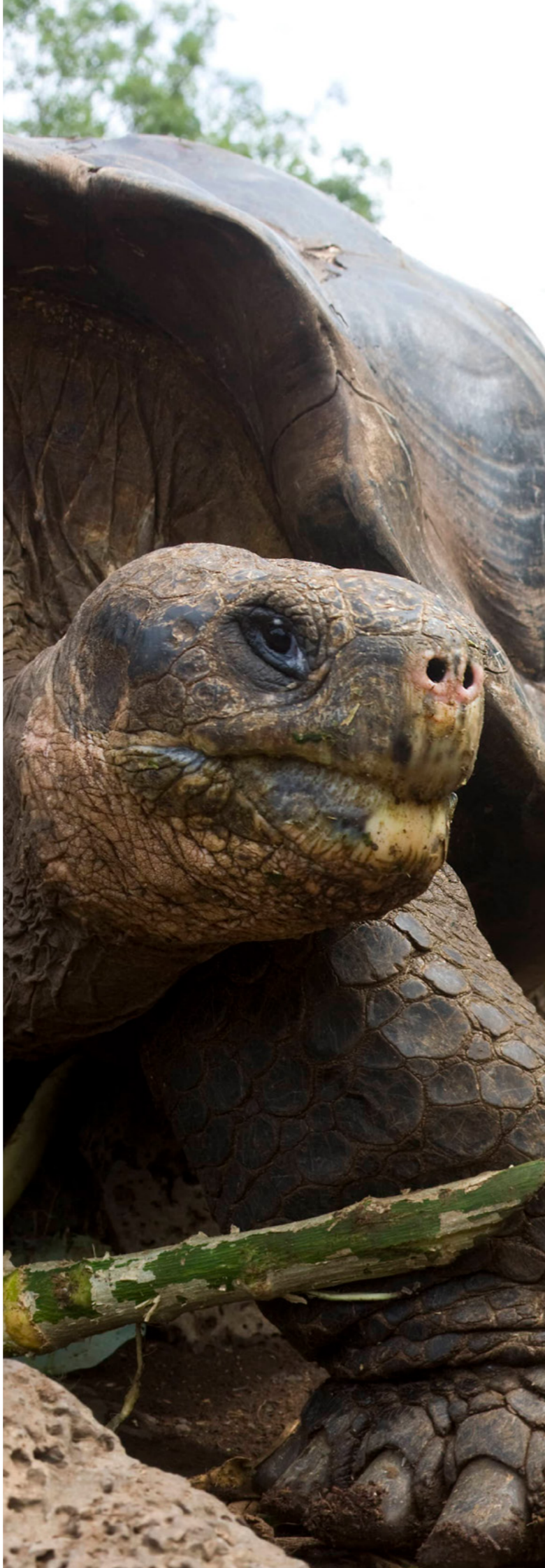
Meta 6.5: Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.

Meta 6.6: Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, montañas, humedales, ríos, acuíferos y lagos.

Meta 6.A: Ampliar la cooperación internacional y el apoyo a la creación de capacidad en los países en desarrollo en actividades y programas relacionados con el agua y el saneamiento, incluidos el aprovechamiento de recursos hídricos, la desalación, el uso eficiente del agua, el tratamiento de aguas residuales, las tecnologías de reciclado y reutilización.

Meta 6.B: Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

“En Galápagos, durante un proceso participativo de priorización de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para definir a la provincia como el primer territorio ODS del país, se identificó el ODS 6 como uno de los 4 prioritarios, junto con los OSD 4 (Educación de calidad), 10 (Reducción de las desigualdades) y 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), con los ODS 14 (Vida submarina) y 15 (Vida de ecosistemas terrestres) como transversales.”

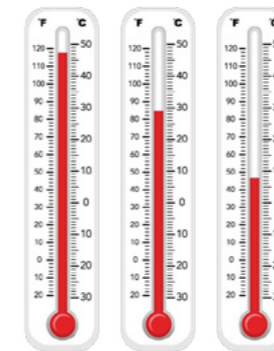


Parámetros que permiten determinar la calidad del agua

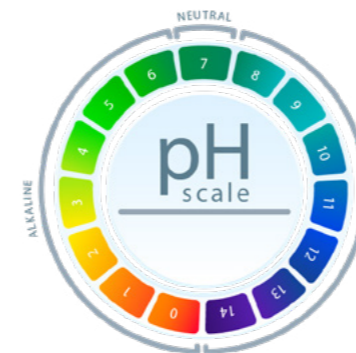


Análisis fisicoquímicos

El agua tiene características físicas, que se consideran así porque son perceptibles por los sentidos y tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua, como el color, el olor y sabor. Por otra parte, la calidad del agua para el consumo humano puede evaluarse usando una serie de parámetros fisicoquímicos que se describen a continuación:



Temperatura: La medición de la temperatura del agua indica las condiciones de vida de las plantas y animales acuáticos. Las temperaturas cálidas suelen considerarse beneficiosas para el crecimiento de las poblaciones acuáticas. Después de un cierto punto la temperatura puede tener el efecto contrario, contribuyendo a disminuir la diversidad biológica en un cuerpo de agua. La temperatura en un cuerpo de agua varía según la hora del día y la cantidad de luz solar que calienta la superficie del agua. La temperatura del agua en las islas Galápagos oscila entre 19 y 24 °C. Las temperaturas más cálidas del agua de las islas Galápagos ocurren entre diciembre a mayo. Para medir la temperatura del agua se puede usar un termómetro o una termocupla.



