



## Estrategias sostenibles para la recirculación del agua en unidades habitacionales: Impacto en la oferta hídrica para la agroindustrial

León Quiroga, Cristian Camilo

Universidad del Área Andina, Colombia

<https://orcid.org/0009-0008-9459-989X> [cleon19@estudiantes.areandina.edu.co](mailto:cleon19@estudiantes.areandina.edu.co)

ASA/Artículo Revisión

doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.10390163>

Recibido: 03-04-2023

Aceptado: 14-11-2023

### RESUMEN

El agua es un elemento cada vez más limitado, lo que obliga a plantearse estrategia para su reciclaje, especialmente en las áreas urbanas, lo cual tendrá un impacto positivo en sectores económicos como la agroindustria, por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue hacer un inventario de las estrategias sostenibles para la recirculación del agua en unidades habitacionales y su impacto en necesidad de los mismo en la agroindustria. Para ello se hizo un análisis de la información estadística a nivel Latinoamérica y Colombia sobre la demanda de agua y el déficit de la misma, posteriormente se realizó una exploración sistemática en bases de datos y buscadores de alto impacto como Scopus, Latindex, Scielo, Researchgate y Google Académico; seleccionando artículos donde se describan estrategias de reciclaje del agua, ventajas y desventajas de emplear la técnica de recirculación. Los resultados encontrados indican que es una alternativa viable y sostenible en unidades habitacionales, por su baja inversión y la calidad del agua en confrontación con los sistemas de tratamientos de aguas residuales urbanas e industriales, permitiendo maximizar su uso y disponer del recurso para la producción agroindustrial garantizando soberanía alimentaria y suplir las necesidades alimenticias de la población.

**Palabras Clave:** agua, alimentación, reciclaje, seguridad alimentaria, sostenibilidad.



## **Sustainable strategies for water recirculation in housing units: Impact on hydric supply for agroindustry**

### **ABSTRACT**

Water is an increasingly limited element, which makes it necessary to consider a strategy for its recycling, especially in urban areas, which will have a positive impact on economic sectors such as agribusiness, therefore, the objective of this research was to make an inventory of sustainable strategies for water recirculation in housing units and their impact on water needs in agribusiness. For this purpose, an analysis of the statistical information on water demand and deficit in Latin America and Colombia was carried out, followed by a systematic exploration in databases and high impact search engines such as Scopus, Latindex, Scielo, Researchgate and Google Scholar; selecting articles describing water recycling strategies and the advantages and disadvantages of using the recirculation technique. The results found indicate that it is a viable and sustainable alternative in housing units, due to its low investment and the quality of the water compared to urban and industrial wastewater treatment systems, allowing maximizing its use and making the resource available for agro-industrial production, guaranteeing food sovereignty and supplying the food needs of the population.

**Keywords:** water, food, recycling, food security, sustainability.

## INTRODUCCIÓN

Entre los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) están garantizar la seguridad alimentaria (Ramírez et al., 2020) y la conservación de los recursos hídricos en lo que se refiere a su cantidad y calidad (Martínez et al., 2021), sin embargo alcanzar estas metas supone grandes retos ante las amenazas que constituye los procesos de degradación de tierras (Xie et al., 2020) y contaminación del agua (Tang et al., 2022), que limitan esta posibilidad, así como el cambio climático (Fawzy et al., 2020), que ha cambiado los patrones de precipitación y hace que cada día la oferta de agua sea menor por el agotamiento de este recurso y el deterioro de las cuencas hidrográficas (Moreira et al., 2020).

El agua es un elemento necesario tanto para el consumo humano (Alvarado y Barquero, 2019), como para la producción de alimentos (Patle et al., 2020), sin embargo son cada día más las amenazas que se ciernen sobre este recurso, son mayores debido al impacto de las acciones antrópicas sobre la calidad del mismo, que causan problema

de contaminación química y biológica, producto de la actividad urbana (Duran et al., 2020), agrícola (Grondona et al., 2022), minera (Menéndez y Muños, 2021) e industrial que producen la acumulación de sustancias nocivas en el agua como la contaminación por el uso de agroquímicas y metales pesados (Pabón et al., 2020).

Dado que el agua es un bien cada día más escaso y de menor calidad, deben buscarse mecanismos que minimicen su uso y contribuyan al ahorro del mismo, allí surge un conflicto, dado que son muchos sectores que requieren el vital líquido, siendo prioridad las áreas urbanas, las cuales requieren los recursos ante las necesidades de una población creciente en Latinoamérica (Fernández-Vargas, 2020) y en Colombia (Pérez-Campomanes e Iannacone, 2020), pero también es importante destacar que si no existe agua para la producción agroindustrial, tampoco se garantiza la producción de alimentos necesarios para cubrir las demandas de la población ubicada en las áreas urbanas (Mahlknecht et al., 2020).

Para maximizar el uso del agua existen alternativas como son la reutilización de

aguas provenientes de la ciudades y de los procesos de la industria (García, 2019), las cuales se podrían usar sin limitación en la irrigación de los cultivos y en los procesos de la agroindustrial sin mayores restricciones, después de ser sometidas a procesos de tratamientos, químicos, físicos y biológicos (Pajares et al., 2021), sin embargo estos procedimientos resultan costosos, debido a la alta carga de contaminantes que tienen estas aguas, por lo que su uso no es sostenible a gran escala.

Entre las alternativas para maximizar el uso del agua surgen estrategias como la captación de la lluvia (Hugues, 2019), la potabilización de agua, mediante el uso de sustancias químicas y biológicas que ayuden al remoción de sólidos disueltos (Zhao et al., 2021) y por último el reciclaje del agua usada en áreas urbanas provenientes de equipos de aires acondicionados y sanitarios (Lugman, 2021) cuya procedimiento de tratamiento resulta menos costoso debido su menor carga de contaminantes y de mayor calidad, en comparación al agua que se obtiene del tratamiento de los efluentes industriales y provenientes de las actividades agrícolas y mineras.

Considerando lo expuesto anteriormente esta investigación tiene como objetivo de hacer un inventario de las estrategias sostenibles para la recirculación del agua en unidades habitacionales y su impacto en la oferta del recursos hídrico para la agroindustria, dado que al solucionar las demandas del sector urbano se podrá destinar parte del recurso hídrico disponible para la producción agroindustrial, sin embargo para ello es necesario evaluar las alternativas existente en relación a la ventajas y desventajas de esta técnica, así como estimar el volumen de agua que se puede obtener mediante el reciclaje de la misma.

