



TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES



Universidad Francisco
de Paula Santander
Vigilada Mineducación



Nelson Javier Cely Calixto
Carlos Alexis Bonilla Granados
Gustavo Adolfo Carrillo Soto

TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

NELSON JAVIER CELY CALIXTO
CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS
GUSTAVO ADOLFO CARRILLO SOTO

Cely Calixto, Nelson Javier

Tratamientos de aguas residuales / Nelson Javier Cely Calixto, Carlos Alexis Bonilla Granados, Gustavo Adolfo Carrillo Soto. -- 1a ed. -- San José de Cúcuta : Universidad Francisco de Paula Santander ; Bogotá : Ecoe Ediciones, 2022.

Archivo en formato digital (pdf). – (Ingeniería y afines. Ingeniería sanitaria)

Incluye datos curriculares de los autores en la pasta. -- Incluye bibliografía.

ISBN 978-958-503-427-3 / e-ISBN 978-958-503-376-4

1. Aguas residuales - Purificación 2. Disposición de aguas residuales I. Bonilla Granados, Carlos Alexis II. Carrillo Soto, Gustavo Adolfo III. Título IV. Serie

CDD: 628.3 ed. 23

CO-BoBN- a1093786



Área: Ingeniería y afines

Subárea: Ingeniería sanitaria



**Universidad Francisco
de Paula Santander**

Vigilada Mineducación



© Nelson Javier Cely Calixto
© Carlos Alexis Bonilla Granados
© Gustavo Adolfo Carrillo Soto

© Universidad Francisco
de Paula Santander
Avenida Gran Colombia
No. 12E-96, Barrio Colsag
San José de Cúcuta - Colombia
Teléfono: 607 577 6655

© Universidad de Pamplona
Km 1 Vía Bucaramanga
Ciudad Universitaria
Pamplona – Norte de Santander
Teléfono: (57+7) 5685303

► Ecoe Ediciones S.A.S.
www.ecoediciones.com
Carrera 19 # 63C 32, Tel.: 919 80 02
Bogotá, Colombia

Primera edición: Bogotá, junio del 2022

ISBN: 978-958-503-427-3
e-ISBN: 978-958-503-376-4

Directora editorial: Claudia Garay Castro
Coordinadora editorial: Paula Bermúdez B.
Corrección de estilo: María del Pilar Osorio
Diagramación: Yolanda Madero Tiria
Carátula: Wilson Marulanda Muñoz
Impresión: Carvajal Soluciones de
Comunicación S.A.S.
Carrera 69 #15-24

*Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio
sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.*



AGRADECIMIENTOS

A Dios Padre Todopoderoso.

A la Universidad Francisco de Paula Santander.

A la Universidad de Pamplona.

CONTENIDO

PRÓLOGO	XV
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Reseña histórica	2
CAPÍTULO 2. AGUAS RESIDUALES URBANAS Y RURALES	9
2.1 Tipos de urbanismo	9
2.2 Generación de aguas residuales en las ciudades	12
2.3 Generación de aguas residuales en zonas rurales	14
2.4 Tipos de tratamiento en zonas urbanas y rurales	15
2.4.1 Recolección y transporte de aguas residuales	16
2.4.2 Tratamiento de aguas residuales	17
CAPÍTULO 3. TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	21
3.1 Tratamiento primario	21
3.1.1 Sedimentación primaria	23
3.2 Tratamiento secundario	26
3.3 Tratamiento terciario	29

CAPÍTULO 4. AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA	35
4.1 Impacto de las aguas residuales industriales	36
4.2 Principales fuentes de aguas residuales industriales	38
4.3 Desarrollo de industrias sustentables y de bajo impacto	42
4.4 Procesos industriales sostenibles	45
CAPÍTULO 5. AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA	49
5.1 Generalidades del reúso	52
CAPÍTULO 6. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
A NIVEL MUNDIAL	57
6.1 Caso Europa	58
6.1.1 Acceso al agua	60
6.1.2 Acceso a saneamientos	61
6.1.3 Zonas críticas	61
6.2 Caso en Asia	62
6.2.1 Acceso al agua	63
6.2.2 Acceso a saneamientos	64
6.2.3 Zonas críticas	65
6.3 América del Norte	65
6.3.1 Acceso al agua	66
6.3.2 Acceso al saneamiento	67
6.3.3 Cuestión ambiental	67
6.4 América Latina	68
6.4.1 Acceso al agua	68
6.4.2 Acceso a saneamientos	70
6.4.3 Zonas críticas	71
CAPÍTULO 7. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN COLOMBIA	73
7.1 Administración de las aguas residuales y el Gobierno Nacional	74
7.2 Gestión y seguimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales	76
7.2.1 Justificación del proyecto y definición del alcance	77
7.3 Aspectos socioeconómicos y ambientales	79

CAPÍTULO 8 . MEJORAS EN LA RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	81
8.1 Tipos de alcantarillas	82
8.1.1 Redes unitarias	83
8.1.2 Redes separativas	84
8.2 Alcantarillas económicas	84
CAPÍTULO 9. REUTILIZACIÓN DEL AGUA COMO FUENTE DE RECURSOS HÍDRICOS	87
9.1 Beneficios de la reutilización del agua	88
9.2 Recuperación de residuos sólidos	91
9.2.1 Reciclaje de material inorgánico	92
9.2.2 Reciclaje de material orgánico	93
9.3 Minimización de riesgos en la salud pública	94
9.4 Métodos de regulación y control.....	96
9.4.1 Licencias ambientales	96
9.4.2 Permiso de vertimiento de aguas residuales	97
BIBLIOGRAFÍA	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Desarrollo de la vida.....	2
Figura 2. Canal antiguo para el transporte de agua	3
Figura 3. Pozo de agua subterránea.....	4
Figura 4. Sistema de acueducto antiguo	5
Figura 5. Cultura romana	6
Figura 6. Urbanismo residencial.....	10
Figura 7. Urbanismo industrial.....	11
Figura 8. Urbanismo comercial	11
Figura 9. Contaminación industrial del agua	13
Figura 10. Agua de escorrentía superficial	14
Figura 11. Ganadería	15
Figura 12. Recolección de aguas residuales.....	17
Figura 13. Tanque de Imhoff.....	18
Figura 14. Reja manual	18
Figura 15. Cibra para tratamiento de aguas residuales.....	19
Figura 16. Desarenador.....	20
Figura 17. Desengrasador Aeroflo.....	20
Figura 18. Sedimentación	22

Figura 19. Sólidos flotantes.....	22
Figura 20. Clarificadores.....	23
Figura 21. Decantador circular	24
Figura 22. Rejillas para agua residual.....	25
Figura 23. Tanque de estabilización	27
Figura 24. Lodos activos	28
Figura 25. Aireación prolongada	29
Figura 26. Microtamizado	30
Figura 27. Filtración	31
Figura 28. Coagulación	32
Figura 29. Agua contaminada por hidrocarburos.....	36
Figura 30. Agua contaminada por radioactividad.....	37
Figura 31. Contaminación física y química del agua	38
Figura 32. Industria textil	39
Figura 33. Sector agroindustrial.....	39
Figura 34. Agua utilizada en el sector químico.....	40
Figura 35. Sector curtidor.....	41
Figura 36. Sector papelerero	42
Figura 37. Bienestar ambiental.....	43
Figura 38. Energías renovables.....	44
Figura 39. Bienestar social.....	45
Figura 40. Fundamentos de los procesos industriales sostenibles	47
Figura 41. Ciudad destruida por la guerra	50
Figura 42. Productos alimenticios	50
Figura 43. Calidad del agua	51
Figura 44. Sistemas de riego	52
Figura 45. Composición química del suelo	53
Figura 46. Ruta de alimentos derivados del ganado.....	56
Figura 47. Aplicación de las 3R.....	58
Figura 48. Escasez de agua.....	59
Figura 49. Consumo del agua.....	60
Figura 50. Falta de tratamiento del agua.....	62
Figura 51. Acceso al agua potable en Asia en millones de personas.....	63
Figura 52. Acceso al saneamiento en Asia en millones de personas.....	64
Figura 53. Desigualdades económicas	66

Figura 54. Acceso al agua potable en América Latina	69
Figura 55. Acceso al saneamiento en América Latina	70
Figura 56. Tanques de agua	71
Figura 57. Contaminación del agua y el aire por efecto de la industria	73
Figura 58. Enfermedades gastrointestinales.....	74
Figura 59. Inversión económica.....	75
Figura 60. Problemas de salud pública.....	76
Figura 61. Análisis y estudios.....	78
Figura 62. Contaminación del agua	82
Figura 63. Rentabilidad económica.....	89
Figura 64. Tuberías de concreto convencionales.....	90
Figura 65. Río sin contaminación.....	91
Figura 66. Compostaje	94
Figura 67. Autoridades ambientales.....	96



PRÓLOGO

Este libro es el resultado de una investigación científica en la cual se identifican los diferentes tipos de contaminación del agua, los tratamientos que se realizan en el planeta y el estado actual en algunos continentes; finalmente, se describen y proponen mejoras en los métodos de tratamiento y la reutilización del agua tratada.

El estudio se dirige principalmente a profesionales y estudiantes de Ingeniería Civil, Ingeniería de Saneamiento, Ingeniería Ambiental, entre otras. Así mismo, es un material complementario para las clases universitarias que potencializan la comprensión de estos conocimientos.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Las actividades de los seres humanos tienen un efecto negativo en los recursos hídricos debido a que se modifican las características naturales del agua, contaminándola e invalidando su uso para cualquier otro tipo de aplicación (Cely-Calixto, Soto *et al.*, 2021). La contaminación del agua puede definirse como el efecto de introducir materiales en el recurso hídrico, de manera directa o indirecta, lo que afecta negativamente su calidad y limita sus usos.

Por lo anterior, el resultado de verter aguas residuales a la naturaleza sin un previo tratamiento causa el desarrollo de múltiples daños colaterales en el medio ambiente y afecta a los diferentes ecosistemas. Por otro lado, el vertimiento de las aguas residuales puede ocasionar enfermedades en la población que se encuentra aguas abajo del afluente, y por esta razón, el agua contaminada debe someterse a diversos procesos y tratamientos para reducir estos niveles de contaminación con el fin de poder volver a la naturaleza, minimizando los daños ambientales y aumentando la salubridad pública (Dourojeanni, 1994).

De esta manera, el tratamiento de aguas residuales es un proceso indispensable para el desarrollo de la vida, por tanto, se necesita generar avances en

cuestión de sanidad, control y reutilización del sistema para implementar un uso mesurado, responsable y sostenible en los ámbitos cotidiano, comercial e industrial.

1.1 Reseña histórica

El agua es un elemento básico para el mantenimiento de la vida en la Tierra. Todos los seres vivos requieren de su consumo en forma diaria para desarrollar muchos procesos vitales.

Figura 1. Desarrollo de la vida



Fuente: tomada de <https://www.freepik.es>

Por esta razón, los primeros asentamientos humanos que conformaron una sociedad se ubicaron en zonas donde tuvieran fácil acceso al agua, es decir, ríos, represas o lagos; esto, con el fin de crear sociedades sostenibles.

Cuando las primeras civilizaciones entendieron la necesidad tan grande de poder disponer del agua y con el aumento de la población humana, comenzaron a innovar en las formas de poseer este recurso, desarrollando múltiples maneras de almacenamiento, distribución y limpieza tales como pozos, albercas y sistemas de acueductos (Cely *et al.*, 2019).

Así mismo, el ser humano inició actividades en donde el agua es indispensable para su desarrollo como la industria, el comercio, la manufactura y la expansión territorial. Así se inició una evolución hídrica que busca el máximo aprovechamiento del agua en todas sus formas posibles comenzando por el uso del agua que hay bajo la superficie terrestre, es decir, se construyeron pozos para disponer del agua (Pardo, 2004).

Figura 2. Canal antiguo para el transporte de agua



Fuente: tomada de <https://www.freepik.es>

Esta evolución comenzó con el transporte del agua proveniente de los ríos hacia las ciudades o asentamientos debido a que no siempre podían asentarse en cercanía de fuentes de agua, entonces, esta era depositada en pozos de almacenamiento para utilizarla posteriormente. Los primeros sistemas de distribución se encontraron en Jericó (Israel) y se basaban en canales sencillos que se excavaban en el suelo.

Figura 3. Pozo de agua subterránea

Fuente: tomada de <https://www.freepik.es>

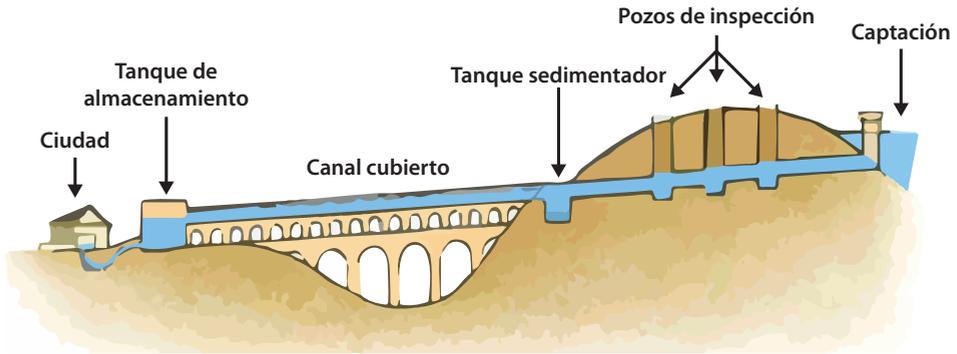
Posteriormente, se convirtió en algo parecido a los actuales sistemas de abastecimiento de agua pues se utilizaron tubos de diferentes materiales para el transporte y la distribución del recurso como los troncos de madera huecos y trozos de bambú secos para disponer del agua constantemente. Las primeras muestras de ingeniería se dieron en Egipto, Japón y China (Higieneambiental, 2018).

Sin embargo, lo anterior no se aplicó a mayor escala hasta que en la antigua Grecia el agua que se recogía de los pozos y el agua lluvia no alcanzaban a suplir las necesidades humanas, por tanto, comenzaron a implementar sistemas de distribución de agua masivos con el fin de que los ciudadanos pudieran disponer de ella en cualquier parte de la ciudad para suplir sus necesidades y de esta manera las ciudades se volvieran sostenibles.

El agua después de usarla debe ser desechada o purificada, es un principio básico que los griegos y romanos entendían a la perfección, quienes demostraron que eran maestros de la arquitectura e ingeniería. Los romanos

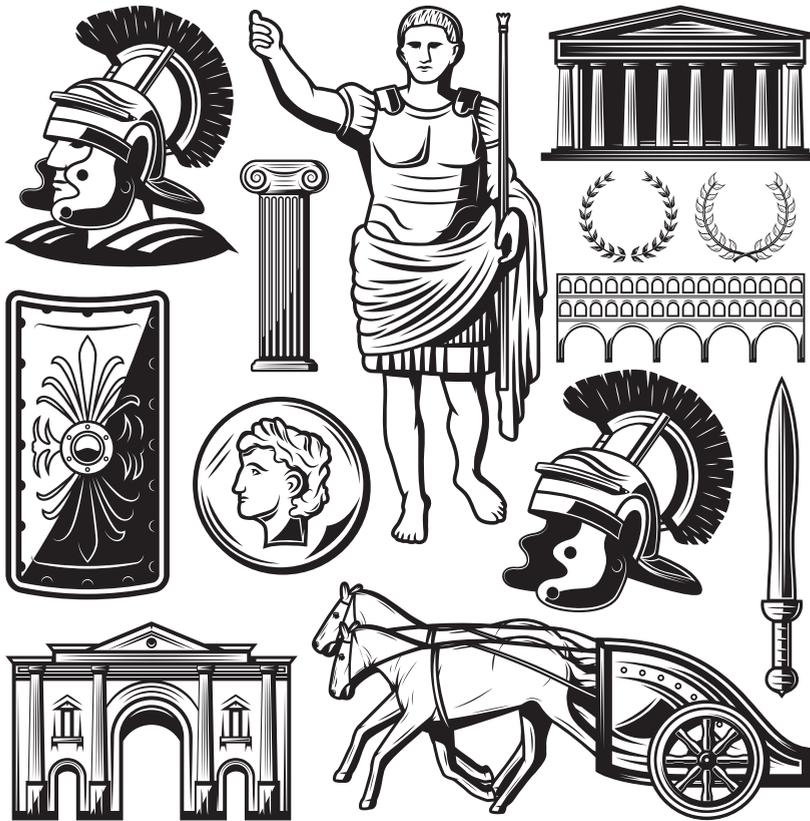
incursionaron en el mundo del tratamiento de aguas cuando utilizaron el agua de los ríos y la escorrentía: inicialmente la almacenaban en presas de cerámica, metal o madera para protegerla de agentes externos que pudieran alterar su calidad; seguidamente, la purificaban por el método de aireación y, finalmente, la distribuían a los habitantes para su uso cotidiano o comercial.

Figura 4. Sistema de acueducto antiguo



Fuente: elaboración propia.

Más adelante, se desarrollaron sistemas de abastecimiento para las ciudades y aumentó el interés por utilizar métodos de tratamiento para purificar el agua y así darle un mejor aprovechamiento, ya que, por un lado, costaba conseguirla, y por otro, se buscaba salvaguardar la salud pública en las ciudades. La primera técnica utilizada para purificar el agua fue calentarla hasta su punto de ebullición o hasta el punto más alto logrado para la época, ya que en muchos casos, solo se ponía a calentar bajo el sol o se calentaba en recipientes a altas temperaturas bajo el fuego.

Figura 5. Cultura romana

Fuente: tomada de <https://www.freepik.es>

En ese tiempo, surgió un gran obstáculo que fue la caída del Imperio romano, la que causó una disminución considerable de la salubridad pública debido a que los sistemas de acueducto y alcantarillado eran pocos o nulos y, en la mayoría de los casos, los desechos tenían contacto directo con el sistema de distribución de agua, lo cual generaba enfermedades y problemas de higiene; además, tomando en cuenta que en esa época la población aumentó considerablemente (De la Peña Olivas, 2010).

Tras años de epidemias, enfermedades mortales y gran cantidad de problemas en cuestión del manejo de aguas, se originó una revolución que trajo consigo un nuevo resplandor a las ciudades; se dieron cambios culturales, políticos, industriales y sanitarios. En la segunda mitad del siglo XVIII se presentó la Revolución industrial y durante esta etapa de transformación surgió el primer suministro de agua potable como lo conocemos hoy en la ciudad de

Paisley (Escocia) donde se construyó el primer sistema de acueducto que abastecía la ciudad entera con agua apta para el consumo humano (Mesa-Moreno y Sanabria-Chacón, 2018).