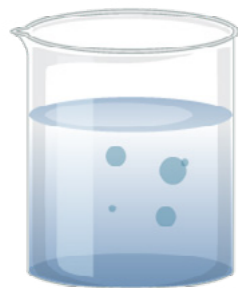
pH: El pH es una medida de la concentración relativa de los iones de hidrógeno y los iones de hidróxido en el agua. La escala está en un intervalo de 0 a 14, siendo 0 el máximo de acidez y 14 el máximo de basicidad que se puede presentar. Si el agua se ha vuelto muy ácida o básica debido a contaminantes naturales o artificiales, puede haber un impacto significativo en la vida acuática. El pH se considera normal en un cuerpo de agua si tiene un valor 6,0 y 8,0. El pH del agua dulce en las Islas Galápagos, como en El Junco, las vertientes y La Camiseta, varía dependiendo de diversos factores ambientales y de la época del año. Los estudios indican que el pH del agua dulce en las Islas Galápagos generalmente oscila entre 6 y 7,5, pero puede variar según las condiciones locales. Para la medición del pH se puede utilizar las tiras de pH o un medidor de pH digital.



Conductividad: La conductividad eléctrica mide la capacidad del agua a transmitir una corriente eléctrica debido a la presencia de sales disueltas. Pequeñas partículas cargadas, llamadas iones, ayudan a transportar la carga eléctrica a través de una sustancia. Estos iones pueden estar cargados positiva o negativamente. Cuantos más iones estén disponibles, mayor será la conductividad; menos iones resultaría en una menor conductividad. La conductividad se mide con un conductímetro y se reporta en milisiemens por centímetro (mS/cm). La conductividad se ve afectada por la presencia de contaminantes en aguas residuales, sistemas sépticos o vertidos agrícolas. La conductividad del agua pura se encuentra alrededor de 0,055 µS/cm.

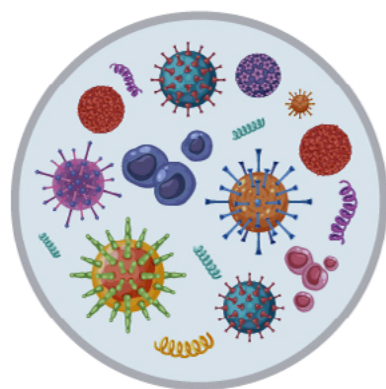


Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto se considera como la cantidad efectiva de oxígeno gaseoso (O_2) en el agua, expresada en términos de su presencia en el volumen de agua o de su proporción en el agua saturada. El nivel de oxígeno disuelto indica la salud relativa de un cuerpo de agua. Si los niveles de oxígeno disuelto son normales (mayor o igual a 4.0 mg/L), el agua es un buen ambiente para que se desarrolle una variedad equilibrada de vida acuática. El agua con alto contenido de materia orgánica y nutrientes conducen al descenso de la concentración de oxígeno, esto se debe a que se da un incremento de la demanda de este gas por parte de microorganismos, que encontrará condiciones favorables para su crecimiento, provocando un desequilibrio en el ecosistema acuático. En los casos en que la reducción de los niveles de oxígeno es severa se llega a condiciones anóxicas y anaerobias. Las concentraciones de oxígeno disuelto se reportan en unidades de miligramos de gas por litro de agua, mg/L. (La unidad mg/L es equivalente a partes por millón = ppm). Las mediciones se toman usualmente en agua usando un medidor de oxígeno.



Turbidez: La turbidez proviene de partículas suspendidas en el agua y que no se pueden ver individualmente. Estas partículas pueden ser algas, tierra, minerales, proteínas, aceites o incluso bacterias. La turbidez es una medición óptica que indica la presencia de partículas en suspensión. Se mide irradiando un haz de luz a través de una muestra y cuantificando la concentración de partículas suspendidas. Cuantas más partículas existan en la solución, mayor será la medida obtenida. La turbidez del agua se mide usando un sensor turbidímetro.

