

Evaluación del impacto por vertimientos de aguas residuales domésticas, aplicando el índice de contaminación de materia orgánica (ICOMO) en el río Sococha, ubicado entre Villazón (Bolivia) y La Quiaca (Argentina)

Evaluation of the impact of dumping of domestic wastewater, applying the organic matter pollution index (ICOMO) in the Sococha river, located between Villazón (Bolivia) and La Quiaca (Argentina)

SEJAS – Alina¹*, GONZALES – Carlos²

^{1,2}Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Carrera de Ingeniería Ambiental.

Recibido Diciembre 14, 2023; Aceptado mayo, 2024

Resumen

Los índices de contaminación (ICO) se emplean para evaluar el nivel de contaminación de cuerpos de agua específicos, considerando un conjunto de parámetros seleccionados de manera meticulosa, los cuales están estrechamente vinculados con los procesos de contaminación particulares que afectan a dicha fuente. Un ejemplo de estos índices es el Índice de Contaminación de Materia Orgánica (ICOMO), que toma en cuenta parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO5), el Oxígeno Disuelto (OD) y los Coliformes Totales. En el presente estudio, se aplicó el método ICOMO para determinar el grado de contaminación orgánica del río Sococha. Se realizaron muestreos en cuatro estaciones, previamente seleccionadas tras una visita de campo al área de estudio. A partir de los resultados obtenidos para los parámetros mencionados, se calculó el índice de contaminación correspondiente, obteniendo las siguientes calificaciones: Punto 1 (Buena: 0,35), Punto 2 (Pésima: 0,99), Punto 3 (Pésima: 0,93) y Punto 4 (Media: 0,58). Estos resultados evidencian una notable degradación de la calidad del agua a lo largo del río, reflejando una disminución en la calidad del agua de un punto a otro. La validación del método ICOMO se realizó mediante la comparación de los valores obtenidos con los límites establecidos en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH). En general, los resultados de los análisis de laboratorio superaron los límites permisibles establecidos por la normativa, lo que pone de manifiesto la necesidad urgente de implementar medidas de control y mitigación para mejorar la calidad del agua en la cuenca del río Sococha.

Palabras Clave

Río Sococha, vertimientos, aguas residuales, Reglamento de Materia en Contaminación Hídrica (RMCH)..

Abstract

Pollution indices (PIs) are widely used to assess the contamination levels of specific water bodies by integrating a carefully selected set of parameters closely linked to the particular pollution processes affecting the source. One such index is the Organic Matter Pollution Index (ICOMO), which incorporates parameters such as 5-day Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), Dissolved Oxygen (DO), and Total Coliforms. In this study, the ICOMO method was applied to evaluate the degree of organic pollution in the Sococha River. Sampling was conducted at four stations, selected following a preliminary field survey of the study area. Based on the measured parameters, the pollution index values were calculated, yielding the following ratings: Station 1 (Good: 0.35), Station 2 (Poor: 0.99), Station 3 (Poor: 0.93), and Station 4 (Moderate: 0.58). These results reveal a significant deterioration in water quality along the river's course, indicating a progressive decline from upstream to downstream points. The validity of the ICOMO method was confirmed by comparing the obtained values with the thresholds established in the Water Pollution Regulation (RMCH). Laboratory analyses generally exceeded the permissible limits set by the regulation, underscoring the urgent need to implement control and mitigation measures to improve water quality in the Sococha River basin.

Keywords

Sococha River, discharges, wastewater, Water Contamination Material Regulation (RMCH).