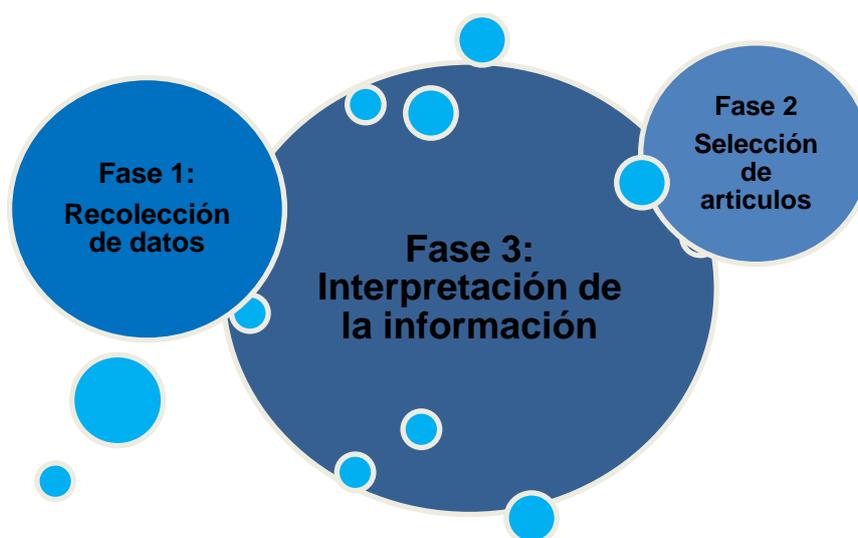
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Análisis bibliométrico

El análisis cuantitativo de la pesquisa obtenida de las bases de datos se realizó dentro de un punto de vista bibliométrico de la producción científica relacionada a las estrategias sostenibles orientadas en la recirculación del agua en unidades habitacionales en el entorno Latinoamericano y colombiano, así mismo, se analiza desde una enfoque cualitativa, ejemplos de algunos trabajos

de exploración publicados en el dominio de investigación de antemano indicada, desde un encuadre bibliográfico para calificar la perspectiva de diferentes autores respecto al sinopsis propuesto. La pesquisa se hizo a través de la

información obtenida de base de datos y estableciendo parámetros mostrados en la Figura 1.



**Figura 1.** Diseño metodológico para la búsqueda de artículos científicos sobre las estrategias sostenibles en la recirculación de agua en unidades habitacionales en el entorno Latinoamericano y colombiano.

### **Búsqueda de información**

Se utilizó un método de revisión bibliográfica para realizar este estudio, utilizando métodos de investigación de la literatura con referencia a estrategias sostenibles de reciclaje de agua en unidades habitacionales en el entorno latinoamericano y colombiano. Se

identificó la existencia de trabajos similares con objetivos y otros aspectos de relevancia (Radcliffe & Page 2021; Shoushtarian & Negahban, 2020). La investigación se llevó a cabo en dos etapas; una etapa heurística que consistió en la identificación de las fuentes de para el desarrollo del presente trabajo y una segunda fase donde se analizó la información obtenida.

### **Técnicas empleadas para selección de artículos**

La búsqueda bibliográfica y la localización fueron exhaustiva y profesional. Una vez localizadas las publicaciones, se analizó cada sección y se identificaron los temas claves para categorizar el impacto para brindar una evaluación directa y profunda de cada publicación, para luego extraer la información más relevante y hacer las comparaciones adecuadas.

### **Criterios de inclusión**

Se consideraron los trabajos que incluyeron texto con una referencia al título del trabajo en revisión, y estas publicaciones no solo cumplieron con las condiciones del estudio, sino que también se realizaron dentro del lapso establecido. Se tuvo en cuenta la terminología en la búsqueda de información, limitando la búsqueda a resultados esperados y resultados previos a artículos relacionados a las estrategias sostenibles para la recirculación del agua en unidades habitacionales en el contexto Latinoamericano y colombiano, se analizaron revistas digitales de bases de

datos como Google Scholar, Latindex y Scielo; Los artículos relacionados con estos artículos corresponden al periodo comprendido entre los años 2015-2023.

### **Criterio de exclusión**

No se considerarán publicaciones que se desvíen del contenido de este estudio o carezcan de lógica. Se excluyeron las publicaciones que no tuvieran una base científica y las bibliotecas de referencia derivadas de productos que no coincidieran con bibliotecas reconocidas. Se excluyeron resúmenes, comunicaciones de congresos y tesis.

### **Análisis de la información**

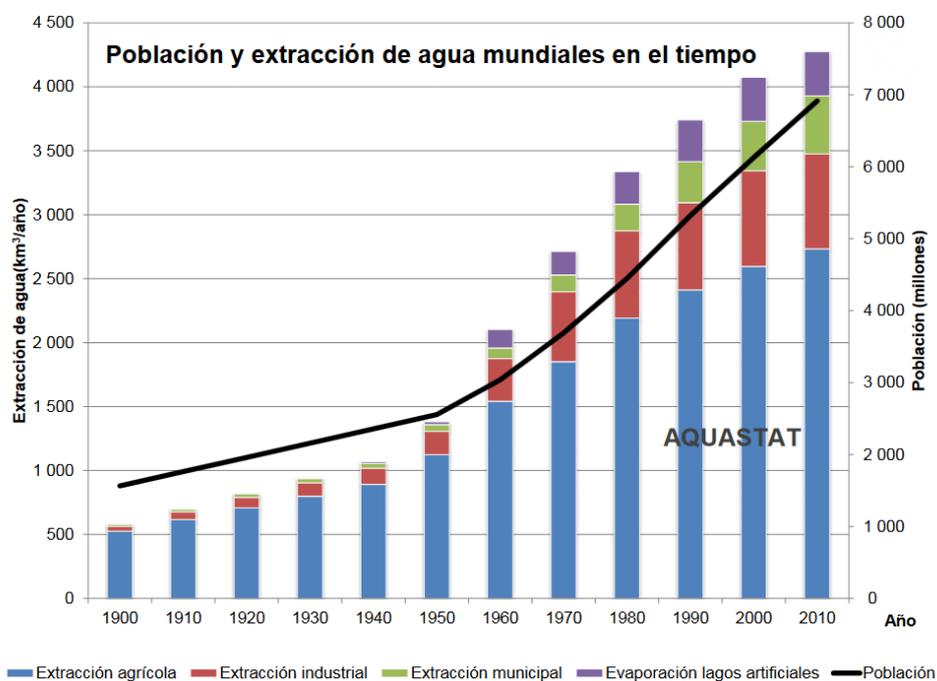
En la fase hermenéutica se sintetiza la información y se generan comentarios basados en fundamentos teóricos (Pérez et al., 2019). Los métodos utilizados en la investigación permitieron analizar las publicaciones de diferentes autores y comparar los temas, a partir de diferentes perspectivas y estrategias de investigación y hermenéutica, se describen detalladamente las diversas fuentes que permiten recopilar información bibliográfica, y se explican las similitudes y diferencias entre

distintos autores con características similares en sus temas de investigación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Previos a describir los estudios que abordan las estrategias sostenibles para la recirculación del agua en unidades habitacionales: impacto en la oferta hídrica para la agroindustria, se contextualizo la problemática referida al consumo y demanda de agua, en base