A partir de este suceso, los avances tecnológicos y sistemáticos en el manejo de aguas tuvieron un auge a gran escala, se dieron a conocer las primeras plantas de tratamiento de aguas residuales como la de París (Francia) donde se encuentra una de las primeras plantas conocidas hasta la actualidad. Aparecieron métodos de purificación tales como la sedimentación y filtración por medio de la arena, un sistema que actualmente se sigue usando debido a su efectividad en algunos casos (Teamb, 2019).

Los principales sucesos históricos que permitieron el desarrollo científico y tecnológico dentro de este ámbito fueron los siguientes:

- Jericó 7000 a. C. Se almacenaba el agua en pozos para su posterior consumo. Así mismo, se desarrollaron sencillos sistemas de transporte y distribución del agua.
- Pakistán 3000 a. C. Se contaba con servicios de baños públicos.
- Egipto, 1500 a. C. Inicio en la implementación de tuberías.
- Grecia, 1100 a. C. Se utilizaron los primeros embalses de aireación e inició el consumo de agua de calidad.
- Egipto, 400 a. C. Se empieza a hervir el agua como sistema de purificación.
- Roma, 300 d. C. Se utilizaron los recursos de agua subterránea, ríos y esorrentía; se construyen presas de almacenamiento.
- Roma, 500 d. C. La caída del Imperio romano significa un declive en el tratamiento del agua.
- Escocia, 1804 d. C. Se construye el primer sistema de suministro de agua potable en la ciudad de Paisley por John Gibb.
- Francia, 1806 d. C. Se construye la mayor planta de tratamiento de aguas residuales del siglo XIX en la ciudad de París.
- Inglaterra 1827 d. C. Se construye el primer filtro de arena para la purificación del agua potable.
- Holanda, 1893 d. C. Se construye la primera planta de tratamiento de aguas residuales con ozono del mundo, en la ciudad de Ousbaden.

- 1960. Loeb y Sourirajan crean la primera celulosa que rechaza la sal y deja pasar el agua, es decir, el principio conocido como osmosis inversa.
- 1970. Aftim Acra descubre que los rayos del sol purifican el agua en pequeñas cantidades, desembocando en la implantación del sistema SODIS.
- 1983. Se desarrolla un sistema de desinfección del agua por medio de gases oxidados denominado MOGGO (Mixed Oxidant Gases Generated On Site).

CAPÍTULO 2

AGUAS RESIDUALES URBANAS Y RURALES

Un requerimiento importante del sector urbano y rural es el de disponer de agua potable, ya sea para su consumo doméstico o para los usos comercial, industrial o agrícola (Cely-Calixto, Bonilla-Granados y Rojas-Suárez, 2021).

De esta manera, antes y después de su uso, el agua debe someterse a procesos de purificación para obtener las condiciones óptimas que la hagan apta para su consumo o utilización, y luego, cuando regresa a su cauce natural no se produzcan efectos negativos en el ecosistema (Pulido Salazar y Jiménez Cuéllar, 2021).

2.1 Tipos de urbanismo

La organización territorial, arquitectónica y de ingeniería es desde tiempo atrás un aspecto importante en el desarrollo de las ciudades enteras en cuestión de urbanismo. El hecho de planificar cómo se construirían las ciudades significaba tener en cuenta aspectos económicos, sociales y físicos con el fin de proporcionar mayor cantidad de beneficios para sus habitantes. Por ello, es importante conocer primero el tipo de ordenamiento que tiene un territorio para así evaluar en qué medida se van a producir aguas residuales (Ascher y Díaz, 2018).

El urbanismo que presentan las ciudades tiende a seguir patrones, es decir, las ciudades tienen un diseño característico con el cual se puede llegar a conocer los tipos de aguas que producen, por eso, los tipos de urbanismos se dividen en:

- **Urbanismo habitacional:** este modelo de organización se basa en zonas territoriales destinadas a un uso residencial en el cual se establece qué tipo de viviendas se van a construir de acuerdo con el nivel socioeconómico y al tamaño de la población que va a habitar en la zona.

Figura 6. Urbanismo residencial



Fuente: tomada de <https://www.freepik.es>

- **Urbanismo industrial:** este tipo de urbanismo es el que busca reunir a los centros de producción industrial como empresas y fábricas en zonas industriales que mayormente están en las afueras de la ciudad para no afectar con ruido y contaminación a las zonas residenciales.

Figura 7. Urbanismo industrial

Fuente: tomada de <https://www.freepik.es>

Urbanismo de servicios comerciales: son aquellos que proporcionan servicios o productos para actividades económicas como el ocio, la recreación y el comercio. Estas organizaciones urbanísticas buscan priorizar zonas de parqueo y acceso al transporte público, es muy común que se encuentren en el centro de las ciudades para ofrecer un fácil acceso a todos los ciudadanos.

Figura 8. Urbanismo comercial

Fuente: tomada de <https://www.freepik.es>

2.2 Generación de aguas residuales en las ciudades

Las ciudades generan mayor cantidad de aguas residuales que las zonas rurales debido a la alta presencia de población y por la existencia de zonas industriales que producen aguas residuales y desechos a grandes escalas, por tanto, es importante analizar qué sectores en las ciudades generan mayor cantidad de aguas residuales y qué tanto llegan a ser contaminantes de acuerdo con su procedencia.

Según su procedencia, las aguas residuales se definen como:

- Aguas residuales domésticas: se caracterizan por ser producidas en las actividades diarias humanas como la alimentación, la higiene y las actividades del hogar.

A su vez, las aguas domésticas se constituyen principalmente por:

- » Aguas de cocina compuestas por grasas, sales y desechos sólidos.
- » Aguas de lavadora que principalmente contienen detergentes.
- » Aguas de baño que traen consigo jabones, champú y crema dental.
- » Aguas negras que se basan en desechos orgánicos producidos por el metabolismo humano.
- Aguas residuales comerciales: son las producidas por actividades comerciales y están relacionadas con las actividades domésticas puesto que en las zonas comerciales las aguas residuales son producto de la limpieza, el consumo de bebidas y alimentos que, en su mayoría, tienen las mismas características de las aguas residuales domésticas.
- Aguas residuales industriales: son las aguas producidas por las actividades industriales, en su mayoría tienen una composición que dependen del tipo de industria que las usa.

Del mismo modo, las aguas industriales se dividen en:

- » Aguas del sector textil que contienen en su mayoría fenoles, sulfuro y colorantes, los cuales son de difícil degradación.
- » Aguas del sector agroindustrial que presentan alto contenido de materia orgánica, sólidos suspendidos, aceites e insumos químicos.

- » Aguas provenientes del sector de automoción que se basan en restos de pintura, plásticos, estampado y embalaje, producto del proceso de manufactura de máquinas automotrices.
- » Aguas provenientes del sector de pieles y curtiembre las cuales tienen altas concentraciones de sulfuro, cromo y plomo.

Figura 9. Contaminación industrial del agua



Fuente: tomada de <https://www.freepik.es>

- Aguas de escorrentía pluvial: son las aguas lluvias que realmente no son puras, dado que arrastran consigo toda la suciedad encontrada en la atmósfera, en los tejados, vías y canales, de ahí que se mezclan en los alcantarillados con el agua residual doméstica e industrial.

Figura 10. Agua de escorrentía superficial



Fuente: tomada de <https://www.freepik.es>

Es conocido que las aguas residuales que se generan en las ciudades son las aguas residuales domésticas, aquellas que siempre estarán presentes debido al metabolismo humano. De igual manera, se sabe que la cantidad de aguas residuales industriales dependerá del grado de industrialización de la zona y, por último, la escorrentía pluvial se registrará a través de la presencia de precipitaciones o altos caudales (López Navarro, 2021).

2.3 Generación de aguas residuales en zonas rurales

En las zonas rurales se presentan múltiples actividades de agricultura y ganadería, dado que la economía del campo se sostiene con estas actividades, y es bien sabido que todas las actividades humanas producen aguas residuales, por tanto, la agricultura y ganadería requieren de gran cantidad de sustancias químicas para su desarrollo.

Las aguas residuales que son producto de la agricultura y ganadería: tienen un alto contenido de sustancias químicas tales como fertilizantes, abonos, plaguicidas y patógenos provenientes del ganado. Son el resultado

de actividades ganaderas y de agricultura como la siembra y cosecha de alimentos.

Figura 11. Ganadería



Fuente: tomada de <https://www.freepik.es>

2.4 Tipos de tratamiento en zonas urbanas y rurales

En las aguas residuales tanto urbanas como rurales se debe realizar el respectivo tratamiento de purificación para eliminar la presencia de elementos contaminantes como son:

- **Sólidos en suspensión:** están formados por partículas pequeñas de naturaleza variable, de las cuales más de la mitad son sedimentables debido al efecto de la gravedad.
- **Objetos gruesos:** son desechos de tamaño considerable que son arrojados en el sistema de alcantarillado tales como rocas, plásticos y troncos de madera.
- **Contaminantes de aseo:** son los productos resultantes del aseo y pueden ser desde productos de estética y enseres farmacéuticos hasta productos de limpieza del hogar.

- Agentes patógenos: estos tienen presencia en las aguas residuales y tienen un gran impacto en la salud pública ya que pueden generar enfermedades producidas por bacterias, virus y protozoos.
- Grasas y aceites: estas sustancias por tener menor densidad que el agua no se mezclan, por tanto, generan telillas en la superficie.
- Nitrógeno y fósforo: estos se encuentran en las aguas debido a soluciones químicas provenientes de detergentes, abonos y plaguicidas; de igual forma, las heces humanas aportan un contenido considerable de nitrógeno.
- Sustratos con baja cantidad de oxígeno: estas sustancias se oxidan con facilidad por lo que demandan gran cantidad de oxígeno y se produce alteración de las propiedades químicas del agua.

Después de caracterizados los tipos de contaminantes presentes en el agua, se lleva a cabo un proceso de purificación basado en:

- Recolección y transporte
- Preprocesamiento y procesamiento
- Evacuación.

2.4.1 Recolección y transporte de aguas residuales

En los centros urbanos o rurales, después de su uso, el agua va hacia el sistema de alcantarillado que sirve como red de transporte y conduce las aguas residuales sin importar su procedencia (industriales, comerciales, agrícolas o domésticas) hacia la estación donde se llevará a cabo el tratamiento. En este proceso también se incluyen las aguas de la escorrentía pluvial como la lluvia abarcando entonces todos los tipos de aguas residuales.

Figura 12. Recolección de aguas residuales

Fuente: tomada de <https://www.freepik.es>

2.4.2 Tratamiento de aguas residuales

El proceso de tratamiento tiene el objetivo de eliminar cualquier tipo de contaminante presente en las aguas residuales para que luego estas puedan volver a su cauce natural sin provocar efectos altamente nocivos en los ecosistemas. Esto se lleva a cabo por medio de las siguientes etapas:

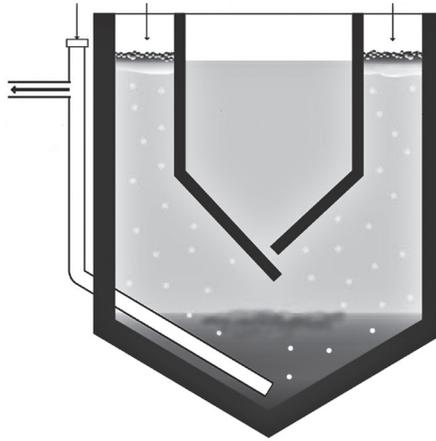
Pretratamiento

Previo al ingreso a las plantas de tratamiento donde se realiza su purificación, las aguas residuales se someten a una serie de procesos físicos con el fin de separarlas de cualquier tipo de material grueso, que pueden ser desde partículas de tamaño reducido hasta sólidos como rocas y troncos. Este proceso se lleva a cabo para evitar que posteriormente estas materias generen problemas en los sistemas de almacenamiento, tuberías y válvulas.

El pretratamiento se efectúa en cinco etapas básicas: separación de sólidos, desbaste, tamizado, desarenado y desengrase.

- *Separación de sólidos:* en esta etapa se extraen los materiales sólidos de tamaño desmedido por medio de pozos en forma de pirámide invertida, lo que facilita que los residuos se concentren en una zona específica para posteriormente retirar estas materias del agua.

Figura 13. Tanque de Imhoff



Fuente: Sswm (2009b).

- *Desbaste:* se basa principalmente en separar el agua de los sólidos pequeños y medianos, debido a que estos son obstruccionadores potenciales de las tuberías y maquinarias por donde fluye el agua, lo que ocasionaría daños en el sistema. Este proceso se realiza por medio de rejillas separadas por barrotes que pueden ir desde 10 mm hasta 100 mm

Figura 14. Reja manual



Fuente: Aeration Argentina (s.f.).

- *Cibrado*: el objetivo del cibrado es la eliminación de la mayor cantidad de sólidos en suspensión, es decir, las partículas más pequeñas dentro de los sólidos, que tienen un tamaño del orden de un milímetro. Este proceso se efectúa mediante la filtración del agua que pasa a través de soportes equipados con ranuras muy pequeñas.

Figura 15. Cibra para tratamiento de aguas residuales



Fuente: Synertech (s.f.).

- *Desarenado*: esta fase del pretratamiento tiene como finalidad eliminar cualquier partícula que tenga un tamaño mayor a 0,3 milímetros, puesto que esta suciedad produce desgaste en los canales, tuberías y bombas del sistema de tratamiento.

Figura 16. Desarenador

Fuente: Wamgroup (2018).

- *Desengrasado*: es la etapa final del pretratamiento en la cual se retiran todas las sustancias menos pesadas que el agua –como aceites y grasas– que debido a su baja densidad flotan en el agua. Los desengrasadores hacen pasar el agua a través de una pared delgada o también llamada tabique, que obliga a las aguas a evacuar por la parte inferior, de modo que las sustancias menos densas permanecen en la superficie y se pueden extraer.

Figura 17. Desengrasador Aeroflo

Fuente: Teqma (2000).

CAPÍTULO 3

TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales puede definirse como una serie de pasos que buscan eliminar los componentes físicos, químicos y biológicos del agua con el fin de descontaminarla y, en dado caso, pueda ser reutilizada.

3.1 Tratamiento primario

El tratamiento primario de aguas residuales se centra en reducir la suspensión de sólidos, además de prepararla para la siguiente fase por medio de una neutralización y homogenización de partículas (Tarón-Dunoyer *et al.*, 2017).

Su principal objetivo es remover la mayoría de las sustancias que están sedimentadas o flotando. Este primer tratamiento es capaz de eliminar la materia que incomoda y a su vez una fracción importante de la carga orgánica que se ve representada en un 25 % y 40 % de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (Vargas Ramírez, 2018).

Entre los sólidos en suspensión se pueden encontrar los siguientes:

- **Sólidos sedimentables:** en este caso, el agua se mantiene inmóvil y permitiendo que por medio de la gravedad en un tiempo determinado se sedimenten los sólidos.

Figura 18. Sedimentación

Fuente: elaboración propia.

- **Sólidos flotantes:** son lo contrario a los sólidos sedimentables ya que estos se mantienen todavía suspendidos en el agua.

Figura 19. Sólidos flotantes

Fuente: tomada de <https://www.freepik.es>

- **Sólidos coloidales:** son de un tamaño menor a 2 micrones lo que hace difícil su remoción por medio de tamices o la fuerza de la gravedad.

En el tratamiento primario existen una variedad de procesos para remover los sólidos, los principales están a continuación.

3.1.1 Sedimentación primaria

Es la encargada de eliminar la mayoría de los sólidos suspendidos y flotantes provenientes de las aguas residuales.

Cuando se hace un tratamiento adecuado en la sedimentación primaria se puede remover hasta un 90 % de los sólidos sedimentables; además, entre el 40 % al 60 % de los sólidos suspendidos y de un 20 % al 40 % de la demanda bioquímica de oxígeno. Estos porcentajes pueden variar según la planta de tratamiento y las características que posea el agua.

En las plantas de tratamiento convencionales se siguen usando las operaciones del tratamiento primario conocido como pretratamientos, aunque en otras plantas ofrecen también una preaireación que mejora la eliminación de los gases y de la arenilla, además de añadir oxígeno o mejorar la coagulación.

En la sedimentación primaria se suelen usar tanques rectangulares o circulares diseñados para retener el agua residual entre una a tres horas; con dos horas en uno de estos tanques se puede reducir entre un 50 % a un 70 % de los sólidos suspendidos y así se reduce la demanda de bioquímica de oxígeno, junto con esto también se recolectan lodos y natas en los clarificadores primarios (Barroso *et al.*, 2019).

Figura 20. Clarificadores



Fuente: tomada de <https://www.freepik.es>

Para la recolección de los lodos y natas se usan unas rastras las cuales están sostenidas por unos brazos rotatorios que se encargan de mover los sedimentos hasta el centro inferior del tanque donde se encuentra la tolva encargada de sacar estos residuos.

- **Decantadores circulares**

En este tratamiento primario el agua entra por el centro del decantador circular y es recogida en la zona inmediata al exterior. A través de este sistema se evita la disipación de energía del agua por la perturbación que genera al entrar en la instalación y en el momento de salida que es por medio de vertederos triangulares, aunque no son los mejores, pero tienen resultados debido a la variedad del caudal.

Figura 21. Decantador circular



Fuente: IMDPirineo (s.f.).

Para la evacuación de fangos existe el método por acumulación el cual se puede realizar por medio de la gravedad o por equipos mecánicos. En la primera opción es el fondo está inclinado hacia la tolva, pero cuando las dimensiones de los decantadores son muy grandes se deben usar equipos mecánicos que se encargan de acumular los fangos en puntos clave para su extracción.

- **Rejillas finas**

Este método se puede usar como un pretratamiento o puede sustituir a la sedimentación primaria y, en algunos casos, es posible usarlo después de la sedimentación, pero esto depende de la abertura que hay a través de ellas.

Figura 22. Rejillas para agua residual



Fuente: Plásticos B&B (2017).

En el pretratamiento se colocan rejillas con una abertura entre 0,2 mm a 6 mm las cuales pueden ser estáticas, rotatorias o tipo escalera; en el caso de las rejillas que sustituyen la sedimentación primaria suelen ser estáticas y cuentan con una abertura entre 0,2 mm a 1,2 mm. Para poder colocarlas se necesita un área superficial y su limpieza debe hacerse diariamente con agua caliente a alta presión y, en ocasiones, se debe limpiar con desengrasador para eliminar la grasa de los orificios más pequeños.

En estos últimos años, las rejillas han generado una disminución en los costos de la construcción junto con el área necesaria para su colocación, por lo que se prefieren en vez de la sedimentación primaria (Vera, 2017).