Citación: Sejas A. Evaluación del Impacto por Vertimientos de Aguas Residuales Domésticas, aplicando el Índice de Contaminación de Materia Orgánica (ICOMO) en el Río Sococha, ubicado entre Villazón (Bolivia) y La Quiaca (Argentina) *Revista Ingeniería Sostenible Ambiental* 2024, 1(1), 1-50

ISSN-Impreso: 3080-6704
ISSN-Virtual: 3080-6712

Revista Ingeniería Sostenible Ambiental. Todos los derechos reservados

Corresponde al Autor *Investigador primer autor.
© Revista Ingeniería Sostenible Ambiental

<https://revistas.usfx.bo/index.php/ingsostenibleambiental>

Introducción

La contaminación de los recursos hídricos constituye una de las principales amenazas ambientales y sanitarias a nivel global, ya que la presencia creciente de contaminantes en cuerpos de agua compromete la seguridad y la salud de los seres vivos. Bolivia no es ajena a esta situación, presentando una gestión deficiente de los recursos hídricos que ha derivado en la contaminación significativa de numerosos cuerpos de agua, principalmente debido al vertimiento de aguas residuales provenientes de cooperativas mineras, industrias petroleras, establecimientos industriales y actividades domésticas, muchas veces sin tratamiento previo adecuado (FAO, 2016). Un ejemplo destacado es el Río Sococha, ubicado en el municipio de Villazón, departamento de Potosí, que actúa como límite natural entre Bolivia y Argentina y presenta una longitud aproximada de 70 km (Arancibia et al., 2007).

En este contexto, el monitoreo sistemático de las aguas del Río Sococha resulta fundamental para determinar el grado de contaminación por materia orgánica presente en el sistema. Para ello, se emplea el Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), una herramienta desarrollada en Colombia que destaca por su facilidad metodológica y su eficacia en la cuantificación de la contaminación orgánica. La obtención precisa del grado de afectación permitirá, además, proponer medidas de mitigación y control adecuadas, contribuyendo a la gestión sostenible de los recursos hídricos y a la protección de la salud ambiental en la región de estudio.

Materiales y métodos

Para evaluar la contaminación por materia orgánica de un afluente mediante la aplicación del ICOMO, se requieren de dos parámetros físico-químicos y un microbiológico, que abarcan este tipo de contaminación, los cuales son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), porcentaje de saturación del Oxígeno Disuelto y Coliformes Totales, que en conjunto evidencian la contaminación orgánica (Valverde et al., 2015).

La fórmula general para el cálculo es:

$$ICOMO = \frac{1}{3} [I_{DBO5} + I_{Coli. To} + I_{\%Oxigeno}] \quad (Ec. 1)$$

Las siguientes condiciones se tendrán en cuenta para cada parámetro de ser su caso:

Para el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno:

$$DBO5 > 30 \text{ mg/L tendrá un valor de } I_{DBO5} = 1$$

$$DBO5 < 2 \text{ mg/L tendrá un valor de } I_{DBO5} = 0$$

Para los Coliformes Totales:

$$\text{Coliformes Totales} > 20000 \text{ NMP/100ml tendrá un valor de } I_{\text{Coliformes Totales}} = 1$$

$$\text{Coliformes Totales} < 500 \text{ NMP/100ml tendrá un valor de } I_{\text{Coliformes Totales}} = 0$$

Por último, el % de saturación del Oxígeno Disuelto: % Oxígeno $> 100\%$ tendrán un valor de $I_{\%Oxigeno} = 0$

En el caso que no se cumplan las condiciones expresadas anteriormente, se realizarán los cálculos para cada parámetro individualmente como se presenta a continuación:

$$I_{DBO5} = -0.05 + 0.7 * \log_{10} DBO_5 \left(\frac{mg}{L} \right) \quad (Ec. 2)$$

$$I_{\text{Coliformes Totales}} = -1.44 + 0.56 * \log_{10} \text{Coliformes Totales} \left(\frac{NMP}{100ml} \right) \quad (Ec. 3)$$

$$I_{\%Oxigeno} = 1 - 0.01 * \%Oxigeno \quad (Ec. 4)$$

$$\%Oxigeno = \frac{\text{Oxigeno Disuelto} \left(\frac{mg}{l} \right)}{\text{Saturacion de Oxigeno Disuelto} \left(\frac{mg}{l} \right)} * 100 \quad (Ec. 5)$$