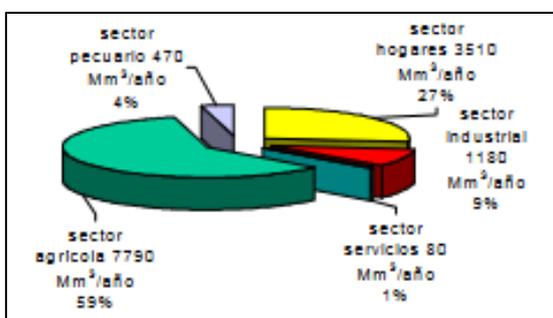
información estadística de entes nacionales e internacionales, obteniendo como resultado de acuerdo a los datos suministrados por la FAO (2015) que el principal consumo de agua corresponde al sector agrícola. seguido del sector industrial, el sector urbano, mientras que el menor consumo es producto de las perdidas por evaporación, en la figura 2, se observa que la tendencia es a un aumento progresivo del consumo de agua.



**Figura 2.** Tendencia del consumo mundial de agua.

**Fuente:** <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>

En el contexto colombiano, estudios previos llevados a cabo por Domínguez et al. (2008), revelaban una tendencia similar, donde el 59 % del consumo correspondía al sector agrícola, sin embargo, el sector urbano presentaba un consumo de 27 %, seguido de 9 % del sector industrial, 4 % del sector pecuario y 1 % del sector servicio (Figura 3).

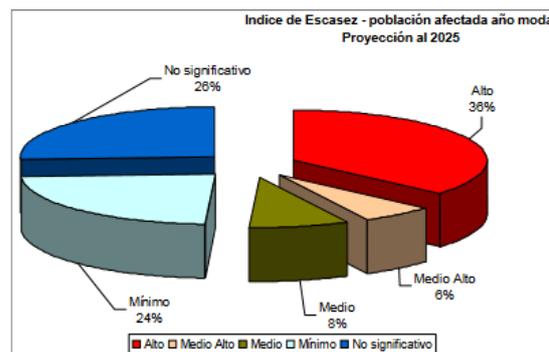


**Figura 3.** Tendencia del consumo de agua en Colombia.

**Fuente:** Domínguez et al. (2008).

Además de que se espera que se mantenga las tendencias, las proyecciones indican (Figura 4) que para el año 2025, el índice de escasez será de 42 %, debido al natural incremento poblacional que genera un aumento en la demanda del recurso, tanto para consumo agrícola, urbano e industrial y una menor oferta de agua en cantidad y calidad como consecuencia del cambio

climático que causa una disminución de las precipitaciones (Alarcón-Hincapié et al., 2019) y la contaminación de las aguas superficiales, debido a las acciones antrópicas (Sánchez et al., 2020).



**Figura 4.** Proyección de escasez de agua en Colombia.

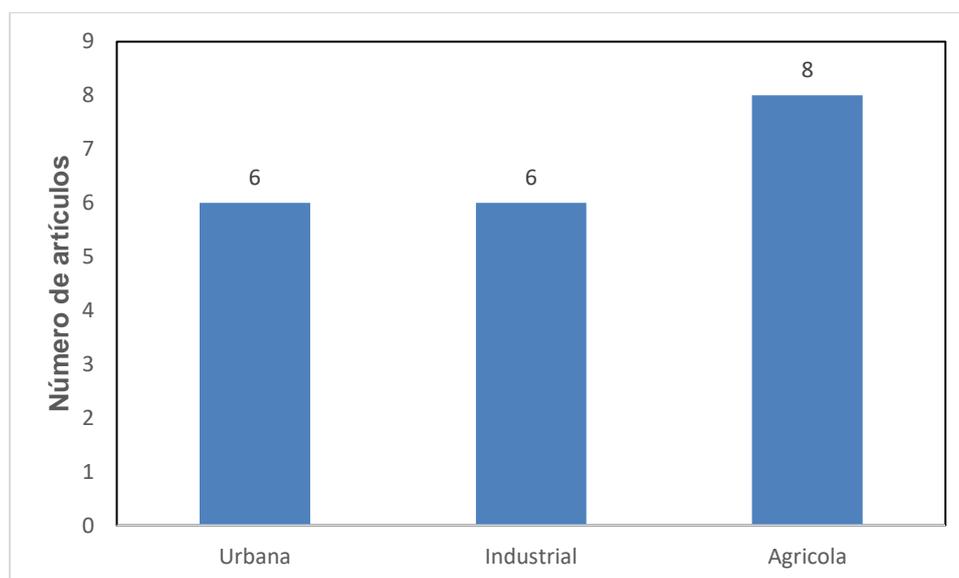
**Fuente:** Domínguez et al. (2008).

Debido a lo importante del tema para el sector agroindustrial, se encontraron trabajos análogos con los objetivos y otros aspectos relevantes sobre las estrategias sostenibles para la recirculación del agua en unidades habitacionales: impacto en la oferta hídrica para la agroindustria considerando el incremento de la demanda y la disminución de la oferta hídrica.

En este sentido en la figura 5, se observa que el mayor número de estrategias

corresponden a la reutilización de agua en el sector agrícola, con 8 artículos, seguido de las estrategias en los sectores urbanos e industriales con 6, esto se debe a que el sector agrícola, es el que demanda más agua para su desarrollo, sin embargo el costo de los tratamiento

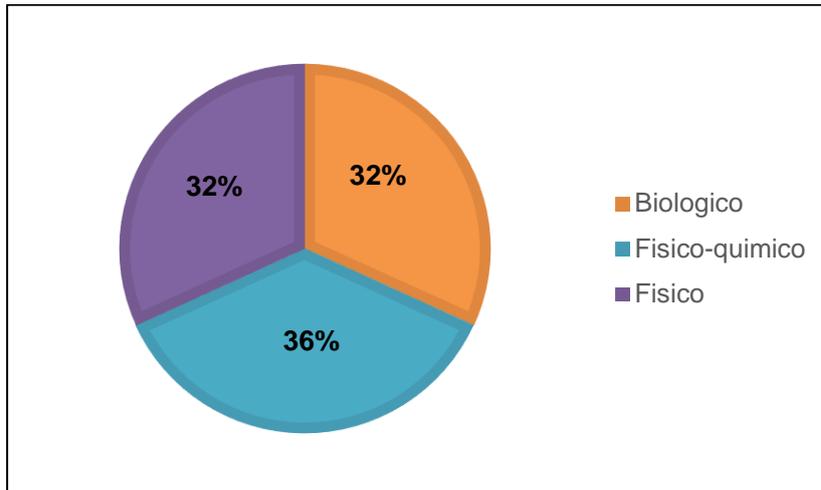
de ese tipo de agua, resulta más costoso, debido a la alta carga de contaminantes que presenta el mismo, por la presencia de agroquímicos y metales (Cajamarca et al., 2020; Salas-Ávila et al., 2021).