3.2 Tratamiento secundario

Después del tratamiento primario en el cual se elimina la mayoría de los residuos sólidos, se inicia el tratamiento secundario encargado de la reducción de los compuestos orgánicos por medio de procesos biológicos tanto aerobios como anaerobios.

El proceso aeróbico se realiza por medio de la introducción de oxígeno en los tanques de aguas residuales para la eliminación de productos nitrogenados y la cantidad que se introduce dependerá de la planta de tratamiento.

El proceso anaeróbico resulta ser lo contrario al aeróbico, ya que este es por medio de la eliminación del oxígeno, lo que genera reacciones fermentativas que transforman la energía y el CO^2 (Becerra *et al.*, 2020).

En el tratamiento secundario se busca que los fragmentos de la materia orgánica sean separados por medio de la sedimentación, aunque los procesos biológicos que se utilizan con más frecuencia son los filtros percoladores y los lodos activos. Además, hay otras opciones de tratamientos como las lagunas de estabilización, los procesos aeróbicos y anaeróbicos.

- **Estanques de estabilización aerobia**

Los estanques de estabilización aerobia son excavados en el terreno con poca profundidad donde se utilizan bacterias y algas. Existen dos tipos de estanque, uno que se encarga de la producción de algas que son las que recuperan las proteínas que sirven para la alimentación del ganado y el otro está encargado de la producción de oxígeno.

Figura 23. Tanque de estabilización

Fuente: Sswm (2009a).

Para aumentar el rendimiento, es decir, la velocidad en que el agua se estabiliza, es recomendable la introducción de aire por medio de difusores o aireadores.

Los estanques son muy utilizados porque su construcción y mantenimiento conllevan unos costos muy bajos, pero maneja un volumen de tratamiento muy pequeño (Vázquez, 2016).

- **Fangos activos**

En este tratamiento el agua es conducida hacia un reactor que transforma los nutrientes en tejido celular y diversos gases por medio de un cultivo de bacterias aerobias que se encuentran suspendidas, además el oxígeno es introducido a través de difusores los cuales hacen una mezcla homogénea entre las aguas residuales y los microorganismos.

Después de un tiempo determinado, esta mezcla homogénea es conducida a un tanque donde se dejará sedimentar para separar las células del agua y en el fondo quedarán los fangos que pueden ser dirigidos otra vez al reactor para mantener una masa biológica o serán usados para hacer una limpieza al sistema (Ibáñez Bustelo, 2020).

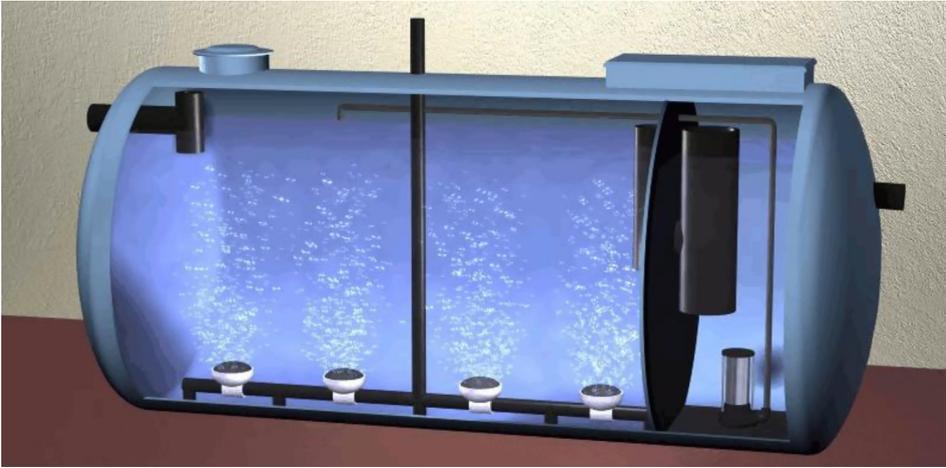
Figura 24. Lodos activos



Fuente: Soluciones Medioambientales y Agua (SMA) (2014).

- **Aireación prolongada**

Este proceso es una mejora al proceso de lodos activos, ya que su objetivo es disminuir la cantidad de lodo residual lo cual se consigue con un aumento de tiempo de residencia y, por ende, el tamaño del tanque necesario es mucho mayor; además, mediante la respiración endógena se degrada el lodo (Chordá Sáez, 2018).

Figura 25. Aireación prolongada

Fuente: Bioplast depuración (2018).

3.3 Tratamiento terciario

En la aplicación de este tratamiento se ejecutan una serie de procesos con los que se busca una mayor calidad de efluente que en el tratamiento secundario eliminando los contaminantes recalcitrantes con el fin de reutilizar el recurso hídrico.

El objetivo del tratamiento terciario es eliminar el fósforo y por esto los procesos utilizados aseguran que al menos un 99 % de los sólidos en suspensión son eliminados y la demanda bioquímica de oxígeno se reduce en gran medida.

En este punto, se trata de eliminar el amoníaco y el fósforo por medio de la desnitrificación, la precipitación y también están los procesos para disolver los sólidos como la osmosis inversa, la electrodiálisis y la desinfección, esta última es el método más fiable mientras no tenga cloración extrema (Chordá Sáez, 2018).

Hay diferentes tipos de tratamiento terciario, entre ellos están:

- **Eliminación de sólidos en suspensión**

Los sólidos en suspensión que se encuentran en esta etapa del proceso de tratamiento constituyen una parte importante de la demanda bioquímica

de oxígeno exigida a las plantas de tratamiento. En esta parte se disponen de tres procesos de eliminación, los cuales son:

- **Microtamizado**

El microtamizado está compuesto por una tela metálica de acero tejida que actúa como un tamiz fino con el objetivo principal de reducir o eliminar los sólidos en suspensión como los microorganismos. Esta tela metálica se coloca sobre un tambor giratorio que se sumerge en el efluente.

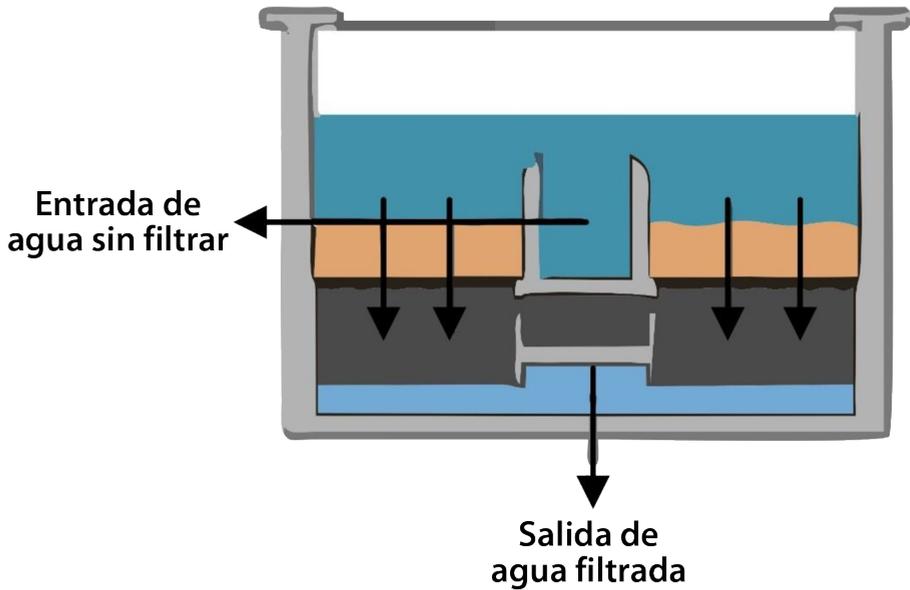
Figura 26. Microtamizado



Fuente: Huber Technology (s.f.).

- **Filtración**

Este método se basa en la separación de los sólidos en suspensión por medio de filtros (ya sea el uso de barreras físicas, químicas y/o un proceso biológico) que permiten el paso del agua, pero retienen las partículas sólidas.

Figura 27. Filtración

Fuente: elaboración propia.

- **Coagulación**

Este método altera la carga eléctrica negativa de las partículas en suspensión por medio de productos químicos cargados positivamente y logran que se aglutinen y así entre más grande sea el agrupamiento será más fácil filtrar el agua.

Figura 28. Coagulación

Fuente: Fibras y Normas de Colombia S.A.S, (s.f.).

- **Los carbonos activos como adsorbentes**

Los carbonos activos se han implementado en esta etapa para la eliminación de olores y sabores causados por los contaminantes la cual depende del tiempo en que se mantenga el contacto entre el agua residual y el carbón activo.

Cuando el agua residual pasa a través del carbón activo, las partículas contaminadas se separan, lo que genera una purificación del agua que se consigue de manera progresiva ya que al inicio del trayecto presenta un nivel alto de contaminación y al final de este ha disminuido en su totalidad.

- **Ósmosis inversa**

La ósmosis inversa es un método que funciona al hacer pasar el agua a través de una membrana semipermeable que puede medir entre 40 a 60 pulgadas de largo con un diámetro entre 4 a 8 pulgadas la cual separa e iguala la solución concentrada y el agua pura.

Por medio de este proceso se espera remover entre el 90 y 99 % de los componentes disueltos y contaminantes.

- **Lagunaje**

Este método es una imitación del procedimiento de autodepuración que ejecutan los ríos y lagunas de manera natural con las aguas residuales, además que las lagunas son altamente aeróbicas. Este tratamiento tiene un bajo costo y su mantenimiento es fácil, pero es necesario un espacio amplio para construir las lagunas artificiales y no es posible tratar todo tipo de aguas.

- **Electrodiálisis**

La electrodiálisis es una posible etapa final, ya que promete la eliminación del fósforo y el nitrógeno de las aguas residuales por medio de una membrana que permite que los iones negativos o positivos fluyan a través de ella.

- **Cloración**

En este procedimiento se suele usar el cloro gas (Cl^2), el hipoclorito sódico (NaOCl) y el dióxido de cloro (ClO^2) en las aguas residuales industriales y urbanas, aunque lo más común es usar este método con las aguas procedentes de las plantas de azúcar de caña; sin embargo, este método deja cloro residual libre.

- **Ozonización**

El ozono cuenta con dos formas de uso muy importantes en el tratamiento de aguas que son: la desinfección y la eliminación de la materia orgánica procedente de tratamientos biológicos. Al introducir este componente el agua se convierte en oxígeno y no deja algún componente químico residual que debe ser eliminado.

El tratamiento por ozonización es una alternativa a la cloración, principalmente en las plantas de tratamiento que usan el método de lodos activos (Céspedes Bernal, 2019).

CAPÍTULO 4

AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA

La industrialización en procesos productivos humanos es un aspecto muy importante desde que se comenzaron a instaurar las máquinas propulsadas por cualquier artefacto mecánico o eléctrico. A partir de esto, la utilidad en el mercado aumentó significativamente, se crearon mayores fuentes de empleo y surgieron sistemas productivos de bienes y servicios. El aumento significativo del sector industrial en el mundo entero produjo desarrollo y sostenibilidad, pero al mismo tiempo, trajo consigo una serie de factores que generan problemáticas sociales, económicas y ambientales dentro de las cuales está la contaminación del agua.

Toda actividad industrial o comercial genera aguas residuales debido a que el agua es un recurso indispensable en los sectores de producción. Sin el preciado líquido, pocas actividades productivas se podrían llevar a cabo, por tanto, las características de las aguas residuales son de naturaleza variada, pues pueden originarse en diferentes fases industriales (teñido, lavado, secado, refrigeración, etc.), por esta razón, las aguas residuales industriales luego de su uso deben ser tratadas, purificadas o depuradas para luego verterlas en su cauce natural o conducir las a la red de saneamiento existente en la zona.

4.1 Impacto de las aguas residuales industriales

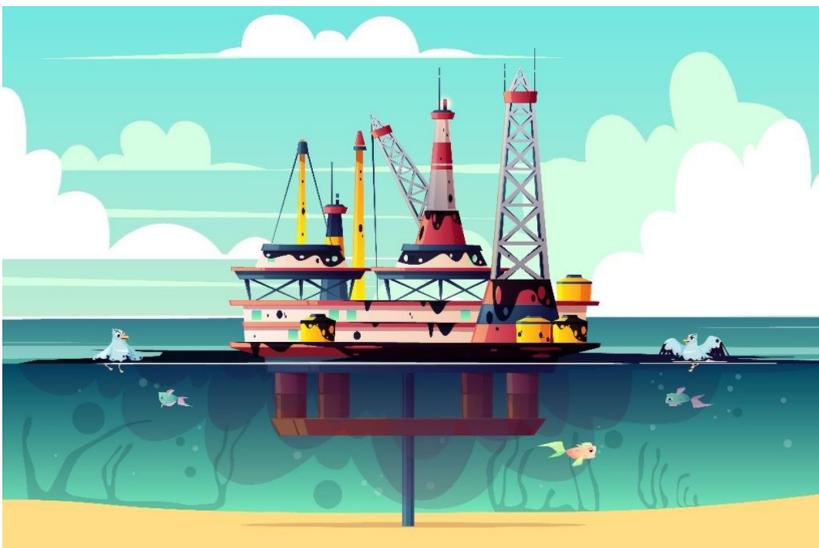
La idea de que los ríos y mares sirvan como vertederos de aguas residuales y que el ciclo natural del agua actúe como sistema purificador natural ahora es solo una ilusión mundial debido a que los recursos hídricos actualmente no son capaces de soportar la cantidad de aguas residuales que se vierten sobre ellos, la contaminación ha llegado a un nivel de alta toxicidad en la cual la única solución viable es hacer tratamientos de limpieza y purificación.

El nivel de contaminación que introducen las aguas residuales producidas por las industrias es preocupante. En muchas zonas industrializadas, los ríos o quebradas donde se vierten estas sustancias son sumamente afectados, tal es el caso que, en la mayoría de estos ríos la pesca es prohibida por la enorme contaminación presente en el ecosistema (Collazos, 2008).

Los elementos presentes en las aguas residuales que afectan directamente los ecosistemas son:

- **Hidrocarburos:** estos compuestos orgánicos, en la mayoría de los casos, son derivados del petróleo que es una sustancia especialmente tóxica para el agua y causa grandes manchas sobre el agua que terminan irrumpiendo en la superficie terrestre, afectando la flora y fauna presentes en la zona.

Figura 29. Agua contaminada por hidrocarburos



- **Productos radiactivos:** estos componentes de las aguas residuales son altamente peligrosos para la salubridad porque provienen de elementos con grandes índices de radioactividad y son el resultado de procesos de refinado y limpieza.

Figura 30. Agua contaminada por radioactividad



Fuente: tomado de [https:// www.freepik.es](https://www.freepik.es)

- **Calor:** las aguas utilizadas en los procesos de refrigeración en la industria deben ser consideradas no por su contaminación sino por su alta temperatura que al ser desechadas en fuentes hídricas alteran las temperaturas naturales de los cauces y, por consiguiente, la flora y fauna presentes son afectadas debido a los cambios abruptos de la temperatura.
- **Productos químicos:** estos elementos son los más presentes en las aguas residuales industriales debido al uso de detergentes, colorantes, aceites, plaguicidas, abonos y productos minerales inorgánicos.

Figura 31. Contaminación física y química del agua



Fuente: tomado de [https:// www.freepik.es](https://www.freepik.es)

Las aguas residuales industriales traen consigo un gran número de contenidos biológicos, químicos y físicos que afectan directamente a la flora y fauna presentes en la zona. Muchos de los animales que tienen como hábitat los ríos mueren por causa de infecciones y enfermedades o son desplazados, la vegetación se marchita, los árboles presentes en la ribera se secan y mueren.

4.2 Principales fuentes de aguas residuales industriales

Todas las aguas residuales son diferentes y de acuerdo con su procedencia la composición varía. Los sectores industriales que generan más aguas residuales son:

- Sector textil: se dedica mayormente a la confección y producción de tejidos y fibras, de ahí que abarca la producción de zapatos, ropa, tendidos y cualquier tipo de prendas relacionadas con material hilado.

Este genera residuos con presencia de sustancias químicas (ácidos, sales, óxidos) que son de difícil degradación debido a su color.

Figura 32. Industria textil

Fuente: tomado de [https:// www.freepik.es](https://www.freepik.es)

- Sector agroindustrial: este grupo industrial se dedica a la recolección, conservación, elaboración y comercialización de productos agrícolas y ganaderos. Entre sus mayores problemáticas se encuentra la producción de material orgánico que tiene una alta demanda química de oxígeno en el agua, lo que reduce el oxígeno disuelto en el agua, y, por si fuera poco, se presentan malos olores, sólidos en suspensión, aceites, restos vegetales, insumos químicos y grasas, etc.

Figura 33. Sector agroindustrial

Fuente: tomado de [https:// www.freepik.es](https://www.freepik.es)

- Sector químico farmacéutico: es la industria dedicada al procesamiento de materias orgánicas e inorgánicas para productos de uso medicinal y científico. Las materias químicas que se producen allí tienen gran cantidad de elementos químicos y biológicos debido a que este sector se enfoca en el desarrollo de nuevos productos farmacéuticos, siendo unos pocos los que salen al mercado, pero esto genera gran cantidad de desechos altamente peligrosos para la salud pública por la presencia de material biológico.

Figura 34. Agua utilizada en el sector químico



Fuente: tomado de [https:// www.freepik.es](https://www.freepik.es)

- Sector curtidor: este grupo maneja un elevado consumo de agua, por cada tonelada de piel se necesitan alrededor de $40 m^3$ y 500 Kg de insumos químicos, esto es un índice de contaminación alto, teniendo en cuenta que los productos químicos generan desechos con alta carga orgánica e inorgánica como ácidos, sales, pigmentos y metales pesados (Ramón y Maldonado, 2013).

Figura 35. Sector curtidor

Fuente: tomado de [https:// www.freepik.es](https://www.freepik.es)

- Sector papelerero: es uno de los grupos que implementan mayor cantidad de energía renovable ya que usa las fibras vegetales con alto contenido de celulosa provenientes de la madera para elaborar el papel. En este caso, el agua es un elemento indispensable para la introducción de elementos químicos durante el lavado y secado del papel.

Figura 36. Sector papelero

Fuente: tomado de [https:// www.freepik.es](https://www.freepik.es)

4.3 Desarrollo de industrias sustentables y de bajo impacto

Debido al incremento de la contaminación en los recursos hídricos a nivel mundial, los grupos industrial y ambiental han visto la necesidad de desarrollar modelos de productividad sostenibles en los aspectos ambientales, económicos y sociales. Esta nueva metodología invita a desechar solamente lo necesario y utilizar con mesura los recursos naturales para disminuir el impacto ambiental de modo que no se comprometan las posibilidades de las futuras generaciones.