Con el resultado final entre la sumatoria de los tres parámetros, se obtiene un valor entre los rangos de 1 y 0, indicando de forma cualitativa el grado de contaminación donde para cada rango se clasifica por medio de colores, el azul indica calidad Muy buena, verde calidad Buena, amarillo calidad Media, naranja calidad Mala y por último rojo calidad Pésima (Aguilar et al., 2018)

Tabla 1 Escala de valores para el índice ICOMO

Esca la de valores para ICOMO	Grado de contaminación	
RANGO	Concentración	Indicador
0-0,2	Muy baja	Muy buena
>0,2-0,4	Baja	Buena
>0,4-0,6	Media	Media
>0,6-0,8	Alta	Mala
>0,8-1,0	Muy alta	Pésima

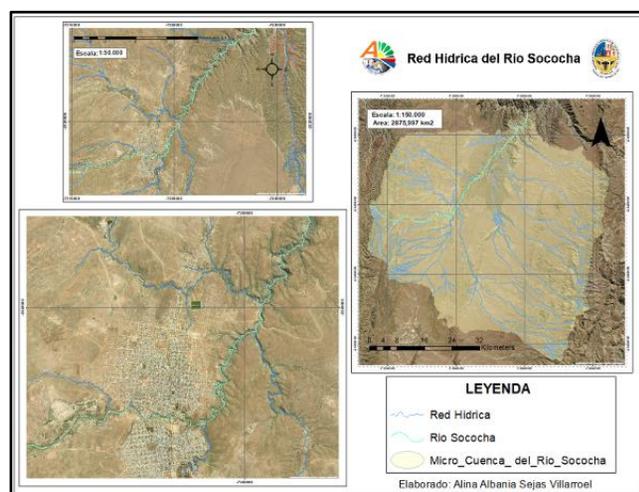
Parámetros

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados se seleccionaron de acuerdo con los requisitos de la metodología de cálculo para el índice ICOMO. Estos parámetros incluyen la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), el Oxígeno Disuelto (OD) y los indicadores microbiológicos como los Coliformes Totales. Además, se consideraron otros parámetros que pueden reflejar las concentraciones de materia orgánica en el recurso hídrico, como el potencial de hidrógeno (pH), la conductividad eléctrica (CE) y la temperatura (T). Se requirió de un laboratorio acreditado que realizó el análisis de las muestras.

Resultados y discusión

Determinación de la Red Hídrica del Río Sococha

Figura 1 Red Hídrica del Río Sococha



La Figura 1 presenta la Red Hídrica de la zona de estudio, abarcando un área de 2875,997 km² desde las elevaciones más altas hasta la confluencia con

el Río Sococha, en el cual, se puede visualizar los ríos tributarios de ambos países

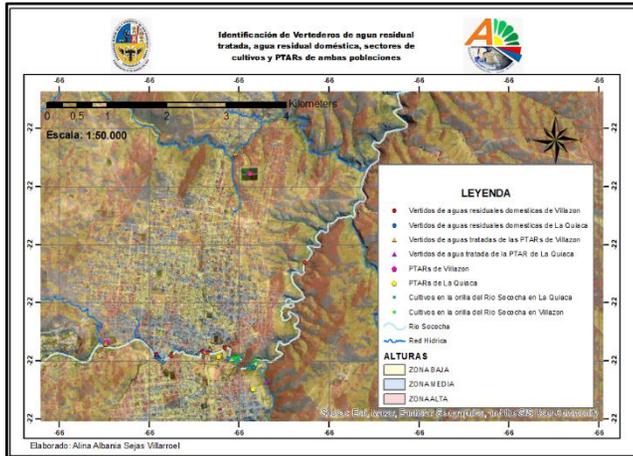
Identificación de puntos de vertido de las aguas residuales domésticas

Con el recorrido del campo de estudio se pudo identificar los puntos de vertido de las aguas residuales domésticas que generan la población de Villazón y La Quiaca. También se identificó los cultivos que están a orillas de río como choclos, cebollas, entre otras verduras y los puntos donde desembocan las aguas tratadas de las PTARs de ambas poblaciones.

