

**DISEÑO DE BIOFILTRO PARA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES DE AGUAS  
RESIDUALES DE LA COMUNIDAD BALLAGÁN, ECUADOR**  
**DESIGN OF A FILTER FOR THE ELIMINATION OF POLLUTANTS FROM WASTEWATER IN  
THE BALLAGAN COMMUNITY, ECUADOR**

**Juan Pablo Morales Corozo, Mgtr.**

 <https://orcid.org/0000-0002-4538-4488>

Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora, Barinas, Venezuela

[j.p.shevarajo@gmail.com](mailto:j.p.shevarajo@gmail.com)

**Keyron Loor Vergara**

 <https://orcid.org/0000-0002-8424-6811>

Escuela Politécnica del Chimborazo, Riobamba Ecuador

[keyron.loor@esPOCH.edu.ec](mailto:keyron.loor@esPOCH.edu.ec)

**ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN**

Recibido: 24 de mayo de 2023

Aceptado: 7 de junio de 2023

**RESUMEN**

Los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales en el Ecuador presentan inconvenientes debido en parte a su operación y mantenimiento los cuales afectan al medio ambiente y a la salud humana. El propósito de la presente investigación es el diseño de un sistema de filtración como tratamiento primario de las aguas residuales de la comunidad Ballagán, de la parroquia San Juan del cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo. Si bien es cierto no se cuenta con un dato inicial de las concentraciones de BQO y DBO<sub>5</sub>, pero mediante los respectivos modelos matemáticos se obtiene un dato aproximado que se ajusta a la realidad ya que las actividades antrópicas que se generan en el sector influyen en la obtención de altas concentraciones de carga contaminante. Las actividades de agricultura y la conversión de uso de suelo en el sector generan varios problemas que afectan a la calidad de agua.

Palabras Clave: Contaminación, sistema de filtración, carga contaminante, sistema de tratamiento.



## **ABSTARCT**

The sewage systems and wastewater treatment plants in Ecuador present drawbacks due in part to their operation and maintenance, which affect the environment and human health. The purpose of this research is the design of a filtration system as primary treatment of wastewater from the Ballagan community, from the San Juan parish of the Riobamba canton of the Chimborazo province. Although it is true that there is no initial data on the concentrations of BQO and BOD<sub>5</sub>, but through the respective mathematical models an approximate data is obtained that adjusts to reality since the anthropic activities that are generated in the sector influence the obtaining high concentrations of polluting load. Agricultural activities and the conversion of land use in the sector generate various problems that affect water quality.

Key words: Pollution, filtration system, pollutant load, treatment system

## **INTRODUCCIÓN**

Acontecimientos recientes en el campo medio ambiental han incrementado el interés por el cuidado del agua y los principales problemas de la contaminación de este recurso el cual es un problema a escala mundial. En varios sectores existe un problema en cuanto a las aguas residuales producto de las actividades antrópicas los cuales en varios de los casos han provocado daños ambientales considerables en los ríos, lagos y otras fuentes de agua. De acuerdo a (Guadarrama et al., 2016) el tema de la contaminación del agua es uno de los temas que se debe tomar en cuenta para fomentar programa de conservación de este recurso natural para las generaciones venideras. Según (Benítez et al., 2021) anualmente se descargan a los océanos alrededor de 4,8 millones de toneladas de desechos, los contaminantes debido a las actividades agrícolas hacen un gran aporte en la contaminación de los acuíferos los cuales tienen como punto final los mares y posteriormente los océanos. Este problema afecta también a la fauna silvestre donde cada año mueren alrededor de 1,5 millones de aves, reptiles y mamíferos muchos de los cuales se encuentran en peligro de extinción. “La crisis mundial del agua cobrará en los próximos años proporciones sin precedentes y aumentará la creciente penuria por falta de agua en las personas que habitan en muchos países subdesarrollados” (Benítez et al., 2021, p. 2).