La transformación industrial es un proceso que involucra cambios sociales, económicos y políticos, se deben transformar los sistemas de consumo debido al aumento de la población mundial para satisfacer las necesidades humanas sin afectar los ciclos naturales, por tanto, es necesario hacer un uso y manejo medido de los recursos naturales.

Al mismo tiempo, los gobiernos nacionales juegan un papel muy importante, ya que para lograr cambios realmente sostenibles se deben

implementar políticas ambientales, se requieren acercamientos de diálogo con los empresarios para brindar el apoyo necesario y mancomunadamente desarrollar sistemas de tratamiento para desechos y aguas residuales. La idea de industrias sostenibles requiere tener en cuenta la capacidad económica gubernamental y empresarial, en este caso, el Gobierno debe instaurar políticas de financiamiento para que las empresas que generan productividad y desarrollo tengan la posibilidad de financiar plantas de tratamiento y modelos de saneamiento para las aguas residuales (Cervera Gómez, 2007).

En los modelos de desarrollo sustentable hay tres factores a considerar:

- Bienestar ambiental: el medio ambiente no debe ser alterado con aguas residuales, en lo posible, se requiere garantías para los ciclos naturales del agua por medio del tratamiento adecuado de aguas residuales, y evitando cualquier acción que introduzca sustancias tóxicas y peligrosas a los ecosistemas para no afectar las relaciones bióticas allí presentes. Lo más viable en este caso es la reutilización del agua, es sostenible dar un uso continuo al agua de modo que sea muy pequeña la porción que se deseché.

Figura 37. Bienestar ambiental



Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

- Fuentes de energía renovables: el uso ecológico de las aguas residuales es posible a través del manejo de desechos orgánicos como fuente de energía, a esto se le denomina biomasa. La mayoría de los procesos industriales generan residuos orgánicos y muchos de ellos se vierten en las aguas residuales; el objetivo de usar los residuos orgánicos como fuentes de energía es reducir el impacto ambiental y desarrollar nuevas fuentes de energías renovables y sostenibles.

Figura 38. Energías renovables



Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

- Bienestar social: para que un modelo de desarrollo industrial sea sustentable es necesario brindar garantías ambientales, económicas y sociales; es importante generar calidad de vida, las industrias deben brindar bienestar a la población, comenzando por el crecimiento económico el cual debe ser equitativo con el fin de crear empleos sostenibles, incentivar la agricultura, promover la educación y erradicar las brechas sociales.

Figura 39. Bienestar social

Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

Si se implementan estos tres factores de desarrollo sustentable en las industrias actuales, el impacto ambiental se reducirá considerablemente, tal vez el aspecto más significativo en cuestión de tratamiento de aguas debido a que para brindar modelos amigables y sustentables con el planeta es necesario reducir los efectos negativos ambientales, esto se logra con nuevas formas de energía que deben ser renovables de modo que los sistemas tengan ciclos de reutilización, y así se genere desarrollo social y económico (Juan, 1999).

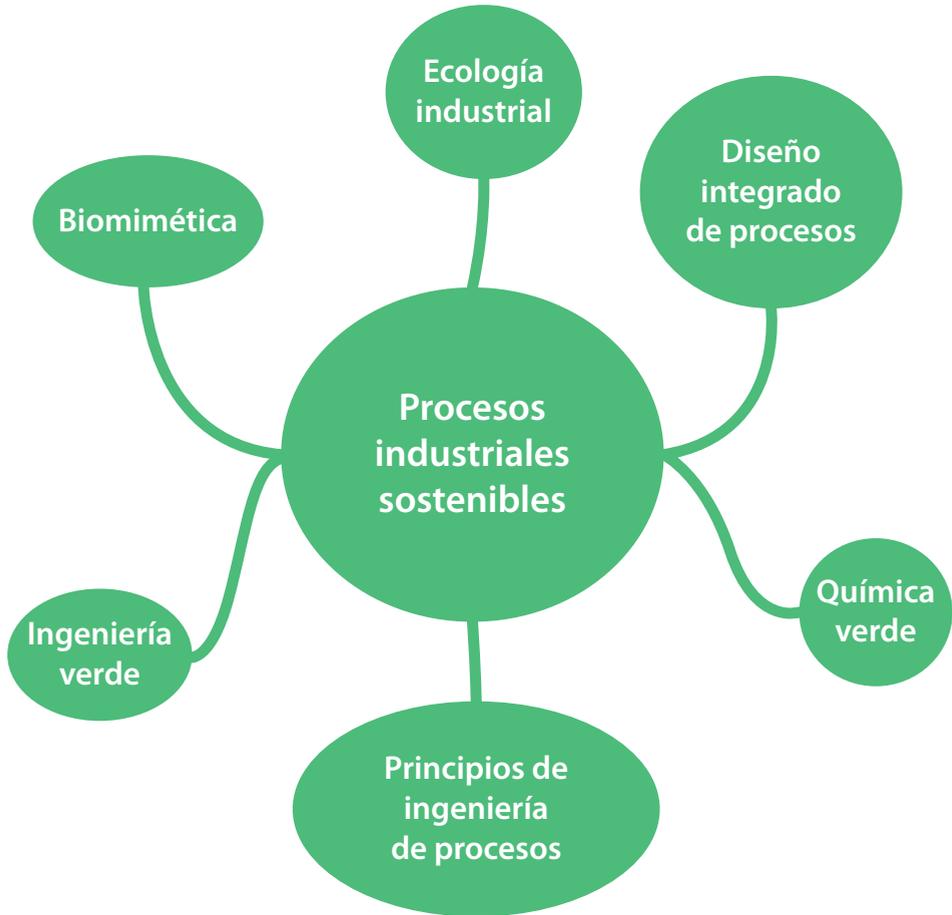
4.4 Procesos industriales sostenibles

Con el fin de brindar bienestar ambiental, las industrias deben estandarizar sus procesos con el fin de evitar, en lo posible, afectar los cauces naturales con aguas residuales. Estos procesos deben cumplir los ítems necesarios para que puedan hacer uso adecuado de los recursos naturales. Los fundamentos para el diseño de cualquier proceso industrial son:

- Principios de la ingeniería de proceso: estos principios sirven como una guía práctica para todas las empresas, constan de una normativa de principios laborales para evitar efectos negativos en el medio ambiente, adecuándose a las necesidades laborales antes, durante y después de los procesos industriales.
- Ingeniería verde: esta rama de la ingeniería tiene como fin el diseño e implementación de procesos y productos industriales que son de carácter ecológico, tienden a reducir el impacto ambiental y los riesgos para la salud generados por la actividad industrial.
- Biomimética: esta disciplina estudia la naturaleza como fuente de solución de problemas de cualquier tipo (industrial, ingenieril, empresarial, medicinal, etc.). La naturaleza siempre ha sido una fuente de inspiración para resolver problemas de cualquier índole, por tanto, se toma como modelo de desarrollo para tecnologías innovadoras.
- Ecología industrial: la ecología industrial plantea la relación directa entre las empresas presentes en una zona y sus ecosistemas, es decir, requiere que cada fase industrial esté relacionada con todo un sistema de procesos que funcionan sincronizadamente, como el caso de los sistemas bióticos, los cuales funcionan bajo el cumplimiento de ciclos naturales.

Esta rama del conocimiento estudia cómo aplicar en la industria los procesos naturales de extracción, aprovechamiento y devolución de recursos al sistema sin provocar efectos contaminantes.

- Diseño integrado de la cuna a la cuna: esta estrategia propone que todo producto antes de su elaboración debe ser planeado y concebido de manera que se debe analizar fase por fase y según el uso que se le va a dar. Los procesos de extracción, utilización y reutilización deben planearse meticulosamente a razón de que, el porcentaje de productividad y eficiencia del artículo sea el máximo, y en términos de contaminación se reduzca significativamente el impacto ambiental.
- Química verde: tiene como objetivo el desarrollo de productos y procesos industriales que reducen el uso de sustancias altamente dañinas o peligrosas para el medio ambiente y la salubridad pública, por lo tanto, los utensilios desarrollados químicamente serán de carácter ecológico y así evitarán causar consecuencias ambientales (García Calvo, 2008).

Figura 40. Fundamentos de los procesos industriales sostenibles

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 5

AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA

Uno de los usos más comunes que tienen las aguas residuales domésticas es su uso directo sin ningún tratamiento en cuerpos de agua exteriores o en el suelo; de igual forma, las condiciones en las que se encuentra este líquido pueden desencadenar inconvenientes de salud pública, especialmente en países tropicales debido a la alta probabilidad de contraer enfermedades infecciosas, ya que estos agentes infecciosos se desarrollan rápidamente en el ambiente mediante las heces y aguas residuales crudas y los problemas ambientales no permiten contribuir al mantenimiento y protección de los ecosistemas, haciendo que los recursos y el entorno pierdan un valor económico, además de afectar a las comunidades que residen cerca de donde se descargan estas aguas.

El uso de aguas residuales en la agricultura comenzó en Atenas, pero se aumentó la práctica de aplicación de estas aguas en la segunda mitad del siglo XX en países como Alemania, Australia, Estados Unidos, Francia, India, Inglaterra, México y Polonia. Debido a la crisis que se vivió en los países por la posguerra, se generó la necesidad de optimizar los recursos hídricos, lo cual incentivó a otros países (África del Sur, Alemania, Arabia Saudita, Argentina, Australia, Chile, China, Estados Unidos, India, Israel, Kuwait, México, Perú) a aplicar este método de ahorro hídrico.

Figura 41. Ciudad destruida por la guerra

Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

Aunque se desconoce el proceso de producción de los alimentos, se sabe que el 10 % de los cultivos a nivel mundial son regados con aguas residuales no tratadas. Aunque esta actividad es ilegal y es motivo de sanción en varios países, los agricultores ubicados en el casco urbano usan aguas residuales para sus cultivos porque además de traer beneficios al usarla, no genera gasto económico, incluso en época de sequía (Alemanni, 2012).

Figura 42. Productos alimenticios

Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

Según la investigación realizada por Silva *et al.* (2008a) encontramos que, “en países del Sudeste Asiático, de América Latina y de África, el riego con aguas residuales se hizo durante décadas de manera espontánea y no planificada por parte de los agricultores más pobres de las áreas urbanas y periurbanas. En Israel, 67 % del agua residual es usada para riego; en India, 25 % y en Sudáfrica, 24 %. En América Latina, alrededor de $400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de agua residual cruda es entregada a fuentes superficiales y las áreas son irrigadas con aguas residuales no tratadas; más de la mitad de esta cantidad se genera en México.

Colombia cuenta con un terreno de 1.230.193 ha, que es regado con aguas residuales, de las cuales el 27 % son residuales tratadas y un 73 % con agua residual sin tratar disuelta en agua superficial. Al igual que en los demás países latinoamericanos, no hay una investigación completa y segura sobre la reutilización de estas aguas y solamente el 8 % del total de aguas residuales que se producen diariamente es tratado”.

Figura 43. Calidad del agua



Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

5.1 Generalidades del reúso

La reutilización de aguas residuales se define como el uso de estas aguas en actividades distintas a las asignadas usualmente.

Los tipos y usos de las aguas residuales se clasifican según la infraestructura a la que se aplicará este sistema. Entre estos se destaca la infraestructura urbana que comprende el riego de parques, zonas verdes residenciales y canchas deportivas. La infraestructura industrial comprende los sistemas de enfriamiento y conservación de sustancias y la infraestructura agrícola que está dirigida al riego de cultivos.

Figura 44. Sistemas de riego



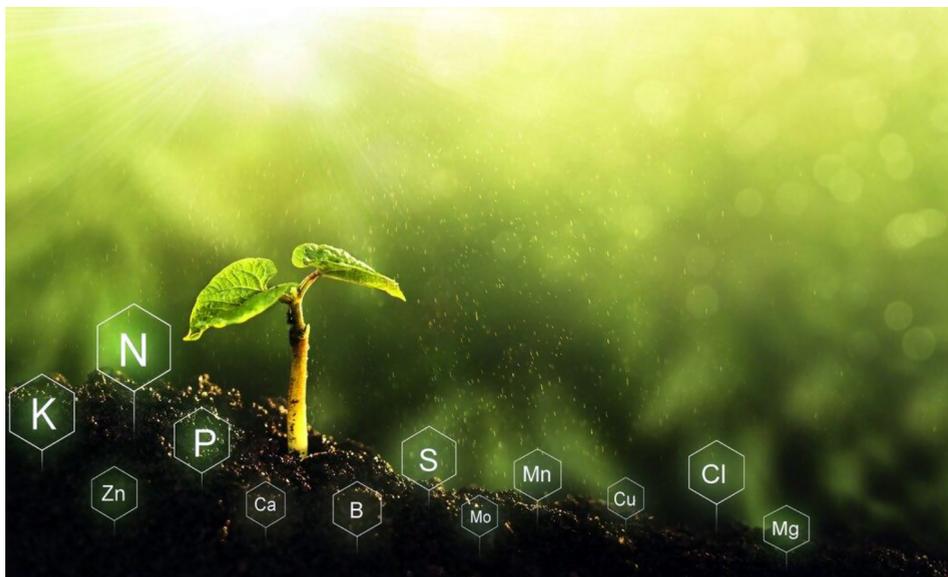
Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

Los cultivos demandan riego con agua residual ya que necesitan un suministro constante para compensar la insuficiencia de agua debido a la temporalidad o falta de oportunidades para obtener agua de otras fuentes a lo largo del año.

De esta manera, poder reutilizar estas aguas aumenta de manera sustancial la fertilidad en los suelos ya que esta aporta macronutrientes, sustancias orgánicas y oligoelementos como el sodio y el potasio que evitan el uso

de fertilizantes químicos por su gran contenido de nutrientes, además del impacto económico positivo que genera al sector (Silva *et al.*, 2008b).

Figura 45. Composición química del suelo



Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

Debido a la escasez de agua en el casco urbano y el constante riego que necesitan los cultivos agrícolas en las zonas de alto desarrollo demográfico, se ha contribuido a que aumente internacionalmente el interés por el reúso del agua.

La contaminación por aguas residuales genera riesgos en la salud pública ya que esta trae consigo microorganismos que actúan como contaminantes tales como metales pesados que contaminan a corto plazo por medio de los alimentos y los mutagénicos que impactan a largo plazo provocando un incremento de sodio (salinización) en el suelo, haciendo que progresivamente la tierra no sea trabajable ni fértil, derivando en el abandono del terreno.

La reutilización de aguas residuales en la producción agrícola ha llegado a ser una necesidad que debe ser tomada como una alternativa u opción, ya que aún no hay estudios que permitan evaluar sus componentes y se logre la mitigación de los contaminantes, en especial de los metales pesados, ya que algunos de estos hacen parte de la composición natural del suelo y como se encuentran en cantidades que no resultan tóxicos para los seres vivos,

no generan problema alguno. Con el avance de la industrialización, se ha presentado un aumento en las cantidades de estos materiales en las aguas residuales que se usan para el cuidado de los cultivos, lo cual si genera un riesgo a la salud pública y medioambiental.

La serie de pasos necesarios para una correcta migración y fijación de los contaminantes en un sistema cerrado depende de la capacidad de absorción que tenga el subsistema agua-suelo-planta, teniendo en cuenta las tasas de riego o concentración, nivel de toxicidad y permanencia del contaminante.

El campo y sus cultivos agrícolas han sido muy afectados por las políticas tomadas recientemente en torno al riego y cuidados de su producción. Durante este proceso se han logrado acuerdos que benefician la economía, pero en materia de progreso a nivel rural, los logros han estado por debajo de las expectativas que se tenían antes del inicio de los acuerdos.

Nuevas pautas para el uso del suelo, la presión ejercida a nivel urbano sobre los terrenos en la zona rural y un mal manejo de las cuencas hídricas durante décadas, generaron un crecimiento de problemas como la erosión, inundaciones y deforestación. Así mismo, debido al desarrollo económico que ha experimentado el país, se ha provocado una fuerte presión en la explotación de los recursos naturales renovables, generando problemas como la sobreexplotación hídrica y del suelo, adicionando además la contaminación.

Esta situación crea múltiples problemas para los usuarios de las cuencas hídricas. La ONU percibió la necesidad de comenzar a proteger el medio ambiente debido al incremento del nivel de contaminación mediante los objetivos del milenio (ONU, 2010) con el fin de implementar las bases o claves del desarrollo sostenible en los programas y leyes nacionales para minimizar la pérdida progresiva de los recursos naturales, además de reducir el número de personas que no cuentan con acceso al suministro de agua potable y servicios públicos básicos y así tener una vida digna.

Los objetivos anteriormente mencionados se encuentran subdesarrollados a nivel mundial, en comparación con el nivel nacional ya que se nota una fuerte desigualdad, mientras en el casco urbano el acceso al agua potable es casi de un 100 %, en la zona rural es máximo de un 35 %.

Este problema de desigualdad nace de que ya no se encuentra disponible el agua en cualquier época del año debido a la alta demanda que tiene, el mal uso que recibe y los continuos niveles altos de contaminación. El desajuste entre la demanda de agua y su disponibilidad varía según dos aspectos: el primero es la reserva natural que exista, es decir, la cantidad de agua apta para usar que está sujeta al clima y la ubicación geográfica; el segundo aspecto es el crecimiento.

Aunque se conoce el valor del riego de cultivos y el efecto que tiene sobre la salud pública y ambiental, no hay un tipo de supervisión y estimación de los impactos que genera el uso de aguas residuales en el sector agrícola, como: reducción del rendimiento de los cultivos por el aumento de sales en el perfil del suelo, purificación de aguas subterráneas y superficiales y su impacto en los alimentos consumidos a diario por los seres vivos.

La exposición a estos contaminantes se describe bajo tres ítems basados en las consecuencias sobre la salud pública: mutágenos, tóxicos y de bioacumulación. Los mutágenos inciden sobre las cadenas de ADN, cambiando la estructura de información genética, provocando enfermedades o malformaciones en recién nacidos. El contaminante que tiene la capacidad de hacer un intercambio catiónico entra y cambia las cadenas de proteínas de ADN, rompiendo inicialmente segmentos de la cadena.

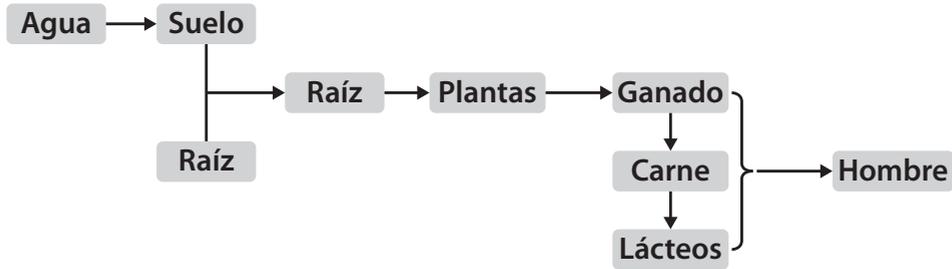
Los mutágenos no se manifiestan de manera agresiva en el individuo ya que son de orden puntual. Estos solo causan efectos a nivel molecular, generando susceptibilidad a cualquier infección, condición ambiental, etc. Los mutágenos afectan principalmente a recién nacidos y niños en proceso de desarrollo.