**Figura 5.** Artículos que abordan estrategias para el ahorro de agua en diferentes sectores económicos en el periodo 2015-2023.

Para el ahorro de agua las aguas residuales de origen agrícola o industrial, o la denominada agua grises que son propias de las áreas urbanas deben someterse a sistemas de tratamientos, los cuales de acuerdo a la figura 6, los más

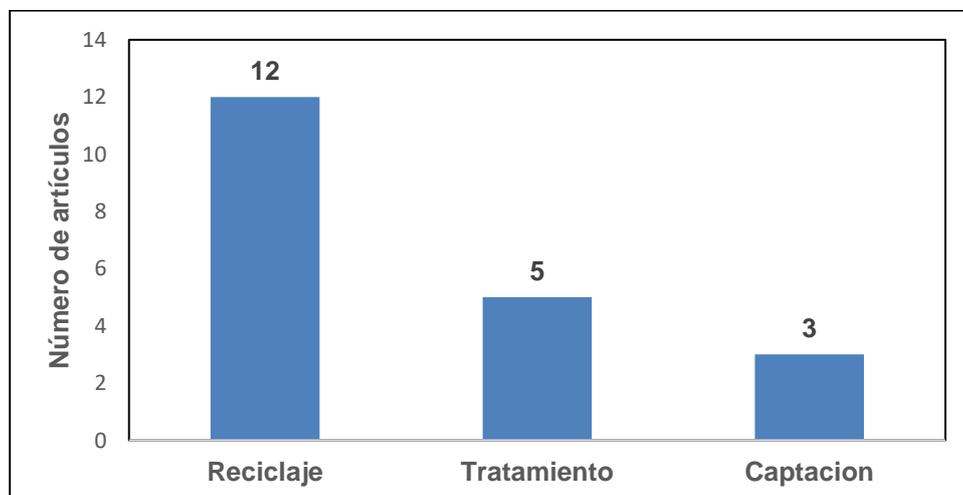
empleados son los sistemas de tratamientos que combinan métodos físicos-químicos con 36 %, seguido de los físicos y biológicos con 32 % cada uno.



**Cuadro 2.** Artículos que abordan los métodos de tratamientos de agua contaminadas en el periodo 2015-2023.

Entre las estrategias para el ahorro de agua, bien sea en el sector agrícola, industrial o residencial, el más empleado es el reciclaje o recirculación del agua con 12 artículos (figura 7), el cual implica obviamente el tratamiento de la misma, para su uso seguro, por lo cual

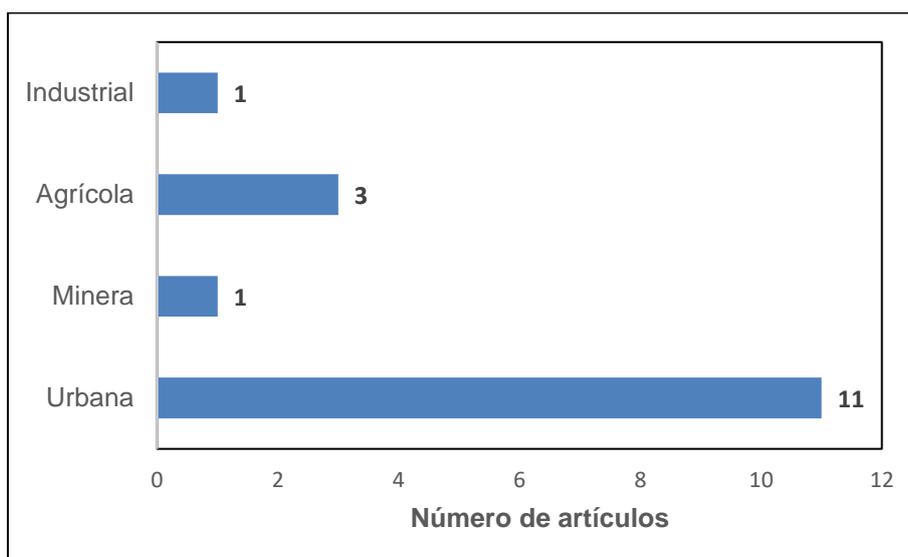
los sistemas de depuración constituyen la segunda estrategia más investigada con 5 artículos, mientras que el empleo de métodos de captación de la pluviometría es la estrategia menos abordada en las investigaciones consultadas con 3 artículos.



**Figura 7.** Artículos que abordan los métodos de ahorro de agua en el periodo 2015-2023.

A pesar de que el mayor interés de las investigaciones está en la reutilización del agua para su uso agrícola, cuando se analiza la factibilidad del reciclaje es mayor la cantidad de artículos que abordan los procedimientos para la reutilización de aguas grises con 11 artículos (figura 8), debido a que estas poseen una menor carga de contaminantes y por lo tanto el método de tratamiento resulta menos costoso y se

obtiene un agua de calidad aceptable para su utilización en medios urbanos, para el riego de áreas verdes, procedimientos de limpieza y servicios sanitarios, en comparación al reciclaje de agua proveniente de la agricultura con 3 artículos y del sector minero e industrial con tres investigaciones reportadas.



