

GOTAS DE VIDA

Celebrando la II Semana Internacional del

AGUA



Un legado de Sostenibilidad
para las generaciones futuras

II Semana Internacional del Agua
UTEG- Red AMARU, marzo 2024

Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil (UTEG)
Red Iberoamericana de Tratamientos de Aguas mediante Tecnologías Innovadoras (RED)
Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo (CYTED)



GOTAS DE VIDA

Celebrando la II Semana Internacional del

AGUA

Un legado de Sostenibilidad para las generaciones futuras

II Semana Internacional del Agua

UTEG – Red AMARU

20,21 y 22 de marzo de 2024

Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil (UTEG)

Red Iberoamericana de Tratamientos de Aguas mediante Tecnologías Innovadoras – RED AMARU

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo (CYTED)

Ediciones UTEG

Título: Gotas de vida: Celebrando la II Semana Internacional del Agua

Sedolfo Carrasquero (Compilador)

Primera edición 2024

ISBN: 978-9942-614-28-5

Multidisciplinar Publicaciones

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EMPRESARIAL DE
GUAYAQUIL (UTEG). RED IBEROAMERICANA DE
TRATAMIENTOS DE AGUAS MEDIANTE TECNOLOGÍAS
INNOVADORAS – RED AMARU. PROGRAMA
IBEROAMERICANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA
EL DESARROLLO (CYTED)**

Mara Cabanilla Guerra, PhD.
Rectora

Econ. Galo Cabanilla Guerra, PhD.
Canciller

Econ. Mercedes Conforme Salazar, PhD.
Vicerrectora académica

Econ. Karina Alvarado Quito
*Vicerrectora de Innovación, Investigación
y Desarrollo*

Econ. Otto Suárez, PhD.
Decano de Posgrado

Ing. Diego Aguirre, MSc.
Decano de Grado

Arq. José Bohórquez, PhD.
Secretario General

RED AMARU

RED AMARU
Dr. Gilberto Colina Andrade
Coordinador General

PROGRAMA IBEROAMERICANO DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO (CYTED)
Dr. Luis Telo De Gama
Secretario General

ASOCIACIÓN PARAGUAYA DE MATERIALES (APYMAT)
Dra. Magna Monteiro
Presidenta

© Editorial UTEG

© De los autores
ISBN: 978-9942-614-28-5
Ecuador

Dirección y edición editorial:
Luis Carlos Mussó

Diseño y diagramación:
Ricardo Espinosa

Primera edición:
Junio de 2024 Libro revisado por pares

La edición del Libro de memorias del II Congreso Internacional de Desarrollo,
Ambiente Y Sociedad estuvo al cuidado de la Editorial UTEG. En su
composición tipográfica se utilizó la familia Raleway.

Libro de Conferencias. II Semana Internacional del Agua. UTEG – Red AMARU. 2024

Presentación

Es un honor presentar este libro de conferencias que recopila los destacados eventos de la II Semana Internacional del Agua 2024 organizada por la Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil (UTEG), junto con la Red Iberoamericana de Tratamientos de Agua mediante Tecnologías Sustentables (Red AMARU), el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, y el apoyo de la Asociación Paraguaya de Materiales (APYMAT).

Durante tres jornadas intensas, se exploraron una amplia gama de temas cruciales para asegurar un futuro sostenible en la gestión del agua y sus recursos asociados. Se desarrollaron tres ejes; Gestión integral del agua para la salud, sostenibilidad para el control y tratamiento del agua, e innovación en el saneamiento de efluentes mediante tecnologías alternativas. En el primer eje se tuvieron conferencias sobre gestión integral del agua, potabilización y requerimientos nutricionales de agua, que han proporcionado una visión profunda y completa sobre la importancia crucial de este recurso en nuestras vidas. Se destacó la necesidad de adoptar enfoques integrales y sostenibles para gestionar eficientemente los recursos hídricos, asegurando una distribución equitativa,

Además, las conferencias plantearon la complejidad e importancia de los procesos de potabilización del agua para garantizar su calidad y seguridad para el consumo humano, establecieron la necesidad de entender y cumplir con los requerimientos nutricionales de agua para mantener una salud óptima y un bienestar general debido a que el recurso hídrico es esencial para todas las funciones corporales y forma parte fundamental de nuestra composición corporal, llegando a representar hasta un 70% en algunos casos, lo que resalta su papel en el equilibrio orgánico.

En el segundo eje, nuestras conferencias resaltaron la diversidad de soluciones naturales disponibles para abordar diferentes problemas medioambientales y aunque estas tecnologías muestran promesas, se destacó la importancia de la investigación continua y la colaboración del sector industrial, la academia, y el sector público para el desarrollo de estas tecnologías y su aplicación efectiva.

En el último eje, nos sumergimos en el enfoque innovador de las ciudades inteligentes, donde se vislumbra un futuro prometedor en el manejo eficiente del agua. Además, exploramos el uso de membranas poliméricas y tratamientos emergentes innovadores para efluentes, destacando las últimas tecnologías que están transformando el campo de la gestión del agua. Una de las lecciones más importantes que hemos aprendido es el poder de la colaboración entre diversos sectores, esta sinergia es fundamental para abordar los desafíos actuales y futuros relacionados con el agua.

Cada una de las sesiones nos recordó la urgente necesidad de proteger y preservar estos recursos, especialmente en aquellas zonas donde se vuelven más escasos a medida que avanzamos hacia el futuro. Nos instan a comprometernos y a trabajar juntos para garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua para las generaciones venideras

Dr. Sedolfo Carrasquero

Director de Innovación Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil (UTEG), Miembro de la Red -AMARU

Contenido

Eje I: Gestión integral del agua para la salud

Conferencia 1: Proyectos en agua y saneamiento: alianzas público – privadas

Mario García Cruz

10

Conferencia 2: Agua y electrolitos en la nutrición pediátrica

Yojanna Zambrano

18

Conferencia 3: Sistemas de potabilización de aguas para consumo en Argentina

Pamela Mejías

24

Eje 2: Sostenibilidad para el Control y Tratamiento del Agua

Conferencia 4: El Sistema Vetiver, una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales

Oswaldo Luque

30

Conferencia 5: Water curtains as a control method for particles in boofing operations

Alfredo Rincón

38

Conferencia 6: Estudio en el avance de la tinción de fibras naturales con pigmentos de microalgas

Gilberto Colina, Nicolás Cayo

44

Eje 3: Innovación en el saneamiento de efluentes mediante tecnologías alternativas

Conferencia 7: Ciudades Inteligentes en el Sector de Agua y Saneamiento

Martha Orta

50

Conferencia 8: Preparación y caracterización de membranas poliméricas para el tratamiento de aguas y efluentes.

Omayra Fierro

56

Conferencia 9: Tratamiento de efluentes empleando tecnologías alternativas

Ruly Terán

64

Conferencistas Internacionales



Msc. Mario García Cruz

Ingeniero Civil. Máster en Gerencia Internacional de Proyectos. Master in Business Administration. Máster en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Especialista Ambiental y en Auditorías en Reducción de Desechos. Catedrático en las áreas: Ingeniería Sanitaria, Obras de Infraestructura Hidrosanitaria, Mecánica de Fluidos y Gestión de Proyectos. Director, Tutor y Jurado de varios trabajos de titulación desde 2009 hasta la actualidad en temas hidrosanitarios. Gerente General – EMAPAG-EP Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil, EP.



Msc. Yohanna Zambrano

Nutricionista. Magíster en Nutrición Infantil. Magister en Nutrición Clínica. Asesora de Lactancia Materna. Especialista en Tratamientos Nutricionales en patologías: como Obesidad, Diabetes, Hipertensión Arterial, Insuficiencia Renal y Desnutrición. De igual manera, especialista en educación Nutricional para futuros padres, embarazo, lactancia, primeros años, adolescencia, edad adulta, tercera edad, deportistas, Vegetarianos, entre otros.



Msc. Pamela Mejías

Ingeniera Química. Magister en Ingeniería Ambiental. Docente e investigadora de la Universidad de Flores (UFLO) y la Universidad CAECE en Buenos Aires, Argentina. Líder de proyectos de investigación en el área de potabilización de aguas. Asesoría técnica a plantas de tratamiento de agua potable residuales e industriales, así como en el desarrollo de técnicas de analíticas (gravimetría, volumetría y cromatografía).



Dra. Oswaldo Luque

Ingeniero Agrónomo. Máster en Suelos. Doctor en Ciencias del Suelo. Líder de proyectos de investigación y desarrollo en manejo de residuos orgánicos, y tratamiento de aguas residuales con el sistema vetiver.



Msc. Alfredo Rincón

Ingeniero Mecánico. Magíster Scientiarum en Ingeniería Ambiental. Especialista en el área de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente, así como en la planificación de Mantenimiento Preventivo de máquinas y herramientas utilizando software SAP. Formó parte del programa Young Iberoamerican Leader XII. Actualmente se desempeña como Air Quality Permit Engineer en Minnesota Pollution Control Agency.



Dr. Gilberto Colina

Licenciado en Educación Biología y Química, Área: Química. Magíster Scientiarum en Ciencias Ambientales. Doctor en Ingeniería Ambiental. Docente Investigador Tiempo Completo de la Universidad Católica Santa María, Arequipa, Perú. Coordinador General de la Red Iberoamericana sobre Saneamiento de Aguas – CYTED – AMARU.



Ing. Nicolás Cayo

Ingeniero de Materiales. Analista de investigación en la Universidad Católica Santa María, Arequipa, Perú. Especialista en control de calidad y supervisión del personal, con conocimientos de procesos de tratamientos de superficies y corrosión de materiales, y ensayos no destructivos.



Msc. Martha Orta

Ingeniera Civil. Máster en Ingeniería Sanitaria. Presidenta de la Asociación de Ingenieros Sanitarios y Ambientales del Ecuador. Expositora en charlas y seminarios, como la charla técnica "Retos de Saneamiento en Guayaquil: Promoviendo la conectividad del Alcantarillado Sanitario, organizado por la Agencia Francesa de Desarrollo. Especialista en el manejo de programas Watercad, WaterGems, SewerCad, GIS, AUTOCAD para la modelación y diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado.



Dra. Omayra Ferreiro

Ingeniera Química. Máster en Ingeniería Metalúrgica y de Materiales. Doctora en Ingeniería Química. Docente Investigadora de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Asunción, Paraguay.



Dr. Ruly Terán

Ingeniero agroindustrial. Magister Scientiae en Tecnología de Alimentos. Doctor en Biotecnología Industrial. Investigador a tiempo completo en la Universidad Católica Santa María, Arequipa, Perú. Líder en investigaciones en el área de bioprocesos, valorización de residuos agroindustriales, purificación con membranas, tratamiento de efluentes y cultivo de microalgas. Publicaciones en revistas internacionales de alto impacto.



Eje 1:

Gestión integral del agua para la salud

Proyectos en Agua y Saneamiento: Alianzas Público – Privadas



Msc. Mario García Cruz¹

gerenciag@emapag-ep.gob.ec

Para mediados de la década de los noventa, no existía un servicio de agua potable las 24 horas del día en la ciudad de Guayaquil, es decir, no había un servicio continuo. La cobertura del servicio era deficiente, con presiones extremadamente bajas, incluso nulas en algunos casos. Para el año 2001, existía un 50% de cobertura en alcantarillado y 63% en suministro de agua potable (Tabla 1). Una de las estadísticas más llamativas, era la de agua no contabilizada, que se reportaba en 76,5%, es decir, que aproximadamente el 77% del agua producida se perdía en la ciudad. El agua no contabilizada representa una pérdida de agua que no se registra ni se factura, lo que puede tener consecuencias económicas y ambientales significativas (Bueno y col., 2020). Además, se observó que solo el 23,8% de los usuarios contaba con sistemas de medición adecuados, lo que dificultaba la facturación a cerca del 76% de los consumidores, debido a la falta de medidores.

La infraestructura de redes de agua potable y aguas servidas era limitada, con apenas 2.750 y 2.150 kilómetros, respectivamente. El suministro de agua potable en algunos

¹ Ingeniero Civil. Máster en Gerencia Internacional de Proyectos. Master in Business Administration. Máster en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Gerente General – EMAPAG-EP Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil, EP.

sectores era tan escaso que solo estaba disponible durante dos o cuatro horas al día. En aquel entonces, era común que las viviendas instalaran sistemas de bombeo y tanques de almacenamiento para paliar estas deficiencias del sistema público. El sistema también enfrentaba una carga laboral significativa, con una ratio de 5,23 trabajadores por cada mil conexiones. Este panorama persistió durante mucho tiempo hasta que, a partir del año 2001, se inició un cambio significativo, impulsado por la Ley de Modernización promulgada en 1994, que permitió que tanto empresas privadas como públicas pudieran desarrollar contratos de concesión.

Aspecto	Datos
Cobertura de agua potable	63%
Cobertura de aguas servidas	50%
Agua no contabilizada	76,5%
Usuarios	242.000
Micromedición	23,80% (57.618)
Km redes de agua potable	2750 Km
Km redes de aguas servida	2150 Km
Servicio de agua potable	Por horas (sur 2 horas/día)
Número de trabajadores	5,2/1000 conexiones

Tabla 1. Datos frontera para el año 2001. Fuente: EMAPAG-EP.

En el 2001, se firmó un contrato integral que cubría geográficamente todas las localidades bajo responsabilidad de la entonces Empresa Cantonal de Agua y Alcantarillado de Guayaquil (ECAPAG), tanto las urbanas como las rurales, así como todos los aspectos técnicos y comerciales, incluyendo agua potable, aguas servidas y aguas pluviales. Este contrato, con una duración de 30 años, estableció que para el año 2031 estaba planificada su terminación. Es importante destacar que este modelo de concesión no implicaba una privatización, ya que todos los nodos, instalaciones, áreas y equipos seguían siendo propiedad del ente público. Bajo este esquema, se delegaba la operación de los servicios a un operador, pero al final de la concesión, todos los activos debían ser devueltos al ente público.

Además de las inversiones anuales establecidas en el contrato, el operador debía encargarse de la operación y mantenimiento de los servicios. Se percibió que esta concesión marcó un antes y un después en los sistemas hidrosanitarios de la ciudad, ya que las empresas concesionarias contaban con experiencia internacional en el manejo de sistemas de agua. Esto permitió la aplicación de tecnologías avanzadas en Guayaquil. Desde entonces, se han observado cambios significativos en el sistema, como lo demuestran los indicadores actuales con una cobertura del 97%, continuidad del servicio las 24 horas del día, y una disminución del agua no contabilizada al 50%. Sin embargo, aún persiste el desafío de reducir esta última cifra a niveles más bajos, lo que demuestra que aún queda trabajo por hacer en esta área.

En la actualidad, se estima que hay aproximadamente 580.000 usuarios en la ciudad de Guayaquil (Figura 1), una presión mínima de 15 metros de columna de agua y una producción diaria de 1 millón de metros cúbicos en la toma. Además, se cuenta con una micro-medición del 98% para el suministro, y una media de 2,56 trabajadores por cada mil conexiones. Los indicadores actuales están por encima de la media en América Latina, a excepción del agua no contabilizada, que ha descendido al 50%, aunque aún queda trabajo por hacer para reducirlo a niveles aceptables. Según el Banco Mundial (2013), en promedio, el 45% del agua que se producía en América Latina no se facturaba. La situación en países vecinos como Colombia es similar, García y Benavides (2019), señalaron que las pérdidas de agua en los sistemas de suministro municipales podrían alcanzar el 33% y el 43%, respectivamente.

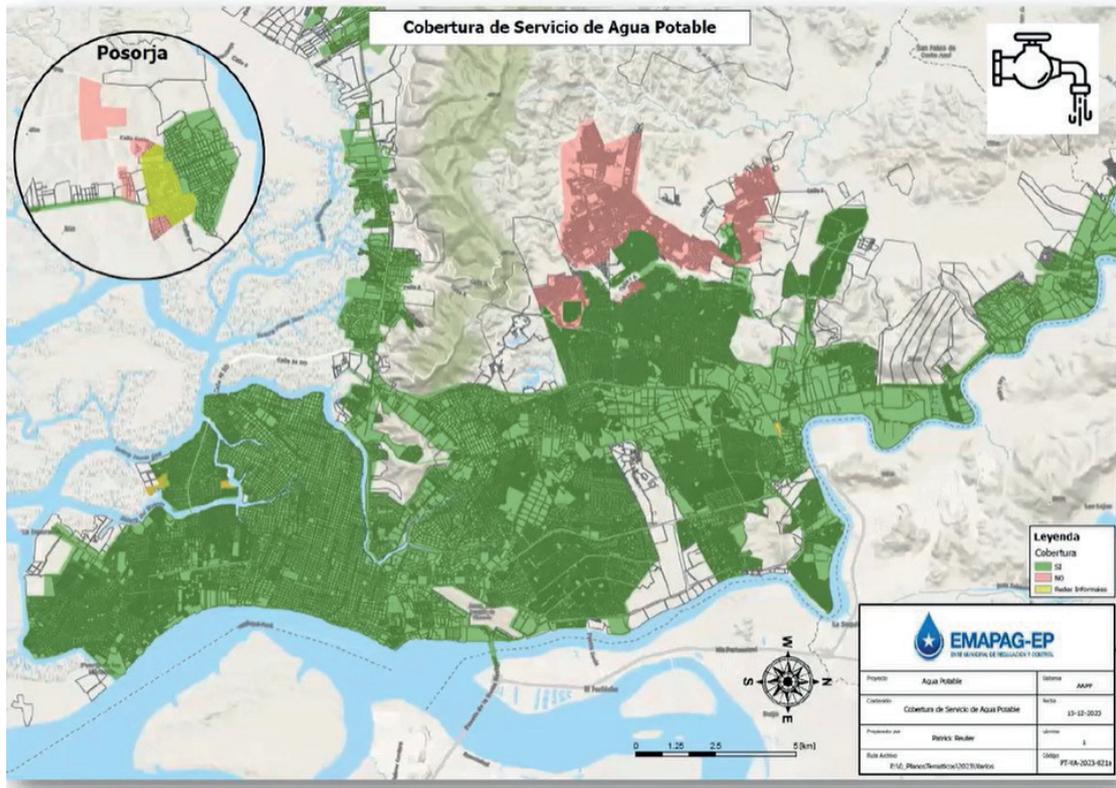


Figura 1. Cobertura de servicio de agua potable en la ciudad de Guayaquil

En cuanto al sistema de alcantarillado sanitario, la cobertura alcanza el 95% (Figura 2), con 442.295 usuarios. Además, hay 46 plantas de tratamiento operadas por la concesionaria, lo que garantiza un tratamiento del 100% de las aguas residuales.

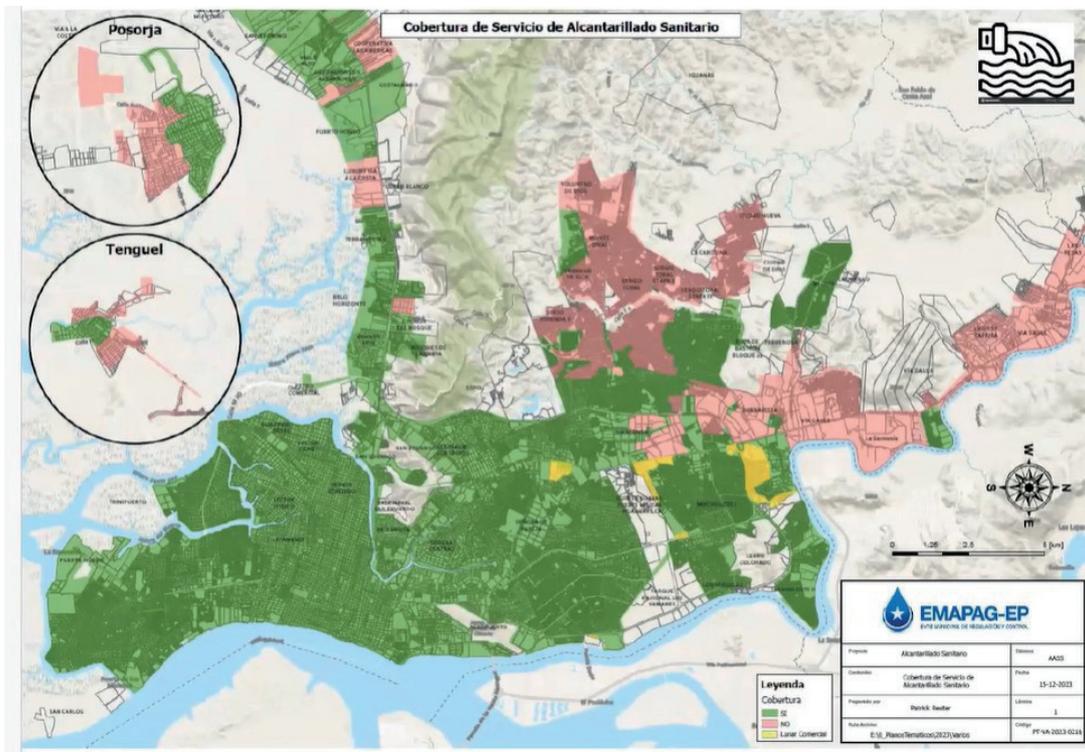


Figura 2. Cobertura de servicios de alcantarillado sanitario en la ciudad de Guayaquil

De acuerdo a la ubicación de los sistemas de tratamiento, la ciudad se divide en cinco grandes bloques (Figura 3), uno de ellos se encuentra al sur, donde está ubicada la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), conocida como Las Esclusas. Otro bloque está al norte, donde se encuentra la PTAR Los Merinos; en el noroeste se encuentra la PTAR Mi Lote. En el centro-oeste, se encuentra la planta Pantanos Secos, y más hacia el oeste, sobre la vía a la costa, se encuentra una futura planta, la planta de Chongón, que actualmente está en proceso de estudio y diseño.