Los tóxicos generan daños al instante o degenerativos sobre el individuo afectado, haciendo cambios en los órganos y tejidos. Estos daños se presentan en los individuos económicamente activos, mujeres en edad reproductiva y hombres finalizando su edad productiva.

La bioacumulación genera aglomeraciones de componentes en los tejidos del individuo, que en ciertas condiciones y cantidades no genera problemas en la salud, pero al superar estos límites y bajo ciertas condiciones ambientales, genera infecciones que inducen a daños degenerativos o irreversibles en los órganos. Un ejemplo es la tuberculosis industrial en la que el paciente tiene un deterioro pulmonar y al someterse a un cambio de clima drástico

(pasar de un clima caliente a uno más frío) desencadena una afección. Esta condición se presenta en personas en proceso de decaimiento en su salud (Guadarrama-Brito y Fernández, 2015).

Figura 46. Ruta de alimentos derivados del ganado



Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 6

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A NIVEL MUNDIAL

Aunque las aguas residuales son parte crucial del ciclo de gestión del agua, su producción ha generado diversos efectos negativos en el planeta. A medida que aumenta su uso en las actividades humanas se aumenta la demanda total del agua, generando una gran carga contaminante en el mundo entero.

Esta continua formación ocasiona consecuencias inmediatas no solo en los ecosistemas acuáticos sino también en la aparición de enfermedades. Por esta razón, se han establecido sugerencias para la mejora de la situación, tomándolo como una fuente alternativa viable, cambiando su paradigma.

Debido a esta situación, se tomó la decisión de aplicar el sistema de las 3R, reciclaje, reutilización y recuperación con el objetivo de mejorar la situación actual. De esta manera, ya no se generarán problemas que afecten al medio ambiente, sino que a partir de esos problemas se podrían formar soluciones rentables y fiables, convirtiéndose en un proceso común y benéfico.

Figura 47. Aplicación de las 3R

Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

Beneficios que no solo se centran en la limpieza de estas aguas, sino también se destaca en la parte económica, en la medida de su enfoque en la protección de los recursos naturales y por lo tanto en su sostenibilidad.

Con el paso del tiempo, se establecieron soluciones y estrategias para mejorar esta problemática con el objetivo de afianzar el recurso para las generaciones futuras, debido a que no solo se afectarían las fuentes hídricas sino también todo el planeta. El agua es una fuente de vida que se encuentra en todo el mundo, por eso, en este capítulo se mencionará la manera como estas fuentes hídricas y la falta de tratamiento de aguas residuales han afectado distintos lugares (Morin, 2009).

6.1 Caso Europa

Se cree que Europa no presenta ningún problema de escasez de agua o de tensión hídrica debido a los ríos y lagos que se encuentran a su alrededor, pero no es así, pues, como en las demás regiones se presentan problemas por la falta de acceso a puntos hídricos, lo mismo pasa con Europa. También se ha visto aumento en la tensión hídrica y la escasez de agua debido al cambio climático.

Figura 48. Escasez de agua

Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

Aunque se aprecie abundancia de recursos en ciertas partes, en otras no es lo mismo, pues la disponibilidad y la actividad socioeconómica se encuentran distribuidas muy desigualmente, por lo que se puede evidenciar una mejor dispersión en algunas zonas que en otras. A lo largo de los últimos años, la demanda de agua en Europa ha aumentado por el crecimiento de la población.

Un estudio establecido por la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA) encontró que un tercio del territorio de la Unión Europea (UE) se encuentra expuesto a tensiones hídricas, pues en países como Grecia, Portugal y España ya se han presentado severos problemas de sequías, así también se han visto afectados Reino Unido y Alemania.

A pesar de todas estas dificultades, las mejoras con respecto a la gestión han progresado. Según estudios de caso recientes en un informe breve de la AEMA, se confirmó que las políticas establecidas para el mejoramiento del aprovechamiento de los recursos han animado a otros Estados a darle aplicación, es decir, en aquello relacionado con los precios del agua y a realizar campañas que sensibilicen la eficiencia del uso de dispositivos de ahorro de agua (AEMA, 2017).

6.1.1 Acceso al agua

Por cuenta de sus actividades, Europa consume anualmente 243.000 hectómetros cúbicos de agua; pero, aunque la mayoría de estas aguas son devueltas al medio ambiente, ya no se encuentran como estaban al principio, pues ya contienen contaminantes e impurezas.

La mayor parte del consumo de agua se da en la agricultura, aunque se ha mejorado la cantidad de agua consumida, todavía es el sector que más la utiliza, y representa el 50 % de su consumo total. Además, se espera que en los próximos años estos niveles puedan aumentar, debido a que cada vez es mayor la superficie de tierras agrícolas que deben ser regadas. Así, en la época de cultivos es cuando más agua se utiliza y, particularmente, en el caso de las frutas y hortalizas como las naranjas o aceitunas que necesitan de una gran cantidad de agua para su maduración.

Figura 49. Consumo del agua



Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

Gran parte del agua en Europa se utiliza como generador de energía debido a que se emplea principalmente como medio de enfriamiento en centrales nucleares y combustibles fósiles y esta representa el 28 % de su consumo anual. Asimismo, se usa para generar hidroelectricidad. La minería y la industria representan el 18 %, el consumo doméstico está cerca del 12 % con el suministro de un promedio de 144 litros de agua por persona al día (AEMA, 2018).

6.1.2 Acceso a saneamientos

Con el fin de conocer el saneamiento del agua en Europa, se realizó una reunión de las Partes del Protocolo sobre Agua y Salud en el que se concluyó que constituye un reto el acceso y el saneamiento adecuado del agua, por tanto, se establecieron cuatro claves para revertir esta situación:

- Crear y ejecutar una reforma sobre la gobernanza del agua.
- Reducir la desigualdad geográfica.
- Garantizar el acceso al agua potable y saneamiento a las comunidades vulnerables y marginadas.
- Mantener el agua potable y el saneamiento al alcance de todos.

6.1.3 Zonas críticas

A pesar de que la mayoría de los hogares con un promedio del 95 % de la Unión Europea, solo con abrir el grifo poseen agua, las altas olas de calor que se han presentado recientemente han evidenciado la escasez de agua y el aumento de sequías frecuentes. La Comisión Europea realizó un estudio cuantitativo para conocer cómo se han visto afectados por la escasez del agua, obteniendo una estimación de al menos 17 % del territorio y el 11 % de la población que se han visto afectados por la carencia de agua, además de los elevados costes para solventar las sequías. Además, según los últimos datos tomados por el Instituto de Recursos Mundiales, San Marino es el único país que presenta un elevado estrés hídrico.

En otro caso, Chipre, Grecia, España, Portugal e Italia son los países que se encuentran más afectados por la escasez de agua.

- Chipre: es uno de los países con mayor estrés hídrico en Europa con el 70 % de abastecimiento por desalinización de agua, proceso que se ha intentado cambiar por causa de la tecnología que se realiza, ya que la osmosis inversa es un proceso perjudicial para el medio ambiente.
- Grecia: la falta de mejoras en las infraestructuras y la gran cantidad de vertederos de residuos en las aguas han afectado la zona de Grecia, además de la llegada de extranjeros.
- Italia: las malas tuberías antiguas sin mantenimiento es una de las principales causas de la pérdida de agua y el aumento de la población genera una mayor demanda.

- España: presenta un alto grado de estrés hídrico por el turismo y la llegada de extranjeros. Por otro lado, la agricultura también ha generado un mayor uso de las fuentes hídricas.
- Portugal: este país tiene una escasez de agua media, pero se ha generado la preocupación por la presencia continua de sequías, lo que podría generar el consumo de las reservas de agua. Además, hay una falta de lluvias –ya que no son suficientes– este es otro problema que se presenta.

6.2 Caso en Asia

Tanto en la región del Pacífico como en la región del Asia, la competencia por los limitados recursos de agua dulce es un tema crítico, ya que las altas tasas de contaminación de agua han generado una disminución de su obtención, dificultando su acceso para las diversas actividades y necesidades humanas.

A lo largo de los años, el aumento de la población se ha convertido en un desafío para la región debido a la necesidad de creación de plantas de tratamiento de aguas residuales que faciliten la obtención de este recurso para la población (Fernández Inca y Quispe Machaca, 2021).

Figura 50. Falta de tratamiento del agua



Otro desafío es el sistema socioeconómico, la diferencia de estrato es una de las principales causas que afectan el acceso a fuentes de agua en tratamiento, evidenciándose en una investigación realizada por la Comisión Económica y Social de las Naciones Unidas para Asia y Pacífico (CESPAP), en el 2014, la cual estableció que para el 2009 el 30 % de la población urbana vivía en barrios marginales y menos de la mitad tenía acceso a estas fuentes de tratamiento (CESPAP, 2014).

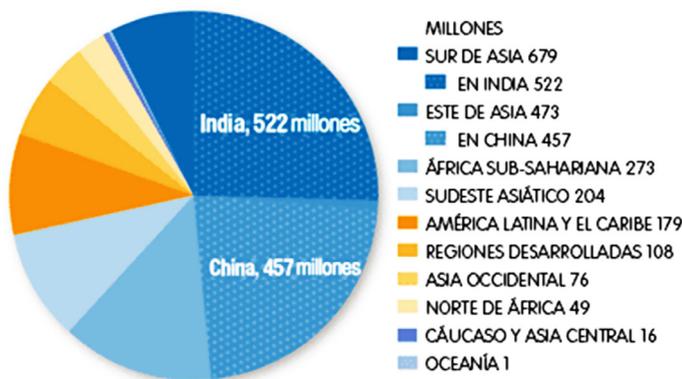
6.2.1 Acceso al agua

Debido a que China y la India representan el 46 % de la población mundial, presentan un mayor acceso a la fuente hídrica. Ante esto se han producido problemas debido a su densidad poblacional, la falta de puntos de entrada y la desigualdad socioeconómica. Al analizar las tendencias en su uso, se pudieron distinguir dos diferentes grupos:

El primero está conformado por Oceanía, Asia Meridional y Asia Sudoriental, en donde el uso de agua corriente en la vivienda es bajo, menos del 30 %, pero, aunque se han establecido nuevos sistemas para la solución de esta problemática, lo más destacado ha sido la utilización de otras fuentes mejoradas de agua.

Figura 51. Acceso al agua potable en Asia en millones de personas

Más de la mitad de los 2.000 millones de personas que han logrado acceso a agua potable desde 1990 viven en China o en India



Fuente: UNICEF y OMS (2012).

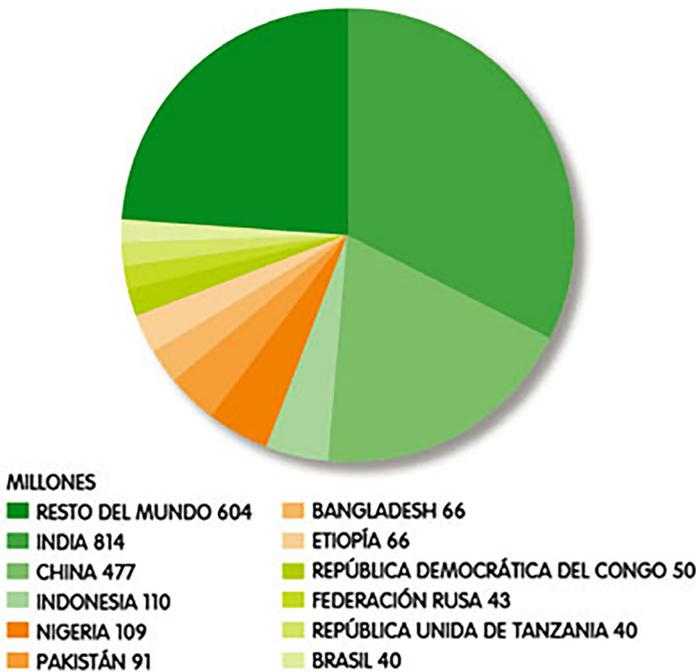
El segundo grupo está conformado por Asia Oriental y Asia Occidental. En el caso de China, se ha centrado en la utilización de fuentes mejoradas

de agua, representando un incremento del 23 %, que se ha destacado en comparación con otras regiones, sin embargo, a pesar de que en China e India se ha establecido este nuevo sistema de obtención de agua, todavía hay 216 millones de habitantes que no tienen acceso a estas fuentes mejoradas.

6.2.2 Acceso a saneamientos

Gran variedad de países pertenecientes a Asia no cumple con el objetivo de saneamiento establecido por los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Aunque se ha visto un progreso notable en la parte oriental en su aportación a la finalidad de la salubridad, no se puede hablar mucho de la parte meridional, pues el 41 % de la población utiliza zonas compartidas de saneamiento o defeca al aire libre.

Figura 52. Acceso al saneamiento en Asia en millones de personas



Fuente: UNICEF y OMS (2012).

6.2.3 Zonas críticas

La falta de acceso y tratamiento de las aguas o recursos hídricos presentan un panorama preocupante pues generan una amenaza para estas fuentes hidrológicas debido a la escasez de agua y saneamiento. Además del cambio climático y los desastres provocados por estas fuentes, afectan el poder para acceder a su protección. Algunas zonas afectadas se presentan a continuación:

- Pakistán: gran parte del país sufrió inundaciones causadas por el río Indo que afectaron viviendas y cultivos.
- Países del Sureste Asiático: a pesar de la inversión económica realizada para la conservación y tratamiento de puntos hídricos, el desarrollo social actual ha sido impedido por la ignorancia sobre los riesgos causados por los desastres naturales y la contaminación generada por el cambio climático.
- Punjab en la India y la llanura del norte de China: con la caída de la capa freática se han generado grandes impactos sobre la agricultura y la seguridad alimenticia, debido a que esta región es considerada el corazón granero de Asia.
- Los países ricos en agua: aunque poseen grandes cantidades de este recurso, Malasia, Indonesia, Bután y Papúa Nueva Guinea presentan problemas en los abastecimientos y tratamientos de agua que afectan a las poblaciones grandes, especialmente causados por los vertimientos de las aguas residuales en fuentes abiertas.

6.3 América del Norte

El agua es un recurso finito pero renovable, por tanto, es esencial para salvaguardar la vida y el desarrollo del medio ambiente. En América Latina, la distribución del recurso es muy variable debido a las diferencias de estratos socioeconómicos. A pesar de que contamos con abundancia de agua, existen varias zonas en las que no se cuenta con este acceso.

El agua es una fuente muy importante tanto para la vida humana y biológica como para la sustentación del planeta. La falta del cuidado del agua puede afectar a toda una población provocando enfermedades infecciosas, presencia de sustancias tóxicas, la eutrofización, entre otros.

6.3.1 Acceso al agua

La desigualdad económica y geográfica es una de las principales causas de la falta de acceso al agua para un gran porcentaje de la población y particularmente las zonas rurales en donde el acceso a puntos hídricos es más limitado y no tienen servicios básicos de agua potable.

Figura 53. Desigualdades económicas



Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

Aunque en Canadá se cuenta con una buena infraestructura para la distribución de agua potable y la recolección de las aguas residuales se presentan inconvenientes por los climas extremos y la distancia de las comunidades indígenas y las rurales. En Canadá, el 69 % de las extracciones de aguas subterráneas son utilizadas en la industria y solo el 12 % es dado para la agricultura.

En México las extracciones de agua potable son utilizadas en un 77 % para la agricultura y solo un 6 % para la industria.

No todas las extracciones de agua se utilizan para las mismas actividades. La agricultura es la que gasta mayor cantidad y solo una pequeña parte es devuelta luego de su uso o es empleada para el riego. Por tanto, los usos

en la industria son mejores debido a que se aplica un sistema de reciclaje internamente.

Como se explicó anteriormente, el crecimiento de la población ha provocado una mayor demanda del uso o acceso al agua potable, y más cuando son potencias mundiales. En EE. UU. a pesar de que se aumentó la población, las extracciones de agua se han mantenido constantes. No obstante, en Canadá a pesar de que también se ha aumentado la población, las extracciones de agua no han dejado de subir su porcentaje, lo mismo sucede con México (Robles *et al.*, 2011).

6.3.2 Acceso al saneamiento

El saneamiento en Norteamérica se hace a través de diferentes tecnologías de acuerdo con las circunstancias locales. EE. UU. es considerado un país con un buen saneamiento, pero, en realidad, se encuentra en una crisis invisible. Según la *BBC News Mundo*, más de medio millón de hogares estadounidenses tienen instalaciones inadecuadas, defectuosas o inexistentes, ya sea por su identidad socioeconómica, racial, étnica o indígena.

Las comunidades indígenas canadienses sufren por la contaminación a través de las cisternas debido a su contaminación fácilmente por el suelo, aguas subterráneas y roedores. Por esto, se requiere una limpieza regular, pero por la falta de presupuesto esto no se realiza.

La crisis por la falta de saneamientos es evidente en las escuelas, pues al no contar con agua potable todos los días de la semana y no tener los suficientes inodoros, esto genera que los niños defequen al aire libre o no vayan a las escuelas. Además, el 40 % de los baños escolares no se encuentran en condiciones adecuadas.

Por otro parte, el carecer de acceso a agua potable origina que los niños consuman bebidas azucaradas lo que podría causar el sobrepeso y enfermedades como la diabetes.

6.3.3 Cuestión ambiental

Los patrones de agua se ven afectados por el cambio climático, pues un ejemplo es la precipitación pluvial y la sequía porque con los cambios en la temperatura superficial del mar se ocasionan fenómenos como El Niño y La

Niña. Estos cambios climáticos podrían generar más sequías en ciertas áreas y mayores inundaciones en otras, siendo difícil controlar los tratamientos de las fuentes hídricas y esto afecta su disponibilidad.

Otra causa son los contaminantes ya sea por sedimentos, nutrientes o químicos tóxicos, lo que genera que sea difícil su cuidado, pues a medida que el suelo se empieza a utilizar de manera urbana se aumenta la contaminación, por lo tanto, se requiere la creación de plantas de tratamiento que garanticen el agua potable que necesita la población para satisfacer sus necesidades humanas diarias.

6.4 América Latina

En Latinoamérica, la mayoría de las corrientes son receptoras de aguas sucias o aguas negras, es decir, que no reciben tratamientos y esto crea riesgos para la salud humana y animal, además de la afectación ecológica.