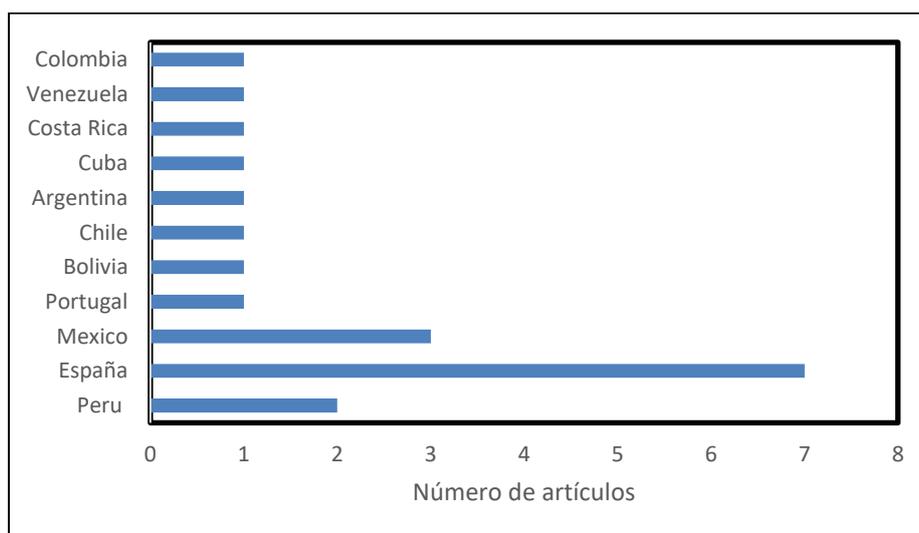
**Figura 8.** Artículos que abordan la utilización de agua en el periodo 2015-2023.

Con relación a la frecuencia de la reutilización de agua en centros urbanos, y particularmente en edificios residenciales, estas experiencias de acuerdo a lo visualizado en la figura 9 ha

sido más comúnmente reportada en España y México con 7 y 3 países respectivamente, mientras que en otros países de Latinoamérica, incluyendo Colombia las investigaciones son

menos frecuente, por lo que debe concientizarse a la comunidad científica sobre la importancia del agua en centros residencial dado que permite un ahorro

de 30 % de agua, cuya oferta puede destinarse a la producción agroindustrial y contribuir de esa forma a la seguridad alimentaria.



**Figura 9.** Artículos que abordan la utilización de agua en el periodo 2015-2023 de diferentes países de Iberoamérica.

Los hallazgos del análisis bibliométrico (Tabla 1), destacan la importancia del ahorro de agua y su posible utilización en el sector agroindustrial, por tal motivo los primeros 8 artículos, los cuales se

describen a continuación, describen y analizan la importancia de las estrategias para la recirculación del agua en unidades habitacionales reportadas en Latinoamérica en el periodo 2015-2023.

**Tabla 1.** Estrategias para la recirculación del agua en unidades habitacionales reportadas en Latinoamérica en el periodo 2015-2023.

Título	Año	Autores	Base de datos
<i>“Propuesta de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises que disminuiría el consumo de agua potable en viviendas familiares”</i>	2020	Azabache et al.	

---

<i>“Ahorro hídrico y análisis económico del aprovechamiento del agua de lluvia y reutilización de aguas grises en edificios: estimación en una población del Levante mallorquín (España)”.</i>	2023	Sousa y Guitart
<i>“Sistema automatizado de reciclado de aguas domiciliarias para el riego de áreas verdes”.</i>	2021	Zambrano et al.
<i>“Metodología para la reutilización de aguas grises en viviendas ubicadas en áreas de estrés hídrico y estrés hídrico extremo - Caracterización, calidad y opciones de tratamiento para su reuso en Chile”.</i>	2021	Diaz
<i>“Reutilización de aguas grises domésticas para el uso eficiente del recurso hídrico: aceptación social y análisis financiero. Un caso en Portugal”</i>	2019	Meléndez-Pérez et al.
<i>“Estudio de alternativas para el aprovechamiento y reúso del agua doméstica”</i>	2015	Parra et al.

---

Azabache et al. (2020), analizo el empleo de un sistema de tratamiento con recirculación para el reúso de aguas grises, que contribuye a reducir la demanda de agua potable en más de 10 litros, este procedimiento consistió en utilizar un método para el tratamiento de aguas grises que consistía en una caja de pre-recolección (sedimentador, filtro y almacenamiento), desde donde va el agua tratada al inodoro.

La importancia del reciclaje de las aguas grises es documentada por Sousa y Guitart (2023), quienes evaluaron en distintos inmuebles de uso hoteleros y

residenciales en España, encontrando que mediante el tratamiento de aguas grises de origen residencial, se puede obtener una reducción hasta del 25 %, mientras que en las viviendas plurifamiliares se alcanzó 27 % y un 10 % en establecimiento turísticos, estos resultados son alentadores, sobre todo en zonas que se caracterizan por su baja o escasa pluviometría, similar a muchas zonas áridas y semiáridas de Latinoamérica.

Considerando los hallazgos previos, Zambrano et al. (2021), consideran que los sistemas domésticos de tratamiento

de agua para riego de áreas verdes son una oportunidad para la construcción de viviendas ya que contribuyen al desarrollo comunitario y urbano sostenible como estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático en beneficio de la humanidad.

Para el tratamiento de las aguas grises Díaz et al. (2021), señalan que tecnologías aplicadas generalmente incluyen procesos físicos, químicos y biológicos, siendo los procedimientos físicos más comunes el uso de filtros de arena y de membranas, mientras que los procesos químicos incluyen la coagulación, oxidación fotocatalítica, intercambio iónico, etc.; son más complejos y costosos, por lo que no se discutirán en este estudio, adicionalmente existe tratamiento biológico, incluidos reactores verticales, humedales y biorreactores de membrana.

En relación al empleo de tratamientos biológicos Meléndez-Pérez et al. (2019), propuso un sistema que incluye la reutilización de aguas grises urbanas con

reactores biológicos de membrana (MBR), con la cual se alcanzó una disminución anual del consumo de agua de un 33 %, que equivale a 3.351,92 m<sup>3</sup> anuales, contribuyendo a un uso eficiente del recurso hídrico dentro del perímetro urbano. En el mismo orden de ideas Parra et al. (2015), propusieron un método de tratamiento de recirculación para las aguas grises domesticas en Colombia que incluyen tratamientos primarios con trampas de grasa y sistemas coagulación y floculación; un tratamiento secundario con sistemas de humedales, filtración y sedimentación y un tratamiento terciario de desinfección, con este sistema se obtiene un agua de calidad logrando un ahorro de agua en un 30 %.

Una vez conocida la importancia de la recirculación de las aguas residenciales, el segundo grupo de artículos analizados se fundamentó en la evaluación de la calidad de agua alcanzada utilizando técnicas de recirculación del agua en unidades habitacionales (Tabla 2).

**Tabla 2.** Calidad de agua obtenida a partir de técnicas de recirculación del agua en unidades habitacionales reportadas.