Los impactos ambientales debido a la contaminación del agua tienen varias repercusiones en las diferentes comunidades causando problemas a la salud y seguridad de los habitantes. (Endara et al., 2020) manifiesta que los efectos debido a la contaminación aumentan incesantemente la acidificación y alteración de la calidad de agua de varias fuentes de agua que

acceden las personas para realizar sus actividades. La expansión urbana de las ciudades obliga a las diferentes ciudades a realizar una planificación de desarrollo donde se deben tratar temas particulares debidos a las variaciones de las dinámicas sociales donde se deben cubrir las necesidades básicas insatisfechas, una de ellas es el tratamiento de las aguas residuales. Según (Martínez et al., 2015) los planes de desarrollo ubican varios problemas con respecto al mal manejo del agua y la situación crítica que obliga a realizar proyectos para la prevención de la contaminación.

En el Ecuador, uno de los derechos constitucionales es el acceso al agua a la vez el mismo es considerado un patrimonio natural estratégico de uso público y esencial para las actividades humanas. (Sánchez & Tello, 2019) identifican un deterioro de la calidad y cantidad del agua, debido a varios factores como la pérdida del páramo debido a la complejidad de las dinámicas sociales, las actividades extractivas de recursos y los problemas por el mal manejo de los residuos sólidos, la expansión de la frontera agrícola. Para garantizar y tomando en cuenta las competencias de los gobiernos municipales con respecto al manejo de las aguas residuales debe realizar sistemas de tratamiento adecuados para la prevención de la contaminación. El propósito de la presente investigación es el diseño de un sistema de filtración como tratamiento primario de las aguas residuales de la comunidad Ballagán, de la parroquia San Juan del cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

El agua comprende uno de los elementos de vital importancia para el desarrollo de las comunidades, de ahí que a lo largo de la historia se han venido desarrollando tratamientos para el consumo humano, y la eliminación de las enfermedades por la ingesta de aguas crudas. Con la aparición de la potabilización sin duda se mejoró la calidad de vida, pero se dio origen a otro problema debido a las aguas residuales producto de las actividades cotidianas, sumándose a estas las aguas producto de la descarga de las industrias han generado un problema ambiental sobre el cual los gobiernos a nivel mundial han puesto interés. Cobeña y González, (2020) sostienen que las aguas residuales debido a las actividades antrópicas generan impactos considerables al ambiente siendo un verdadero problema especialmente en las zonas periféricas y áreas rurales. El 72% de las fuentes de agua a nivel mundial se encuentran contaminadas y han dado origen a la aparición de enfermedades en la población, debido a las alteraciones químicas y biológicas del recurso natural. Según Bofill et al., (2005) la alteración de las condiciones naturales del agua dan como resultado la aparición de microorganismos patógenos

que se transmiten a través del ambiente, causando importante impacto en la salud, y pérdidas económicas considerables.

La actividad agrícola debido a la utilización de fertilizantes y otros insumos químicos donde la cantidad de nitrógeno no asimilado por las plantas generan lixiviados que se dirigen a zonas de saturación de agua dando lugar a nitratos, el estiércol del ganado aporta en la acumulación de coliformes. Como manifiestan Monge y Brenes, (2007) las actividades agropecuarias realizadas en zonas de interés hídrico contaminan aguas superficiales y subterráneas que mucho depende de las condiciones del sector como la permeabilidad, tipo de suelo, estructura entre otros. Es importante mencionar que este tipo de contaminantes degrada los suelos debido a las reacciones químicas erosionando al suelo, por las fuertes lluvias estos son arrastrados a las fuentes de agua aportando sedimentos, a la vez generan un problema de inundación que causan pérdidas materiales y humanas en varios de los casos.

“El riesgo de la contaminación del agua por plaguicidas se presenta principalmente en zonas de agricultura extensiva; sin embargo, la mayoría de los expertos en salud están de acuerdo con que los mayores riesgos en el suministro de alimentación y agua potable no son los residuos de plaguicidas, las dioxinas o los alérgenos, sino los diferentes patógenos causantes de enfermedades mediante diversas variantes de hongos, bacterias y virus que, distribuidos y adaptados en el mundo, producen a diario dolor, miseria, sufrimiento y miles de muertes en la población humana”(Monge & Brenes, 2007, p. 139).

El mal manejo de los desechos sólidos por medio de botaderos de basura genera deformaciones en las superficies que ocasionan que el lixiviado que se percola por el suelo contamine las aguas subterráneas y superficiales. El crecimiento urbano genera variaciones en el comportamiento de la generación de los desechos sólidos donde se incrementa la producción per cápita. La falta de un buen plan de ordenamiento territorial en varias ciudades crea zonas periféricas donde se dificulta la accesibilidad del vehículo recolector ocasionando la ubicación de botaderos clandestinos los cuales debido a las precipitaciones son arrastrados a las fuentes de agua y con ello provocan problemas de contaminación.