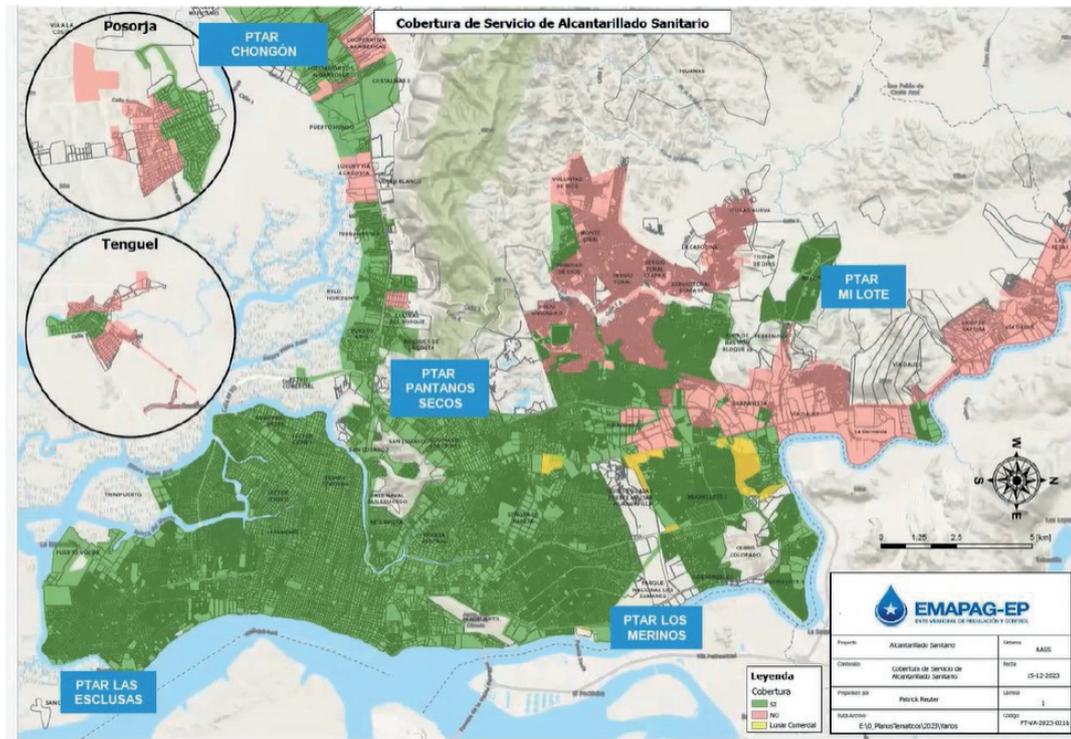


Figura 3. Ubicación de las PTAR en la ciudad de Guayaquil

El contrato de concesión indica que la concesionaria debía realizar una inversión, aproximadamente de 107,5 millones cada quinquenio, lo que equivale a unos 20,5 millones de dólares anuales, esta inversión continúa en curso. Además, EMAPAG-EP pudo acceder a créditos con entes multilaterales utilizando fondos propios. El impulso proporcionado por estos créditos ha contribuido al desarrollo que acompaña a la concesionaria. Estas dos líneas de inversión, tanto la de la concesionaria como la ejecutada con fondos propios, son fundamentales para el estado actual de la infraestructura, generando proyectos emblemáticos como la PTAR Las Esclusas (Figura 4).

Esta planta es la más importante del Ecuador, que beneficia aproximadamente a 1 millón de habitantes. Esta planta está ubicada en el sector Las Esclusas, al sur de Guayaquil, cuenta con un sistema de tratamiento primario químicamente asistido, conformado por tres líneas, una de agua, una de lodo y una de gases. Tiene un caudal de diseño de 2,6 m³/s en tiempo seco tratando las aguas residuales generadas en los sectores centro y sur de la ciudad. Esta planta de tratamiento consiste en una secuencia de operaciones y procesos unitarios como el desarenado, sedimentación, coagulación, floculación y desinfección. Destaca también la presencia de un sistema de cogeneración que aprovecha el biogás generado durante el tratamiento del metano. Esta planta es pionera en este tipo de tecnología para el tratamiento de aguas residuales en Guayaquil.



Figura 4. PTAR Las Esclusas de la ciudad de Guayaquil

Otra iniciativa relevante es la rehabilitación del alcantarillado en el suburbio oeste de Guayaquil, que se llevó a cabo sin interrumpir el tráfico, utilizando tecnologías de vanguardia. La rehabilitación consiste en el cambio de los colectores, que se han deteriorado por el tiempo, fisuras, fallas, entre otros, manteniendo los parámetros de diseño originales (Tovar et al. 2021).

Cabe destacar que estas inversiones han sido fundamentales para el progreso alcanzado en la ciudad. En la Figura 5, las líneas en azul y rojo representan los principales colectores de aguas servidas en el sector Cuenca La Chala, comúnmente conocido como el suburbio oeste de Guayaquil. Esta área enfrentaba numerosos desafíos, incluidas quejas diarias y desbordes debido a un sistema de alcantarillado que operaba de manera deficiente, construido en condiciones desfavorables. Al abordar este problema, se propuso la rehabilitación que implicaba la renovación del alcantarillado sin necesidad de romper las calles existentes, lo cual representaba un desafío significativo. Estas tecnologías de rehabilitación de tuberías sin necesidad de excavar, conocidas como tecnologías sin zanja, están ganando cada vez más popularidad y son consideradas de vanguardia. Actualmente, muchos países han adoptado estas técnicas innovadoras para abordar problemas similares de infraestructura.



Figura 5. Proyecto de rehabilitación de alcantarillado en el sector Cuenca La Chala

En las tecnologías sin zanja, se disponen de camiones especializados con equipamiento específico. Primero, se destapan las cajas, luego, se realiza un corte que revela la tubería que será rehabilitada. Es importante resaltar que no se realiza ninguna excavación (Figura 6). Para guiar el proceso sin contratiempos, se introduce inicialmente un mandril. Posteriormente, se inserta una manga especial fabricada con una resina única. Una vez dentro de la tubería, la resina se infla con aire para que se adhiera a las paredes de la tubería dañada.

Después de esta etapa, la manga, que es suave y flexible, se somete a un proceso de curado para endurecerla (Asociación Ibérica de Tecnología sin Zanja, 2018). Este proceso se lleva a cabo mediante la aplicación de rayos ultravioleta, los cuales transforman la manga en una estructura resistente. De esta manera, se repara la tubería sin necesidad de realizar excavaciones ni retirar material. Todo el procedimiento se realiza utilizando las cámaras existentes. Para realizar los orificios necesarios, se emplean equipos robotizados especiales.

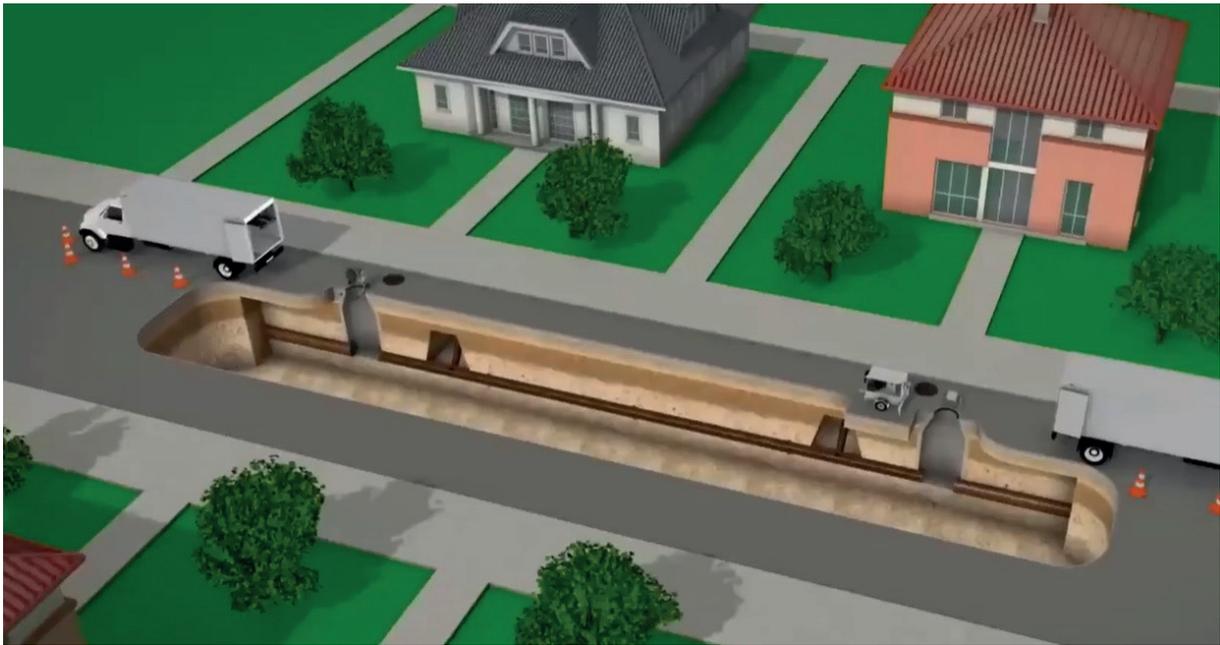


Figura 6. Tecnología sin zanja para la rehabilitación de tuberías

Este proyecto implicó una inversión aproximada de 25 millones de dólares, se rehabilitaron aproximadamente 100 kilómetros de tuberías, con diámetros que iban desde los 200 milímetros hasta los 1800 milímetros. Este proyecto recibió una condecoración por ser considerado el más importante en el ámbito de la rehabilitación sin zanja en el año 2021, durante un congreso internacional de Tecnología sin Zanja.

Otro proyecto de gran envergadura fue el realizado utilizando micro túneles el sur de la ciudad, desde una estación denominada Pradera, donde se instaló una tubería mediante esta técnica, lo que representó un avance significativo en la infraestructura de la zona. Se llevó a cabo una excavación para crear un pozo de ataque, desde donde se inició la micro tuneladora. En este pozo de ataque se instaló un dado de hormigón que sirve como anclaje y apoyo para el proceso. Posteriormente, se colocaron los rieles y se introdujo la primera máquina, conocida como "topo", mientras que la máquina ubicada detrás la empuja, utilizando los amortiguadores correspondientes.

Una vez que todo el equipo está instalado, se procede a colocar las tuberías. Estas tuberías, de gran diámetro, se instalan sin necesidad de abrir zanjas. En este caso, se trata de la instalación de una nueva tubería, no de rehabilitación.

El proceso implica la creación de dos cámaras: una de ataque, por donde entra la tuneladora, y otra de recepción, por donde sale. Estas cámaras son utilizadas para instalar las válvulas necesarias para el sistema. Todo el proceso se lleva a cabo sin abrir zanjas, lo que minimiza las molestias para la población, reduce el impacto en el tránsito y limita las perturbaciones durante la

construcción del sistema. La longitud total de la instalación fue de aproximadamente cuatro kilómetros, desde la estación de bombeo Pradera hasta Las Esclusas, ubicadas en la planta principal mencionada anteriormente.

Un proyecto adicional de gran magnitud, es el Sistema Automático de Información de Calidad de Agua, conocido como Red SAICA, que requirió una inversión de 3,5 millones de dólares. Se trata de un modelo innovador de monitoreo y alerta temprana, cuya finalidad es identificar agentes contaminantes y tomar acciones oportunas para la preservación del recurso hídrico de la cuenca del río Daule, afluente de donde se capta el agua que se consume en Guayaquil (Alcaldía de Guayaquil, 2024). Se instalaron siete sensores especiales a lo largo del río Daule (Figura 7), desde Daule Peripa, Pichincha, Dauvin, Colimes, Santa Lucía, Daule, La Toma, hasta Guayaquil. Estos sensores envían información en tiempo real sobre la calidad del río a una central. Esto permite conocer el estado del agua a lo largo de todo este recorrido en diferentes parámetros fisicoquímicos. Este proyecto es único en su tipo en el Ecuador.

Similar al destacado proyecto de Las Esclusas, actualmente se está construyendo otra planta de tratamiento en el norte de Guayaquil, específicamente en Los Merinos. Un sistema que beneficiará a 1.500.000 habitantes, conformado por una línea de agua, una línea de lodos, un línea de gases y control de olores. Poseerá un tratamiento químicamente asistido, con una cobertura para el norte de la ciudad de Guayaquil, ubicada en la avenida Narcisa de Jesús. Se espera que la construcción de esta planta concluya para el año 2026.

CONSIDERACIONES FINALES

Los desafíos que enfrenta Guayaquil en los sistemas fitosanitarios hoy en día son múltiples y urgentes. En primer lugar, está la necesidad de cerrar la brecha en la cobertura de los servicios, apuntando hacia la universalización tanto del suministro de agua potable como del alcantarillado. Esta meta, aunque ambiciosa, está firmemente en la agenda de EMAPAG-EP que enfoca sus operaciones para la obtención de nuevas líneas de crédito y así alcanzarla en los próximos años.

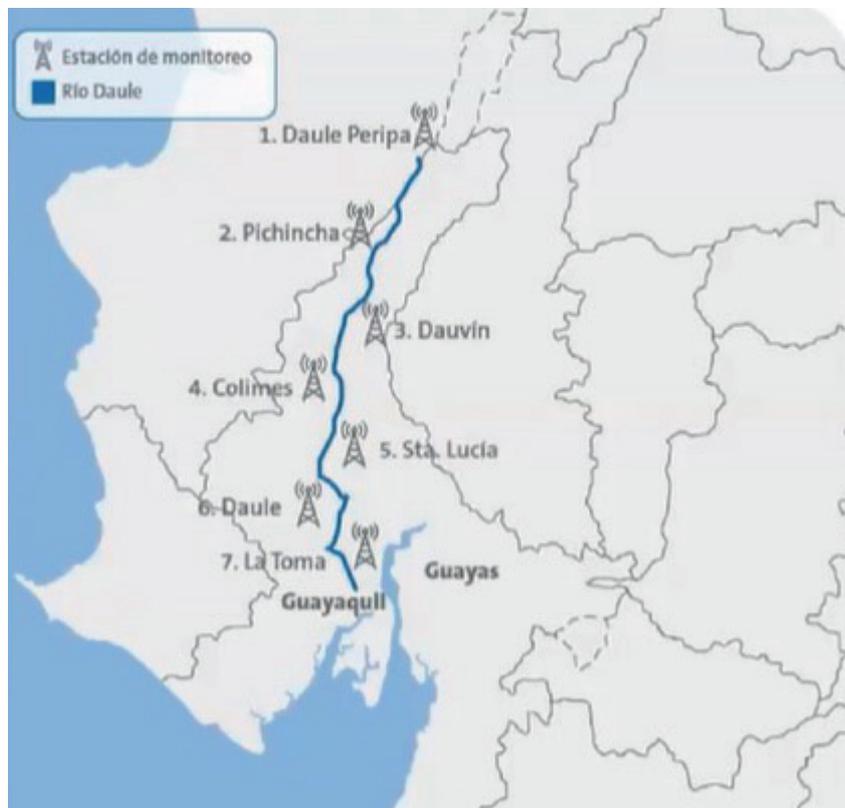


Figura 7. Red del Sistema Automático de Información de Calidad de Agua en el río Daule

Un segundo desafío crucial es la reducción del agua no contabilizada, que actualmente se sitúa en un alarmante 50%. El objetivo es disminuir este porcentaje al 38% para el año 2030, lo cual implica la asignación de recursos adecuados y la implementación de tecnologías avanzadas para detectar y abordar este problema de manera eficiente.

Otro desafío importante es la rehabilitación de las redes de alcantarillado. Muchos sectores de Guayaquil cuentan con infraestructuras obsoletas que requieren ser actualizadas con tecnologías modernas, como las redes sin zanja que se han implementado en la Cuenca La Chala. Aproximadamente el 30% de estas redes necesita ser rehabilitadas debido a su antigüedad y los problemas que presentan.

Por último, el aprovechamiento de recursos es un desafío clave que surge de la implementación de plantas de tratamiento avanzadas. Estas plantas no solo tratan las aguas residuales, sino que también generan subproductos que pueden ser aprovechados de diversas maneras, como la producción de gas doméstico, energía eléctrica o fertilizantes. Es fundamental explorar todas estas oportunidades para maximizar el valor de las plantas de tratamiento y avanzar hacia un modelo de gestión más sostenible y eficiente.

En resumen, abordar estos desafíos requerirá un esfuerzo conjunto de diversas partes interesadas, incluidas las autoridades públicas, las empresas, las instituciones académicas y las organizaciones de la sociedad civil. Todos tienen un papel que desempeñar en la búsqueda de soluciones innovadoras para la gestión de los recursos hídricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía de Guayaquil. (2024). Guayaquil cuenta con la primera Red Saica del país para monitorear la calidad del agua del río Daule – Alcaldía de Guayaquil. <https://www.guayaquil.gob.ec/guayaquil-cuenta-primera-red-saica-pais-monitorear-calidad-agua-rio-daule>.

Asociación Ibérica de Tecnología sin Zanja. (2018). Libro blanco de las Tecnologías sin zanja. https://tecnologiasinzanja.org/wp-content/uploads/2020/09/libro_blanco_presentacion-y-prologo.pdf.

Bueno, D., Monroy, E., & Zafra, C. (2020). Análisis de agua no contabilizada en el sistema de abastecimiento urbano del municipio de Facatativá, Colombia. *Tecnura*, 24(63), 84-98. <https://doi.org/10.14483/22487638.15333>.

García, J.C. y Benavides, H. (2019). Adjustment value of water leakage index in infrastructure. *DYNA*, 86(208), 316-320. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v86n208.67230>.

The World Bank (2013). América Latina: ¿Por qué las empresas de agua y saneamiento intentan ahorrar energía? Recuperado de: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2013/09/03/latin-america-water-loss-energy-efficiency>.

Tovar, E., Valero, J., Cepeda, L. (2021). Methodology for the Selection of Trenchless Sewer Rehabilitation Technologies in Bogotá. *Tecnura*, 25(68), 105-124. <https://doi.org/10.14483/22487638.1557>.



Eje 1:

Gestión integral del agua para la salud

Agua y electrolitos en la nutrición pediátrica



Msc. Yojanna Zambrano ²

yojanna.zambranoma@gmail.com

La importancia del agua en el organismo humano se manifiesta desde las primeras etapas de la vida, donde los niños presentan una significativa proporción de agua en su composición corporal. Por ejemplo, se destaca que el feto exhibe un contenido de agua del 90%, seguido por el recién nacido con un 80%, y los niños que mantienen alrededor del 70% de agua en su organismo. A medida que se avanza hacia la edad adulta, este porcentaje disminuye hasta alcanzar aproximadamente el 60-65% (Figura 1)

² Nutricionista. Magíster en Nutrición Infantil. Magister en Nutrición Clínica. Asesora de Lactancia Materna. Docente de la Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil.

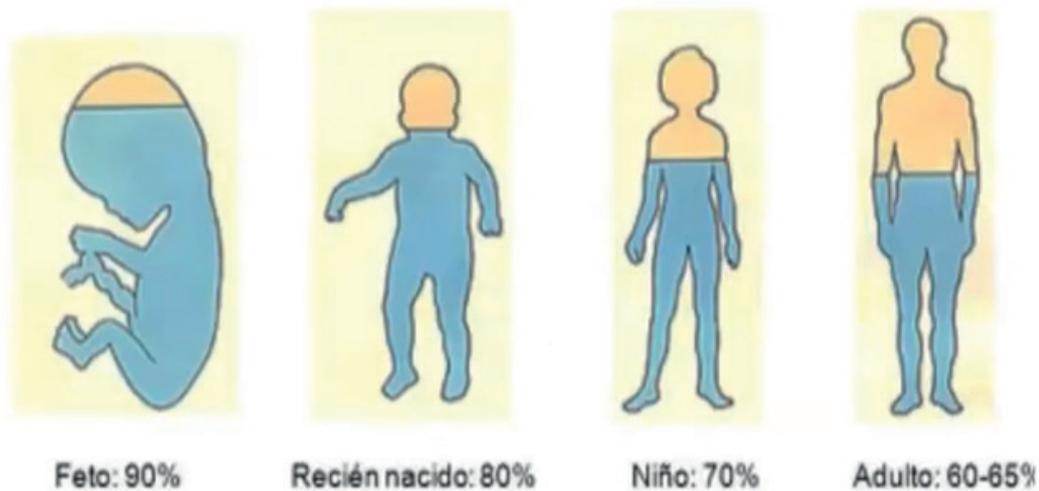


Figura 1. Evolución del porcentaje de agua en la composición corporal (Popkin, 2010)

Al detalle, al nacer un bebé presenta un 80% de agua, disminuyendo a un 70% al año y alcanzando aproximadamente el 61,2% a los diez años de edad, momento en el que ingresan a la adolescencia con un 64,8%. Desde los 15 años, el porcentaje se mantiene en torno al 64.6%, hasta llegar a la edad adulta con un promedio del 60%.