<b>Título</b>	<b>Año</b>	<b>Autores</b>	<b>Base de datos</b>
<i>“Evaluación de Sistemas de Reutilización de Aguas Grises. Caso de Estudio AquaSalvis”.</i>	2022	Salazar et al.	
<i>“Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena”.</i>	2022	Humanante et al	
<i>“Contaminantes emergentes. problemática ambiental asociada al uso de antibióticos. Nuevas técnicas de detección, remediación y perspectivas de legislación en América Latina”</i>	2020	Meléndez-Marmolejo et al.	
<i>“Productos farmacéuticos y de cuidado personal presentes en aguas superficiales, de consumo humano y residuales en el departamento de Córdoba, Colombia”</i>	2021	Flórez et al.	

En relación a la calidad de las aguas grises residenciales tratadas Azabache et al. (2020), informaron una eficiencia de eliminación total de sólidos disueltos del 52,68%; 60% para color; 70,59% para nitratos; el 66,67% por consumo de oxígeno bioquímico; y 62,50% por consumo de oxígeno químico.

Los valores reportados anteriormente coinciden con los hallazgos de Meléndez-Pérez, et al. (2019), quienes, al evaluar el sistema de tratamiento de aguas grises propuesto por el proveedor, se cumplieron los valores máximos permisibles para E. coli (200 UFC/100 ml), parásitos intestinales (1 huevo/10 L), SST (10 mg/L) y turbidez (2 UNT)

definidos por la Asociación Nacional para la Calidad en las Instalaciones Prediales (ANQIP) como un requisito para el agua de riego y descarga de inodoros.

Igualmente, Salazar et al. (2022), señalan que el prototipo usado para el tratamiento de aguas grises genera un agua con alto valores de turbidez (31 a 163 UNT), y con un contenido orgánico (DBO entre 7 a 10 mg/L), lo que sobrepasa el límite de calidad de algunas regulaciones, no obstante, la calidad de agua gris obtenida cumple con los las normas microbiológicas, cuando se certifica con cloro residual de 1 mg/L.

La idoneidad del agua gris tratada se logra conforme a Humanante et al. (2022), debido a que los niveles de de remoción de los tres sistemas de lagunas con respecto a los valores de DBO, DQO y Coliformes Fecales, los cuales estuvieron por debajo de los rangos permitidos por lo tanto lo que constituye un gran logro, dado que la acumulación diaria de estas sustancias crea serios problemas, ya que cantidades excesivas de sustancias orgánicas y organismos patógenos provocan la aparición de enfermedades que afectan la salud humana.

En este sentido Meléndez-Marmolejo et al. (2020), en relación a los riesgos para los humanos, expresan que la exposición prolongada a bajas concentraciones de antibióticos en el agua potable aún no ha causado los efectos secundarios asociados. Sin embargo, se ha demostrado que la exposición a poblaciones vulnerables, como mujeres

embarazadas y niños en una etapa temprana de la vida, produce transmisión, maduración y alteraciones de la microbiota que pueden afectar el metabolismo.

Lo grave de la aparición de los denominados contaminantes emergentes como antibióticos, detergentes y drogas es que de acuerdo a Flórez et al. (2021), se ha demostrado que las plantas de suministro de agua no toman en cuenta la presencia de estos compuestos en sus sistemas de tratamiento, lo cual podría crear un problema de salud pública en el futuro, por la presencia de los mismos.

Finalmente, demostrada la importancia de la recirculación de las aguas residenciales y la calidad de la misma para su uso, en el último grupo de artículos se discute el impacto de la recirculación del agua en unidades habitacionales en la oferta hídrica para la agroindustria, cuyos hallazgos se observan en la tabla 3.

**Tabla 3.** Impacto de la recirculación del agua en unidades habitacionales en la oferta hídrica para la agroindustria.

Titulo	Año	Autores	Base de datos
--------	-----	---------	---------------

<i>Estimación de la huella hídrica en la producción agrícola de lima Tahití en la Cuenca La Angula, Santander, Colombia.</i>	2020	Arenas et al.
<i>“Huella hídrica del cultivo de aguacate cv. Hass (Persea americana Mill.), en el Distrito de Conservación de Suelos Barbas-Bremen, Quindío, Colombia”.</i>	2021	Naranjo y Reyes
<i>“Huella hídrica verde y azul de la producción de caña de azúcar orgánica en la zona centro del Valle del Cauca”</i>	2022	Ramírez et al.
<i>“Estimación sectorial de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá generada en el año 2014”.</i>	2018	Castilla et al.
<i>“Estimación de la huella hídrica azul y verde de la producción cafetera en ocho cuencas en el sur del Departamento del Huila”.</i>	2018	Ariza y Arevalo
<i>“Agua virtual en Colombia: definición y evaluación mediante la Huella hídrica e implicaciones”.</i>	2019	Arroyo

En primer lugar, Arenas-Jiménez et al. (2020) al estimar la huella hídrica (HH) en un cultivo de Lima Tahití ubicado en la Cuenca La Angula, Santander, Colombia, encontró que la HH total en la zona alta de la cuenca era de  $1.74 \times 10^6 \text{ m}^3$ , lo que corresponde a un 18 % azul, 78% verde y 4% gris, lo que demuestra que existe una alta dependencia del agua proveniente de las precipitaciones y cuya regularidad es afectada por el cambio climático.

Mientras que Naranjo y Reyes (2021), al evaluar la HH para el cultivo de aguacate cv. Hass (*Persea americana* Mill.), en Quindío, Colombia, encontraron resultados similares,

dado que la HH verde derivada de la precipitación ( $3630 \text{ m}^3/\text{ton}$ ), la HH azul proveniente de las fuentes corrientes naturales ( $0,0 \text{ m}^3/\text{ton}$ ) y finalmente la HH gris asociada a la contaminación hídrica ( $1315 \text{ m}^3/\text{ton}$ ).

En este mismo contexto Ramírez et al. (2021) al cuantificar la HH verde y azul de la producción de caña de azúcar orgánica en el Valle del Cauca, encontraron que la HH de agua verde contribuyó el 76 % del total de agua requerida por el cultivo, mientras que el 24 % se atribuyó a la obtenida por fuentes superficiales y subterránea.

Dado la importancia del agua para la producción agrícola y agroindustrial, Ariza y

Arévalo (2018), promovieron el uso sostenible del agua; en los referente a la cosecha y pos-cosecha del café, con el propósito de minimizar el impacto generado sobre la cantidad del agua por uso de agua verde (humedad del suelo) y uso o consumo de agua azul (agua de ríos, lagos y acuíferos), encontrando que valores obtenidos fueron de 13033 m<sup>3</sup>/ton para la huella verde y de 0 m<sup>3</sup>/tn para la huella azul, cuyos valores son inferiores a los reportados en otros países como Indonesia y Brasil.