La expansión del área urbana en riberas de los ríos sin una buena planificación territorial, trae consigo remoción de la capa vegetal y degradación del suelo. La aparición de escombreras y el taponamiento de los ríos dan como resultado la generación de sedimentos que alteran la calidad de las aguas, incrementan la vulnerabilidad a inundaciones y movimientos de suelo en las zonas cercanas a las riberas de los ríos. La implantación de fábricas cerca de las riberas de los ríos

también es otro factor ocasionado por las malas prácticas de ordenamiento territorial que ocasionan la contaminación del agua, espacialmente de los ríos ubicados en el área urbana.

“Los problemas ambientales de Ecuador están asociados principalmente a la pérdida y degradación de los espacios naturales por efecto de la deforestación, el desarrollo de infraestructura no planificada y la contaminación por actividades extractivistas y productivas a nivel industrial” (Benítez et al., 2021, p. 73). El problema de la contaminación del agua no es ajeno a la realidad de cada localidad, de hecho, la Constitución otorga la competencia exclusiva a los gobiernos municipales el servicio de alcantarillado sanitario y el tratamiento de las aguas residuales, garantizando el derecho de los ciudadanos a un ambiente sano. Los planes de desarrollo y ordenamiento territorial de los gobiernos municipales van encaminados a implementar proyectos para la prevención de la contaminación de los recursos naturales a la vez establecer normativas locales para evitar que las actividades que generan bajo, mediano y alto impacto descarguen directamente a las fuentes de agua, aplicando correctamente las disposiciones legales.

La mayor parte de los impactos ambientales son relacionados directamente a las actividades antrópicas desarrolladas en los asentamientos humanos por lo que los gobiernos municipales deben trabajar en los planes de desarrollo, los cuales de acuerdo a de Bravo y Sánchez, (2012) deben tomar en cuenta la participación social como algo fundamental involucrando a los actores locales en buscar la solución a los problemas ambientales a través metodologías dinámicas incentivando al compromiso en acciones para prevenir la contaminación de las aguas y reducir la brecha de las necesidades básicas insatisfechas.

“Para cumplir el principio de sostenibilidad ambiental se hace necesaria una detallada evaluación de los impactos que generen acciones y medidas de control y seguimiento, teniendo como base la caracterización del ambiente e identificación de aspectos e impactos ambientales, todo esto como estrategia para recuperar, mantener y proteger los recursos naturales y los ecosistemas que se encuentran altamente intervenidos” (Vargas, 2015, p. 13).

Los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales en el Ecuador presentan inconvenientes debido en parte a su operación y mantenimiento los cuales afectan al medio ambiente y a la salud humana. La literatura científica desarrollada hasta el momento no muestra una evidencia confiable acerca del estado de los sistemas de tratamiento de aguas residuales a nivel nacional, si bien Herrera y Naranjo, (2019) realizan un análisis de las misma este no muestra a profundidad la eficiencia de los sistemas, a la vez evalúa las actividades

constructivas pero no las relacionadas con la operación y mantenimiento por lo que es importante fijar el sistema de tratamiento aplicable para cada comunidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolla en la comunidad de Ballagán, ubicada en la parroquia de San Juan, del cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo, la cual tiene una población de 283 habitantes. El agua para el consumo humano se lo realiza por medio de una red de tuberías donde se distribuye a cada uno de los usuarios, sin un tratamiento de potabilización por lo que existe problemas de enfermedades intestinales en toda la población. No existe un sistema de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales lo cual ha generado un gran impacto debido a que cada una de las viviendas descarga sus aguas servidas directamente a las fuentes de agua generando también problemas de salud en los habitantes y la proliferación de insectos y roedores. El servicio de recolección de los desechos sólidos es irregular y tiene una cobertura del 60%, en las zonas periféricas debido a la accesibilidad no llega el vehículo recolector lo que ha provocado la aparición de botaderos clandestinos donde se generan lixiviados los cuales por las variaciones de precipitación tienen como punto final de la descarga las fuentes de agua.