Es importante señalar que existe una diferenciación entre los sexos en cuanto a la composición corporal y, por ende, en la cantidad de agua presente. Las mujeres, debido a su mayor proporción de grasa corporal, tienden a tener un menor contenido de agua en comparación con los varones.

En general, se observa que los niños, especialmente los infantes, presentan un mayor contenido de agua corporal relativo a su masa corporal en comparación con los adultos. Este balance hídrico es esencial para mantener la salud y el bienestar, destacando su importancia en la evaluación clínica de los niños y de los pacientes en general. La necesidad de mantener un equilibrio adecuado de fluidos se vuelve fundamental, sobre todo en el ámbito clínico, para garantizar un óptimo estado de salud en todas las etapas del desarrollo.

Especialmente en casos críticos, es crucial evaluar tanto las pérdidas como los ingresos de agua en el organismo. En cuanto a los ingresos de agua, estos provienen de diversas fuentes, incluyendo los fluidos ingeridos, el agua presente en los alimentos y el metabolismo del cuerpo. Por otro lado, las pérdidas de agua pueden ser sensibles o insensibles. Las pérdidas insensibles comprenden la evaporación a través de la respiración mientras que las pérdidas sensibles de agua son a través del sudor, los excrementos y la orina.

El balance hídrico corporal se define como la diferencia entre las entradas totales de agua y las pérdidas totales de agua (Figura 2). Se observa que los niños tienen un mayor requerimiento de agua por unidad de peso corporal en comparación con los adultos, en parte debido a una tasa metabólica más alta y a una mayor proporción de agua corporal total.

Datos recientes de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT, 2018) revelan que las bebidas azucaradas son predominantes en la ingesta diaria de niños entre 5 y 10 años. Sin embargo, también se destaca que los adolescentes, aunque consumen bebidas azucaradas, muestran una preferencia por el agua pura, con un 83,2% de ingesta de este líquido.



Figura 2. Balance hídrico en función de las entradas y salidas

Es fundamental educar a los padres sobre la importancia de la ingesta adecuada de agua para los niños, especialmente a través de métodos amigables y atractivos. Se pueden explorar diversas formas creativas para fomentar el consumo de agua entre los más pequeños. Por ejemplo, se pueden agregar porciones de fruta al agua para darle un sabor agradable. Además, agregar hierbas como albahaca, perejil y menta que pueden hacer que el agua sea aún más apetecible.

Otra opción es preparar helados con base de agua y frutas, evitando agregar trozos de fruta para no representar un riesgo de asfixia (Figura 3). Es importante destacar que algunas frutas, como el mango, la sandía, la toronja, la papaya, la naranja, la piña y las uvas, tienen un alto contenido de agua, lo que las convierte en opciones excelentes para aumentar la hidratación. Sin embargo, es crucial manejar y almacenar adecuadamente estas frutas, ya que su alto contenido de agua las hace susceptibles al crecimiento de hongos. Es recomendable no mantenerlas en refrigeración por períodos prolongados y consumirlas lo antes posible después de la compra.



Figura 3. Formas creativas de agregar frutas en la ingesta de agua.

Algunos niños que habitan en el perímetro de la ciudad de Guayaquil beben agua directamente del grifo, esto no es exclusivo de ellos porque en las escuelas puede sucederle a cualquier niño, poniéndose en riesgo de una infección gastrointestinal por rotavirus debido a que en todas provincias del Ecuador aún no se puede beber el agua de la llave.

Es relevante señalar las tendencias actuales de consumo entre los adolescentes, quienes a menudo optan por bebidas no saludables para hidratarse. Es fundamental educar a esta población sobre las mejores opciones para mantenerse hidratados y promover hábitos de vida saludables.

Dentro de las bebidas que utilizan los jóvenes para hidratarse están las bebidas energéticas que han aumentado su popularidad debido a los posibles efectos en el mejoramiento del rendimiento físico y cognitivo gracias a la presencia de algunas sustancias bioactivas tales como la cafeína, taurina, glucuronolactona, vitaminas del complejo B, inositol y glucosa (Bonilla y col., 2018).

Las bebidas energizantes contienen un alto contenido de cafeína, equivalente a aproximadamente dos cafés espressos, cuatro cafés americanos o tres a cuatro refrescos de cola. Además, estas bebidas suelen tener una cantidad significativa de azúcar y otros compuestos que pueden ser perjudiciales para la salud, especialmente de los adolescentes.

La proliferación de bebidas energéticas también puede estar relacionada con la confusión de que son bebidas rehidratantes, de naturaleza isotónica y que incorporan sodio para la absorción del azúcar y potasio con el fin de reponer los electrolitos perdidos a través del sudor durante la actividad física. Esta falta de conciencia entre los niños y adolescentes lleva a la ingesta de bebidas energéticas hiperosmóticas que contienen estimulantes, percibidos erróneamente como refrescos. La ambigüedad que rodea a la categorización de las bebidas es ampliamente explotada por la sociedad, en particular por los jóvenes, sin que haya pruebas científicas de ningún beneficio para la salud asociado a estas bebidas. Por lo tanto, es crucial controlar su consumo y proporcionar información precisa a los consumidores (Cote y col., 2019).

Las bebidas de hidratación son las que contienen agua, cantidades variables de sales (cloruro sódico), potasio, magnesio, calcio, glúcidos simples (dextrosa, sacarosa, glucosa o fructosa), glúcidos complejos (almidón y maltodextrinas). Estas bebidas son una opción más saludable para mantenerse hidratado, y es importante promover su consumo en lugar de las bebidas energizantes.

El problema con estas bebidas es que los padres a menudo las confunden con las bebidas de rehidratación oral. Muchos niños llegan a la consulta médica consumiendo bebidas hidratantes, que no son recomendables debido al desequilibrio de azúcar que contienen, sobre todo en situaciones como la diarrea. Estas bebidas azucaradas son fácilmente accesibles en cualquier centro comercial, lo que aumenta su consumo.

Las bebidas isotónicas pueden ser consumidas por niños deportistas, pero no son adecuadas para pacientes que están pasando por alguna enfermedad gastrointestinal. Se dice que son bebidas isotónicas debido a que tienen una composición parecida a la composición de agua y electrolitos del cuerpo humano.

Las bebidas isotónicas con maltodextrinas al 10%, son mejores que las que emplean la misma proporción de otros azúcares como la sacarosa o sucrosa o bien polímeros como la glucosa, en este último caso al 20%. Las bebidas con maltodextrina tienen menor osmolaridad que las que incluyen glucosa (de alta osmolaridad), pueden arrastrar agua a su paso por el intestino lo que puede provocar diarreas acuosas. Por lo tanto, se recomienda tener precaución al administrar este tipo de bebidas a niños pequeños que están experimentando una infección gastrointestinal.

En contraposición, las bebidas de rehidratación oral, o sueros de rehidratación oral, son más adecuadas en estos casos. Estas bebidas están formuladas específicamente para restablecer el equilibrio de líquidos y electrolitos en el cuerpo, siendo una opción más segura y efectiva durante episodios de diarrea u otras enfermedades gastrointestinales. Estos sueros están formulados con todos los electrolitos necesarios para restablecer el equilibrio del cuerpo y promover la hidratación, contribuyendo así a la recuperación de la salud de niños con enfermedades diarreicas. Son fácilmente accesibles en farmacias, lo que resalta la importancia de educar a los padres sobre su uso adecuado durante procesos gastrointestinales e infecciones.

CONSIDERACIONES FINALES

El análisis de la composición corporal revela que los niños, desde la etapa fetal hasta la adolescencia, mantienen un alto porcentaje de agua en comparación con los adultos. Esta diferencia resalta la importancia de mantener un adecuado balance hídrico desde las primeras etapas de la vida para garantizar un óptimo desarrollo y bienestar físico.

La presencia creciente de bebidas energéticas y la confusión con las bebidas de rehidratación oral plantea un desafío en la promoción de hábitos saludables entre los niños y adolescentes. Es crucial educar tanto a los padres como a los jóvenes sobre las diferencias entre estos tipos de bebidas y promover el consumo de opciones adecuadas, como las bebidas isotónicas y los sueros de rehidratación oral, especialmente durante situaciones de enfermedad gastrointestinal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bonilla, E. F., Martínez, C. M., & Ibatá-Bernal, L. (2018). Consumo de bebidas energizantes en una población de escolares de Bogotá, Colombia. *Revista de Salud Publica*, 20(5), 579-583. <https://doi.org/10.15446/rsap.v20n5.67430>.

Cote-Menéndez M, Rangel-Garzón CX, Sánchez-Torres MY, Medina-Lemus A. Bebidas energizantes: ¿Hidratantes o estimulantes?. *Rev Fac Med*. 2011; 59:255-266.

Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (2018). Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/ENSANUT/ENSANUT_2018/Principales%20resultados%20ENSANUT_2018.pdf.

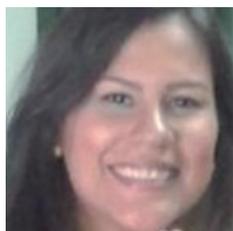
Popkin, B., D'Anci, Rosenberg, I (2010). Water hydration, and health. *Nutr Rev*. Aug;68(8):439-58. doi: 10.1111/j.1753-4887.2010.00304.x.



Eje 1:

Gestión integral del agua para la salud

Sistemas de Potabilización de Aguas para Consumo en Argentina



MSc. Pamela Mejías Saules³

pamelamejias12@gmail.com

De acuerdo al Ministerio de Salud de la República Argentina, el agua segura es aquella que por su condición y tratamiento no contiene gérmenes ni sustancias tóxicas que pueden afectar a la salud de las personas. De igual manera, el Código Alimentario Argentino indica que el agua potable y de uso domiciliario deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente.

El Código Alimentario Argentino (2023) establece los valores máximos permisibles en cuanto a características físicas, químicas, sustancias orgánicas, inorgánicas y parámetros microbiológicos. En cuanto a turbiedad y color, permite valores máximos de 3 unidades nefelométricas de turbidez (NTU) y 5 unidades de color escala platino-cobalto (Pt-Co).

El objetivo de la potabilización consiste en remover microorganismos patógenos y contaminantes peligrosos para la salud humana. En Argentina, la Ley 24.051 y su decreto reglamentario 831/93 establece niveles guía de calidad de

³ Ingeniera Química. Magister en Ingeniería Ambiental. Docente e investigadora de la Universidad de Flores (UFL0) y la Universidad CAE-CE en Buenos Aires, Argentina.

agua para fuentes de agua de bebida con tratamiento convencional, avanzados y otros niveles guía.

La gestión del agua es cíclica, comienza con la captación, que constituye la fuente primaria para la potabilización (Figura 1). Luego del uso que los ciudadanos dan al agua, comienza el proceso de saneamiento. Después del saneamiento, idealmente se busca reutilizar el agua tratada en la mayor medida posible, con el objetivo de contribuir al cuidado del planeta. Sin embargo, aún queda camino por recorrer para alcanzar el objetivo del 100% de reutilización. Una vez completada esta etapa de reutilización, el ciclo continúa con el retorno, cerrando así el ciclo de gestión del agua.



Figura 1. Ciclo de gestión del agua

Con respecto al ciclo urbano del agua, este comienza con la captación inicial del agua superficial y continúa con la distribución, consumo, y posterior tratamiento en plantas de tratamiento o depuradoras con distintos métodos, como los tratamientos biológicos (Figura 2). En cuanto a la reutilización, existen diversas formas de reusar el agua tratada, siendo una de las más comunes el riego, que representa aproximadamente el 80% del reúso. Tras este proceso, el agua retorna al ciclo urbano del agua, cerrando así las distintas fases de su gestión.



Figura 2. Fases del ciclo urbano del agua (Ecosocial, 2023)

En este contexto, Aguas y Saneamientos Argentinos (AySA) desempeña un papel fundamental como empresa encargada de proveer estos servicios de manera eficiente y segura. AySA tiene un área de concesión de 3.363 kilómetros cuadrados, beneficia a 11.238.106 de habitantes, posee 14 estaciones elevadoras, 25.116 kilómetros de cañerías, 3 plantas de agua superficial, 27 plantas de agua subterráneas, y una capacidad de generar 6.234.459 m³ de agua al día.

Las plantas de potabilización de agua superficial son Juan Manuel de Rosas, General Belgrano y General San Martín (Figura 3). La primera fue inaugurada en el año 2013, tiene 15 hectáreas de superficie, produce 150.000 metros cúbicos diarios de agua en una primera etapa, y 900.000 metros cúbicos al día, con la puesta en marcha de la segunda etapa. La planta General Belgrano fue inaugurada un 1978, tiene 36 hectáreas de superficie, y una capacidad para producir 1.950.000 metros cúbicos diarios de agua. Por su parte, la planta General San Martín está ubicada en Palermo, en el centro de la ciudad de Buenos Aires, inaugurada en 1913, posee 28,5 hectáreas de superficie, y produce 3.100.000 metros cúbicos diarios de agua tratada.

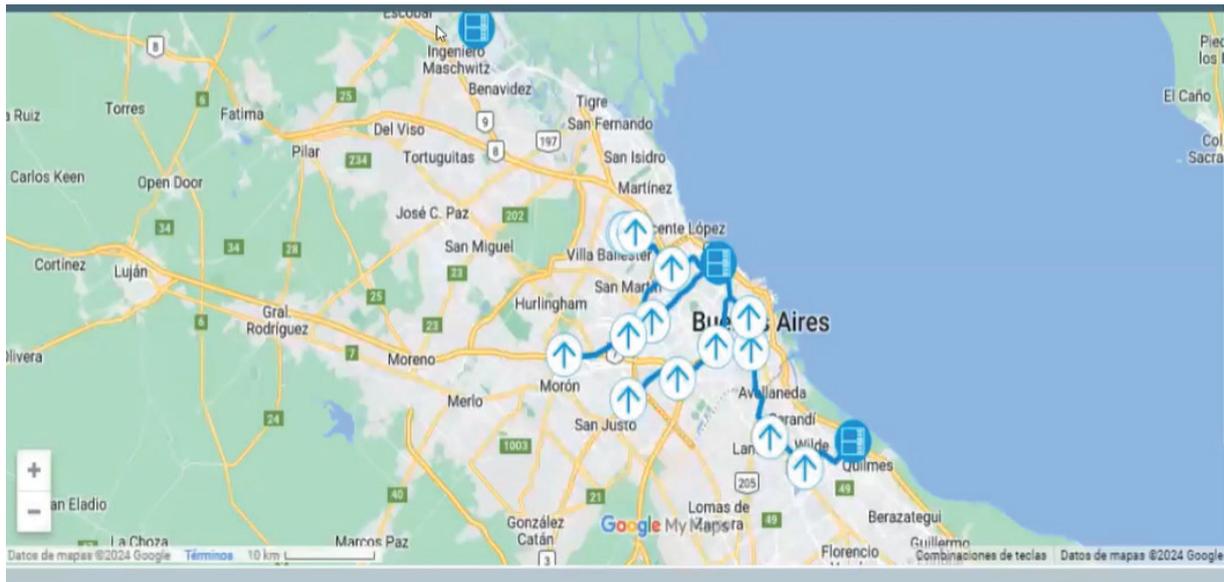


Figura 3. Plantas potabilizadoras de la ciudad de Buenos Aires

La planta General San Martín abastece a la población de la ciudad de Buenos Aires, y de los partidos de San Fernando, San Isidro, Vicente López, San Martín, Tres de Febrero, Morón, Ituzaingó, Hurlingham y una parte de La Matanza, en el conurbano bonaerense. Para tratar esta gran cantidad de agua, se emplea un proceso dividido en distintas etapas, cada una crucial para asegurar la calidad del agua potable (Figura 4). El proceso comienza con la captación del agua del río de La Plata, donde se utiliza una torre de toma equipada con rejas gruesas para evitar la entrada de sólidos de gran tamaño que podrían dañar los equipos.

Esta torre toma se ubica a 1.200 metros de la costa y cuenta con un conducto de 5,4 metros de diámetro y una estación de elevación equipada con 13 bombas que tienen la función de elevar el agua diez metros arriba, permitiendo que el resto del proceso pueda llevarse a cabo por gravedad. La capacidad de elevación de esta estación es de 3,5 millones de metros cúbicos de agua por día.

Después de la estación elevadora, sigue la fase de coagulación, que es un proceso químico-físico crucial. En esta etapa, se desestabilizan las partículas en suspensión mediante la adición de un coagulante químico que las partículas se aglomeran y forman flóculos de mayor tamaño, los cuales luego son eliminados en una cámara de sedimentación. En el proceso de coagulación/floculación, se emplean productos químicos específicos como el sulfato de aluminio o el policloruro de aluminio, que son coagulantes primarios para neutralizar las partículas coloidales cargadas. Estos coagulantes desempeñan un papel crucial en la disminución de la fuerza repulsiva que existe entre las partículas coloidales, lo que lleva a su interacción y posterior formación de pequeños flóculos (Pastrana y col., 2013; Nath et al. 2021)

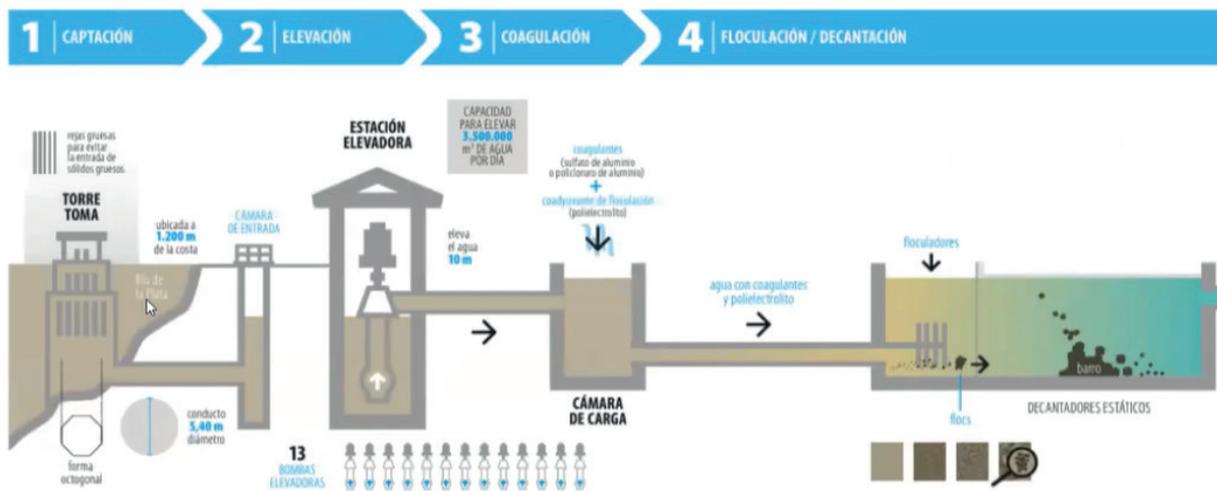


Figura 4. Esquema de potabilización en la Planta General San Martín

Después de la fase de coagulación, el agua con coagulante se introduce en una cámara de carga, donde se agrega un ayudante de floculación, un polielectrolito catiónico. Aquí, la mezcla se somete a floculadores equipados con paletas que generan un movimiento más lento, lo que permite la formación de flocs de mayor tamaño. Estos flocs se transfieren luego a un decantador, donde el lodo se separa del agua de manera efectiva.

Una vez completada esta etapa de decantación, el agua pasa al proceso de filtración, en la planta General San Martín, se cuenta con 130 filtros, que se utilizan para eliminar los flocs del agua y separar físicamente las partículas que hayan quedado. De estos 130 filtros, 82 unidades son filtros de lavado de agua con aire, que utilizan boquillas de aire de alta tecnología y trabajan a velocidades elevadas de 8,5 a 12 metros por hora, con un lecho filtrante de un metro de altura.

Los 48 filtros restantes son un poco más antiguos, pero igualmente eficientes. Estos filtros cuentan con un soporte de grava y un manto de arena, y son lavados en forma de contracorriente para garantizar un lavado eficaz. Una vez filtrada el agua, se procede a la desinfección utilizando cloro, que se añade en una dosis adecuada a las reservas de agua ya clarificada. Esto asegura la eliminación de coliformes y bacterias presentes y garantiza la presencia de un residual de cloro que cumple con las normativas antes de distribuir el agua a los hogares.