La importancia de ahorrar el agua en los sectores urbanos y como esto beneficia a la agroindustria, fue documentado por Castilla et al. (2018), quienes al hacer un estudio de la HH azul, encontraron un efecto moderado, la ciudad de Bogotá, la cual depende en gran medida del agua de otras regiones, ya que la mayor parte de los alimentos que se consumen no se producen en la ciudad y el agua consumida proviene de otra cuenca, ya que las fuentes de agua de la región no pueden satisfacer las necesidades de diversas agroindustrias.

En concordancia a los hallazgos presentados previamente, Arroyo (2019), afirman que a partir del estudio de la HH azul los empresarios y agricultores pueden crear sistemas de riego más eficientes basados en la tecnología y con respecto a la HH gris los gobiernos pueden identificar los factores de contaminación para

compensar y prevenir la escasez de agua producto de dicha contaminación

## CONCLUSIONES

Una menor disponibilidad de agua, debido al cambio de los patrones de precipitación y la contaminación del agua, obligan a buscar alternativas para su reciclaje, siendo este proceso mucho más viable en los sectores urbanos, dado que el agua posee una menor carga de contaminantes y los procesos de tratamiento son de un costo más bajo en comparación a depuración de aguas residuales de origen industrial, minero y agrícola.

Aunque el agua obtenida de los sistemas de tratamiento de las áreas residenciales es de alta calidad, su uso para consumo humano no está permitido, dado que los sistemas de tratamientos, no garantizan la eliminación de contaminantes emergentes como productos farmacológicos, detergentes y drogas ilícitas cuyo consumo puede incidir en la salud de los consumidores.

Aplicar una estrategia de recirculación de agua en las zonas residenciales aumenta la disponibilidad de agua para uso agroindustrial, en especial aquella asociada al uso de aguas provenientes de cuerpos de aguas superficiales como embalses y ríos, que son cuantificados en la huella hídrica azul y cuya oferta es posible

aumentar si se disminuye el impacto de las áreas urbanas, dado que el agua proveniente de la lluvia, en los sistemas de secano no es factible de manejar, da la variabilidad, cuya incertidumbre se ha incrementado con el avance del cambio climático.

## REFERENCIAS

- Alarcón-Hincapié, J., Zafra-Mejía, C., & Echeverri-Prieto, L. (2019). Cambio climático y recursos hídricos en Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2). [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262019000200021&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262019000200021&script=sci_arttext)
- Alvarado, D. M., & Barquero, C. F. P. (2019). Agua para consumo humano en Costa Rica: de los objetivos de desarrollo del milenio a los objetivos de Desarrollo Sostenible. *Tecnología en Marcha*, 32(5), 26-36. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4878>
- Arenas-Jiménez, C. F., Correa-Torres, S. N., & Pineda-Vargas, S. M. (2020). Estimación de la huella hídrica en la producción agrícola de lima Tahití en la Cuenca La Angula, Santander, Colombia. *Investigación y Ciencia*, 28(79), 52-61. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=67462875006>
- Ariza, W., & Arevalo, D. (2018). Estimación de la huella hídrica azul y verde de la producción cafetera en ocho cuencas en el sur del Departamento del Huila *Revista de investigación agraria y ambiental*. 9 (2) DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.2284>
- Arroyo, A. C. A. (2019). Agua virtual en Colombia: definición y evaluación mediante la huella hídrica e implicaciones. *Observatorio Iberoamericano del Desarrollo Local y la Economía Social*, (27). <https://www.eumed.net/rev/oidles/27/agua-virtual-colombia.zip>
- Azabache, Y., Rojas, K., Irigoín, S., Rodríguez, R., & Quispe, B. (2020). Propuesta de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises que disminuiría el consumo de agua potable en viviendas familiares. *Manglar*, 17(2), 169-176. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2020.026>
- Cajamarca, D. I., Godoy, M. M. P., Escobar, C. P. C., Matveev, L. A. V., & Cárdenas, M. L. V. (2020). Agroquímicos: enemigos latentes para los polinizadores y la producción de alimentos primarios que agonizan. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, (65), 31. <https://www.eumed.net/rev/cccss/2020/03/agroquimicos-enemigos-polinizadores.htm>
- Castilla, A; Castro, M; Gutiérrez A; Aldana, C. (2018). Estimación sectorial de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá generada en el año 2014. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 19-32. <http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias>
- Díaz, M. A., Decinti, A., Blanco, D., & Vásquez, K. (2021). Metodología para la reutilización de aguas grises en viviendas ubicadas en áreas de estrés hídrico y estrés hídrico extremo- Caracterización, calidad y opciones de tratamiento para su reuso en Chile. *Informes de la Construcción*,

- 73(563), e408-e408.  
<https://doi.org/10.3989/ic.79082>
- Domínguez Calle, E.A., Rivera, H. G., Sarmiento, R. V., & Moreno, P. (2008). Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Ciencia*, 32(123), 195-212. [https://biblio.colsan.edu.mx/arch/especi/Ag\\_ts\\_014.pdf](https://biblio.colsan.edu.mx/arch/especi/Ag_ts_014.pdf)
- Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., & Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 2069-2094. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01059-w>
- Fernández-Vargas, G. (2020). La gobernanza del agua como marco integrador para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Latinoamérica. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1561>
- Flórez, J. A., Méndez, D. M., Núñez, S. B., Montes, G. E., & Negrete, J. M. (2021). Productos farmacéuticos y de cuidado personal presentes en aguas superficiales, de consumo humano y residuales en el departamento de Córdoba, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 12(2), 179-197. <https://doi.org/10.22490/21456453.4231>
- García-Salazar, E. M. (2019). El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Estudios sociales. *Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 29(54). <https://doi.org/10.24836/es.v29i54.741>
- Grondona, S., Massone, H., Gonzalez, M., & Bedmar, F. (2022). Evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea en áreas agrícolas. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 38. <https://doi.org/10.20937/rica.54194>
- Hugues, R. T. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(2), 125-139. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382019000200125&script=sci\\_arttext&lng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382019000200125&script=sci_arttext&lng=en)
- Humanante Cabrera, J. J., Moreno Alcivar, L. C., Grijalva-Endara, A., Tinedo, R. W. S., & Tomalá, J. A. S. (2022). Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena. *Manglar*, 19(2), 177-187. <http://doi.org/10.17268/manglar.2022.022>
- Luqman, M., & Al-Ansari, T. (2021). A novel integrated wastewater recovery, clean water production and air-conditioning system. *Energy Conversion and Management*, 244, 114525. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114525>
- Mahlknecht, J., González-Bravo, R., & Loge, F. J. (2020). Water-energy-food security: A Nexus perspective of the current situation in Latin America and the Caribbean. *Energy*, 194, 116824. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116824>
- Martínez, S. S., Velázquez, E. Á., & Benítez, L. S. (2021). Contabilidad ambiental del