Hasta la fecha se han desarrollado e introducido varios métodos para diseñar tratamientos por biofiltración de aguas residuales, los cuales disminuyen de manera considerable la carga contaminante, de acuerdo a Espinoza, (2017) depende de los parámetros, concentración y tiempo de tratamiento.

La proyección de la población beneficiada por el sistema de tratamiento se lo obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$P_f = P_o * e^{i*t}$$

Donde:

- $P_o$  Población inicial
- $i$  Índice de crecimiento (%)
- $t$  Número de años

El caudal medio toma en cuenta la cantidad de habitantes y la dotación de cantidad de agua que consume un habitante y se lo obtiene con la siguiente ecuación:

$$Q_m = \frac{P_f * d}{24.000}$$

Donde:

$P_f$  Proyección de población a 10 años

$d$  Dotación 100 l/hab/día

El caudal diario comprende el volumen de agua a tratar en un día y se lo obtiene de la siguiente manera:

$$Q_d = Q_m * 24 \frac{h}{día}$$

Para poder sobredimensionar el sistema de tratamiento es necesario el cálculo del caudal de punta es decir un valor pico de caudal de tal manera que se mantenga un buen funcionamiento del sistema de tratamiento, y este se lo obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$Q_p = Q_m * \left( 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_m}} \right)$$

El coeficiente de punta se calcula con la ecuación:

$$K_p = \frac{Q_p}{Q_m}$$

Si bien es cierto no se cuenta con los valores iniciales de DQO, se los puede obtener con las siguientes ecuaciones:

$$DQO = \frac{C * P_f}{Q_d}$$

Donde:

$C$  Carga contaminante por persona 140 g/hab/día

$P_f$  Cantidad de habitantes proyectados a 10 años

$Q_d$  Caudal diario

La carga diaria de DQO, se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$C_d = DQO * Q_d$$

Donde:

$Q_d$  Caudal diario

Los valores iniciales de  $DBO_5$ , se los puede obtener con la siguiente ecuación:

$$DBO_5 = \frac{C * P_f}{Q_d}$$

Donde:

$C$  Carga contaminante por persona 70 g/hab/día

$P_f$  Cantidad de habitantes proyectados a 10 años

$Q_d$  Caudal diario

La carga diaria de  $DBO_5$ , se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$C_d = DBO_5 * Q_d$$

Donde:

$Q_d$  Caudal diario

Para el diseño del filtro biológico percolador tomamos para nuestro diseño el modelo establecido por Galler – Gotaas, basado en un análisis de regresión múltiple resultando la siguiente expresión:

$$S_e = \frac{0,464 * (S_o)^{1,19} * (1 + R)^{0,28} * \left(\frac{Q}{A}\right)^{0,13}}{(1 + D)^{0,67} * 7^{0,15}}$$

### Primera etapa

$$V = 0,0263 * Q * S_i \frac{(1 + 0,1 * R)^2}{1 + R} * \left(\frac{E}{1 - E}\right)^2$$

## Segunda Etapa

$$V = 0,0263 * \frac{Q * S_i}{F} * \left( \frac{E_2}{(1 - E_1) * (1 - E_2)} \right)$$

Donde:

- $S_o$  DBO<sub>5</sub> del afluente
- $R$  Relación de recirculación
- $E$  Eficiencia del filtro
- $E_1$  Eficiencia de la primera etapa del filtro
- $E_2$  Eficiencia de la segunda etapa del filtro
- $D$  Profundidad del filtro
- $V$  Volumen total del medio filtrante

Para el sistema de bombeo se calcula el diámetro óptimo económico a través de la siguiente fórmula:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * \mu}}$$

Donde:

- $Q$  Caudal admisible
- $\mu$  Velocidad del fluido

Las pérdidas de carga se las obtiene con la siguiente ecuación:

$$h_f = f * \frac{L * \mu^2}{2 * g * D}$$

Donde:

- $f$  Coeficiente de fricción
- $L$  Longitud equivalente de la tubería
- $\mu$  Velocidad del Fluido
- $D$  Diámetro de la tubería
- $g$  Gravedad

Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{4 * Q * \rho}{\mu * \pi * D}$$

Donde:

$Q$  Caudal

$\rho$  Densidad del fluido

$\mu$  Viscosidad del fluido

$D$  Diámetro de tubería

Cálculo de rugosidad relativa

$$r_r = \frac{\varepsilon}{D}$$

Longitud equivalente

$$L_{total} = L_{cañería} + L_{accesorios}$$

Cálculo de la altura total

$$H_{total} = H_{geometrica} + Pérdida de carga$$

Potencia de la bomba

$$P = \frac{Q * H_{total}}{366 * \mu}$$

Donde:

$Q$  Caudal

$H_{total}$  Altura total

$\mu$  Rendimiento de la bomba

## RESULTADOS

Para la comunidad de Ballagán, se puede diseñar un sistema de filtración se obtiene los siguientes resultados expresados en la tabla 1

**Tabla 1.**

*Parámetros de diseño del filtro*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Población</b>	290	hab
<b>Índice de crecimiento</b>	0,0268	
<b>Años</b>	10	años
<b>Población futura</b>	379	hab
<b>Dotación</b>	300	l/hab/día
<b>Caudal medio</b>	4,74	m <sup>3</sup> /h
<b>Caudal diario</b>	113,76	m <sup>3</sup> /día
<b>Caudal de punta</b>	12,55	m <sup>3</sup> /h
<b>Coefficiente de punta</b>	2,65	
<b>Caudal punta lluvioso</b>	37,65	m <sup>3</sup> /h
<b>Carga contaminante por persona DQO</b>	140	g/hab/día
<b>Carga contaminante DQO</b>	466,42	g/m <sup>3</sup>
<b>Valor máximo de DQO</b>	1236,01	g/m <sup>3</sup>
<b>Carga diaria de DQO</b>	140608,5	Kg/día
<b>Cargas contaminantes por persona DBO5</b>	70	g/hab/día
<b>Carga contaminante DBO5</b>	233,21	g/m <sup>3</sup>
<b>Valor máximo de DBO5</b>	618,01	g/m <sup>3</sup>
<b>Carga diaria de DBO5</b>	70304,82	Kg/día

## BOMBEO

<b>Velocidad del fluido</b>	0,85	m/s
<b>Caudal admisible</b>	0,7584	m <sup>3</sup> /s
<b>Diámetro mínimo</b>	1,066	m
<b>Coeficiente de fricción</b>	0,0205	
<b>Longitud de la tubería</b>	500	m
<b>Velocidad del fluido</b>	0,85	m/s
<b>Pérdida de carga</b>	0,354	m
<b>Número de Reynolds</b>	2820909,84	
<b>Rugosidad relativa</b>	0,938	
<b>Longitud total</b>	575	m
<b>Pérdida de carga en la cañería de impulsión</b>	0,408	m
<b>Altura total</b>	6,608	m
<b>Potencia de la bomba</b>	65,38	kW
<b>FILTRO</b>		
<b>Relación de circulación</b>	0,8	
<b>DBO5 del afluente al filtro</b>	233,21	mg/l
<b>Área</b>	7,5	m <sup>2</sup>
<b>DBO5 del efluente sedimentado del filtro</b>	107,86	mg/l
<b>Primera fase del filtro</b>		
<b>Eficiencia</b>	0,54	
<b>Volumen</b>	4,15	m <sup>3</sup>
<b>Material</b>	Fibra de coco	
<b>Segunda fase</b>		
<b>Eficiencia</b>	0,07	

<b>Volumen</b>	1,52 m <sup>3</sup>
<b>Material</b>	Carbón activado

---

Fuente: Morales, (2023)

## CONCLUSIONES

Si bien es cierto no se cuenta con un dato inicial de las concentraciones de BQO y DBO<sub>5</sub>, pero mediante los respectivos modelos matemáticos se obtiene un dato aproximado que se ajusta a la realidad ya que las actividades antrópicas que se generan en el sector influyen en la obtención de altas concentraciones de carga contaminante. Las actividades de agricultura y la conversión de uso de suelo en el sector generan varios problemas que afectan a la calidad de agua.

La eficiencia del sistema de tratamiento es del 61%, la primera fase es donde se reduce la concentración de DBO<sub>5</sub>, esto es debido en gran parte al tipo de material filtrante utilizado para el tratamiento, donde tomando en cuenta los resultados obtenidos por Canales, (2013) donde la fibra de coco permite la absorción de varios componentes y permite una buena filtración, para la segunda fase el carbón activado nos ayuda a mejorar el tratamiento primario.