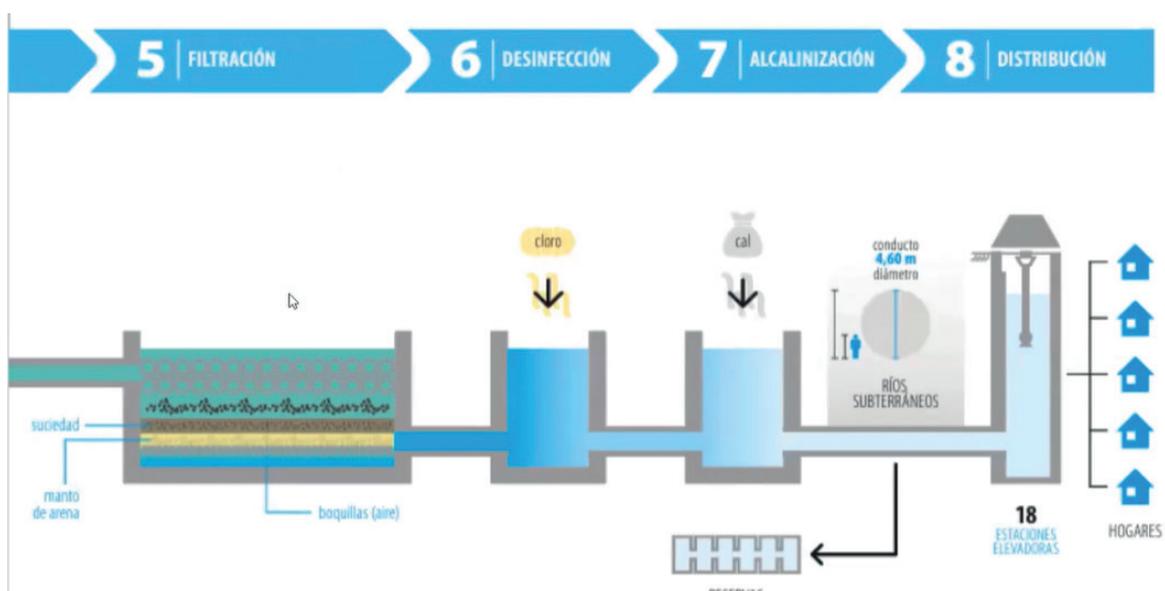


Figura 5. Operaciones de filtración, desinfección y alcalinización en la planta de potabilización General San Martín.

Después de la desinfección con cloro, se procede al proceso de alcalinización. La adición de coagulantes puede aumentar ligeramente la acidez del agua, por lo que se agrega sal para equilibrarla. De esta manera, se logra un nivel óptimo de alcalinidad en el agua, lo que es crucial para su tratamiento adecuado. La cantidad de cal agregada puede variar según los resultados obtenidos y monitoreados en el laboratorio. Una vez completado este proceso, el agua está lista para ser distribuida a los hogares, proporcionando un suministro de agua limpia y pura.

Es importante destacar que AySA realiza un control continuo del sistema de distribución mediante 288 puntos de medición de presión y caudal en la red, así como 18 estaciones elevadoras. Con estas medidas de monitoreo y gestión, se garantiza un suministro de agua confiable y eficiente para los usuarios.

CONSIDERACIONES FINALES

Es fundamental garantizar la seguridad del agua para proteger la salud pública, tanto el Ministerio de Salud de la República Argentina como el Código Alimentario Argentino establecen criterios rigurosos para definir el agua segura y potable, asegurando que esté libre de gérmenes y sustancias tóxicas, y tenga características físicas y sensoriales adecuadas para su consumo humano.

El ciclo de gestión del agua, desde la captación hasta la distribución y reutilización, es un proceso complejo que requiere una cuidadosa planificación y tratamiento. La Ley 24.051 y su decreto reglamentario establecen niveles de calidad del agua para garantizar su potabilidad, mientras que las plantas de potabilización, como la General San Martín, desempeñan un papel crucial en la purificación del agua para el consumo humano.

La gestión eficiente del agua por parte de empresas como AySA es esencial para asegurar un suministro confiable y seguro de agua potable a la población. Con un extenso sistema de distribución y medidas de monitoreo continuo, se puede garantizar que el agua cumpla con los estándares de calidad establecidos y que llegue a los hogares de manera segura y confiable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Código Alimentario Argentino (2023). Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/capitulo_xii_aguas_actualiz_2023-12.pdf

Ecosocial, A. (2023, 12 octubre). El ciclo urbano del agua. [https://aguaecosocial.com/ciclo-urbano-del-agua/#:~:text=Simplificando%2C%20el%20ciclo%20urbano%20del,agua%20sucia%20o%20agua%20residual\).&text=Resumiendo%3A,de%20Tratamiento%20de%20Agua%20Potable](https://aguaecosocial.com/ciclo-urbano-del-agua/#:~:text=Simplificando%2C%20el%20ciclo%20urbano%20del,agua%20sucia%20o%20agua%20residual).&text=Resumiendo%3A,de%20Tratamiento%20de%20Agua%20Potable)).

Nath, A., Mishra, A., & Pande, P. P. (2021). A review natural polymeric coagulants in wastewater treatment. *Materials Today: Proceedings*, 46, 6113–6117. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.551>

Pastrana, A; Solís, R; Ávila, I; Laines,, J.; Sánchez, B. (2023). Coagulación de aguas residuales mediante una mezcla de polvo de *Crotalaria longirostrata* y sulfato de aluminio. *Tecnología en Marcha*. 36 (2): 135–142. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i2.6000>



Eje 2:

Sostenibilidad para el Control y Tratamiento del Agua

El Sistema Vetiver, una Alternativa Sostenible para el Tratamiento de Aguas Residuales



Dr. Oswaldo Luque ⁴

oluque1@gmail.com

Actualmente existe una preocupación cada vez más apremiante, la pérdida de bosques se ha incrementado en un mundo donde la deforestación y la desertificación amenazan los ecosistemas. Esta realidad se hace evidente gracias a comparaciones fotográficas que muestran cómo el planeta ha ido siendo despojado de su cobertura arbórea a lo largo del tiempo.

En medio de estos desafíos ambientales, surge el vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) como una solución valiosa. Esta planta, conocida también como «el clavo viviente», posee raíces masivas que pueden alcanzar hasta tres o cuatro metros de profundidad. Estas raíces ejercen una función crucial al anclar el suelo, previniendo la erosión y protegiendo así los recursos naturales. Tiene una velocidad de crecimiento muy rápida, en seis meses la altura de la planta puede alcanzar dos metros. Las raíces crecen igual de rápido, alcanzando de tres a cuatro metros de profundidad en el primer año (Torres y col., 2020).

⁴ Ingeniero Agrónomo. Máster en Suelos. Doctor en Ciencias del Suelo. Líder de proyectos de investigación y desarrollo en manejo de residuos orgánicos, y tratamiento de aguas residuales con el sistema vetiver

El vetiver ha sido utilizado en diversas partes del mundo durante mucho tiempo, y actualmente se encuentra presente en más de ochenta países en Latinoamérica y Asia. Sus aplicaciones van desde la contención de bancos de ríos hasta la formación de terrazas agrícolas, demostrando su versatilidad y efectividad en la restauración ambiental. Además, posee una capacidad para alimentar al ganado en estado fresco, lo convierte en una opción ecológicamente segura.

¿Qué hace al Vetiver tan especial?. Su método de reproducción exclusivo mediante esquejes, ya que no produce semillas fértiles, lo convierte en una planta única en su tipo. Esta característica, junto con su reconocimiento por parte de la Agencia de Protección Ambiental de Australia como una de las plantas más seguras con la calificación máxima en su escala de evaluación, subraya su importancia en la conservación del medio ambiente y la gestión sostenible de los recursos naturales.

Por todas estas razones, el vetiver se destaca como una planta excepcional para el tratamiento de aguas residuales. Su capacidad para adaptarse a diversas condiciones ambientales es impresionante, puede resistir inundaciones de hasta 20 o 30 centímetros de agua durante ocho meses y sobrevivir sequías de hasta tres o cuatro meses una vez establecida. Además, su notable capacidad de rebrote después de la quema, gracias a los puntos de crecimiento subterráneos, la convierte en una opción altamente resiliente.

Se ha demostrado que el vetiver exhibe una mayor capacidad de fitorremediación en aguas residuales contaminadas en comparación con varias especies de plantas, como ciertas especies de *Cyperus*, *Phragmites* y *Typha* (Darajeh et al. 2019). Además, si se consideran las plántulas cultivadas en un ambiente controlado, el vetiver es prometedor tanto para tratar como para resistir diferentes niveles de As (Singh et al., 2017; Goykovic et al., 2021).

El vetiver es capaz de tolerar pH bajos de 2 a 3 unidades, así como pH altos en áreas cercanas al mar, lo que la hace versátil en una variedad de entornos. Además, su resistencia a la presencia de sulfatos, arsénico, bario y otros metales pesados la convierte en una aliada confiable para retener sedimentos y mejorar la calidad del suelo. En países como Tailandia, se utiliza entre hileras de cultivos para optimizar las condiciones del suelo, el clima y la planta, lo que resulta en rendimientos de hasta un 30 o 40% superiores a los normales, con una biomasa de hasta 120 toneladas por hectárea.

Además de su uso en agricultura, el vetiver se está aprovechando como fuente de energía en países con escasez de combustible, gracias a su extraordinaria capacidad calorífica. Su capacidad para capturar hasta 240 toneladas de CO₂ por hectárea por año también la hacen atractiva en el mercado del carbono.

Aunque el Vetiver ha estado presente en el mundo durante mucho tiempo, fueron países como India, Malasia, Tailandia, China, Australia, Etiopía, Bangladesh, Tanzania y Venezuela los pioneros en su uso y aprovechamiento. Su versatilidad y beneficios ambientales lo convierten en una herramienta invaluable en la lucha contra los desafíos medioambientales globales.

La planta llegó a Venezuela hace unos 200 años, traída por los ingleses desde Trinidad. Desde entonces, se ha distribuido ampliamente en América Central, Filipinas y otras regiones del mundo. Ha sido objeto de numerosos estudios, y su uso fue promovido inicialmente por el rey de Tailandia, quien lo impulsó como una medida de bioingeniería para controlar la erosión del suelo. Con el tiempo, se descubrió su potencial para mejorar los sistemas de producción agrícola al ser utilizada como cobertura entre las hileras de cultivo, proporcionando condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas.

Además, el uso del vetiver también aborda problemas más urgentes, como el ciclo escatológico del agua. En Venezuela, específicamente en la ciudad de Valencia, las aguas residuales son vertidas directamente en los ríos, que luego alimentan grandes represas. Esta agua, con un tratamiento mínimo, es devuelta a la población, afectando aproximadamente a 4 millones de personas en el norte del país. Es aquí donde entra en juego la fitorremediación, un movimiento mundial que ha cobrado fuerza desde el año 2000, centrado en el tratamiento de agua y suelo, utilizando la planta vetiver. El doctor Paul Truong, de Australia, fue pionero en estas investigaciones y aplicaciones de vetiver en la fitorremediación de suelos y agua. Después, el doctor Luu Thai Danh de Tailandia también se involucró en la investigación de la fitorremediación en suelos. Cuando el agua pasa a través de suelos contaminados, el vetiver juega un papel crucial en la descontaminación. Con su follaje denso, retiene sedimentos y puede formar

terrazas, incluso soportando láminas de agua de hasta 80 centímetros de altura. Esto resulta especialmente relevante en países propensos a inundaciones.

Hay numerosos trabajos científicos que respaldan este enfoque. Por ejemplo, se ha observado que el vetiver puede reducir significativamente los niveles de nitratos y fosfatos en aguas altamente contaminadas. Después de cuatro días de exposición, los nitratos se reducen en un 94% y los fosfatos en un 90%. Esto es de gran interés, ya que muchos sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales enfrentan dificultades para controlar el fósforo, lo que a menudo requiere métodos costosos de tratamiento terciario.

La utilización de vetiver en plataformas flotantes para el tratamiento del agua doméstica ha demostrado alcanzar tasas de eliminación de materia orgánica medida como DBO, nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) con eficiencias de eliminación de aproximadamente el 90,1%, el 62,1% y el 35,7%, respectivamente. Además, el vetiver tiene la capacidad de eliminar los contaminantes de varios tipos de efluentes, como los lodos, el biogás, la acuicultura, el aceite de palma, los procesos de fertilización y las granjas porcinas (Correa y col., 2023).

Además, el vetiver tiene la capacidad de eliminar las algas verdes azuladas, que pueden producir toxinas irritantes para la piel. Esto es particularmente relevante, ya que estas algas son un problema común en muchas fuentes de agua. El vetiver puede utilizarse en una variedad de entornos, incluyendo lagunas de pulimento en plantas de tratamiento de aguas residuales, ríos contaminados, embalses o represas, canales de trasvase, vertederos de basura y rellenos sanitarios.

Algunos ejemplos de experiencias reales, en Australia, la empresa Gelita, dedicada a la producción de gelatina, enfrentaba un desafío considerable debido a la generación de 1.300.000 L de agua contaminada diariamente como subproducto de su proceso. Sin embargo, las regulaciones ambientales australianas prohibían la descarga de aguas residuales al medio ambiente, incluso después del tratamiento convencional. En respuesta a esta situación, el grupo de empresas llevó a cabo una investigación dirigida por el profesor Truong durante dos años. Como resultado de este estudio, se implementó un humedal de vetiver de 32 hectáreas. Los resultados fueron sorprendentes, se logró eliminar 48 millones de litros de efluentes por mes, demostrando la eficacia sobresaliente de esta planta en el tratamiento de aguas residuales.

Otro ejemplo que se tiene en Singapur, corresponde a un humedal de vetiver que se transformó en un atractivo turístico notable. Esta iniciativa surgió debido a los problemas de tratamiento de aguas residuales que enfrentaba el país, incluso después del tratamiento convencional. El humedal de vetiver se convirtió en una solución efectiva para refinar el agua residual. Como resultado, el humedal se convirtió en un destino popular para los turistas, atrayendo a muchas personas cada año para presenciar este espectáculo natural. El diseño arquitectónico del humedal, junto con su efectividad en el tratamiento del agua, lo convirtió en un punto destacado en la lucha contra la contaminación del agua.

Una aplicación del vetiver en el tratamiento de aguas a escala regional, es el caso del río más contaminado de Asia, el río Citarum, en la región occidental de Indonesia. La cuenca del río Citarum es la principal fuente de agua para Yakarta, la capital, y Bandung, la cuarta ciudad más grande del país. Además, la cuenca desempeña un papel crucial en el suministro de agua para el riego de cultivos y las actividades industriales en las tierras bajas del norte de Java, al tiempo que apoya a las comunidades que residen en la cuenca (Truong y Thai, 2015). Este río estaba severamente afectado por descargas domésticas de nueve millones de personas y desechos industriales de cientos de fábricas. Para abordar este problema, se estableció un acuerdo con un organismo internacional para implementar un enfoque basado en el vetiver. Se sembraron hileras de vetiver a lo largo de las orillas del río y se implementó un sistema para tratar las aguas residuales que anteriormente se descargaban directamente al río. Después de cuatro años, la situación cambió drásticamente, mostrando un agua mucho más limpia y saludable.

Por otro lado, en Biloxi, Mississippi, Estados Unidos, se enfrentaban a un desafío considerable relacionado con la eliminación de las aguas residuales generadas por el manejo de la basura, que, por lo general, eran tratadas mediante costosos procesos de incineración y resultaban en malos olores. Sin embargo, encontraron una solución innovadora al introducir el vetiver. Este se sembró en el área y se implementó un sistema de riego por goteo debajo de las plantas (Figura 1). Como resultado, el vetiver logró

tratar eficaz y económicamente estas aguas residuales, transformándolas en un recurso limpio y seguro. Este enfoque también se replicó en otras regiones, como en Nuevo León, México, y en China.



Figura 1. Plantación de vetiver para el tratamiento de aguas residuales de un vertedero de basura

En Venezuela, se ha implementado con éxito el uso de plataformas flotantes de vetiver en empresas de alimentos, como en el caso de una empresa productora de alimentos en Chivacoa, Yaracuy. En esta aplicación, se utilizan las plataformas flotantes en lagunas de tratamiento de aguas residuales, donde se ha observado una reducción significativa en el consumo de energía eléctrica al disminuir la necesidad de fuentes de aireación. Además, se han diseñado nuevas plataformas de plástico para abordar los problemas de maleza que surgieron con las plataformas anteriores (Figura 2, página siguiente).



Figura 2. Plataformas flotantes para el tratamiento de aguas residuales en humedales

Estos ejemplos destacan la versatilidad y efectividad del vetiver en el tratamiento de aguas residuales, desde vertederos de basura hasta instalaciones industriales, demostrando su capacidad para ofrecer soluciones sostenibles y económicamente viables para la gestión del agua y los desechos.

El vetiver también puede utilizarse en sistemas como biofiltros en la industria alimentaria. En este sector, se generan numerosos residuos durante los procesos operativos. Por ejemplo, en una planta de harina de maíz precocida, los residuos que caen al suelo son cantidades considerables, alrededor de 50.000 a 100.000 kilos por mes. ¿Qué se puede hacer con estas harinas contaminadas que no se pueden desechar en vertederos ni en rellenos sanitarios?. Aquí es donde entra en juego el Biofiltro Sistema Vetiver, que combina la acción de la biorremediación con la fitorremediación.

¿Cómo funciona?. Primero, se añade compost, que contiene una alta carga de microorganismos, sobre el cual colocamos las harinas biodegradables (Figura 3). Luego, se pasa un tractor con una rastra que airea el sistema y forma un piso arado que evita que el agua penetre en horizontes más profundos. El agua que escurre superficial y lateralmente es interceptada por hileras de vetiver. Al final, el agua sale completamente limpia, sin contaminantes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, metales pesados o coliformes fecales, gracias a la capacidad del vetiver para purificar el agua.



Figura 3. Plantación de vetiver como biofiltro para una planta de alimentos

Otro diseño eficaz para pequeñas comunidades con aguas contaminadas consiste en usar tambores con vetiver flotante, a través de los cuales entra y sale el agua contaminada, y al final, sale limpia. Los resultados muestran una reducción significativa de fósforo, nitrógeno y DBO (Figura 4). Este enfoque innovador brinda una solución sostenible y efectiva para abordar la contaminación del agua en diversas industrias y comunidades. En Venezuela, se está trabajando en la implementación de grandes humedales de vetiver y lagunas con plataformas flotantes en explotaciones porcinas que vierten aguas contaminadas en la cuenca del Lago Valencia.



Figura 4. Sistema de tratamiento con vetiver en tambores

CONSIDERACIONES FINALES

La pérdida de bosques y la amenaza de la desertificación son preocupaciones cada vez más urgentes en un mundo afectado por la deforestación. Las comparaciones fotográficas a lo largo del tiempo revelan el impacto devastador que ha tenido la pérdida de cobertura arbórea el planeta.

El vetiver emerge como una solución valiosa en medio de estos desafíos ambientales. Esta planta posee raíces masivas que desempeñan un papel crucial en la prevención de la erosión del suelo y la protección de los recursos naturales. Su versatilidad y efectividad en la restauración ambiental lo convierten en una herramienta invaluable.

La capacidad única del vetiver para reproducirse exclusivamente mediante esquejes, su capacidad para adaptarse a diversas condiciones ambientales lo convierte en una opción altamente prometedora para el tratamiento de aguas residuales y la mejora de la calidad del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Correa-Torres, Sandra N., Reátiga, Alexander, Duran, Martha C., & Florville, Thomas R.. (2023). Eficiencia de la aplicación de *Chrysopogon zizanioides* en un sistema de agua residual doméstica rural con pretratamiento de pozo séptico. *Información tecnológica*, 34(5), 1-10. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642023000500001>.

Darajeh, N.; Truong, P.; Rezanian, S.; Alizadeh, H.; Leung D. W.M. 2019. Effectiveness of Vetiver Grass versus other Plants for Phytoremediation of Contaminated Water. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 7(3): 485-500.

Goykovic-Cortés, Vitelio, Ugalde-Smolcz, Sandra, & Pacheco-Cartagena, Patricia. (2021). Eficiencia fitorremediadora de vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) en agua contaminada con arsénico y plomo. *Idesia (Arica)*, 39(4), 139-145. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000400139>.

Singh, R.; Singh, S.; Parihar, P.; Singh, P.V.; Mohan, S.P. 2015. Arsenic contamination, consequences and remediation techniques: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 112: 247-270.

Truong, P., Thai, L. (2015). El Sistema vetiver para mejorar la calidad del agua. Prevención y tratamiento y tratamiento de aguas y suelos contaminados. Segunda Edición. Publicado por la Red Internacional de Vetiver.

Torres, J. A., Torres, R. J., Peña, J. C., Picón, R., Méndez, L., & Calderas, R. J. (2020). Estudio experimental del sistema radicular del pasto vetiver sometido a esfuerzos de tracción. *Informes de la Construcción*, 72(560), e365. <https://doi.org/10.3989/ic.70923>.



Eje 2:

Sostenibilidad para el Control y Tratamiento del Agua

Water Curtains as a Control Method for Particles in Boofing Operations



Msc. Alfredo Rincón⁵

alfredorincon@gmail.com

En el año 2024, se ha observado un aumento significativo en los niveles de contaminación del aire, una tendencia que se viene manifestando desde finales del siglo pasado. Este fenómeno impacta directamente en la vida cotidiana, manifestándose en diversos aspectos. Desde la disminución de la calidad del aire y la visibilidad atmosférica hasta el aumento de la temperatura global promedio, cuyos efectos son palpables. Además, este incremento en la contaminación se traduce en riesgos para la salud humana, con consecuencias que van desde problemas respiratorios hasta el desarrollo de enfermedades graves, como el cáncer.