Tabla 2 Número de vertederos de agua tratada, residual, de sectores de cultivos y PTARs de ambas poblaciones

Nombre	Numero
Puntos de vertidos de Villazón	7
Puntos de vertido de La Quiaca	8
Sectores de cultivos en Villazón	3
Sectores de cultivos en La Quiaca	2
PTARs de Villazón	2
PTARs de La Quiaca	2
Vertimiento de agua tratada de las PTARs de Villazón	2
Vertimiento de agua tratada de las PTARs de La Quiaca	1

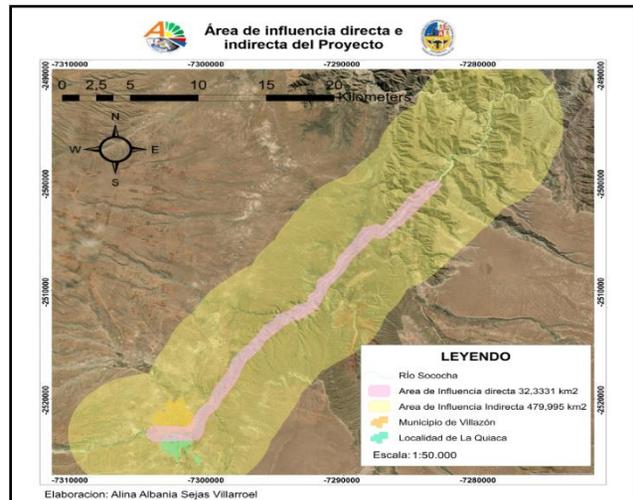
Figura 2 Vista satelital de los vertederos de agua tratada, residual, de sectores de cultivos y PTARs de ambas poblaciones



Determinación de área de influencia

Para determinar el área de influencia del proyecto se tomó en cuenta, las encuestas realizadas a la población del municipio de Villazón, y las entrevistas a los comunarios de las comunidades que dependen del agua de río, para el riego de sus cultivos, como también la visita de campo. El área de influencia directa abarca 32,3331 Km², dado que los efectos del mal olor alcanzan esta distancia y el área de influencia indirecta abarca una distancia de 479,995 Km², porque estos vertimientos están afectado a toda la población y las comunidades circundantes al río, como también al Río San Juan del Oro, donde desemboca.

Figura 3 Mapa del área de Influencia Directa e Indirecta



Determinación de los puntos de muestreo

Se establecieron los puntos de muestreo mediante la obtención de información cartográfica, comentarios de la comunidad y una inspección de campo en marzo de 2023. La selección de los puntos de muestreo se basó en cuatro criterios: (i) accesibilidad, (ii) un punto que caracterice las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del afluente con mínima interferencia humana, (iii) zonas con vertimientos considerables (con un punto central en relación a la cantidad de vertimientos) y (iv) zonas donde el efluente es utilizado por comunarios. Se identificaron cuatro estaciones de muestreo en función de estos criterios.

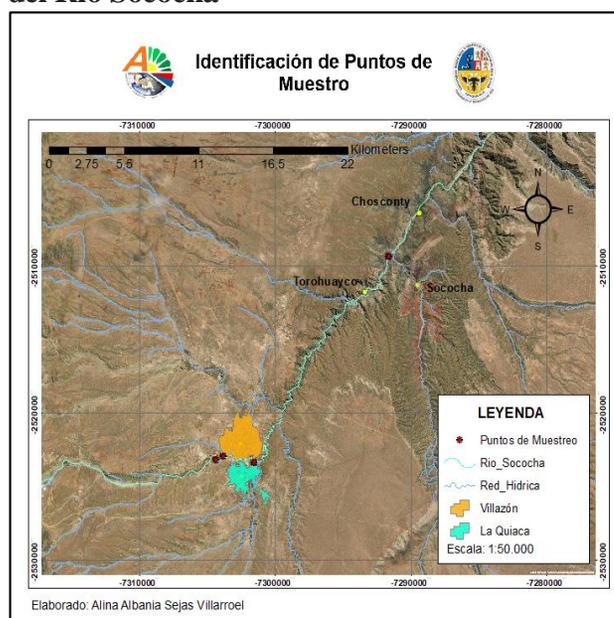
Tabla 3 Coordenadas de Puntos de muestreo