Tomando en cuenta las competencias municipales con respecto al tratamiento de las aguas residuales, esta alternativa de tratamiento primario debe complementarse con un biorreactor, a la vez se debe realizar un análisis de precios unitarios y elaborar el proyecto de tal forma que sea considerado dentro del plan operativo anual como una solución al problema de contaminación que se encuentra en el sector, a la vez puede ser un referente para aplicar en otras comunidades que tienen el mismo inconveniente.

Es indispensable tomar en cuenta que se debe realizar un manual de funcionamiento donde se incluya la frecuencia con la cual se debe realizar el mantenimiento, y los monitoreos a realizar a fin de verificar la calidad del agua posterior al tratamiento.

Como manifiesta Chilán, (2022) uno de los inconvenientes es el desconocimiento de la normativa ambiental vigente lo que permite que este tipo de alternativas no se tome en cuenta como un sistema alternativo no convencional que puede ayudar a evitar la contaminación de las fuentes de agua de tal forma que se utilizan modelos de tratamiento estandarizados que no se apegan a la realidad local existiendo inconvenientes y dan origen a otros problemas ambientales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benítez, E. M. L., Verdecia, G. M., & Castell, M. A. P. (2021). Escasez y contaminación del agua, realidades del siglo XXI. *Revista 16 de abril*, 60(279), Article 279.
- Bofill, S., Clemente, P., Albiñana, N., Maluquer de Motes Porta, C., Hundesa, A., & Girones, R. (2005). Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. *Revista española de salud pública*, 79, 253-269.
- Canales, J. C. H. (2013). DISEÑO DE UN MODELO EXPERIMENTAL DE FILTRO PERCOLADOR UTILIZANDO ESTOPA DE COCO COMO MEDIO FILTRANTE, PARA LA REDUCCIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO TOTAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO AURORA II "ING. ARTURO P. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 8(1), 48-52.
- Chilán, S. F. (2022). "EVALUACIÓN DEL CONTROL INTERNO AL DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO EN LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO DEL CANTÓN JIPIJAPA". <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4446>
- Cobeña, G. L., & González, C. E. (2020). Análisis de la contaminación del agua e incidencia por consumo en la salud de la población del sitio Río Santo parroquia Ricaurte del Cantón Chone, año 2017. *Revista Científica Arbitrada de Posgrado y Cooperación Internacional CLAUSTRO - ISSN: 2737-6478.*, 3(5), Article 5.
- de Bravo, M. T. D., & Sánchez, J. M. (2012). La participación social en la formulación de planes de ordenamiento territorial. *Revista de Ecodiseño y Sostenibilidad*, 2(2), 163-179.
- Endara, A. de las M. G., Heinert, M. E. J., & Solórzano, H. X. P. (2020). Contaminación del agua y aire por agentes químicos. *RECIMUNDO*, 4(4), Article 4. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).octubre.2020.79-93](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.79-93)
- Espinoza, A. E. (2017). Disminución de la DBO, DQO y STD del agua residual domestica de Santiago de Chuco empleando un biofiltro de piedra pómez. *Universidad César Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/6776>
- Guadarrama, R., Kido, J., Roldan, G., & Salas, M. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1-10.

- Herrera, G. C. G., & Naranjo, S. I. L. (2019). Evaluación del impacto ambiental de los sistemas de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales en Ecuador. *Ciencia Digital*, 3(3.2.1), Article 3.2.1. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.2.1.783>
- Martínez, V., Romo, M. de L., & Córdova, G. (2015). Participación ciudadana y planeación del ordenamiento territorial en la frontera norte de México. *Espiral (Guadalajara)*, 22(64), 189-220.
- Monge, S. A., & Brenes, B. M. (2007). Contaminación del agua. *Biocenosis*, 20(1-2), Article 1-2. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1311>
- Sánchez, A. A., & Tello, L. L. G. (2019). La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador. *Revista Visión Contable*, 19, Article 19. <https://doi.org/10.24142/rvc.n19a4>
- Vargas, E. P. (2015). *Análisis de la problemática ambiental (recursos: Agua-aire) que presenta el municipio de Sogamoso–Boyacá en el plan de ordenamiento territorial.*