En este contexto, es importante comprender la variedad de contaminantes presentes en el aire, desde el material particulado y los óxidos de nitrógeno, hasta los contaminantes tóxicos que pueden tener efectos devastadores en la salud. Además, los gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono y el metano, también contribuyen a este panorama preocupante. Es fundamental abordar estos desafíos ambientales con seriedad y tomar medidas para mitigar sus efectos negativos en el entorno y la salud pública.

⁵ Ingeniero Mecánico. Magíster Scientiarum en Ingeniería Ambiental. Especialista en el área de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente. Air Quality Permit Engineer en Minnesota Pollution Control Agency.

Los tipos de contaminantes regulados por la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense (EPA) se dividen en tres grupos, los contaminantes de criterio, los contaminantes tóxicos y los gases efecto invernadero. Los contaminantes de criterio son un grupo de seis contaminantes comunes: material particulado (PM), oxidantes fotoquímicos, monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y plomo. Por otro lado, se encuentran los contaminantes tóxicos conocidos como HAPs, que son contaminantes que causan o pueden causar cáncer u otros efectos graves para la salud, como efectos reproductivos o defectos de nacimiento, así como efectos ambientales y ecológicos adversos.

Los gases de efecto invernadero (GHGs) se refieren a gases incluidos el dióxido de carbono, los clorofluorocarbonos, el metano y el ozono, que afectan la salud humana y contribuyen a la escalada del efecto invernadero en la Tierra y el consiguiente efecto en el clima global. Los principales GHGs liberados como resultado de las actividades humanas a escala mundial incluyen el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). El principal impulsor del aumento de estas descargas en todo el mundo son las actividades asociadas a la industria energética, que representan el 26% de las emisiones, seguidas del sector industrial (19%), la silvicultura (17%), la agricultura (14%), las fuentes residenciales y comerciales (8%) y la gestión de residuos (3%) (Saynes y col., 2016; IPCC, 2013).

Por otro lado, los mecanismos de control se refieren a los métodos y equipos utilizados para reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera por parte de las empresas o industrias. Estos mecanismos son necesarios para cumplir con las regulaciones ambientales y garantizar la reducción de los contaminantes principales emitidos durante los procesos industriales. Existen diferentes tipos de mecanismos de control, como la combustión, la conversión y la recolección de emisiones. La combustión se utiliza en instalaciones como refinerías, donde se queman los contaminantes para reducir su cantidad. La conversión se refiere al uso de equipos fotovoltaicos u otros dispositivos para transformar los contaminantes en formas menos dañinas. La recolección implica la captura de partículas contaminantes mediante métodos como las cortinas de agua.

Las fuentes de contaminación del aire pueden ser diversas, incluyendo industrias del petróleo, manufactura, procesamiento de alimentos, entre otras. También pueden surgir emisiones fugitivas durante el transporte y manipulación de materiales en estas industrias. Es fundamental implementar mecanismos de control adecuados para reducir estas emisiones y minimizar su impacto en la calidad del aire y la salud pública.

Los equipos de control se utilizan para diversos fines relacionados con la mejora del rendimiento ambiental, el cumplimiento de normas y reglamentos, la prevención de la contaminación, la conservación de recursos, la eficiencia operacional, el aumento de la moral de los empleados y una mejor imagen ante el público. Sin embargo, es importante destacar especialmente el cumplimiento de las normas y reglamentos, ya que, en la realidad empresarial, si no hay una regulación adecuada que establezca parámetros de control o límites para la reducción de contaminantes, los demás aspectos podrían quedar simplemente en el ámbito teórico.

En el caso de las empresas, la existencia de normas y reglamentos es crucial, ya que proporcionan los marcos necesarios para establecer medidas de control y reducción de contaminantes. Por lo tanto, como organismo regulador, somos rigurosos en la emisión de permisos, ya que estos documentos son fundamentales para garantizar que las empresas cumplan con los estándares ambientales establecidos.

En relación a la permisología, en Estados Unidos se cuentan con regulaciones estrictas que actúan como barreras para clasificar a las empresas y determinar los requisitos que se incluirán en los permisos ambientales. Estas regulaciones son fundamentales para garantizar que las empresas operen de manera responsable y cumplan con los estándares de protección ambiental necesarios.

Dependiendo de si una empresa es considerada una fuente mayor o una fuente menor de emisiones, las regulaciones y los requisitos de control pueden variar significativamente. Por ejemplo, una empresa que realice la recuperación de gas natural, como el metano en un biodigestor, puede tener un potencial de emisión de metano considerable, pueden ser 300 toneladas por año. En este caso, es fundamental que la empresa implemente medidas de control y monitoreo adecuadas para garantizar que se cumplan los límites de emisión establecidos por la ley.

El proceso de control puede implicar el uso de tecnologías avanzadas, como el modelado computacional y el registro detallado de las emisiones, que pueden requerir un seguimiento continuo de la actividad de la empresa, ya sea por hora o incluso cada 15 minutos. Además, es importante que la empresa adopte un enfoque proactivo para reducir sus emisiones, incluso si operan dentro de los límites permitidos.

Al tomar medidas para limitar y controlar sus emisiones, una empresa puede clasificarse como una fuente menor de emisiones, pero con un potencial para ser una fuente mayor si no se aplican las medidas adecuadas de control. Sin embargo, al comprometerse con prácticas de control efectivas, la empresa puede contribuir significativamente a la reducción de la contaminación atmosférica y cumplir con las regulaciones ambientales.

Es significativo resaltar la importancia de los equipos de control en este proceso. Al utilizar tecnologías avanzadas y adoptar prácticas de control efectivas, las empresas pueden mitigar su impacto ambiental y contribuir a la protección del medio ambiente y la salud pública. Los números y datos resultantes de estos esfuerzos muestran claramente el impacto positivo del uso de equipos de control en la reducción de las emisiones contaminantes y la mejora de la calidad del aire.

Para el control de la emisión de material particulado pueden utilizarse cortinas de agua que son dispositivos utilizados en diversas aplicaciones industriales y comerciales. Funcionan mediante la creación de una barrera de agua que atrapa las partículas presentes en el aire, evitando que se dispersen y se conviertan en contaminantes ambientales. El funcionamiento de las cortinas de agua es relativamente simple pero efectivo. Consisten en una serie de boquillas dispuestas a lo largo de una estructura, desde la cual se rocía agua en forma de finas gotas. Estas gotas de agua capturan las partículas en suspensión en el aire, haciendo que se depositen en el suelo o se reciclen a través de sistemas de filtración (United Nations Environment Programme, s. f.).

Estas cortinas son esenciales para eliminar y reducir las partículas de pintura en el aire durante el proceso de pintura en cabinas industriales. La atomización por aire es fundamental para gestionar eficazmente el polvo y los contaminantes en entornos industriales, garantizando la salud y el bienestar de los trabajadores y el cumplimiento de las regulaciones ambientales.

En el contexto de una empresa que produce cuero, una curtiembre, estas cabinas de pintura son cruciales una vez que el cuero ha pasado por el proceso de curtido y tratamiento, convirtiéndose en lo que se conoce como cuero «Wet blue». El proceso de pintura se lleva a cabo en estas cabinas, donde se aplica mediante rociadores. Es importante destacar que estas cabinas suelen ser espacios cerrados y controlados, lo que garantiza una aplicación precisa y eficiente de la pintura, minimizando la dispersión de partículas en el aire y optimizando el proceso.

La pieza de cuero previamente teñida de azul pasa por el proceso de aplicación de pintura. La eficiencia del control puede alcanzar hasta un 95%, según los estándares establecidos por la EPA. Para garantizar que el control que se está aplicando, esté funcionando adecuadamente se monitorean el caudal del agua, la caída de presión de los gases de combustión o cualquier otro gas presente, y la temperatura. Especialmente la caída de presión, ya que indica si las partículas no absorbidas por la cortina de agua están siendo correctamente capturadas por el sistema de extracción.

Si no se mantiene una presión negativa adecuada, las partículas podrían no ser absorbidas y quedar dispersas en el aire, lo que es inaceptable. Por lo tanto, se necesita que todas las partículas sean absorbidas para cumplir con los estándares regulatorios. Además del monitoreo regular, es crucial realizar un mantenimiento adecuado de estos equipos y registrar diariamente los datos relevantes como el caudal del agua, caída de presión en la cabina y temperatura.

Para esta curtiembre, se planteó la instalación de una cortina de agua que constó de un sistema de rociadores de agua seguido de un equipo de filtrado, y posteriormente, una salida al exterior. Esta empresa utiliza alrededor de 300 fórmulas diferentes de pintura, lo que lleva a observar que los niveles de contaminantes varían entre las fórmulas, desde el metileno hasta el dietilenglicol. Para evaluar el potencial de emisión del equipo, siempre se calcula en base a la condición máxima de operación, y se asume que el comportamiento del material particulado PM2.5 es similar al del PM10, debido a que se carece de regulaciones específicas para el PM2.5.

Es crucial que el recinto de la cabina de pintura esté completamente cerrado, y que se realice una certificación para garantizar el adecuado tratamiento del aire contaminado. Se han establecido requisitos estrictos para la aprobación y uso del equipo, con obligaciones de registro y seguimiento continuo durante al menos 18 meses después de emitir el permiso. En caso de que haya fallas en el equipo o escasez de recursos como agua, se espera que la empresa lleve un registro detallado de estas incidencias.

En cuanto al control de partículas, se exige una eficiencia mínima del 85%, tanto para partículas de tamaño PM10 como PM2.5. También deben estar especificados los procedimientos de inspección y mantenimiento que la empresa debe seguir para garantizar el funcionamiento adecuado de la cortina de agua y otros equipos involucrados en el proceso. Cabe destacar que, desde la EPA, se establecen especificaciones precisas para la construcción de las cortinas de agua, asegurando que haya una recirculación del agua y una continuidad en el muro de agua. No se permiten roturas en el muro, ya que esto podría comprometer la eficiencia de remoción de contaminantes. Es fundamental mantener una estructura uniforme en el muro de agua para garantizar resultados consistentes.

Además de las cortinas de agua, existen otros equipos que también utilizan agua como método de control de emisiones. Uno de ellos es el precipitador electrostático húmedo, que utiliza agua para limpiar las placas y controlar las emisiones de partículas. El flujo y la velocidad del agua en estos sistemas son indicadores clave de su correcto funcionamiento. Una disminución en los caudales de agua puede afectar negativamente la eficacia del sistema y reducir la tasa de recolección de partículas.

Un precipitador electrostático húmedo puede usarse para controlar una variedad de puntos de emisión y contaminantes, como los secadores de astillas de madera, niebla de ácido sulfúrico, gases de escape de hornos de coque, hornos de oxígeno y básico; y cúpulas.



Figura 1. Precipitador electrostático

Los bajos caudales aumentan el riesgo de pulverización y distribución ineficaz del agua, lo que puede comprometer la capacidad del sistema para capturar las partículas. Estos equipos se utilizan en una variedad de industrias, incluyendo aquellas que trabajan con madera, tratan niebla de ácido sulfúrico y manejan gases de escape de hornos de coque.

Otro ejemplo es el rotoclone, conocido también como Web rotoclone, que utiliza una combinación de fuerza centrífuga y agua para limpiar el aire cargado de polvo (Figura 2). El diseño específico de la entrada de agua en el rotoclone garantiza una mezcla completa de aire y agua para una limpieza efectiva del aire contaminado. El polvo es separado del aire por una cortina de agua creada por el flujo de aire a través de un impulsor estacionario parcialmente sumergido. El aire que fluye a través del impulsor a alta velocidad transporta consigo la lámina de agua turbulenta. El flujo ascendente de agua a través de la ranura promueve una mayor interacción entre el polvo y el agua, lo que resulta en una mayor eficiencia de recolección.



Figura 2. Esquema del Rotoclone

Otro equipo utilizado por las empresas son los condensadores de contacto, que recuperan los compuestos orgánicos volátiles al facilitar el contacto directo y la mezcla íntima entre el medio de enfriamiento, los vapores y el condensado. Estos condensadores generan una lluvia de agua a través de la cual los vapores ascienden y se condensan, mientras que los gases son arrastrados por el agua.

Por último, se tiene el ozonizador que combina la evaporación unida, la absorción de carbono y la reacción de ozono para eliminar vapores de una corriente de aire. En este proceso, el agua se oxida en el tanque de reciclaje del reactor, donde los compuestos orgánicos se descomponen para formar dióxido de carbono, agua y subproductos (Figura 3). Posteriormente, la corriente de agua ingresa a un separador de gotas para eliminar el exceso de agua atrapada en el aire. Luego, pasa a través de un lecho de carbón activado para eliminar los restos orgánicos que no se disolvieron en el agua.



Figura 3. Ozonizador en el control de material particulado

CONSIDERACIONES FINALES

El aumento continuo de la contaminación del aire y sus impactos adversos en la salud pública y el medio ambiente subrayan la necesidad urgente de tomar medidas concretas y efectivas que van desde la implementación de tecnologías avanzadas de control hasta el cumplimiento estricto de regulaciones ambientales. Es imperativo que las empresas y los organismos reguladores colaboren para abordar este desafío global de manera significativa.

El desarrollo y la adopción de tecnologías avanzadas de control de emisiones, como las cortinas de agua y los precipitadores electrostáticos húmedos, son ejemplos claros de cómo la innovación puede desempeñar un papel crucial en la reducción de la contaminación del aire. Al invertir en investigación y desarrollo de nuevas soluciones, se puede mejorar la eficiencia de los sistemas de control y avanzar hacia un futuro más limpio y sostenible.

La cooperación entre las empresas y los organismos reguladores es fundamental para garantizar que se cumplan las normas ambientales y se proteja la salud pública, a través de la emisión de permisos ambientales, el monitoreo constante y el seguimiento riguroso del cumplimiento, promoviendo una cultura de responsabilidad ambiental y asegurar que todas las partes interesadas trabajen juntas para abordar los desafíos de la contaminación del aire de manera efectiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, UK.

United Nations Environment Programme. (s. f.). La cortina que purifica el aire: una solución innovadora para la contaminación en interiores. UNEP. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/la-cortina-que-purifica-el-aire-una-solucion-innovadora-para-la>

Saynes, V., Etchevers, J., Paz, F., Alvarado, L. (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 83-96. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000100083&lng=es&tlng=es.



Eje 2:

Sostenibilidad para el Control y Tratamiento del Agua

Estudio en el Avance de la Tinción de Fibras Naturales con Pigmentos de Microalgas



Dr. Gilberto Colina ⁶

gcolina@ucsa.edu.pe



Ing. Nicolás Cayo ⁷

mcayoch@unsa.edu.pe

En general, los pigmentos microbianos son metabolitos de microorganismos y este término se utiliza para definir los colorantes o colorantes producidos por microorganismos. Desde el punto de vista de las ciencias textiles y biotecnológicas, el término «pigmento microbiano» suele preferirse al de «tinte microbiano». Las moléculas de tintes solubles cambian temporalmente su estructura cristalina durante el teñido mientras que los pigmentos son moléculas insolubles y mantienen su estructura de partículas durante el proceso de solvación (Fried y col., 2022).

Sin embargo, los pigmentos biológicos pueden unirse químicamente con grupos funcionales en fibras textiles, y se comportan como tintes. Por lo tanto, tanto el tinte microbiano como el colorante microbiano se pueden utilizar para referirse a cualquier color. Los biopigmentos de bacterias, hongos y

⁶ Licenciado en Educación Biología y Química, Área: Química. Magíster Scientiarum en Ciencias Ambientales. Doctor en Ingeniería Ambiental. Docente Investigador Tiempo Completo de la Universidad Católica Santa María, Arequipa, Perú. Coordinador General de la Red Iberoamericana sobre Saneamiento de Aguas – CYTED – AMARU

⁷ Ingeniero de Materiales. Analista de investigación en la Universidad Católica Santa María, Arequipa, Perú

microalgas tienen un enorme potencial de uso como ingrediente en la industria colorante como la cosmética, la alimentación, y la farmacia (Abdulkadir y col., 2017; Kramar y Kostic, 2022).

El planteamiento del problema de esta investigación se centra en entender cómo ocurre la tintura de fibras naturales utilizando pigmentos extraídos de microalgas. Además, surge la inquietud que si estos pigmentos podrían ser una alternativa más viable que los sintéticos en la actualidad. Es por ello que se plantea estudiar el proceso de tintura de las fibras naturales con los pigmentos de microalgas determinando las condiciones experimentales necesarias para lograr una estabilidad fisicoquímica óptima del pigmento extraído, y analizar las fibras ya teñidas mediante ensayos específicos.

La hipótesis de este estudio parte de la premisa de que la fabricación de prendas con tintes sintéticos genera residuos líquidos complejos que tienen un impacto negativo en el medio ambiente. Por lo tanto, se busca lograr resultados eficientes en el proceso de tintura utilizando pigmentos naturales de microalgas, variando los tiempos de teñido y la concentración de pigmentos.

Perú es un país reconocido por la producción de lana de oveja, alpaca tanto Suri como Huacaya, y otros tipos de fibras naturales, como el algodón. La fibra de alpaca, una materia prima valiosa, es muy buscada en los mercados internacionales por su excelente calidad y sus atributos clave que contribuyen a la producción de textiles. Perú cuenta con la mayor población de alpacas a nivel mundial, con la región de Puno a la cabeza en número de alpacas, seguida de los departamentos de Arequipa, Cusco y Huancavelica. Las principales actividades económicas en las zonas altoandinas de la región de Puno giran en torno a la cría de alpacas y la creación de artesanías con fibra de alpaca (Sucasaca y Guevara, 2020).

El proceso industrial de producción de fibras de alpaca comienza con llegada de la fibra en vellones hasta la producción del hilo (Figura 1). Se realizan diversas etapas, como la categorización, el lavado, el secado, la lubricación, el cardado y el peinado. Estos procesos son fundamentales para homogeneizar la fibra y prepararla para la siguiente fase. Una vez obtenido el hilo, se procede a la fabricación de las prendas.

Los colorantes naturales, también llamados pigmentos naturales, son aquellos que se obtienen a partir de materia animal o vegetal, con poco o ningún componente químico (Figura 2). Los colorantes naturales pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos. Dentro de los orgánicos, se encuentran los de origen vegetal y animal. Los vegetales proporcionan colorantes que se extraen de raíces, cortezas, hojas, flores y frutos. En el caso de los animales, se pueden obtener colorantes a partir de diferentes fuentes. Por otro lado, en la categoría inorgánica, se encuentran los colorantes derivados de minerales.

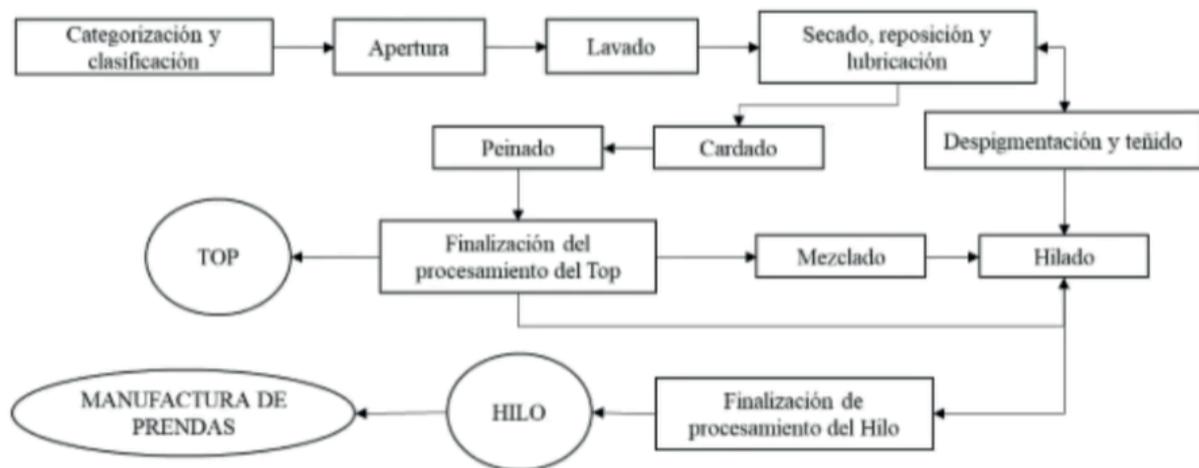


Figura 1. Proceso de teñido de fibras de alpaca. (Chávez, 2022)

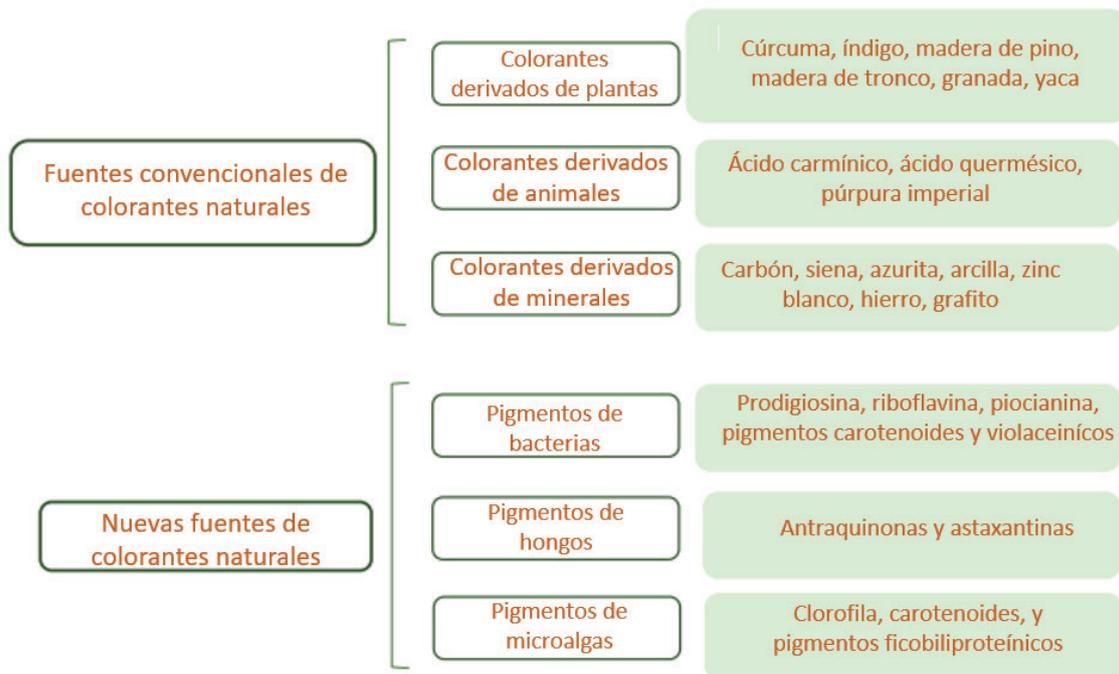


Figura 2. Clasificación de los pigmentos naturales (Mutaf y col., 2022)

En comparación con los recursos de tintes naturales convencionales, los pigmentos generados por microorganismos tienen una inmensa ventaja debido a que son rentables, fáciles y producción rápida, productividad mejorada a través del desarrollo de procesos upstream y downstream, ausencia de factores geográficos y estacionales variabilidad, accesibilidad y estabilidad durante todo el año. Por estas razones, durante la última década, la investigación se ha centrado cada vez más en los biopigmentos derivados de microorganismos como una fuente novedosa y prometedora para la industria textil (Venit y col., 2013; Metwally y col., 2021).