Análisis microbiológicos



En el agua pueden encontrarse una gran cantidad de microorganismos, entre los cuales destacan bacterias, protozoos, hongos y microalgas; que pueden afectar a la calidad sanitaria para su consumo humano. Además de la microbiota normal presente en cualquier sistema acuático, pueden existir otros microorganismos contaminantes, algunos patógenos para el ser humano. Una de las fuentes principales de contaminación microbiológica son las aguas residuales que contienen materia fecal que puede ser el vehículo de transmisión de patógenos. Desde mediados de la década de 1980 se han identificado repetidamente altas concentraciones de coliformes fecales y *E.coli* en el acuífero basal que abastece a Puerto Ayora, lo que se determinó mediante análisis microbiológicos. La bacteria *E. coli* es un microorganismo utilizado como un indicador de la presencia de contaminación fecal en aguas y alimentos, siendo muy utilizado por su facilidad de cultivo en el laboratorio, sin embargo, es importante anotar que la *E. coli* es una bacteria típica del tracto intestinal y que en la mayor parte de casos resulta inofensiva para la salud humana. El riesgo de su presencia en el agua radica en que, si se detecta, la probabilidad de que también se encuentren parásitos, microorganismos patógenos como virus y otras bacterias que pueden afectar la salud humana es muy alta.



Los análisis microbiológicos del agua son técnicas para conocer la calidad del agua determinando la presencia de microorganismos patógenos presentes en ella. Dependiendo del uso que se dé al agua, hay que determinar los microorganismos que pueden tener efecto sobre la salud. Así se evitarán enfermedades e infecciones que podrían repercutir principalmente en el sistema gastrointestinal. Las técnicas más utilizadas para el análisis microbiológico del agua consisten en realizar el crecimiento controlado de microorganismos en medios de cultivo específicos para la detección de bacterias y organismos patógenos, esto mediante técnicas como la siembra en superficie en placas y el conteo de Unidades Formadoras de Colonias por mililitro de agua analizada (UFC/mL). En las últimas décadas se ha popularizado el uso de técnicas de biología molecular, como la secuenciación 16S, que permite obtener resultados de géneros microbianos en el agua en menor tiempo que los métodos tradicionales.

Uno de los microorganismos más relevantes y que precisan de profesionales especializados es la detección y recuento de bacterias del género *Legionella* en el agua. Sin embargo, existen otro tipo de microorganismos indicadores del nivel de contaminación biológica en aguas como la presencia de microorganismos aerobios, coliformes fecales y *E. coli*, bacterias de los géneros *Pseudomonas* y *Salmonella*, así como la presencia de parásitos, entre otros.



Normativas y estándares internacionales

Dado que el agua contaminada es peligrosa para los seres humanos y el medio ambiente, los organismos normativos, como la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA, por sus siglas en inglés), exigen el uso de métodos normalizados oficiales (por ejemplo, International Organization for Standardization -ISO, Environmental Protection Agency -EPA, Association of Analytical Communities -AOAC) para analizar el agua potable y las aguas residuales. Estas técnicas abarcan pruebas cuantitativas, cromatografía, espectrofotometría, reflectometría, mediciones de parámetros físicos (p. ej., punto de turbidez, color, dureza, pH, olor) y análisis de patógenos (moleculares o basados en cultivos celulares). Estas pruebas de control de calidad se realizan en el punto de entrada, después de las etapas de filtración durante el proceso de tratamiento, como la floculación y la clarificación, y también en los puntos de salida posteriores a la filtración, como el muestreo en el grifo. Las islas Galápagos se adhieren a las normativas nacionales del Ecuador, así como a estándares internacionales como los de la OMS y la EPA.

A nivel nacional se tienen varias normativas para evaluar calidad de agua, las principales y de cumplimiento obligatorio son las descritas en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 1108, el Acuerdo Ministerial 097A que contiene los Anexos del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), esta normativa es la de mayor alcance a nivel ambiental en Ecuador. Donde el Anexo 1, abarca

normativa relacionada a la calidad ambiental y de descarga de efluentes del recurso agua. Dentro de esta normativa los parámetros más representativos son la características físicas y químicas como pH, color, presencia y cantidad de nitratos o nitritos, metales, hidrocarburos, materia orgánica y presencia de microorganismos (En la sección de bibliografía se presenta esta normativa para una revisión más extensa). Dentro de esta norma no sólo se regulan criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico. También controla criterios de calidad admisibles para la preservación de vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios; así como, los parámetros de calidad del agua residual, dependiendo de su uso en distintas actividades o su eventual descarga a cuerpos de agua dulce y agua de mar una vez depurada.

Existen varias organizaciones encargadas de velar por el cumplimiento de estas normativas. Para el caso del agua de consumo las principales entidades son la Agencia de control y regulación de control del agua (ARCA) y para el manejo de calidad de agua en general: tanto el ministerio de ambiente, agua y transición ecológica (MAATE) como el ministerio de salud pública comparten jurisdicciones y son quienes a través de las normas técnicas ecuatorianas como por ejemplo la NTE INEN 1108, la cual establece los requisitos de calidad del agua apta para consumo humano, procuran regular y controlar una gestión adecuada del agua de calidad en todos sus puntos.



FUNDACIÓN
ECOS
Educación para Comunidades Sostenibles

UNIVERSIDAD
YACHAY
TECH 



ISBN:978-9942-48-383-6