- agua en empresas sustentables establecidas en México. *Revista Venezolana de Gerencia: RVG*, 26(5), 614-631. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.26.e5.39>
- Meléndez-Marmolejo, J., García-Saavedra, Y., Galván-Romero, V., de León-Martínez, L. D., Vargas-Berrones, K., Mejía-Saavedra, J., & Ramírez, R. F. (2020). Contaminantes emergentes. Problemática ambiental asociada al uso de antibióticos. Nuevas técnicas de detección, remediación y perspectivas de legislación en América Latina. *Revista de Salud Ambiental*, 20(1), 53-61. <https://ojs.diffundit.com/index.php/rسال/article/view/1033>
- Meléndez-Pérez, J. A., Lemos-Lima, M. M. C., Dominguez, I., & Oviedo-Ocaña, E. R. (2019). Reutilización de aguas grises domésticas para el uso eficiente del recurso hídrico: aceptación social y análisis financiero. Un caso en Portugal. *Revista UIS Ingenierías*, 18(1), 223-236. doi: 10.18273/revuin.v18n1-2019020
- Menéndez, J., & Muñoz, S. (2021). Contaminación del agua y suelo por los relaves mineros. *Paideia XXI*, 11(1), 141-154. doi:10.31381/paideia.v11i1.3622
- Moreira Braz, A., Mirándola García, P. H., Luiz Pinto, A., Salinas Chávez, E., & Oliveira, I. J. D. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), 69-85. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232>
- Naranjo, J. F., & Reyes, H. (2021). Huella hídrica del cultivo de aguacate cv. Hass (Persea americana Mill.), en el Distrito de Conservación de Suelos Barbas-Bremen, Quindío, Colombia. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 15(29), 63-70. <https://doi.org/10.31908/19098367.1813>
- Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>
- Pajares, E. M., Valero, L. G., Moral, F. G., & Sánchez, I. M. R. (2021). Depuración de Aguas Residuales y uso De Aguas Regeneradas: Un Análisis Descriptivo del Caso de la Provincia de Jaén. *Agua y Territorio/Water and Landscape*, (17), 77-91. <https://doi.org/10.17561/at.17.4988>
- Parra Astudillo, D. L., & Granados Ruiz, D. P. (2012). Estudio de alternativas para el aprovechamiento y reuso del agua doméstica. *Epsilon*, 1(24), 123-142. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/896](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/896)
- Patle, G. T., Kumar, M., & Khanna, M. (2020). Climate-smart water technologies for sustainable agriculture: A review. *Journal of Water and Climate Change*, 11(4), 1455-1466. <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.257>
- Pérez Vargas, J. J., Nieto Bravo, J. A., & Santamaría Rodríguez, J. E. (2019). La hermenéutica y la fenomenología en la investigación en ciencias humanas y sociales. *Civilizar Ciencias sociales y humanas*, 19(37), 21-30. <https://doi.org/10.22518/usergioa/jour/ccsh/2019.2/a09>
- Pérez-Campomanes, G., & Iannacone, J. (2020). Impacto del cambio climático en la

- disponibilidad de las aguas superficiales en Sudamérica. *Paideia XXI*, 10(1), 173-202. <https://doi.org/10.31381/paideia.v10i1.2981>
- Radcliffe, J. C., & Page, D. (2020). Water reuse and recycling in Australia—history, current situation and future perspectives. *Water Cycle*, 1, 19-40. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2020.05.005>
- Ramírez, L., Becerra, D., & Mora, C. (2021). Huella hídrica verde y azul de la producción de caña de azúcar orgánica en la zona centro del Valle del Cauca. *Ingeniería y Competitividad*, 24(2-2022). DOI: 10.25100/iyc.v24i2.11264
- Ramírez, R., Vargas, P., & Cardenas, O. (2020). La seguridad alimentaria: una revisión sistemática con análisis no convencional. *Revista espacios*, 41(45), 319-329. <https://w.revistaespacios.com/a20v41n45/a20v41n45p25.pdf>
- Salas-Ávila, D., Chaiña-Chura, F. F., Belizario-Quispe, G., Quispe-Mamani, E., Huanqui-Pérez, R., Velarde-Coaquira, E., ... & Hermoza-Gutiérrez, M. (2021). Evaluación de metales pesados y comportamiento social asociados con la calidad del agua en el río Suches, Puno, Perú. *Tecnología y ciencias del agua*, 12(6), 145-195. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-06-04>
- Salazar, J. E., Blanco, H. A., & Lobatón, E. (2022). Evaluación de Sistemas de Reutilización de Aguas Grises. Caso de Estudio AquaSalvis. *Tekhné*, 25(2), 28-28. <https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/tekhne/article/view/4846/4867>
- Sánchez, A. F. E., Cobo, N. U., & Ramírez, S. M. B. (2020). Vulnerabilidad de fuentes hídricas superficiales de la cuenca del río cerrito a la contaminación difusa agrícola. *RIAA*, 11(2), 4. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7494307>
- Shoushtarian, F., & Negahban-Azar, M. (2020). Worldwide regulations and guidelines for agricultural water reuse: a critical review. *Water*, 12(4), 971. <https://doi.org/10.3390/w12040971>
- Sousa, S. N., & Guitart, A. V. E. (2023). Ahorro hídrico y análisis económico del aprovechamiento del agua de lluvia y reutilización de aguas grises en edificios: estimación en una población del Levante mallorquín (España). *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 62(2), 5-29. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v62i2.26054>
- Tang, W., Pei, Y., Zheng, H., Zhao, Y., Shu, L., & Zhang, H. (2022). Twenty years of China's water pollution control: *Experiences and challenges*. *Chemosphere*, 295, 133875. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133875>
- Xie, H., Zhang, Y., Wu, Z., & Lv, T. (2020). A bibliometric analysis on land degradation: Current status, development, and future directions. *Land*, 9(1), 28. <https://doi.org/10.3390/land9010028>
- Zambrano, G. C. G., Laaz, E. P. D., Molina, J. V., & Santillán, G. V. (2021). Sistema automatizado de reciclado de aguas domiciliarias para el riego de áreas verdes. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica*

---

*Multidisciplinaria*, 5(2), 93-102.  
<https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v4.n3.2020.281>

Zhao, C., Zhou, J., Yan, Y., Yang, L., Xing, G., Li, H., ... & Zheng, H. (2021). Application of coagulation/flocculation in oily wastewater treatment: A review. *Science of The Total Environment*, 765, 142795. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142795>