El teñido implica la modificación tanto de la apariencia externa como interna de la fibra para lograr un acabado superficial parcial o total, bajo condiciones específicas. Requiere un proceso en una solución acuosa, que se divide en cuatro partes distintas. La primera etapa es el acondicionamiento de la fibra, donde esta se hincha para facilitar la penetración del tinte y permitir la absorción adecuada. Luego, viene la etapa de emigración, donde el tinte se mueve desde la solución hacia la fibra, impulsado por fuerzas iónicas entre el tinte, la solución y la fibra misma.

Es importante destacar el papel del mordiente en este proceso. Derivado del latín 'morder', el mordiente facilita la unión del tinte a la fibra, permitiendo una mejor penetración. Los mordientes son sustancias químicas que posibilitan esta unión. Además, el pH juega un papel crucial en la migración del tinte, al igual que la temperatura, que debe mantenerse elevada, y la agitación, que favorece la migración del color hacia la fibra.

La tercera etapa del proceso es la difusión, que constituye la parte más crucial del teñido. En esta fase, el tinte penetra en la fibra. La calidad de la difusión depende en gran medida de la porosidad de la fibra utilizada. Cuanta mayor sea la porosidad, mejor será la difusión del tinte hacia la fibra. Por último, la etapa de fijación es fundamental en todo el proceso de teñido, ya que depende de los tres procesos anteriores. Es esencial mantener la temperatura y la agitación constantes a lo largo de todo el proceso para garantizar una fijación adecuada del tinte.

En los laboratorios del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Católica Santa María, se ha llevado a cabo el cultivo de microalgas, específicamente de la espirulina, también conocida como *Arthrospira platensis*. Se utilizó como medio de cultivo el arroz, desde el primer día, las microalgas comenzaron a crecer, pasando de un tono inicial claro a un verde más intenso. Una vez que las microalgas están cultivadas, se procede a la extracción de la ficocianina (Figura 3).

Para ello, se emplearon diversos métodos de extracción, como el uso de solventes, maceración, congelamiento y descongelamiento.

Una vez extraído el pigmento, se procede a cuantificarlo. El objetivo es estabilizar la ficocianina para lograr un tinte más adecuado. En la Figura 4, se muestra la ficocianina extraída en su color azul original, mientras que en la Figura 5, se observa la ficocianina ya estabilizada mediante liofilización.

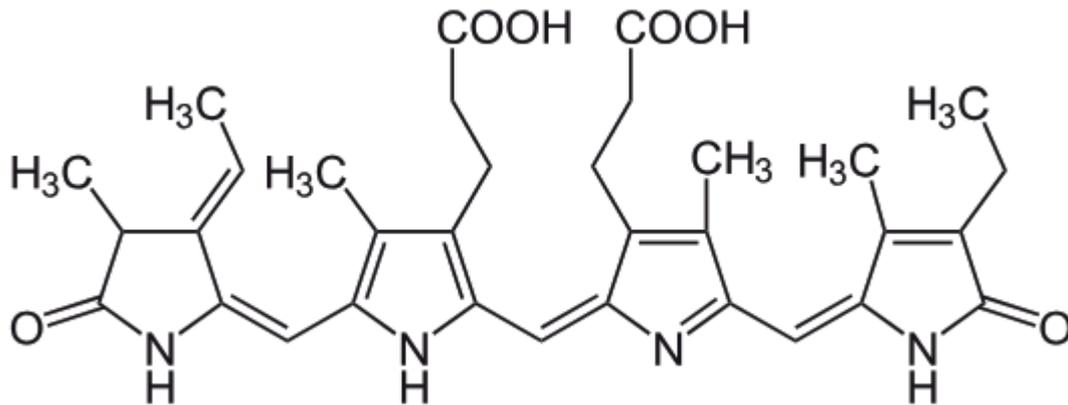


Figura 3. Estructura química de la ficocianina



Figura 4. Color original de la ficocianina



Figura 5. Color de la ficocianina estabilizada

En cuanto a las pruebas de tinción desarrolladas, se puede observar en la Figura 6a, una representación de la fibra ya convertida en hilo grueso de dos cabos, que ha sido sometida al teñido con el pigmento de ficocianina extraída. En la Figura 6c, se exhibe una tela multifibra que permite evaluar el grado de impregnación del tinte en diversos tipos de telas, como acetato, algodón, nilón, poliéster y acrílico.

En la Figura 6b, se puede notar que no existe una solidez óptima del color en la fibra, lo que indica una captación deficiente del tinte debido a que la ficocianina utilizada no ha sido estabilizada. Por otro lado, en la Figura 6a se muestra la fibra teñida con ficocianina estabilizada.

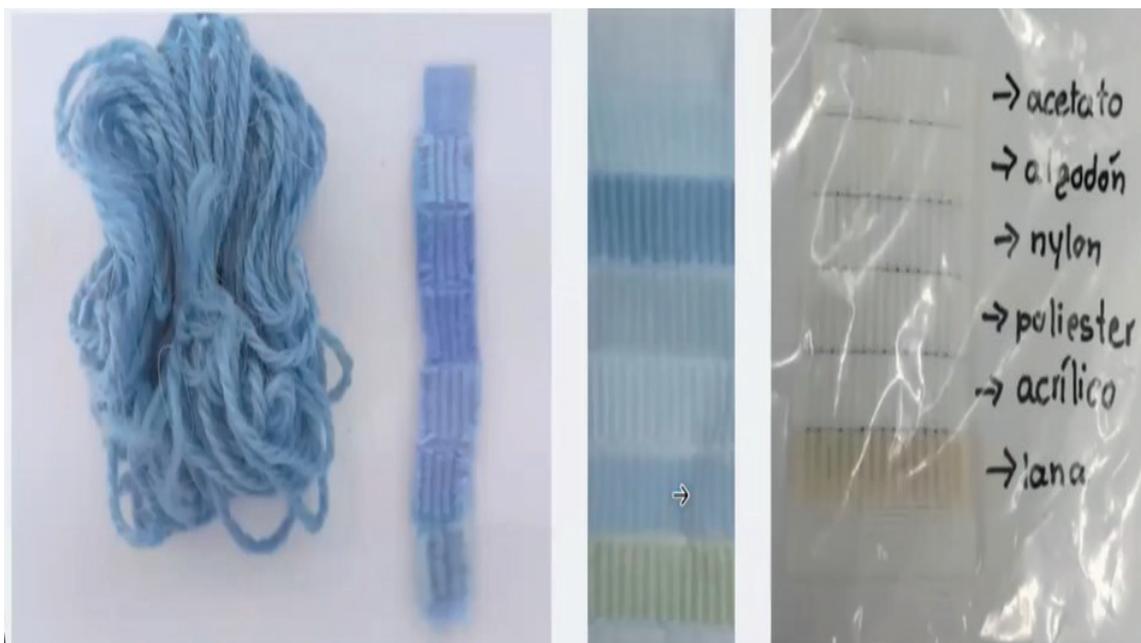


Figura 6. Tinción de hilos con ficocianina

CONSIDERACIONES FINALES

La tinción de las fibras naturales con pigmentos extraídos de microalgas emerge como una alternativa viable y sostenible para obtener pigmentos respetuosos con el medio ambiente, contribuyendo así a reducir el impacto ambiental generado por los residuos líquidos de materiales sintéticos.

Se destaca que la principal diferencia entre los pigmentos naturales y los sintéticos radica en su respuesta a la temperatura elevada, la cual puede afectar directamente su estructura química y ocasionar pérdida o degradación durante el proceso de teñido.

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC), ProCiencia, al Gobierno de Arequipa, a la empresa Anders Yang, así como a CiteTextil Camélidos de Puno, a CiteTextil Camélidos de Arequipa, a la Red Amaru y la a Universidad Católica de Santa María, específicamente al área de Vicerrectorado de Investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdulkadir, N. (2017). Bacterial pigments and its significance. *MOJ Bioequivalence Bioavail.* 4, <https://doi.org/10.15406/moj-bb.2017.04.00073>.

Chávez, B. (2022). Caracterización y evaluación de la resistencia mecánica de la mezcla de hilos de fibra de alpaca con fibra proteica de leche. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Tesis de Maestría. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/5d013641-de8b-4800-a5cf-5aee82328d3b>

Fried, R., Oprea, I., Fleck, K., Rudroff, F. (2022). Biogenic colorants in the textile industry – a promising and sustainable alternative to synthetic dyes, *Green Chem.* 24: 13–35, <https://doi.org/10.1039/d1gc02968a>.

Kramar, A., Kostic, M. (2022). Bacterial secondary metabolites as biopigments for textile dyeing, *Textiles.* 2: 252–264, <https://doi.org/10.3390/textiles2020013>.

Metwally, R., El Sikaily, A., El-Sersy, A., Ghozlan, H. (2021). Antimicrobial activity of textile fabrics dyed with prodigiosin pigment extracted from marine *Serratia rubidaea* RAM_Alex bacteria, Egypt. *J. Aquat. Res.* 47: 301–305, <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2021.05.004>.

Mutaf-Kılıç, T., Demir, A., Elibol, M., & Öncel, S. . (2023). Microalgae pigments as a sustainable approach to textile dyeing: A critical review. *Algal Research*, 76, 103291. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103291>

Sucasaca, A., Guevara, E. (2020). Efectos del colorante natural inflorescencia de colli (*Buddleja Coriacea*) en la solidez de color de teñido de fibras de alpaca. *Revista de innovación y transferencia productiva*, 1(2):e003. <https://revistas.itp.gob.pe/index.php/ritp/article/view/12/40>

Venil, C.; Zakaria, Z., Ahmad, W. (2013). Bacterial pigments and their applications, *Process Biochem.* 48: 1065–1079, <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2013.06.006>.



Eje 3:

Innovación en el saneamiento de efluentes mediante tecnologías alternativas

Ciudades Inteligentes en el Sector Agua y Saneamiento



MSc. Martha Orta⁸

martha_orta@hotmail.com.

aeisa.sa.ec@gmail.com

Las ciudades inteligentes son áreas urbanas que tienen como objetivo mejorar y promover diversas facetas de las ciudades, sus residentes y el entorno mediante la aplicación de soluciones tecnológicas novedosas que mejoran la sostenibilidad y la eficiencia de todos los servicios urbanos (Iagua, 2023).

La noción de gobernanza del agua reconoce la importancia del agua como un componente crucial para la vida en el marco de los esfuerzos de colaboración y cooperación que involucran a una variedad de partes interesadas sociales, sectoriales e institucionales que participan en su gestión holística. También subraya el papel del territorio y las cuencas como entidades activas en estos procesos, con el objetivo de evitar los riesgos potenciales que el agua y su dinámica representan para las comunidades, y salvaguardar la integridad y la diversidad de los ecosistemas, garantizando así la prestación de servicios hídricos y ambientales (MADS, 2012)

⁸ Ingeniera Civil. Máster en Ingeniería Sanitaria. Presidenta de la Asociación de Ingenieros Sanitarios y Ambientales del Ecuador..

El objetivo principal de las ciudades inteligentes es promover un agua urbana sostenible. Esto puede lograrse a través de cinco aspectos: Visión compartida, gobernanza, conocimiento y capacidades, herramientas de planificación y herramientas de implementación (Figura 1). En cuanto a la gobernanza, esta se extiende a niveles nacionales y locales. Es crucial que los gobernantes y actores políticos estén convencidos de que los planes y programas que implementamos en las ciudades ofrezcan soluciones resilientes y sostenibles. Para lograrlo, es necesario contar con habilidades técnicas, estudios de factibilidad y prefactibilidad.

Es fundamental que todos los actores, especialmente los profesionales involucrados en estos planes y programas, estén bien informados sobre las innovaciones tecnológicas y las lecciones aprendidas de otros países. Además, contar con herramientas de planificación es esencial para llevar un control adecuado y realizar una planificación estratégica que nos permita reaccionar eficazmente ante cualquier problema que surja.



Figura 1. Aspectos clave para un agua urbana sostenible (IWA, 2017)

En cuanto a las herramientas de implementación, no se puede pasar por alto el aspecto financiero. Es necesario disponer de los recursos financieros adecuados, ya que, incluso si un proyecto es excelente y tiene múltiples ventajas, su implementación puede verse obstaculizada por la falta de financiamiento. Esto es esencial para garantizar no solo la construcción inicial del proyecto, sino también su operación y mantenimiento a largo plazo. Una gestión financiera adecuada puede convertir un proyecto en una inversión rentable a largo plazo, siempre y cuando se mantenga y se innove con el tiempo. Una adecuada planificación financiera es esencial para asegurar la sostenibilidad y el éxito a largo plazo de los proyectos.

Entonces, estos cinco ejes son fundamentales para alcanzar el objetivo de promover el agua urbana sostenible en las ciudades inteligentes. La sostenibilidad del agua urbana se caracteriza por abarcar todas las fuentes de agua en las áreas urbanas, como los acuíferos, los embalses, el agua desalinizada, el agua reciclada y las aguas pluviales. Esta agua se controla de una manera que tiene como objetivo optimizar la mejora de la habitabilidad urbana y la capacidad de soportar alteraciones sociales, económicas o biofísicas imprevistas. Desde la visión compartida hasta las herramientas de planificación y financiamiento, todos están interconectados para lograr este propósito. Pero, ¿cómo se puede realmente lograr este objetivo utilizando estas estrategias?

Esto puede lograrse con una gestión water-wise. Un comportamiento "wate -wise" significa que la cultura del liderazgo, los planes de gobernanza, la capacidad profesional y la tecnología innovativa están alineadas con el objetivo de maximizar los resultados de la provisión del agua urbana sostenible. Una gestión del agua urbana sostenible significa que toda el agua dentro de la ciudad (incluyendo el agua de acuíferos y reservas, agua desalinizada, reciclada y de lluvia) es gestionada de forma que reconoce la conexión entre servicios, diseño urbano y la cuenca, con un enfoque que maximiza la realización de objetivos de habitabilidad urbana, y resiliencia a cambios inesperados de carácter social, económico o bio-físico (IWA, 2017).

Los principios water-wise de la International Water Association (IWA) son: 1. Servicios regenerativos del agua, 2. Diseño urbano sostenible al agua, 3. Ciudades conectadas a la cuenca, 4. Comunidades wáter-wise que se muestran en la Figura 2, que evidencia

cómo los servicios regenerativos del agua están intrínsecamente ligados a las ciudades, el diseño urbano sostenible y el cuidado del recurso hídrico. Además, destaca la importancia de considerar la interconexión de las ciudades con todas las cuencas hidrográficas, reconociendo que las ciudades no operan de manera aislada, sino que están integradas en un sistema más amplio. Finalmente, en la parte inferior, se destacan las comunidades wáter-wise, que son actores clave en la construcción, sostenimiento y mantenimiento de todo el sistema. Este enfoque promueve una visión compartida de cómo lograr el objetivo de construir ciudades sostenibles y resilientes.

Para enfocarse en el primer punto sobre los servicios regenerativos del agua, que tiene como objetivo principal garantizar la salud pública y proteger el recurso hídrico en calidad y cantidad, se han establecido cinco ejes principales. Estos ejes incluyen reabastecer los cuerpos de agua y sus ecosistemas, reducir la cantidad de agua y energía utilizada, y utilizar un enfoque sistemático integrado con otros servicios. Además, se busca incrementar la modernidad de los sistemas y asegurar múltiples opciones para abordar estos desafíos.

En el contexto ecuatoriano, ya se están dando pasos significativos en esta dirección. Se están implementando planes y programas de sistemas de tratamiento de aguas residuales que incluyen conceptos de economía circular, donde se trata el agua y los lodos, se genera energía y se reutiliza el agua tratada. Un ejemplo es la recientemente inaugurada planta de Las Esclusas en Guayaquil, que incorpora estos principios de economía circular.

Además, en ciudades como Cuenca, se están desarrollando proyectos similares, como la planta de agua Guangarcucho, que está en proceso de licitación para su construcción. También se observa que algunos promotores urbanos están adoptando prácticas de tratamiento de aguas residuales más avanzadas, como la implementación de sistemas de lodos activados, lo que les permite reutilizar el agua tratada para fines como el riego de áreas verdes. Estos esfuerzos son un paso importante hacia la construcción de ciudades más sostenibles y resilientes en términos de gestión del agua.



Figura 2. Gestión del agua bajo los principios del Water Wise (IWA, 2017)

La última iniciativa que se destaca es la de Quito, que tiene un importante proyecto de manejo de aguas, enfocado en la descontaminación de sus ríos. Este proyecto refleja el avance significativo que se está dando en Ecuador, donde las ciudades recono-

cen la importancia de contar con sistemas de tratamiento que incorporen conceptos de economía circular.

En cuanto al segundo eje, que se centra en los diseños urbanos sensibles al agua, su objetivo principal es integrar la planificación urbana con la gestión de protección y conservación del ciclo completo del agua. Esto implica considerar variables como el cambio climático y la necesidad de ser más resilientes. Las estrategias en este sentido incluyen habilitar servicios regenerativos del agua, diseñar espacios urbanos para reducir los riesgos de inundaciones, mejorar la vitalidad mediante una arquitectura de infraestructura verde y modificar/adaptar materiales urbanos para minimizar el impacto ambiental.

Es alentador ver que las ciudades ya están incorporando estas consideraciones en su planificación estratégica, e incluso están promoviendo incentivos a través de leyes y ordenanzas para fomentar prácticas como la implementación de terrazas verdes en edificios o el uso de materiales más sostenibles por parte de los promotores urbanos. Este enfoque integral refleja un compromiso creciente con la construcción de ciudades más resilientes y sostenibles en términos de gestión del agua.

Es crucial que las ciudades sean más amigables con el medio ambiente y mitiguen el impacto del calor, especialmente en lugares como Guayaquil, donde el clima puede ser intenso. La planificación del diseño urbano es fundamental para este propósito, ya que permite incorporar más áreas verdes y sombreadas que brinden alivio durante los días calurosos. Es alentador ver que muchos gobiernos locales y municipios están trabajando activamente para recuperar la infraestructura verde que se ha perdido en aras del desarrollo urbano.

Además, es importante recordar que las ciudades no existen en aislamiento, sino que están interconectadas entre sí y con las cuencas hidrográficas circundantes. El objetivo principal en este sentido es gestionar estas cuencas de manera integral para garantizar el suministro de recursos hídricos, alimentos y energía, al tiempo que se reducen los riesgos de inundaciones y se impulsa la economía local. Esto se logra mediante una planificación cuidadosa que asegure la disponibilidad de recursos hídricos y mitigue su impacto negativo, al tiempo que se protege la salud ecológica y se prepara para eventos extremos, como los relacionados con el cambio climático.