Como se explicó anteriormente, el aumento de la población es la causante de la creciente demanda del agua. El crecimiento de suburbios, donde la pobreza es la protagonista, es uno de los impedimentos para solucionar los problemas con respecto al acceso a las fuentes hídricas como es la alta contaminación y la falta de infraestructuras para su tratamiento.

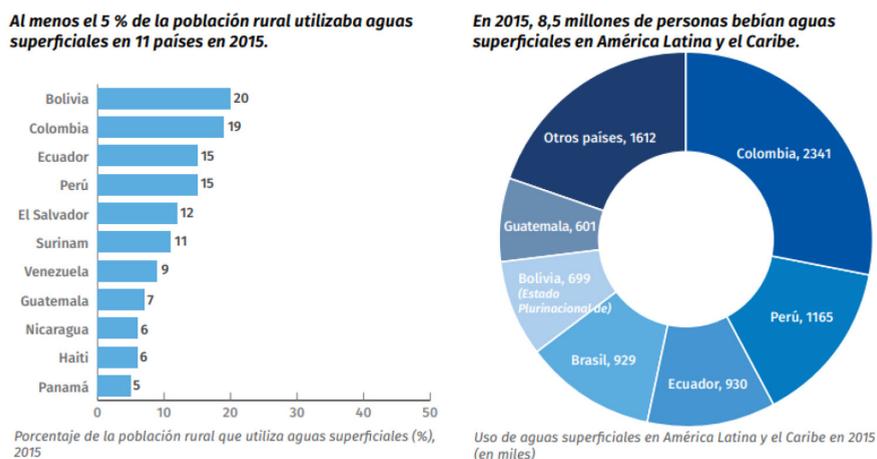
El caso de Bolivia, lugar donde se dio la guerra del agua por la privatización y el aumento del coste por este indispensable recurso para las necesidades humanas, privando de uno los derechos humanos al no tener acceso a un recurso que nos otorga el planeta, la gran desigualdad y la falta de interés por afectar a terceros son casos que se presentan muy frecuentemente en América Latina.

6.4.1 Acceso al agua

Latinoamérica es el continente que tiene mayor disponibilidad de fuentes hidrológicas. Muchos de sus habitantes cuentan con la disponibilidad del recurso dependiendo de la superficie y la densidad poblacional, pero la disponibilidad no significa que haya un acceso a ella, pues esta no se encuentra a disposición de toda la población. Lo cual se ve reflejado en la cobertura de servicios sanitarios, pues solo la mitad de la población cuenta con acceso a ellos.

La falta de fuentes de agua potable, saneamiento básico y seguro es uno de los problemas más comunes en América Latina. La desigualdad para el acceso a estas fuentes y la falta de mantenimiento de las infraestructuras que se encargan de limpiar las aguas son las causas de la utilización de aguas sucias o con altos niveles contaminantes o también el beber de aguas superficiales. Países como Perú, El Salvador y México presentan el llamado estrés hídrico (Cely-Calixto, 2020).

Figura 54. Acceso al agua potable en América Latina



Fuente: UNICEF (2015).

El Perú es un país con alta tasa de disponibilidad de agua potable, pero la accesibilidad se torna difícil y es mayor el costo para su acceso por tener sus asentamientos urbanos y actividades económicas en zonas desérticas.

En México, el problema de disponibilidad del agua se debe principalmente a la creciente población, especialmente en su región central donde se llevan a cabo la mayoría de las actividades socioeconómicas y se encuentra la quinta parte de los habitantes. Por esta razón, la sexta parte de los acuíferos se encuentran sobreexplotados, además de la demanda generada por los centros urbanos, lo que ocasionó la importación de aguas de otras regiones.

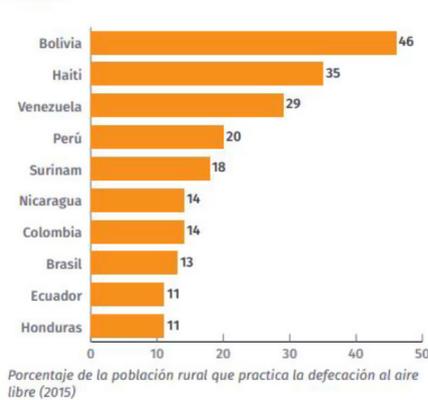
El Salvador tiene problemas de acceso al agua debido a su deforestación y la baja cobertura que presenta. La cuenca trinacional del río en la cual el elevado nivel de deforestación ha incidido en el estrés hídrico que padece el país.

6.4.2 Acceso a saneamientos

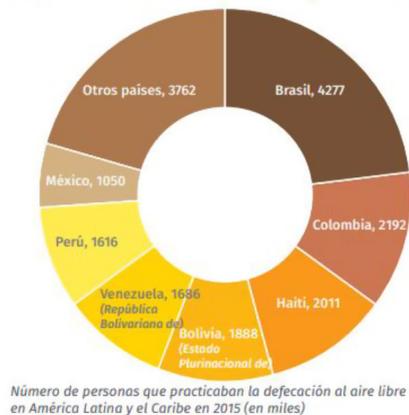
En América Latina, el 83 % de los habitantes utilizaba las instalaciones de saneamientos mejoradas en el 2015, pero a pesar de esto más de 18 millones de habitantes todavía practicaba la defecación al aire libre. Los sistemas desarrollados para el desempeño del agua y saneamiento se podrían afectar por sucesos como los sismos, volcanes o inundaciones. Es el caso de Ciudad de México o Santiago de Chile donde hay presencia continua de sismos por estar ubicadas en zonas de fallas y esto produce la ruptura del suelo y bloqueos.

Figura 55. Acceso al saneamiento en América Latina

Al menos uno de cada diez habitantes de zonas rurales practicaba la defecación al aire libre en diez países en 2015.



En 2015, 18 millones de personas practicaban la defecación al aire libre en América Latina y el Caribe.



Fuente: UNICEF (2015).

Tal es el caso de México en donde el terremoto ocurrido en septiembre de 2017 dejó a muchos habitantes sin abastecimiento de agua, lo cual fue mejorando con el tiempo, sin embargo, todavía existían habitantes sin acceso a los suministros. Otros eventos son las inundaciones debido a que estas afectan gravemente las infraestructuras, además de los huracanes y ciclones.

Las zonas rurales de América Latina y el Caribe han presentado numerosos incrementos en la cobertura del agua potable en comparación con años anteriores, aunque esto solo se ha podido presenciar en la parte de América del Sur, ya que, en las zonas rurales de América Central y México las mejoras todavía se consideran bajas.

La desigualdad económica sigue siendo un factor común que afecta el acceso a zonas de tratamiento de agua potable y zonas de saneamiento, evidenciando una gran diferencia entre la clase baja y la clase alta.

6.4.3 Zonas críticas

La falta de centros o instalaciones para realizar las principales necesidades básicas de un ser humano es uno de los temas más preocupantes en América Latina debido a la falta de acceso a zonas de agua potable. Esta situación afecta la economía de la población pues algunos países tienen que importar el agua potable de otras regiones o almacenarla. Los países con el menor acceso a agua potable, convirtiéndose en las zonas más críticas, son:

- Haití: la mayoría de la población depende de arroyos, ríos y manantiales para satisfacer sus necesidades diarias, fuentes que se encuentran expuestas a bacterias y contaminantes debido a que son atravesadas, ya sea caminando o con automóviles. Además, son utilizadas para lavar la ropa, bañarse, entre otros usos, y solo el 64,5 % posee acceso a estas fuentes de agua potable, cifras obtenidas por un estudio de la UNICEF, Gobierno de Haití.
- República Dominicana: seis de cada diez hogares recurren a tanques, cisternas o bombas con el propósito de almacenar agua potable necesaria para sus necesidades humanas diarias. Es conocido como el país del agua embotellada, ya que la mayoría tiene que comprar el agua que necesitan en su hogar, lo que ha generado un gran impacto en sus bolsillos y especialmente para las personas de bajos recursos, ya que lo poco que ganan, en un gran porcentaje es para adquirir agua embotellada de empresas privadas.

Figura 56. Tanques de agua



Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

- Nicaragua: la capacidad de recarga de las fuentes y acuíferos son afectadas por la deforestación y el uso masivo del suelo. La repartición desigual y la falta de mantenimiento de las infraestructuras, además del uso innecesario de los recursos hídricos son otros factores que han llevado a la disminución de su disponibilidad.
- Perú: a pesar de que gran parte de la población presenta disponibilidad de abastecimientos, estos presentan limitaciones y no se encuentran en los mejores estados de tratamientos.
- Bolivia: este país presenta la tasa de defecación al aire libre más alta en comparación con otros países, debido, entre otras causas, a la falta de instalaciones de saneamiento en escuelas. Esto ocasiona que los niños no asistan a las escuelas, especialmente cuando las niñas tienen la menstruación y no hay la disponibilidad de instalaciones para su higiene. Además, persiste la falta de educación que lleve a cambiar este comportamiento y a disminuir los niveles de defecación al aire libre

CAPÍTULO 7

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN COLOMBIA

El concepto de aguas residuales se refiere a las que son resultado del suministro de líquido a la población, ya que han pasado por procesos como actividades domésticas, procesos industriales, etc. Se origina a partir de la mezcla de líquido y sedimentos sólidos que traslada el agua que sale de las casas, oficinas, edificios, centros comerciales, restaurantes, actividades agrícolas, aguas subterráneas, industrias y precipitación (Alomía Quintero, 2019).

Figura 57. Contaminación del agua y el aire por efecto de la industria

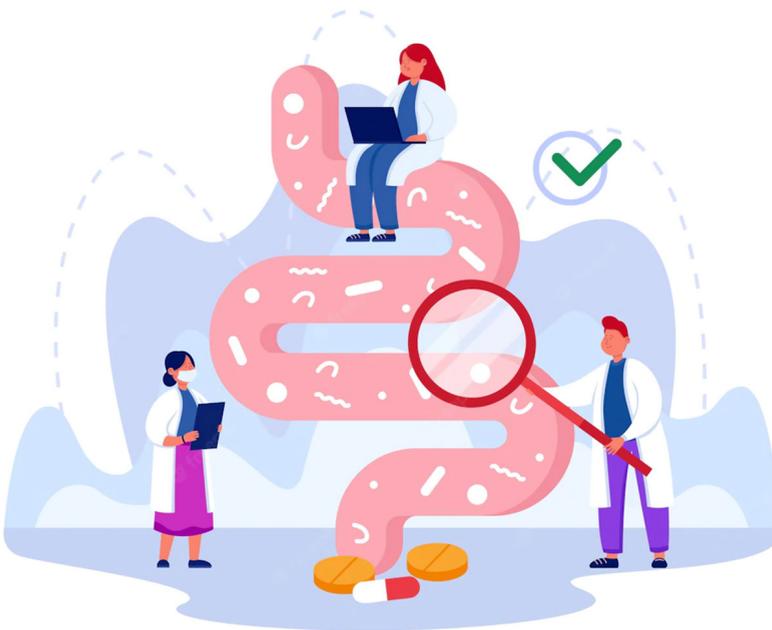


Como se mencionó anteriormente, el pozo séptico fue el primer sistema de tratamiento de aguas residuales. Con el paso del tiempo, se le fueron haciendo mejoras: en 1887, Talbot de Urbana le añadió baffles al pozo séptico. En 1905, el ingeniero alemán Karl Imhoff separó los dos ciclos del proceso que dio como resultado la sedimentación y digestión de lodos. En Colombia, la primera planta de tratamiento de aguas residuales PTAR fue construida en Vitelma, zona de Bogotá en 1993 (Lizarazo Becerra y Orjuela Gutiérrez, 2013).

7.1 Administración de las aguas residuales y el Gobierno Nacional

Durante muchos años el Gobierno y la ciudadanía han dado un mal uso a las aguas residuales, ignorando los beneficios que puede traer y generándola sin criterio alguno. Estas aguas son usadas para regar cultivos, proceso en el cual se genera una gran contaminación que ayuda a la reproducción de enfermedades de tipo gastrointestinal, ya que muchas veces, estas aguas están bastante contaminadas o con un proceso de tratamiento ineficiente.

Figura 58. Enfermedades gastrointestinales



Puesto que los agricultores son los encargados de suministrar a la población alimentos como frutas, verduras y hortalizas, el Gobierno Nacional ha creado decretos donde se establecen límites del vertimiento de sustancias de índole sanitaria y ambiental, los estudios sobre el nivel de incidencia en el medioambiente y los procesos sanitarios.

Lo anterior sugiere la necesidad de realizar una inversión económica para crear programas de generación de derechos, almacenamiento de basuras y tratamientos de aguas residuales completos y eficaces. Con esto se podrán encontrar e impulsar soluciones a las sequías que se presentan no solo por las inclemencias del clima, sino también por la irresponsabilidad de la sociedad, además de aminorar en el largo plazo las enfermedades gastrointestinales por la contaminación que reciben con los alimentos (Reynolds, 2001).

Figura 59. Inversión económica



Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

En América Latina, los sistemas de tratamiento de aguas residuales no cumplen con los requerimientos para la conservación del medio ambiente debido a las grandes cantidades de agua contaminada y por la falta de infraestructura. En Colombia existen 1122 municipios de los cuales solo 541 cuentan con algún tipo de tratamiento de sus aguas residuales. Dentro

de estos se destacan 137 en Cundinamarca, 90 en Antioquia, 39 en Boyacá, 37 en el Cauca y 36 en el Tolima (La República, 2018).

7.2 Gestión y seguimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

Debido a la inadecuada gestión, tratamiento y distribución de las aguas residuales generadas en actividades agrícolas, industria y domésticas, se han incrementado los problemas de salud pública y la deficiente condición en que las comunidades reciben el agua en varias zonas del país. Esto en el largo plazo se ha vuelto insostenible y las máquinas receptoras no tienen la capacidad para procesar estos contaminantes, lo que da como resultado un líquido en malas condiciones y un incremento económico en el tratamiento.

Figura 60. Problemas de salud pública



Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

Por esta razón, el Gobierno Nacional ha iniciado la ejecución de planes para aumentar la capacidad de saneamiento básico y reducir los efectos que inciden en el medio ambiente. Estos planes incluyen el uso de estrategias y recursos como:

La política de agua potable y saneamiento básico que tiene como finalidad aumentar la cobertura del alcantarillado y el acueducto, la política ambiental que se encarga de los avances económicos como la tasa retributiva y la programación de reuniones entre los ministerios.

7.2.1 Justificación del proyecto y definición del alcance

Los sistemas de tratamiento de agua residual deben argumentar y evidenciar el hallazgo de un problema de salubridad, medioambiental o de bienestar social, el cual se soluciona realizando el proceso propuesto. Cabe resaltar que el proyecto propuesto debe cumplir con los criterios plasmados en la Resolución 0330 de 2017.

A partir de la justificación y el alcance del proyecto, se debe definir el marco institucional. Para esto, el diseñador debe tener conocimiento de los entes que prestan servicios públicos, las funciones y obligaciones de cada uno. Los aspectos y entes a tener en cuenta son:

- Acciones proyectadas de la comunidad en el sistema
- Autoridad ambiental competente (Ministerio del Medio Ambiente, corporaciones autónomas regionales, etc.)
- Constructor
- Diseñador
- Empresa de servicios públicos (oficial, mixta o privada)
- Ente responsable del proyecto
- Entes reguladores
- Entes territoriales competentes
- Entidad de vigilancia y control
- Entidades de planeación
- Fuentes de financiación
- Interventor
- Operador
- Papel que cumple el municipio como prestador de servicios o director del sistema

El rol de diseñador implica tener conocimiento de las leyes, normativas, resoluciones y decretos que se relacionan con el diseño, construcción,

cuidados, supervisión y funcionalidad del sistema de acueducto y cada uno de sus componentes. Además, deben tomarse todas las medidas legales necesarias para garantizar el adecuado desarrollo de los proyectos de alcantarillado y el tratamiento de las aguas residuales o todos sus componentes.

Es importante la presentación de un estudio sobre la incidencia que generará sobre el medio ambiente cada fase de la construcción y operación del proyecto. El estudio debe contener los aspectos negativos y positivos con una descripción de la construcción y de la solución para minimizar los efectos que repercutirán en el estado del medio ambiente por parte del proyecto.

Cualquier proyecto de tratamiento de aguas residuales debe contener un estudio de factibilidad y cada etapa del diseño de la planta de tratamiento debe cumplir con las normativas mínimas de diseño estipuladas para este tipo de estructuras. El diseño debe ser evaluado bajo un contexto socioeconómico y estar apoyado por un plan de construcción y cuidados.

Figura 61. Análisis y estudios



Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

Se debe resaltar que al planear y construir una planta de tratamiento de aguas residuales se debe comprobar su eficacia en la descontaminación y su efectividad (Lizarazo Becerra y Orjuela Gutiérrez, 2013).

7.3 Aspectos socioeconómicos y ambientales

Las descargas de las aguas residuales municipales son uno de los mayores contaminantes del medio ambiente debido a que la población en el casco urbano ha incrementado significativamente por la situación económica, social y de orden público.

Ciertamente, son pocos los sistemas que en materia de funcionalidad cumplen con los requisitos estipulados. El mantenimiento de estas obras, el correcto funcionamiento de las instalaciones y el proceso de descontaminación en los municipios colombianos presentan inconvenientes, y las principales causas son:

- Falta de conocimiento sobre los protocolos para operar y mantener en buen estado el sistema: por incumplimiento de las resoluciones, los prestadores no ponen en práctica los manuales requeridos y no conocen los caudales del diseño.
- No se realiza un control, seguimiento ni evaluación de los procesos, no se hace una clasificación del agua, un control de medida del caudal entrante y saliente, y no se plasman en documentos los procesos desarrollados durante el tratamiento.
- Inexistencia de programas de control de vectores y manejo de lodos.
- No se realiza el seguimiento del cumplimiento de los requisitos y permisos de vertimientos y en los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos en torno a la descarga y salida de aguas residuales tratadas.

CAPÍTULO 8

MEJORAS EN LA RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El alcantarillado es muy importante como medio de transporte para alejar los desechos de los seres humanos y las actividades comerciales. Aunque existen otros métodos de saneamiento que protegen más al medio ambiente como el sistema *in situ* que es usado y es indicado para las zonas rurales o lugares con poca población, pero su costo es bastante elevado y su gestión más complicada si se quiere aplicar al área urbana, ya que es una zona altamente poblada (Cely-Calixto, Bonilla-Granados y Gallardo-Amaya, 2021).