En Ecuador, se han establecido cuatro fondos importantes para la gestión del agua, como el FONAG en Quito que lleva más de 20 años operando, FONDAGUA creado en 2015-2016, Fondo de Páramos de Tungurahua, y el Fondo de aguas para el río Paute. Estos fondos son ejemplos tangibles del compromiso con la gestión sostenible del agua. Estos fondos, junto con otros programas similares en toda América Latina, son parte de una red regional que incluye 28 países asociados. Además, desempeñan un papel crucial en la protección y gestión sostenible de los recursos hídricos en el país.

Además, es esencial reconocer el papel fundamental que desempeñan las comunidades en la construcción de ciudades inteligentes y sostenibles, especialmente en lo que respecta al agua. El objetivo principal de estas comunidades es desarrollar las capacidades necesarias para gobernar y planificar de manera efectiva, involucrando a profesionales comprometidos y ciudadanos conscientes. El empoderamiento ciudadano es clave para el éxito de estos esfuerzos, así como la formación de equipos de planificación multidisciplinarios y el apoyo de los responsables políticos a nivel local y nacional.

Definitivamente, el compromiso y la confianza de los líderes y operadores de servicios son cruciales para involucrar a la comunidad en la construcción de ciudades inteligentes y sostenibles. En Ecuador, se ha observado cómo los operadores de servicios han estado trabajando en la concienciación ciudadana y la educación ambiental para fomentar la corresponsabilidad en el cuidado del agua, incluso desde las edades más tempranas.

Estos esfuerzos se enmarcan en los cuatro niveles de acción establecidos por la IWA, que son fundamentales para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible, especialmente el número seis. Es esencial tener una visión clara de la gobernanza del agua en todos los niveles, involucrando a líderes, profesionales y ciudadanos para lograr el acceso universal y equitativo al tratamiento de aguas residuales para el año 2030. Además, es crucial gestionar integralmente los recursos hídricos, protegiendo las cuencas hidrográficas y minimizando el impacto ambiental de la captación de agua. Estas acciones contribuyen a mantener y mejorar la calidad del agua de los cuerpos de agua, lo que impulsa una ciudad más sostenible y resiliente.

CONSIDERACIONES FINALES

Para llegar a ser una ciudad inteligente donde se garantice la sostenibilidad del agua urbana, los actores claves deben desarrollar planes y programas enmarcados dentro del objetivo de desarrollo sostenible (ODS) número 6 y contemplar los cuatro niveles de acción planteados por IWA, es decir, que cuenten con una visión clara sobre la gobernanza del agua a fin que los líderes, profesionales y ciudadanos se involucren activamente y sobre todo que permitan a los operadores del servicio de agua, al 2030:

- Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.
- Realizar el tratamiento de las aguas residuales que se generen
- Garantizar la gestión integral del recurso hídrico
- Crear conciencia a los ciudadanos sobre el buen uso y cuidado del agua

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

International Water Association. (2017). Los principios de la IWA para las ciudades Water-Wise. Disponible en: https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2017/06/IWA_Brochure_Water_Wise_Communities_screen_SP.pdf

Iagua (2023). Las soluciones de iWater, clave para el desarrollo de las ciudades inteligentes. iAgua. <https://www.iagua.es/noticias/icex-espana-exportacion-e-inversiones/soluciones-iwater-clave-desarrollo-ciudades>

MADS (2012). Gobernanza del agua | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/gobernanza-del-agua#:~:text=%E2%80%9CEl%20concepto%20de%20Gobernanza%20de%20la%20cuenca%20como%20entidades%20activas>



Eje 3:

Innovación en el saneamiento de efluentes mediante tecnologías alternativas

Preparación y Caracterización de Membranas Poliméricas para el Tratamiento de Aguas y Efluentes



Dra. Omayra Ferreiro⁹

oferreiro@pol.una.py

En el tratamiento del agua es importante reconocer que no todos los métodos pueden eliminar todos los contaminantes de manera efectiva, tanto los gaseosos, como los biológicos, físicos y químicos (Figura 1). Por ello, es necesario adoptar un enfoque progresivo, identificando los contaminantes más prevalentes y direccionando las tecnologías y estrategias hacia su reducción. Un tratamiento convencional suele incluir procesos de captación, pre-oxidación, coagulación, floculación y sedimentación para eliminar principalmente los componentes en suspensión. Posteriormente, el agua pasa por filtros convencionales, como arena, antes de someterse a un proceso de desinfección, generalmente con cloro, antes de ser distribuida.

⁹ Ingeniera Química. Máster en Ingeniería Metalúrgica y de Materiales. Doctora en Ingeniería Química. Docente Investigadora de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Asunción, Paraguay.



Figura 1. Tipos de contaminantes presentes en el agua (Chulluncay y col., 2011)

En el caso de los efluentes, donde la carga orgánica es más alta, se requiere un tratamiento biológico adicional para degradar la materia orgánica en compuestos más inocuos. Sin embargo, estos métodos convencionales tienen limitaciones, como la necesidad de utilizar grandes cantidades de productos químicos y la generación de lodos que deben ser tratados adecuadamente (Figura 2).

Además, los filtros convencionales tienen una capacidad limitada para eliminar bacterias y materia orgánica, lo que puede afectar la eficacia del tratamiento. Es crucial abordar estas limitaciones y explorar nuevas tecnologías y enfoques para mejorar la calidad del agua tratada y reducir los impactos ambientales asociados con los procesos convencionales.

	Adición de químicos	Implica costos El uso de floculantes → grandes cantidades de lodo
	Filtros convencionales	Remoción de 80-90% de bacterias y 60% de materia orgánica Requiere gran superficie Para agua con poca turbidez y sin materia orgánica
	Desinfección convencional	El cloro puede generar subproductos Ozono tiene bajo poder residual
	Tratamientos biológicos	Sensibles a los cambios de alimentación No recomendable para compuestos tóxicos para los microorganismos

Figura 2. Limitaciones de los tratamientos convencionales

Además de las limitaciones mencionadas, los tratamientos convencionales requieren una gran superficie y el agua debe cumplir ciertas características, como baja turbidez y ausencia de materia orgánica, para su efectividad. El uso de cloro en la desinfección puede generar subproductos tóxicos en presencia de compuestos orgánicos, como los organoclorados, y el ozono tiene un bajo poder residual, lo que limita su eficacia en el proceso de desinfección.

En los tratamientos biológicos, la biomasa utilizada es sensible a los cambios en la alimentación y a la presencia de compuestos tóxicos, lo que puede afectar su rendimiento. Estas limitaciones llevan a buscar nuevas tecnologías que cumplan con las regulaciones para el tratamiento de agua y efluentes, especialmente en un contexto de creciente demanda de agua y necesidad de un uso más racional de este recurso vital.

En este sentido, el uso de separación por membranas está en aumento, ya que la industria de membranas ha logrado desarrollar y comercializar tecnologías avanzadas gracias a los avances en la preparación de membranas. Estos avances tecnológicos están superando las limitaciones históricas de esta tecnología, lo que la convierte en una opción cada vez más atractiva y eficaz para el tratamiento de agua y efluentes.

Una membrana es una barrera que separa dos fases y limita el paso de uno o más componentes a través de ella. Entre sus ventajas se encuentra la economía de energía, ya que en la mayoría de los procesos de separación no se producen cambios de fase. Además, las membranas pueden ser altamente selectivas, lo que significa que pueden diseñarse para permitir el paso de un componente mientras retienen otros.

Se estudia exhaustivamente el tipo de material del cual está formada la membrana para maximizar su efectividad en la separación de componentes específicos. Además, al no requerir el uso de temperatura, las membranas son ideales para separar compuestos termolábiles. Son fáciles de operar y, a medida que aumenta la demanda, se han desarrollado membranas con diversas propiedades y características.

Existen membranas simétricas, que pueden ser totalmente microporosas o no porosas, e incluso pueden estar cargadas eléctricamente (Figura 3). Por otro lado, están las membranas asimétricas, que han impulsado el crecimiento de esta tecnología desde la década de 1960. Estas membranas tienen una estructura más compleja y pueden adaptarse para satisfacer una variedad de necesidades de separación en diferentes aplicaciones industriales y ambientales (Baker, 2004).

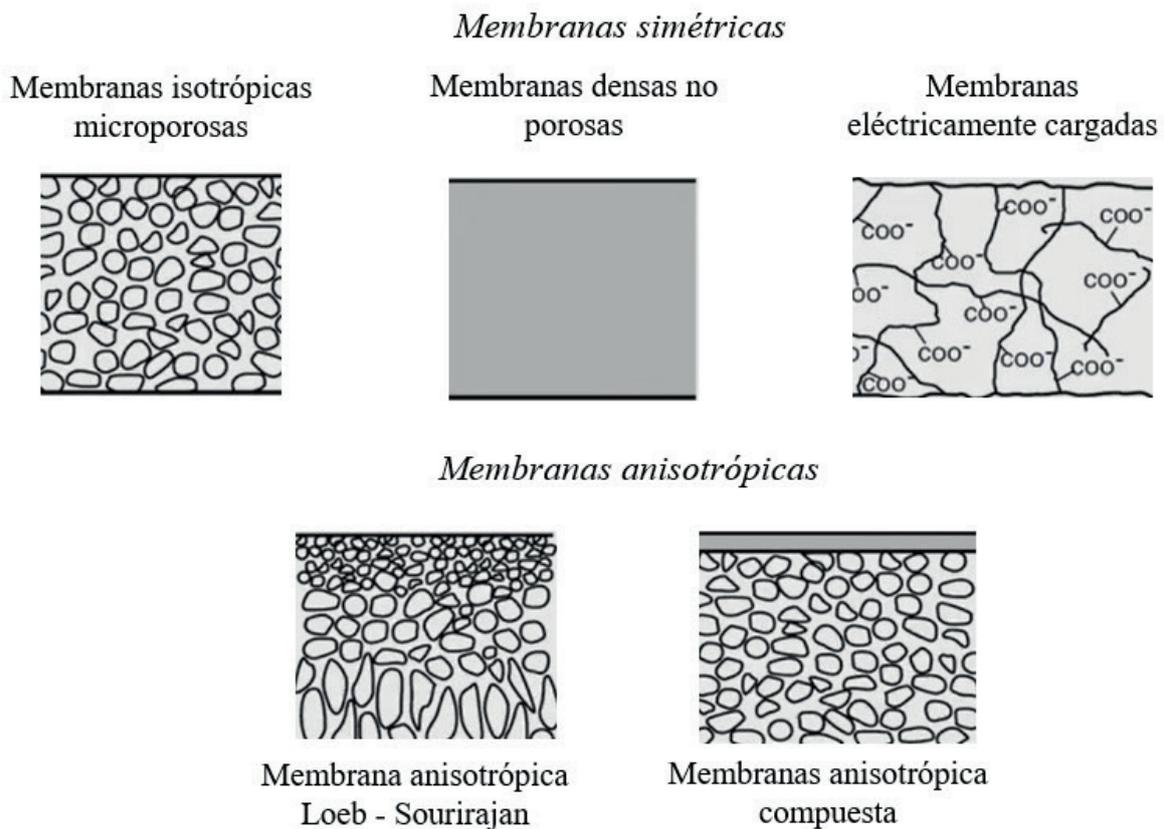


Figura 3. Clasificación de las membranas (Baker, 2004)

Las membranas anisotrópicas tienen la característica de tener una menor porosidad en la superficie, e incluso pueden ser densas, mientras que en la parte inferior son mucho más porosas y actúan como un soporte sin generar resistencia a la transferencia de masa a través de ellas. Esta estructura permite que la membrana sea altamente selectiva y, al mismo tiempo, tenga un flujo más alto. Las membranas anisotrópicas son ampliamente utilizadas en el tratamiento de agua debido a estas

características. Sin embargo, para otros procesos, se pueden buscar diferentes características en las membranas.

Algunos de los procesos más comunes y conocidos que usan membranas son la microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y la ósmosis inversa, que ya están establecidos en la industria y se consideran tecnologías convencionales en muchos casos. Además de estas, hay otras dos tecnologías emergentes: la electrodiálisis, que utiliza membranas cargadas eléctricamente, y la destilación en membranas. Esta última es una tecnología que ha recibido atención en los últimos años, pero aún no ha alcanzado la escala industrial debido a ciertas limitaciones en el desarrollo de las membranas. La diferencia entre estos procesos radica en el tamaño de los poros de las membranas, lo que determina qué componentes pueden pasar a través de ellas y cuáles no.

La nanofiltración se diferencia de otros procesos de filtración principalmente por el tamaño de los poros de la membrana, lo que limita el paso de ciertos componentes. Este proceso se basa en la restricción por tamaño y utiliza altas presiones para forzar el paso de componentes a través de la membrana (Figura 4). La fuerza motriz detrás de este proceso es la diferencia de presión hidrostática entre ambos lados de la membrana. Sin embargo, la nanofiltración puede enfrentar desafíos cuando se aplica al tratamiento de agua de mar debido a la alta concentración de sales, lo que genera una presión osmótica significativa que requiere presiones hidrostáticas aún mayores para superar y permitir el paso del agua a través de la membrana.

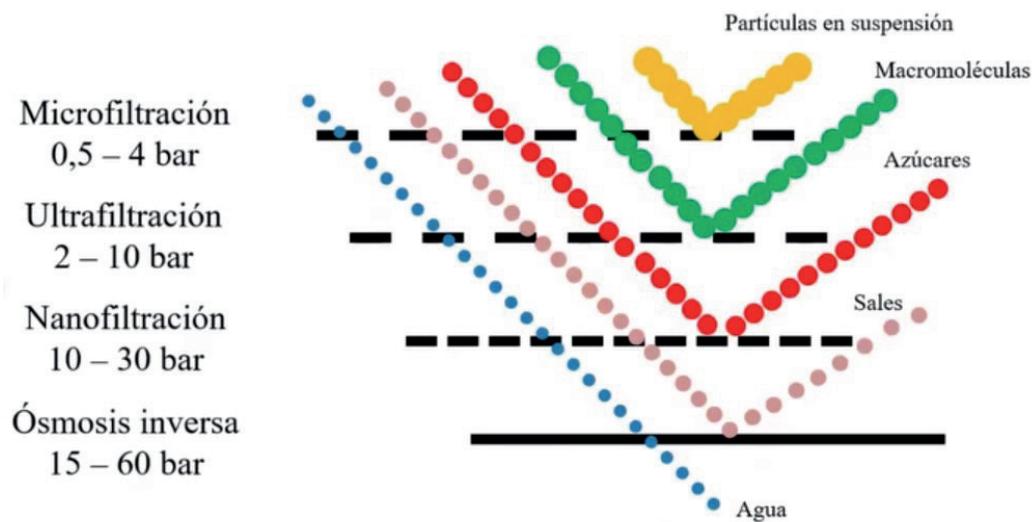


Figura 4. Componentes que son retenidos en diferentes procesos con membranas

Otra tecnología emergente que no enfrenta esta limitación de presión hidrostática es la destilación en membranas, que aprovecha la diferencia de presión de vapor de agua entre ambos lados de la membrana. Esta técnica permite el paso de componentes volátiles en forma de vapor a través de los poros de la membrana, lo que resulta en la obtención de agua de alta calidad al permitir el paso solo de los componentes deseados.

En cuanto a las técnicas de preparación de membranas anisotrópicas, existen tres enfoques principales: la separación de fases, la polimerización en interfase y las membranas compuestas. Cada una de estas técnicas tiene sus propias características y aplicaciones específicas en la producción de membranas para diversos procesos de separación y filtración.

La técnica de separación de fase inducida por solvente implica la preparación de una disolución polimérica, donde un polímero se disuelve en un solvente específico. Esta disolución se coloca sobre una superficie para formar una película, y luego se induce la separación de fases utilizando cuatro opciones disponibles. La precipitación en agua es la opción más común, donde la disolución se sumerge en agua u otro líquido no solvente para el polímero, lo que provoca la formación de la membrana.

Otras opciones son la separación de fases por absorción de vapor de agua, la gelación térmica que implica un cambio de temperatura para inducir la separación, y también se puede utilizar la evaporación de solvente, una técnica común en el laboratorio,

donde la película se expone a un ambiente donde el solvente se evapora gradualmente, dejando atrás la estructura polimérica deseada.

En el caso de la técnica de separación de fase inducida por solvente, la preparación de la disolución es relativamente sencilla, especialmente para membranas planas (Figura 5). Sin embargo, también se pueden preparar membranas en forma de fibras huecas, que son útiles porque permiten la creación de módulos compactos con una alta área superficial. Una vez aplicada la película sobre la superficie, parte del solvente presente se evapora, lo que contribuye a la formación final de la membrana.



Figura 5. Proceso de preparación de membranas por separación de fase

Si se desea una membrana anisotrópica con una superficie más densa que en el interior, se puede permitir una mayor evaporación antes de sumergirla en el baño de precipitación. Después del baño de precipitación, se realiza un proceso de secado. El proceso de fabricación implica el vertido de la disolución polimérica sobre un soporte, como vidrio, seguido de un intercambio en un baño de coagulación. Este intercambio, que implica la introducción de un solvente no disolvente, favorece la formación de una estructura polimérica, dando lugar a la membrana deseada. Posteriormente, la membrana se retira del baño y se somete a un proceso de secado.

Durante la preparación de estas membranas, varios factores deben considerarse cuidadosamente, ya que afectarán las características finales de la membrana y su capacidad para ofrecer una alta selectividad hacia determinados componentes. Por ejemplo, el parámetro de solubilidad de Hansen se utiliza para identificar el disolvente adecuado para el polímero utilizado. También, la viscosidad que está relacionada con el grado de solubilidad del polímero, también es un factor importante a considerar.

Además, existen otras dos propiedades que proporcionan información valiosa para el proceso, el cloud point, que indica cuánto tiempo tarda la película en el baño de coagulación en comenzar a coagularse, y la transmitancia de luz, un experimento se puede monitorear utilizando un medio que transmita luz. Al colocar la película en un baño de coagulación y registrar el proceso de inversión de fase con un sensor de luz, se puede observar cómo la disolución inicialmente transparente o translúcida se transforma en una membrana opaca una vez formada. Este proceso permite determinar la velocidad de formación de la membrana, ya que los materiales transparentes se vuelven opacos durante la formación de la membrana.

Para ilustrar este fenómeno, se pueden observar dos estructuras de membranas diferentes en la Figura 6. En una estructura, la formación de macrohuecos ocurre rápidamente debido a que el proceso de inversión de fase sucede de manera veloz, dejando la película con grandes porosidades. En contraste, en otra estructura, el proceso de inversión de fase ocurre de manera más lenta, permitiendo que el polímero forme una estructura más uniforme y menos porosa. Estas diferentes estructuras de membranas tienen aplicaciones distintas, ya que una estructura más abierta puede ser utilizada para ciertos procesos, mientras que una estructura más cerrada puede ser más adecuada para otros.

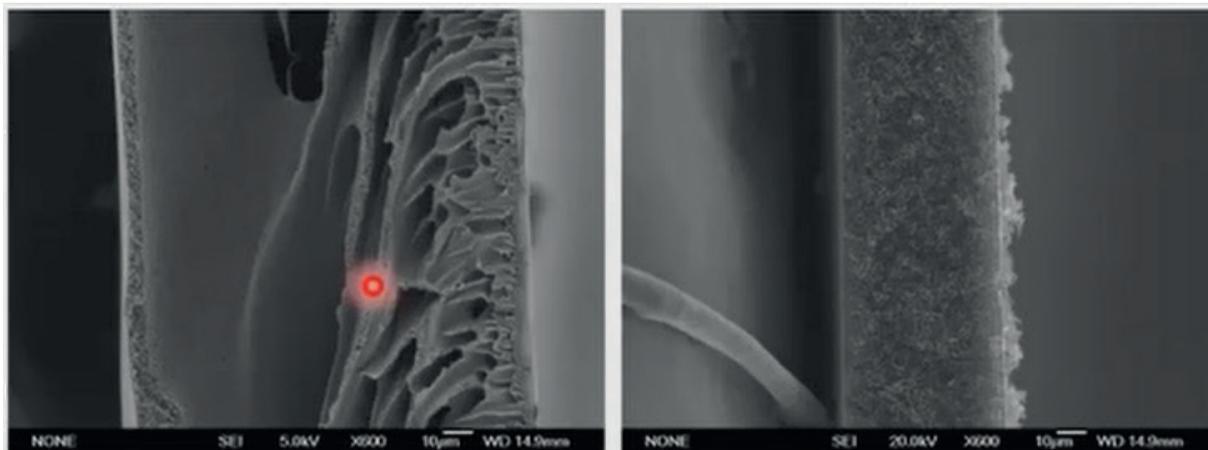


Figura 6. Comparación de membranas con macrohuecos y porosa

Se pueden preparar membranas de microfiltración resistentes al fouling, que ocurre principalmente en presencia de componentes orgánicos, puede reducir significativamente el flujo permeado a través de la membrana. Al evaluar la productividad del sistema, se deben probar diferentes disolventes y se tener en cuenta dos factores importantes. Uno de ellos es el factor de fouling reversible, que indica la resistencia de la membrana al fouling, cuanto menor sea este factor, mejor será la membrana. El otro parámetro de interés fue la caída del flujo permeable, donde una menor caída indica una mayor eficiencia de la membrana a lo largo del proceso.