Figura 62. Contaminación del agua

Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

Un buen sistema de recolección de aguas residuales debe tener las siguientes características:

- Poseer espacio suficiente para el líquido. Con esto se espera que se pueda trabajar con volúmenes medianos y grandes de agua de manera segura para que el transporte de residuos sea más rápido y eficaz.
- Poseer buena resistencia. Los conductos deben ser capaces de soportar determinado esfuerzo; por lo tanto, debe estar construido con un material fuerte.
- Poseer una profundidad adecuada. Se necesita una profundidad idónea para que la conexión de descargas domiciliarias ocurra de forma efectiva y que no se genere una rotura por cargas vivas.
- Poseer la capacidad para una fácil revisión y limpieza. Deben poseer estas características ya que con el paso de estas aguas diariamente quedan materias suspendidas aglutinadas en las paredes del tubo.

8.1 Tipos de alcantarillas

Las alcantarillas son canales de drenaje de corta distancia que se encuentran en las intersecciones de una cadena natural (ríos, quebradas) de drenaje con

una red de transporte (carreteras, vías de ferrocarril). Están capacitadas para trabajar bajo diversos flujos. El flujo de las alcantarillas se rige bajo las siguientes condiciones:

- El tamaño y la forma de la sección transversal
- La pendiente de fondo
- La longitud del conducto
- La rugosidad
- Las características de la entrada y de la salida.

Los principales tipos de alcantarillas se pueden clasificar de la siguiente manera:

8.1.1 Redes unitarias

Reciben el nombre de redes unitarias aquellas que están compuestas de un solo conducto por el cual se evacuan las múltiples aguas residuales de cualquier tipo, incluyendo las generadas por precipitación.

Una particularidad de las redes unitarias es que están relacionadas con los componentes de regulación de caudal, tanques de tormenta y tanques de tormenta de bombeo incorporados. Del mismo modo, otra particularidad es la variabilidad del caudal.

Estas redes generan un beneficio económico ya que se debe instalar un solo conducto y el mantenimiento de estas es más económico en comparación con otras redes. De igual manera, las aguas pluviales que pasan por este tipo de canal también cumplen la función de limpiar tuberías, ya que se llevan la suciedad que hay en las alcantarillas (Cely-Calixto *et al.*, 2020).

Por otra parte, cuentan con una buena amplitud en su tamaño en comparación con otras redes, lo que ayuda a que se ventile y por tanto la corrosión por sulfhídrico es menor.

También existen desventajas en torno al funcionamiento de las redes unitarias en comparación con otras redes. A continuación, se destacan las siguientes:

- No pueden tomar los caudales de aguas pluviales y además deben ser separadas antes de llegar a la planta de tratamiento, lo que retrasa el saneamiento urbano.

- Debido a que no pueden tomar las aguas pluviales, se deben construir aliviaderos.
- Hay aumento del riesgo de aparición de productos tóxicos en las aguas residuales, ya que las aguas llegan a los aliviaderos muy contaminadas y llevan consigo múltiples objetos, hidrocarburos y partículas metálicas.

8.1.2 Redes separativas

Reciben el nombre de separativas porque a través de dos conductos diferentes transportan las aguas pluviales y residuales. Es un sistema que contiene dos tuberías: en una se recaudan las aguas residuales de las casas y va hacia PTAR municipales; mientras que las tuberías que transportan las aguas pluviales, generalmente son las que se vierten en los cauces de las diferentes fuentes hídricas con la finalidad de evitar daños materiales.

Existen dos tipos de redes separativas, a continuación, se dará una descripción de cada una:

- **Redes pseudo-separativas**

Estas redes se encuentran en el centro del camino de las redes unitarias y separadas. Su función es separar mediante conductos las aguas residuales y las pluviales, pero no las aguas de viviendas e industrias.

Este sistema se pone en práctica cuando no se garantiza una separación de aguas residuales por daños en la red, por tanto, no permite que el agua salga hacia la calzada o se rebose en los edificios.

- **Redes doblemente separativas**

Las doble separativas son aquellas que tienen una red para las aguas residuales domésticas, otro para las industriales y otra para las pluviales. Se usan cuando los vertidos industriales no pueden depurar otro tipo de aguas residuales, depurando estas en otro lado (Hidrotec, s.f.).

8.2 Alcantarillas económicas

Se han diseñado nuevos sistemas de alcantarillado por un menor valor económico debido a los altos costos de los tradicionales y para dar solución a los problemas que presentan muchos países en vía de desarrollo como la tasa alta de pobreza, presupuestos insuficientes e infraestructura no apta.

Existen muchas alcantarillas de bajo costo, pero generalmente se usan con un diámetro más pequeño, puestas en pendientes bajas y a menos profundidad. La construcción de este tipo de alcantarillado se rige bajo las normas de las redes de alcantarillado tradicional.

Estas alcantarillas primero transportan las aguas sin ningún tipo de sólido y tienen unas cajas interceptoras que toman las aguas residuales de las viviendas. Este tipo de sistema sirve para la organización comunitaria y para ampliar o remodelar los sistemas actuales. Aquí cabe aclarar que una de sus desventajas es que no drena las aguas pluviales.

Los sistemas de alcantarillado de bajo costo son el sistema preferido en los barrios ya que se convierten en un modelo factible estándar de todas las redes de alcantarillado, pero debido al conservadurismo y los problemas de salud pública, solo se usa en casos específicos.

- **Sistema de tratamiento centralizado**

Los sistemas centralizados son aquellos que recolectan aguas residuales mediante alcantarillado y van a una planta de tratamiento ubicada afuera de la ciudad. Se caracteriza por ser un sistema dispendioso en el contexto constructivo y operacional en una ciudad con poca población.

- **Nuevas tecnologías de recolección y tratamiento**

Los tratamientos tradicionales de aguas residuales se enfrentan a una modernización y traen consigo la identificación de nuevos contaminantes que nacen por las múltiples actividades industriales, ya que por el crecimiento de la población es que se ha dado que los sistemas actuales no son eficaces, creando nuevas posibilidades a la investigación y venta de nuevas tecnologías que prometen tratamientos efectivos y seguros.

Para hacer frente a esta situación, los investigadores proponen usar diferentes tecnologías para detectar y tratar nuevos contaminantes que con los métodos comunes no es posible, entre ellos están el sistema de membranas de filtración, implementación de nanotecnología, tecnología de filtración variable automática (AVF) y pilas de combustible microbianas (Arley, 2021).

CAPÍTULO 9

REUTILIZACIÓN DEL AGUA COMO FUENTE DE RECURSOS HÍDRICOS

Son muchos los casos en que los recursos hídricos que tiene una región son escasos. Hay un gran número de países que tienen una alta demanda de agua para su uso energético, industrial y doméstico, pero no cuentan con fuentes suficientes para satisfacer estas necesidades, lo que nos impulsa a buscar otras fuentes potenciales de agua. Dentro del desarrollo de industrias sostenibles abordado anteriormente se encuentra la reutilización del agua, aspecto relevante en la búsqueda de nuevas fuentes alternativas de agua.

La reutilización del agua como fuente hídrica es un modelo sostenible en cuestiones ambientales, económicas y de salubridad el cual se basa en priorizar la conservación, utilización sostenible y protección del agua. Esta metodología de reutilización se ha comenzado a implementar en muchos países que no cuentan con los suficientes recursos hídricos y, por tanto, incrementan el uso de aguas previamente utilizadas en actividades que no requieren de estándares de calidad elevados, liberando así mayores volúmenes de agua de mejor calidad para otras actividades (Mujeriego y de Murcia, 2006).

9.1 Beneficios de la reutilización del agua

El agua es fuente de biodiversidad y recurso básico en la sociedad moderna, por tanto, muchas industrias optan por optimizar este recurso para generar mayor productividad, reducir los costos y aumentar el número de ciclos que se le puede dar a la misma con el fin de obtener beneficios ambientales y económicos.

La materia prima que se produce en las industrias tiene un alto requerimiento de agua para su elaboración, por esto y a partir de que el agua es un recurso finito, se implementa la reutilización del agua. Este sistema genera los siguientes beneficios:

- Reducción de la demanda: la reutilización del agua reduce significativamente la demanda de agua dulce para procesos industriales. Debido a que el sector agrícola es uno de los mayores consumidores, el agua tratada se puede utilizar en actividades que no requieren de estándares de calidad elevados, tales como el riego de cultivos, el riego de césped, limpieza y lavado de lugares públicos, etc.
- Mayor rentabilidad: hay dos aspectos que producen rentabilidad en las empresas los cuales son importantes para el tratamiento y reutilización del agua:
 - » El agua que se reutiliza elimina costos, cuando se requiere de agua limpia, la normativa determina que las aguas industriales deben ser tratadas antes de volver a su cauce, por esta razón es una obligación hacer la respectiva purificación, y una manera de generar rentabilidad es utilizando de nuevo el agua que se ha depurado.
 - » Las empresas que depuran las aguas residuales antes de regresarlas al medio ambiente evitan estar sujetos a costosas sanciones ambientales por contaminación e incumplimiento de la normativa.

Figura 63. Rentabilidad económica

Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

- Eliminación del transporte de agua: construir sistemas de distribución de agua hacia las zonas industriales es un gasto económico y energético que las empresas se pueden ahorrar con la reutilización del agua, muchas zonas industriales están alejadas de las zonas urbanas y el acceso al agua limpia es complejo debido a que las fuentes de agua están retiradas. En todas aquellas empresas que se hace uso intensivo y continuo del agua, el reciclaje del agua para reducir costos y tiempo de transporte es una estrategia sostenible e inteligente.

Figura 64. Tuberías de concreto convencionales



Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

- Reducción del impacto ambiental: en este caso, el impacto ambiental es poco o nulo debido a la poca cantidad de aguas que son vertidas de nuevo en su cauce natural; esto es algo novedoso comparado con los sistemas de utilización de agua convencionales que arrojan inmensas cantidades de aguas residuales en los ecosistemas generando un alto impacto negativo.

Disminuir el porcentaje de aguas residuales que se introducen en el medio ambiente es finalmente uno de los objetivos de la reutilización del agua; como es evidente, este hecho salvaguarda las relaciones bióticas en el medio, de modo que la flora y fauna no se ven totalmente afectadas por los residuos tóxicos y peligrosos que contienen estas mismas (Melgarejo, 2009; Melián-Navarro, 2016; Mujeriego, 2015).

Figura 65. Río sin contaminación

Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

9.2 Recuperación de residuos sólidos

Manejar residuos sólidos es un factor que implica una problemática de contaminación debido a los altos contenidos de sólidos orgánicos e inorgánicos en las aguas. Muchos de los procedimientos que se realizan en las plantas de tratamiento no hacen un manejo adecuado de los residuos sólidos, puesto que estos son iguales o más tóxicos que las aguas residuales.

La recuperación de sólidos abarca cualquier actividad sobre la cual se puede dar un aprovechamiento parcial o total de los residuos generados por la acción industrial; lo más común en el manejo de residuos sólidos es recolectarlos o extraerlos de los procesos que los generan, caracterizarlos según el tipo de residuo (orgánico e inorgánico) y, posteriormente, trasladarlos a su depósito final que en su mayoría son los botaderos o basureros municipales destinados para el vertedero de residuos sólidos.

La disposición de residuos sólidos en terrenos provoca la inhabilitación agrícola, industrial o residencial de los suelos. El alto contenido de toxicidad presente en los desperdicios sólidos produce efectos de deterioro y pérdida de las propiedades características, esto junto con las aguas residuales es

una agresión contra el medio ambiente. Paralelamente, la reutilización de residuos sólidos se trata de una fuente de energía sostenible que toma esta materia prima como base para la elaboración de nuevos productos.

9.2.1 Reciclaje de material inorgánico

La recuperación de material sólido se fundamenta en las actividades de reciclaje que constan de recolectar los materiales residuales y transformarlos para convertirlos en nuevos productos. El reciclaje disminuye la demanda de nuevas materias primas que en su mayoría son recursos naturales, por tanto, el gasto energético para producir cualquier artículo se reduce significativamente (Careaga, 1993; Castells, 2012; Vera-Ibarra, 2018).

El reciclaje de residuos sólidos inorgánicos según el tipo de material puede ser clasificado como:

- Reciclaje de plástico: es uno de los materiales inorgánicos que más tarda en descomponerse, pues puede tardarse hasta cientos de años en desintegrarse; no obstante, si el plástico está enterrado, el tiempo puede aumentar significativamente. El reciclaje de plástico puede ser mecánico o químico.
 - » El tratamiento físico se basa en triturarlo, lavarlo y empacarlo para su reutilización en nuevos productos.
 - » El tratamiento químico se fundamenta en desintegrar el material en moléculas pequeñas para así volver a darle un ciclo de vida al plástico de acuerdo con los nuevos productos que se vayan a desarrollar.
- Reciclaje de vidrio: es un material altamente reutilizable que no pierde sus propiedades características, por ello, su reciclado es sumamente fácil y puede realizarse tantas veces como sea necesario.
 - » El vidrio se recoge y se traslada a las fábricas de reciclaje.
 - » Se separa según su color, posteriormente se retiran todos los materiales diferentes al vidrio, tales como plásticos y etiquetas.
 - » Finalmente, se muele hasta obtener un polvo que se calienta a altas temperaturas donde se añade piedra caliza y arena.

- Reciclaje de papel y cartón: es muy similar al plástico y al vidrio, se divide en:
 - » Recolección y traslado hacia las plantas de reciclaje.
 - » Clasificación según el tipo de papel y eliminación de materiales ajenos al papel.
 - » Extracción de fibras, centrifugado y extracción de colorantes.
 - » Lavado y blanqueo del papel.
- Reciclaje de material textil: el reciclado de ropa o calzado se realiza con el fin de producir nuevas telas o mantas que en su mayoría son elaboradas a partir del algodón.

El proceso de reciclaje del material textil es el siguiente:

- » Clasificación según el tipo de tela o materia prima.
 - » Deshilado de las prendas.
 - » Sustracción de fibras para su limpieza.
 - » Compresión del material para su posterior tejedura y uso en la producción de nuevos artículos textiles.
- Reciclaje de metales: los metales presentes en los residuos pueden ser férreos o no; el reciclaje de los metales se realiza por procesos físicos tales como:
 - » Recolección y clasificación según el tipo de metal y sus características.
 - » Fragmentación y compactación en porciones más pequeñas y manejables.
 - » Fundición y formación de lingotes.
 - » Distribución a las industrias metaleras que hagan uso de los materiales reciclados.

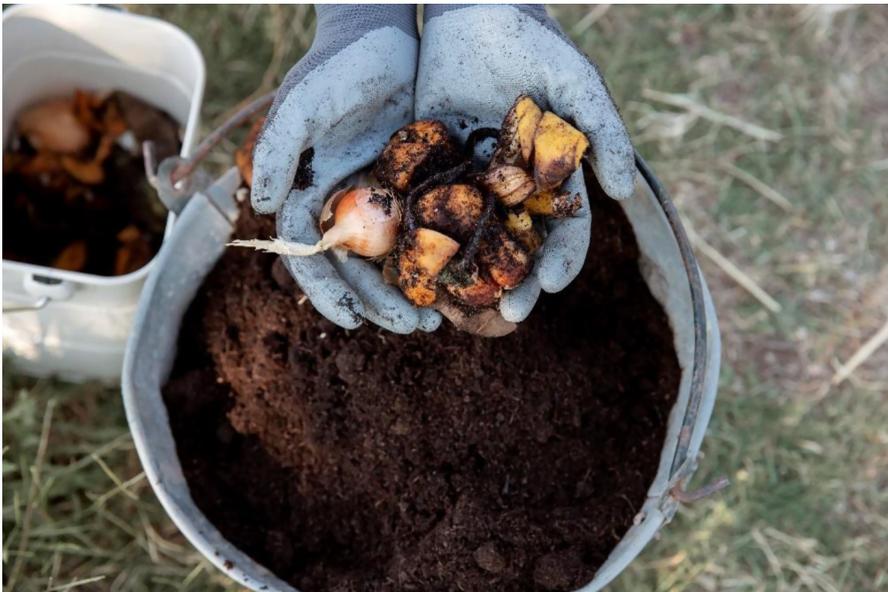
9.2.2 Reciclaje de material orgánico

El uso de material orgánico como fuente de energía se llama biomasa, esta puede ser de origen animal o vegetal. Los residuos biodegradables que antes arrojábamos tranquilamente a la tierra ahora pueden ser fuente de abono y fertilizantes para el medio ambiente. Por ejemplo, todos los residuos

compuestos por frutas, carnes, pescados, cáscaras, etc., pueden reintegrarse a la naturaleza en forma de compost.

El compostaje consiste en la descomposición por medios biológicos de los restos orgánicos ya mencionados. Esto se realiza con la presencia de oxígeno, es decir, es un proceso aeróbico el cual genera energía calórica de origen biológico y tiene como fin la estabilización del material orgánico para que así se pueda reintegrar a los suelos y sea de carácter benévolo (Robledo Mahón, 2018).

Figura 66. Compostaje



Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

9.3 Minimización de riesgos en la salud pública

En la actualidad, una de las problemáticas que afronta la población humana es el poco acceso al agua potable para el consumo diario debido a que muchas regiones a nivel mundial aún no tienen sistemas de tratamiento de aguas para el consumo humano, lo que se resume a un aumento de problemas de salubridad pública.

La salud es un derecho fundamental por el cual organizaciones y Gobiernos han venido trabajando para brindar garantías. La calidad del agua que se

consume es uno de los factores que más influyen dentro de la salubridad pública, de ahí que un porcentaje elevado de los procesos vitales de nuestro organismo se desarrollan con la presencia de agua, por esta razón, el tratamiento de aguas residuales y la disponibilidad del agua potable es un problema que no solo afecta al medio ambiente sino también a la salud de la población (Bonilla-Granados *et al.*, 2021).

Los problemas de salud más comunes causados por el consumo de agua contaminada son: el cólera, enfermedades diarreicas, la fiebre tifoidea, la gastroenteritis, hepatitis A y E, parasitosis intestinal, entre otros. Esta gran carga de enfermedades que contienen las aguas residuales es lo más preocupante, por tanto, las organizaciones de salud gubernamentales y mundiales han diseñado planes de prevención y tratamiento de problemas de salud debido a las aguas residuales.

La guía para prevención de enfermedades causadas por el agua y el saneamiento se divide en las siguientes actividades:

- Lavarse las manos con agua y jabón antes de comer o preparar alimentos y después de ir al sanitario.
- Lavar los utensilios de cocina y guardarlos en un lugar limpio.
- Lavar las frutas y verduras antes de comer.
- Botar todos los residuos sólidos en bolsas amarradas para que los animales no los alcancen.
- Mantener a los animales fuera de alcance de los lugares de almacenamiento de agua.
- Consumir solo agua que haya sido tratada o purificada.
- Usar siempre el sanitario o letrina, pero, si no se cuenta con este servicio, defecar lejos de las fuentes de agua.
- Eliminar las aguas estancadas y criaderos de mosquitos que transmiten enfermedades.

Estas son las principales recomendaciones hechas por las entidades de salud, que principalmente son hábitos de aseo que si se cumplen a cabalidad el índice de enfermedades producidas por aguas residuales y saneamiento básico disminuirá significativamente. De esta manera, si se realiza el tratamiento y purificación de agua y se aplican estas recomendaciones, se estarán mitigando las enfermedades que son producto de aguas residuales.

9.4 Métodos de regulación y control

Es bien sabido que cada país tiene su propia normativa para el manejo de aguas residuales cuyo objetivo principal es determinar las normativas que van a regir el saneamiento. A partir de esta, se establecen cuáles son las autoridades ambientales que regulan las actividades que generan estos desechos. En este caso, se analizará la normativa colombiana.

Figura 67. Autoridades ambientales



Fuente: tomado de <https://www.freepik.es>

Las autoridades ambientales son las encargadas de velar por el cumplimiento de las normativas ambientales que rigen en una zona, de modo que se fomente la aplicación de programas y políticas ambientales que mitiguen el vertimiento y emisión de contaminantes por la acción del hombre.

9.4.1 Licencias ambientales

De esta manera, toda actividad que pudiese generar deterioro grave a los recursos renovables debe tener una licencia ambiental que será expedida por las autoridades ambientales. El marco normativo colombiano establece que las corporaciones autónomas regionales serán las entidades encargadas de la administración y manejo de los recursos naturales renovables.

Las licencias ambientales se otorgarán de acuerdo con las siguientes condiciones:

- La licencia deberá tener implícitos todos los permisos y autorizaciones para el uso, aprovechamiento y afectación de los recursos naturales durante el tiempo de vida útil del proyecto.
- La licencia ambiental deberá obtenerse previo al inicio del proyecto o actividad a realizar.
- Ningún proyecto requerirá de más de una licencia ambiental.
- La licencia abarcará todas las fases del proyecto, tales como planeación, ejecución y evaluación.
- Toda licencia ambiental exige un estudio previo del impacto ambiental que causará el proyecto.

9.4.2 Permiso de vertimiento de aguas residuales

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en este caso, es la entidad encargada de regular los vertimientos de aguas residuales en los sistemas de alcantarillado, suelos y cauces naturales.

En Colombia, el Decreto 3930 del 2010 establece lo siguiente:

- Toda persona natural o jurídica cuya actividad o servicio genere vertimientos a las aguas superficiales, marinas o en el suelo deberá solicitar y tramitar ante la autoridad ambiental competente el respectivo permiso de vertimiento.
- En el estudio de la solicitud del permiso de vertimiento, la autoridad ambiental competente practicará las visitas técnicas necesarias al área y con ayuda de profesionales con experiencia se evaluará si se trata de agua reglamentada para sus usos o vertimientos, el impacto ambiental que esto produce, y el plan de contingencia para el manejo de derrames de hidrocarburos o sustancias nocivas.

El artículo 24 establece que está prohibido realizar vertimientos en los siguientes sitios:

- En los acuíferos.
- En las cabeceras de las fuentes de agua.
- Aguas arriba de la bocatoma para el agua potable.

- En cuerpos de agua donde las autoridades ambientales determinen que son protegidos.
- En alcantarillados de uso exclusivo para aguas lluvias.
- En calles, calzadas, canales y sistemas de alcantarillado que ocasionen altos riesgos para la salud o para los recursos hidrobiológicos.

Para solicitar un permiso de vertimiento de aguas residuales, toda entidad o empresa debe presentar la siguiente información a las corporaciones encargadas de la regulación y el control ambiental:

- Localización de la corriente o depósito que recibirá el vertimiento.
- Descripción de los procesos y caracterización del vertimiento.
- Descripción general del sistema de tratamiento que se efectuará sobre las aguas residuales.
- Cantidad y forma del caudal que se verterá, expresándolo en litros por segundo, haciendo énfasis en si será de flujo continuo o intermitente.
- Identificar el impacto ambiental, su mitigación y forma de compensación.
- Formulario de registro de vertimientos diligenciado.

Una vez obtenidas las licencias ambientales y los permisos de vertimiento de aguas residuales, las empresas se deben acoger a los lineamientos establecidos por las entidades reguladoras ambientales, de modo que se lleven a cabo los planes de saneamiento pertinentes para los vertimientos que cada empresa realice con el fin de evitar cualquier tipo de sanción.

BIBLIOGRAFÍA

- AEMA. (2017). *Better mix of measures including pricing and awareness campaigns key to improving sustainable water use*. <https://www.eea.europa.eu/highlights/better-mix-of-measures-including>
- AEMA. (2018). *Consumo de agua en Europa: grandes problemas de índole cuantitativa y cualitativa*. <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2018-el-agua-es-vida/articulos/consumo-de-agua-en-europa>
- Aeration Argentina. (s.f.). *Equipo: Rejas, tamices y pretratamiento*. <https://www.aeration.com.ar/equipo/rejas-tamices-y-pretratamiento>
- Alemanni, M. E. (2012). *Reúso de aguas residuales tratadas para riego y su factibilidad de aplicación en la región Andina de la provincia de Río Negro* [Tesis doctoral]. Universidad Nacional de Río Negro.
- Alomía Quintero, C. A. (2019). *Formulación de un plan de manejo ambiental (PMA) para la operación y control de vertimientos en la PTAR del trapiche Lucerna*. Alomia, C.A.
- Arley, S. N. J. (2021). *Nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*.

- Ascher, F., y Díaz, M. H. (2018). *Los nuevos principios del urbanismo*. Alianza.
- Barroso, Y. M. M., Mantilla, P. A. P., y Betancur, J. F. (2019). Removal of chromium in industrial wastewater using biomass of *Spirulina* sp, primary sedimentation and chemical precipitation/Remoción de cromo en aguas residuales industriales mediante el uso de biomasa de *spirulina* sp, sedimentación primaria y precipitación química. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(1), 141-152.
- Becerra, D., Arteaga, B. L., Ochoa, Y. E., Barajas-Solano, A. F., García-Martínez, J. B., y Ramírez, L. F. (2020). Acople de fotocatalisis heterogénea y proceso biológico aerobio de lodos activados para tratar aguas residuales con contenido de Clorpirifos. *Ingeniería y Competitividad*, 22(1), 1-12.
- Bioplast Depuración SL. (2018). *Contactores biológicos rotativos prolongada vs. aireación* (I). <https://www.Aguasresiduales.Info/Revista/Blog/Contactores-Biologicos-Rotativos-vs-Aireacion-Prolongada-i>
- Bonilla-Granados, C. A., Cely-Calixto, N. J., y Soto, G. A. C. (2021). Hydraulic optimization of the physical parameters of a drinking water distribution system. *Journal of Physics: Conference Series*, 2139(1), 012013.
- Careaga, J. A. (1993). *Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes* (Issue 4). Instituto Nacional de Ecología.
- Castells, X. E. (2012). *Reciclaje y tratamiento de residuos diversos. Reciclaje de residuos industriales*. Ediciones Díaz de Santos.
- Cely, N. J., Varón, Y. P., & Fuentes, R. M. (2019). Implementation of a physical model to determine the hydraulic behavior of mountain rivers. *Journal of Physics: Conference Series*, 1388(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1388/1/012041>
- Cely-Calixto, N. J. (2020). Physical controls in the simulation of hydraulic networks in buildings using Epanet 2.0 software. *Journal of Physics: Conference Series*, 1708(1), 012028.
- Cely-Calixto, N. J., Bonilla-Granados, C. A., y Gallardo-Amaya, R. J. (2021). Physical parameters for the estimation of the return coefficient in the

- sewer of the La Chivera watershed. *Journal of Physics: Conference Series*, 2073(1), 012018.
- Cely-Calixto, N. J., Bonilla-Granados, C. A., y Rojas-Suárez, J. P. (2021). Statistical analysis of wastewater monitoring for maximum peak factor estimation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1981(1), 012013.
- Cely-Calixto, N. J., Carrillo-Soto, G. A., y Bonilla-Granados, C. A. (2020). Optimization of a storm drainage network using the storm water management model software in different scenarios. *Journal of Physics: Conference Series*, 1708(1), 012030.
- Cely-Calixto, N. J., Soto, G. A. C., y Becerra-Moreno, D. (2021). Validation of the modified Témez rational model in the watersheds of Norte de Santander, Colombia. *Journal of Physics: Conference Series*, 2073(1), 012017.
- Cervera Gómez, L. E. (2007). Indicadores de uso sustentable del agua en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Estudios Fronterizos*, 8(16), 9-41.
- CESPAP. (2014). *Informe de la Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico sobre estadísticas y la agenda para el desarrollo después de 2015: perspectiva desde la región de Asia y el Pacífico*. CESPAP.
- Céspedes Bernal, D. N. (2019). *Tratamiento terciario de aguas residuales no domésticas empleando a Chlorella sp. y conversión de la biomasa microbiana por pirólisis lenta*. <http://hdl.handle.net/10554/43200>
- Chordá Sáez, C. (2018). *Diseño de un reactor de aireación prolongada para la ampliación de una EDAR*. <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/175733>
- Collazos, C. (2008). *Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales*. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia.
- De la Peña Olivas, J. M. (2010). Sistemas romanos de abastecimiento de agua. *Las técnicas y las construcciones en la ingeniería romana*, 249-282.
- Dourojeanni, A. (1994). *La gestión del agua y las cuencas en América Latina*. *Revista de la CEPAL*.

- Fernandez Inca, M. Y., y Quispe Machaca, L. J. (2021). *Aplicación del proceso electro-fenton en el tratamiento de aguas residuales industriales. Una revisión sistemática.*
- Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (s.f.). *Coagulación y floculación: definición, tipos y factores.* <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/coagulacion-floculacion-definicion/>
- García Calvo, E. (2008). *El agua: claves para el uso sostenible.* <https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/2518/04garcialcalvo.pdf?sequence=1>
- Guadarrama-Brito, M. E., y Fernández, A. G. (2015). Impacto del uso de agua residual en la agricultura/Impact of wastewater use in agriculture. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 4(7), 22-44.
- Hidrotec. (s.f.). *Tipos de sistemas de alcantarillado: ¿en qué se diferencian?* <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-sistemas-alcantarillado/>
- Higieneambiental. (2018). *La historia del tratamiento del agua potable: un camino hacia la mejora radical de la salud pública.* <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/la-historia-del-tratamiento-del-agua-potable-un-camino-hacia-la-mejora-radical-de-la-salud-publica>
- Huber Technology. (s.f.). *Microtamizado.* <https://www.huber-technology.cl/es/productos/microtamizado-filtracion/microtamizado.html>
- Ibáñez Bustelo, A. (2020). *Reología de fangos activos. Efecto de parámetros de operación.* <http://hdl.handle.net/10651/59768>
- IMDPirineo. (s.f.). *Puente decantador.* <https://www.idm-pirineo.es/nuestros-equipos/puente-decantador/>
- Juan, B.-S. (1999). Agua y desarrollo sustentable. *Ciencia UANL*, 1(4), 356-361.
- La República. (2018). *Solamente 48,2 % de los municipios cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales.* <https://www.larepublica.co/infraestructura/solamente-482-de-los-municipios-cuentan-con-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-2611155>

- Lizarazo Becerra, J. M., y Orjuela Gutiérrez, M. I. (2013). Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. *Instituto de Salud Pública*.
- López Navarro, S. Y. (2021). *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario para el barrio Marvin Marín del municipio de Managua, departamento Managua* [Monografía]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Melgarejo, J. (2009). *Efectos ambientales y económicos de la reutilización del agua en España*. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/33318>
- Melián-Navarro, A. (2016). Reutilización de agua para la agricultura y el medioambiente. *Agua y Territorio/Water and Landscape*, 8, 80-92.
- Mesa-Moreno, L. D., y Sanabria-Chacón, C. F. (2018). *Propuesta de diseño y evaluación del acueducto del municipio Suaita – Santander, desde la captación hasta el tanque de almacenamiento* [Trabajo de grado]. Universidad Católica de Colombia.
- Morin, D. R. L. (2009). El uso de aguas residuales en la agricultura en México. *Ambiente y Desarrollo*, 13(24), 9-28.
- Mujeriego, R. (2015). La reutilización del agua: de necesidad a oportunidad. *Agua Amiga*, 13, 5-11.
- Mujeriego, R., y de Murcia, R. C. (2006). La reutilización del Agua. *Aspectos reglamentarios, sanitarios, técnicos y de gestión*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Pardo, C. F. (2004). Agua y desarrollo humano. *Ars Medica*, 1, 12-30.
- Plásticos B&B. (2017). *Rejillas para aguas residuales*. <http://plasticosbyr.com.co/equipos/rejillas-para-aguas-residuales/>
- Pulido Salazar, L. D., y Jiménez Cuéllar, M. A. (2021). *Propuesta de mejoramiento al acueducto rural ASOACUAROBLE en el departamento del Meta y la disposición de aguas residuales de cada domicilio adscrito. Ingeniería Ambiental y Sanitaria*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1916

- Ramón, A. J., & Maldonado, J. I. (2013). Sistema de tratamiento para aguas residuales industriales en mataderos. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*, 1(1).
- Reynolds, K. A. (2001). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. *Latinoamérica*, 48-49.
- Robledo Mahón, T. (2018). *Estudio de los procesos biológicos y de la estructura de las comunidades microbianas en el proceso de compostaje de lodos de depuradora de aguas residuales urbanas, en sistemas de membrana semipermeable*. [Trabajo de grado]. Universidad de Granada.
- Robles, F. O., Rojo, J. C. T., y Bas, M. S. (2011). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes. Aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales*. Ediciones Díaz de Santos.
- Silva, J., Torres, P., y Madera, C. (2008a). Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347-359.
- Silva, J., Torres, P., y Madera, C. (2008b). Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347-359.
- SMA. (2014). *Los fangos activos cumplen 100 años de historia*. <https://www.smasa.net/fangos-activos-historia/>
- Sswm. (2009a). *Laguna de estabilización*. <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/laguna-de-estabilizaci%c3%b3n>
- Sswm. (2009b). *Tanque Imhoff*. <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/tanque-imhoff>
- Synertech. (s.f.). *Cribas para tratamiento de aguas residuales*. <https://www.synertech.com.co/aguas-residuales/equipos-para-tratamiento-de-aguas-residuales>
- Tarón-Dunoyer, A. A., Guzmán-Carrillo, L. E., y Barros-Portnoy, I. (2017). Evaluación de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. *Orinoquia*, 21(1), 73-78.

- Teamb. (2019). *Historia de las plantas de agua*. <https://teamb.com.mx/historia-de-las-plantas-de-agua/>
- Teqma. (2000). *Desengrasador Aeroflo*. <https://www.teqma.com/desengrasado-aeroflo/>
- UNICEF. (2015). *Desigualdades en materia de saneamiento y agua potable en América Latina y el Caribe*. UNICEF.
- UNICEF y OMS. (2012). *Programa conjunto OMS/UNICEF de seguimiento del abastecimiento de agua y del saneamiento (PCM)*.
- Vargas Ramírez, D. F. (2018). *Propuesta de un sistema de tratamiento primario de aguas residuales mediante un reactor anaeróbico de flujo ascendente, Yungay 2017*.
- Vázquez, F. (2016). Lagunas de estabilización. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 3, 148-163.
- Vera, I. G. C. (2017). Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas residuales. *Dominio de las Ciencias*, 3(1), 536-560.
- Vera-Ibarra, O. M. (2018). Reciclar, reducir y reutilizar diferentes tipos de materiales. *Vida Científica Boletín Científico de la escuela preparatoria*, 4(6), 12. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/3227>
- Wamgroup. (2018). *Puente desarenador-desengrasador vaivén para depósito rectangular*. <https://savi-water.com/it-it/savi/product/pvd/ponte-va-e-vieni-dissabbiatore-disoleatore>

TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

Este documento abarca una temática muy importante para la comunidad en general, debido a que permite reconocer los diferentes sistemas de tratamientos que existen en la actualidad, así como los principales contaminantes de este valioso recurso; además, identifica el nivel de desarrollo de este tipo de elementos a nivel global y nacional.

Inicia con una reseña histórica, que denota los momentos en la línea de tiempo cuando se empezaron a tratar las aguas sucias generadas por las actividades humanas; posteriormente, menciona los diferentes tipos de tratamientos, así como las formas de contaminación ejercidas por las industrias y residencias; finalmente, el libro menciona la temática a nivel global, así como las posibles mejoras en la recolección, tratamiento y reutilización del agua.

Dirigido principalmente a ingenieros civiles e ingenieros ambientales, así como todas las personas que laboren dentro de la prestación de este tipo de servicios; sin embargo, está desarrollado para que cualquier persona pueda entenderlo fácilmente. Puede ser utilizado en múltiples materias que se relacionen con los servicios de saneamiento básico.

Incluye

- ▶ Los momentos históricos que enmarcan la estructura de esta área de la ingeniería.
- ▶ Los tipos de tratamientos de aguas residuales y los elementos que los componen.
- ▶ Los principales contaminantes a nivel doméstico e industrial, así como el impacto sobre las fuentes hídricas.
- ▶ El manejo actual de las aguas residuales en otros países y a nivel nacional, junto con herramientas para mejorar este proceso.

Nelson Javier Cely Calixto

Candidato a doctor en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, magíster en Obras Hidráulicas, especialista en Agua y Saneamiento Ambiental e Ingeniero Civil. Docente tiempo completo UFPS. Investigador Junior del grupo de investigación Hydros. Consultor con experiencia de más de 15 años en proyectos de ingeniería hidráulica y sanitaria.

Carlos Alexis Bonilla Granados

Candidato a doctor en Ingeniería del Agua y Medioambiente, máster en Tecnologías para el Manejo de Aguas y Residuos, especialista en Patología de la Construcción y en Aguas y Saneamiento Ambiental. Ingeniero Civil. Docente de la UniPamplona e investigador Grupos de Investigación Etenoha, Hydros y Fluing. Consultor en proyectos de saneamiento básico.

Gustavo Adolfo Carrillo Soto

Doctor en Hidrología, magíster en Recursos Hídricos e Ingeniero Civil. Docente e investigador de la Universidad Francisco de Paula Santander. Director de la Maestría en Ingeniería de Recursos Hidráulicos y del Grupo de Investigación Hydros. Consultor con más de 20 años de experiencia en proyectos de ingeniería hidráulica, hidrología y climatología.



Universidad Francisco
de Paula Santander

Vigilada Mineducación



e-ISBN 978-958-503-376-4