Durante las pruebas, se utilizan diferentes no solventes para controlar la velocidad de intercambio de solvente, y se encontró que algunos modelos tenían mejores características que otros. En un estudio, se empleó un poliéster sulfonado, un polímero común en la fabricación de membranas, junto con un disolvente relativamente tóxico, el N-metilpirrolidona. Sin embargo, se destacó que la industria está buscando alternativas más amigables con el medio ambiente, como disolventes verdes y biopolímeros, para producir membranas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Dentro de los proyectos desarrollados en la Universidad Nacional de Asunción se tiene uno realizado en colaboración con estudiantes de grado que se centró en el tratamiento de efluentes de una industria textil, específicamente de la tintura de jeans. En esta etapa, se tomó una muestra del efluente industrial y se utilizó una membrana modificada en su superficie mediante un proceso de recubrimiento. Este recubrimiento permitió recuperar parte de los colorantes presentes en el efluente, al mismo tiempo que se obtenía agua tratada como producto final. En esencia, el objetivo era recuperar el agua presente en los efluentes industriales para su reutilización. Esta agua, una vez tratada, puede cumplir con los estándares de calidad necesarios para ser reintroducida en los procesos industriales o, según la legislación, ser descartada de manera segura.

En cuanto a otro tipo de efluentes, para los generados por la industria azucarera se pueden implementar un proceso de concentración mediante destilación en membranas, lo que permite obtener un concentrado que puede ser utilizado como combustible en calderas, y al mismo tiempo recuperar agua. En el proceso industrial, luego de la fermentación, se realiza la destilación en columna para obtener etanol, y posteriormente se lleva a cabo la destilación por membranas para recuperar agua (Ferreiro y col., 2021).

Esta agua recuperada puede ser utilizada nuevamente en los procesos industriales o descartada de manera adecuada, cumpliendo con los requisitos de la legislación vigente. Es importante considerar que los efluentes de la industria azucarera, conocidos como vinaza, son utilizados en muchos países para la fertilización (Quiroz y Pérez, 2013), pero diversos estudios han demostrado que pueden afectar los suelos y los recursos hídricos si no se gestionan adecuadamente. Por lo tanto, la recuperación de agua mediante la destilación en membranas representa una alternativa sostenible que contribuye a mitigar estos impactos ambientales y garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales a lo largo del tiempo.

CONSIDERACIONES FINALES

La diversidad de contaminantes presentes en el agua requiere un enfoque progresivo en su tratamiento. Identificar los contaminantes más prevalentes y dirigir las tecnologías y estrategias hacia su reducción es fundamental para lograr una eliminación efectiva de los contaminantes.

Los métodos convencionales de tratamiento de agua, como la coagulación, la filtración y la desinfección con cloro, tienen limitaciones significativas. Estas incluyen el uso intensivo de productos químicos, la generación de lodos y la incapacidad para eliminar completamente bacterias y materia orgánica, lo que afecta la eficacia del tratamiento.

El desarrollo de tecnologías emergentes, como la separación por membranas, está en aumento debido a los avances en la preparación de membranas. Las membranas ofrecen ventajas como alta selectividad, bajo consumo de energía y facilidad de operación. Además, las tecnologías de membranas están superando las limitaciones históricas, lo que las convierte en opciones cada vez más atractivas y efectivas para el tratamiento de agua y efluentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baker, R.W., 2004. Membrane technology and applications, 2^a ed. 538 pp. Editorial: Chichester.

Chulluncuy-Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*, 29(029), 153-170. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.232>

Ferreiro, O.B., Kronemberger, F.A. & Borges, C.P. Sugarcane Stillage Treatment Using Direct Contact Membrane Distillation. *Waste Biomass Valor* 12, 3987–3999 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01303-y> y Quiroz, I., Pérez, A. (2013). Vinaza y compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(5), 1069-1075. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000900019&lng=es&tlng=es.



Eje 3:

Innovación en el saneamiento
de efluentes mediante tecnologías alternativas

Tratamiento de efluentes empleando Tecnologías Alternativas



Dr. Ruly Terán¹

rteran@ucsm.edu.pe

Las industrias, así como también las actividades urbanas diarias, generan efluentes que están cada vez más cargados de compuestos y materiales diversos. Esta complejidad en los efluentes dificulta su tratamiento, ya que cada tipo de efluente puede requerir un enfoque específico para su adecuada depuración.

El crecimiento continuo de la producción industrial y el uso de una variedad de ingredientes y compuestos contribuyen a esta complejidad. Por ejemplo, en la industria textil se utilizan constantemente nuevos colorantes, mientras que en la industria alimentaria se introducen nuevos ingredientes y aditivos. Esta diversificación de materiales hace que los procesos de tratamiento de efluentes sean cada vez más desafiantes y heterogéneos (Qadir y col., 2020).

A nivel mundial, se estima que se generan alrededor de 380 millones de metros cúbicos de efluentes cada año. Sin embargo, solo el 24% de estos efluentes reciben algún tipo de tratamiento antes de ser descargados al medio ambiente.

¹ Ingeniero agroindustrial. Magister Scientiae en Tecnología de Alimentos. Doctor en Biotecnología Industrial. Investigador a tiempo completo en la Universidad Católica Santa María, Arequipa, Perú.

Esta situación plantea un desafío importante en términos de protección ambiental y salud pública, ya que los efluentes pueden contener una variedad de contaminantes químicos, físicos y microbiológicos que pueden ser perjudiciales para los ecosistemas y las comunidades humanas.

Los tratamientos de los efluentes se clasifican desde los primarios hasta los avanzados. Esta sección se centrará en los tratamientos secundarios y terciarios, utilizando biodegradación y membranas, respectivamente. Así como, adsorción utilizando residuos, procesos de precipitación, oxidación avanzada y cavitación.

Uno de los proyectos más destacados desarrollados en Universidad Católica Santa María, fue el tratamiento de efluentes de la industria textil, un problema importante en Arequipa, Perú donde las pequeñas industrias que trabajan con fibra de alpaca y algodón generan efluentes con colorantes sintéticos. Estos efluentes suelen ser descargados directamente al alcantarillado, lo que plantea un problema ambiental significativo en la región.

Para abordar esta situación, se ha colaborado con una empresa para desarrollar soluciones utilizando residuos como adsorbentes para tratar estos efluentes complejos. Este enfoque innovador muestra un compromiso con la sostenibilidad y la búsqueda de soluciones efectivas para problemas ambientales locales. Se exploraron diversas alternativas, entre ellas el uso de semillas de naranja como material adsorbente. Aunque inicialmente se había desarrollado una tecnología de cavitación hidrodinámica para degradar los colorantes presentes en los efluentes, se encontró que esta tecnología tenía limitaciones y generaba algunos compuestos secundarios que podían ser igualmente dañinos.

Un ejemplo de esta situación, fue la que se presentó con el colorante rojo G, común en la industria textil, que, si bien fue degradado por la tecnología de cavitación hidrodinámica, producía compuestos secundarios con efectos potencialmente más nocivos. Esta situación resalta la importancia de evaluar cuidadosamente los beneficios y los posibles efectos secundarios de cada tecnología utilizada en el tratamiento de efluentes.

Se evaluó el polvo de semilla de naranja (OS), del cual se eliminaron los lípidos mediante extracción con hexano, como bioadsorbente para eliminar tintes de aguas residuales textiles reales. En la etapa de selección, el pH fue una variable más significativa que la dosis de bioadsorbente, la temperatura, la velocidad de agitación y el tiempo de proceso. Además, en condiciones optimizadas (pH = 2,6, 0,58 g/L de polvo de OS y 26 °C), más del 95 % del tinte se eliminó de aguas residuales textiles reales. Además, el porcentaje de eliminación de tinte se redujo solo en un 4 % cuando el volumen de aguas residuales textiles se aumentó de 0,05 L a 10 L. Luego, se eliminó el 96 % de la turbidez utilizando una membrana cerámica tubular de 3 µm a un pH de 11 (Alarcón y col., 2022).

En otro proyecto, se exploró el potencial de las microalgas para el tratamiento biológico de efluentes, específicamente los provenientes de mataderos de pollos, que presentaban una alta carga contaminante, con niveles que superaban los 7000 mg/L de DQO. Dada la complejidad de estos efluentes, se tuvo desafíos para el cultivo directo de microalgas debido a la imposibilidad de monitorear su crecimiento en un ambiente con alta carga orgánica.

Para abordar este problema inicial, se llevaron a cabo pruebas de precipitación, aprovechando el alto contenido de proteínas presentes en estos efluentes. El ajuste del pH de 7 a 4 unidades, permitió precipitar rápidamente estos componentes proteicos, dejando un sobrenadante más claro con un 83% de materia orgánica en el precipitado. Este sobrenadante, con una carga orgánica reducida, se consideró más adecuado para el cultivo de microalgas, ya que aún proporcionaba nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo.

El efluente tratado se utilizó entonces como sustrato para el cultivo de *Chlorella vulgaris*, y se monitoreó continuamente la concentración de nutrientes y otros parámetros relevantes. Se realizaron cultivos tanto en batch como en sistemas continuos, observando un crecimiento rápido de las microalgas y una disminución significativa en la concentración de materia orgánica a lo largo del tiempo. En proceso continuo, después de 89 h, el valor de DQO resultó inferior a 200 mg/L y 1,2 g/L de microalgas en la línea de salida (Terán y col., 2021).

Los efluentes tratados aún contienen ciertos compuestos después de la filtración con membranas, por lo que se ha considerado la posibilidad de implementar tecnologías adicionales para mejorar la calidad del agua. Aunque inicialmente se utilizó un sistema de microfiltración, actualmente se está explorando la aplicación de sistemas de ultrafiltración o nanofiltración para mejorar aún más los parámetros del efluente tratado. Esto podría permitir que el agua tratada cumpla con los estándares requeridos para usos como el riego de parques y plantas.

Además, se ha evaluado la viabilidad de adoptar otras tecnologías complementarias para mejorar el proceso de tratamiento de estos efluentes. Se ha observado que los efluentes contienen partículas que podrían ser reducidas en tamaño y utilizadas como nutrientes para el cultivo de microalgas. Para lograr esto, se ha considerado el uso de la cavitación, una técnica que implica la generación y colapso de microburbujas para mejorar la solubilidad de los componentes del efluente.

La cavitación, un fenómeno que anteriormente se consideraba un problema, ha ganado popularidad en diversos sectores industriales debido a sus aplicaciones beneficiosas. En la industria alimentaria, por ejemplo, se utiliza para homogeneizar jugos y pasteurizar alimentos. También se ha aplicado en la producción de cerveza para mejorar el proceso de fermentación. En el ámbito del tratamiento de efluentes, se ha utilizado a nivel piloto e industrial para mejorar la eficiencia de los procesos de tratamiento y reducir la carga contaminante de los efluentes.

La tecnología de cavitación consiste en generar y hacer colapsar burbujas en un corto periodo de tiempo, generando radicales y efectos mecánicos que pueden beneficiar la reducción del tamaño de partículas en los efluentes. La literatura científica cuenta con numerosos informes que demuestran la eficacia de este tipo de tratamiento para reducir el tamaño de partícula y mejorar la biodegradabilidad de los compuestos presentes en los efluentes, haciéndolos más adecuados para procesos biológicos.

En comparación con la cavitación ultrasónica, que suele utilizarse en laboratorios y volúmenes pequeños, la cavitación hidrodinámica se destaca por su eficiencia en volúmenes grandes, lo que la hace más adecuada para aplicaciones a escala industrial. Esta tecnología se caracteriza por su simplicidad, utilizando dispositivos como Venturi o placas de orificios para generar turbulencia y variaciones de presión que propician la formación y colapso de burbujas en el sistema.

Otro de los proyectos realizados en la Universidad, utiliza un esquema de cavitación hidrodinámica bastante sencillo y económico. Se emplea una bomba centrífuga para impulsar el fluido a través de dispositivos reductores de diámetro, generando turbulencia y variaciones de presión que facilitan la formación de burbujas. Este sistema ha demostrado ser efectivo y de bajo costo, con una inversión de alrededor de 300 soles peruanos para su construcción.

El comportamiento del fluido a través de estos dispositivos se estudia utilizando herramientas como la simulación de dinámica computacional, que permite comprender cómo la presión desciende y genera burbujas llenas de energía que colapsan, produciendo radicales y microcorrientes de alta velocidad. Estos efectos son responsables de reducir el tamaño de partícula, degradar contaminantes y generar otros efectos beneficiosos.

El tratamiento de efluentes mediante cavitación hidrodinámica ha demostrado ser efectivo en la eliminación de colorantes, donde un efluente inicialmente de color rojo se vuelve transparente después del tratamiento en un corto período de tiempo (Flores y col., 2022). A pesar de algunas dificultades en los estudios de biodegradabilidad y toxicidad, se ha comprobado que esta tecnología funciona de manera efectiva incluso en efluentes reales.

Se ha trabajado con un proyecto que permitió la remoción del tinte rojo-G, uno de los principales utilizados en la industria textil para teñir la lana de alpaca. Usando un dispositivo de cavitación híbrido, Venturi + placa de orificio (Figura 1). El sistema de cavitación hidrodinámica fue construido en acero inoxidable, dispone de una bomba centrífuga para forzar el paso de la solución a través la placa de orificio, generando cavitación. El dispositivo de cavitación es compuesto por una placa de orificio de configuración cuadrática y una sección tipo Venturi. La selección de la dimensión del dispositivo, principalmente la placa de orificio, fue seleccionado mediante fluido computacional análisis dinámico, que resultó en la mayor fracción de vapor generado a 4 bar de presión de entrada en el dispositivo de cavitación.

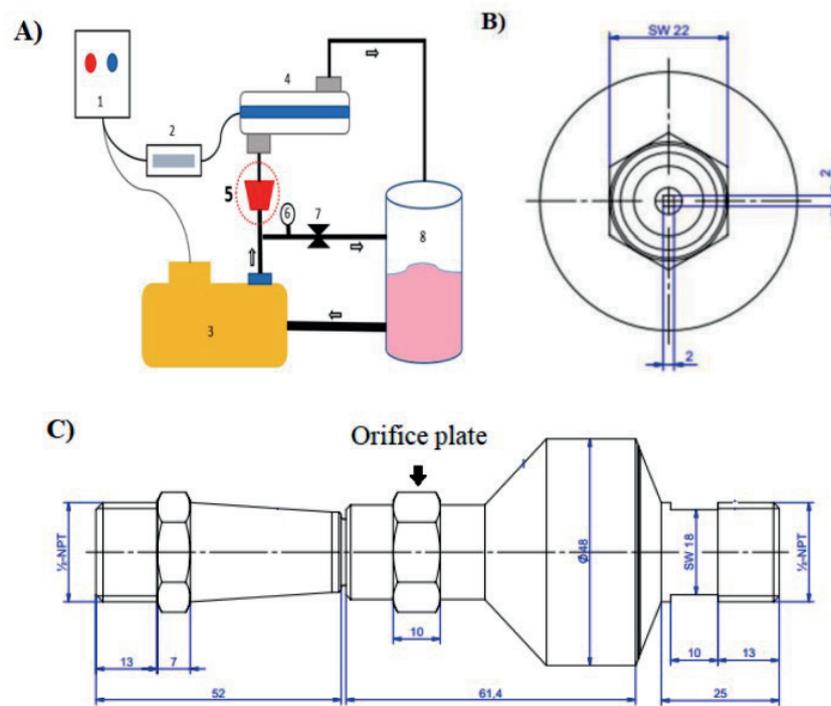


Figura 1. Sistema de cavitación hidrodinámica (HC). A) Representación esquemática del sistema HC compuesto por un panel eléctrico (1), un generador de luz UV (2), una bomba (3), una cámara de luz UV (4), dispositivo de cavitación (5), manómetro (6), Válvula (7), tanque de recirculación (8). B) Placa orificio, C) Dispositivo de cavitación, dimensiones en mm (Flores y col., 2022).

Se llevó a cabo el experimento con la combinación de un proceso de Fenton, demostrando ser considerablemente menos eficiente en comparación con otras técnicas, como la luz UV. Esto resalta la importancia de desarrollar combinaciones de tecnologías para mejorar la eficacia en el tratamiento de efluentes. Cabe destacar que la cavitación, cuando se combina con otros procesos, como la adsorción o la nanofiltración, ha demostrado ser altamente efectiva.

Existen varios estudios que respaldan la eficacia de la cavitación hidrodinámica, Joshi y Gogate (2019) combinando con fenton y oxígeno, lograron una remoción del 63% de los contaminantes, lo que representa una eficiencia notablemente alta en comparación con otros métodos. Además, estudios a nivel piloto han demostrado que el uso de un sistema Venturi con cavitación hidrodinámica es más beneficioso en términos de consumo de energía y reducción de la demanda química de oxígeno en comparación con el sistema de ultrasonido.

Si bien la cavitación hidrodinámica ofrece una mayor eficiencia y menores costos energéticos en comparación con la cavitación acústica, es importante tener en cuenta que no garantiza la mineralización completa de los componentes. Sin embargo, sigue siendo una herramienta efectiva para reducir el tamaño de partículas, degradar compuestos y eliminar microorganismos no deseados. La cavitación hidrodinámica se destaca como una tecnología versátil y eficaz en el tratamiento de efluentes, ofreciendo beneficios significativos en términos de eficiencia, costo y viabilidad para diversas aplicaciones industriales y ambientales (Agarkoti y col, 2021).

Se han realizado estudios que demuestran una reducción significativa en la viabilidad de varios microorganismos, incluidos los estafilococos, como resultado del tratamiento con cavitación (Jai y col., 2019). Se evaluó la desinfección de dos cepas microbianas modelo: gramnegativas (*Escherichia coli*) y grampositivas (*Staphylococcus aureus*) utilizando un diodo de vórtice. La eficacia de eliminación se cuantificó para dos reactores de cavitación diferentes. Se logró la eliminación prácticamente completa de *E. coli* (99%) después de 1 hora de cavitación con una caída de presión de sólo 0,5 bar. Sin embargo, se observó que la eliminación de *S. aureus* utilizando un diodo de vórtice era menor en comparación con la eliminación de *E. coli* y solo se pudo lograr una desinfección del 60 % en condiciones similares, que posteriormente se puede mejorar hasta un 98 % aumentando la caída de presión.

CONSIDERACIONES FINALES

Aunque la cavitación como tecnología ha ganado interés en los últimos años y se han publicado numerosos artículos sobre diversas aplicaciones, aún falta desarrollar análisis de costos y estudios a escala piloto para comprender mejor su viabilidad económica y su eficacia en diferentes contextos.

Actualmente, existe una falta de estudios que demuestren de manera efectiva los mecanismos de acción de la cavitación sobre compuestos específicos, lo cual puede ser un desafío debido a la complejidad de los efluentes tratados. Es necesario realizar más investigaciones que se adapten a las características específicas de los efluentes y avanzar hacia estudios a escala piloto para comprender mejor el alcance y las limitaciones de esta tecnología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agarkoti, C., Gogate, P. R., & Pandit, A. B. (2021). Comparison of acoustic and hydrodynamic cavitation based hybrid AOPs for COD reduction of commercial effluent from CETP. *Journal Of Environmental Management*, 281, 111792. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111792>

Flores, M., Revilla, C., García, K., Tejada, K., Terán, F., Pacheco, D., Colina, G., Terán, R. (2022). Efficient Dye Removal from Real Textile Wastewater Using Orange Seed Powder as Suitable Bio-Adsorbent and Membrane Technology. *Water*, 14(24), 4104. <https://doi.org/10.3390/w14244104>

Flores, M., Arenas, R., Ahmed, M., García, K., Pacheco, D., Terán, R. (2022). Intensification of Red-G dye degradation used in the dyeing of alpaca wool by advanced oxidation processes assisted by hydrodynamic cavitation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 89, 106144. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106144>

Jain, P., Bhandari, V. M., Balapure, K., Jena, J., Ranade, V. V., & Killedar, D. J. (2019). Hydrodynamic cavitation using vortex diode: An efficient approach for elimination of pathogenic bacteria from water. *Journal Of Environmental Management*, 242, 210-219. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.057>

Joshi, S. M., & Gogate, P. R. (2019). Intensification of industrial wastewater treatment using hydrodynamic cavitation combined with advanced oxidation at operating capacity of 70 L. *Ultrasonics Sonochemistry (Print)*, 52, 375-381. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.016>

Qadir, M., Drechsel, P., Cisneros, B. J., Kim, Y., Pramanik, A., Mehta, P., & Olaniyan, O. (2020). Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. *Natural Resources Forum (Print)*, 44(1), 40-51. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12187>

Terán, R., García K., Sánchez, F., Colina, G., Pacheco, D. (2021). Acid precipitation followed by microalgae (*Chlorella vulgaris*) cultivation as a new approach for poultry slaughterhouse wastewater treatment. *Bioresource Technology*, 335, 125284. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125284>

II Semana Internacional del Agua

UTEG – Red AMARU

20,21 y 22 de marzo de 2024

Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil (UTEG)

Red Iberoamericana de Tratamientos de Aguas mediante Tecnologías Innovadoras – RED AMARU

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo (CYTED)

ISBN: 978-9942-614-28-5