Puntos de Muestreo		Coordenadas	
Punto 1	Sector con mínima interferencia antrópica	Punto de aguas arriba de los vertimientos de aguas residuales domesticas	X: -65.61 Y: -22.09
Punto 2	Salida de la PTAR Ojo de Agua	Punto de vertimiento de agua tratada al Río Sococha	X: -65.61 Y: -22.09
Punto 3	Sector con vertederos considerables	Punto después de 14 vertimientos	X: -65.59 Y: -22.09
Punto 4	Sector donde el río es utilizado por los comunarios	Punto en la comunidad de Sococha antes que el agua llegue a la comunidad de Chosconty	X: -65.49 Y: -21.97

Es relevante señalar que no se incluyeron como estaciones de muestreo ni el afluente proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de las Lagunas de Oxidación ni el punto de confluencia entre el río tributario Matancillas y el Río Sococha. Esta decisión se fundamentó en las observaciones realizadas durante la visita de campo, donde se constató que ambos puntos presentaban un caudal reducido y carecían de indicios evidentes de contaminación significativa.

Adicionalmente, el recorrido efectuado a lo largo del río tributario reveló la ausencia de olores desagradables, y el agua mostró un aspecto claro, sin presencia de espuma ni otros signos visibles de deterioro ambiental.

Figura 4 Mapa de puntos de muestreo de agua del Río Sococha



Resultados de los análisis de agua

Los resultados del análisis del agua del río y de la salida de la PTAR, que desemboca directamente al recurso hídrico, se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 Resultados de los análisis de Agua

Fecha	Hora	Punto	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Conductividad (µS/cm)	DBO5 (mg/l)	Oxígeno Disuelto	pH	Temperatura del agua (°C)	Caudal (l/s)
16/04/	12:4 3pm	1	460	452	6	4,15	7,8	20,89	132
16/04/	13:2 6pm	2	≥2400	2264	259	0,93	7,5	20,81	310
17/04/	14:2 5pm	3	≥2400	1152,0	21	1,87	6,0	20,96	412
16/04/	17:3 7pm	4	1100	806,0	20	3,12	8,2	20,82	63

Cálculo del índice de contaminación por materia orgánica ICOMO

Los resultados fueron calculados según la formulación realizada por Ramírez y Restrepo (1997), para ilustrar el procedimiento se tomaron los valores de la Tabla 4, a continuación, se presentan los resultados de los Índices de DBO₅, índice de coliformes totales, índice del oxígeno disuelto y el ICOMO de los 4 puntos de muestreo.

Tabla 5 Resultados del cálculo del ICOMO

Punto	Fecha	% Oxígeno Disuelto	Índice Coliformes	Índice DBO ₅	Índice Oxígeno Disuelto	ICOMO	Indicador
1	16/04/2023	48,77	0,05	0,49	0,51	0,35	Buena
2	16/04/2023	10,93	0,45	1,64	0,89	0,99	Pésima
3	17/04/2023	21,97	0,45	1,56	0,78	0,93	Pésima
4	16/04/2023	36,66	0,26	0,86	0,63	0,58	Media

El cálculo del índice de contaminación por materia orgánica ICOMO, en el sector del estudio, obteniendo el valor más bajo en el punto 1 de 0,35, ubicación que es tomada como blanco del análisis de los datos, dado que no existen vertimientos domésticos, respaldado por el plano del sistema de alcantarillado y las visitas a la zona de estudio. El punto 2 el ICOMO tiene el valor de 0,99, siendo el valor más alto obtenido del efluente de la PTAR de Ojo de Agua, el cual, está conformado por un Tanque Imhoff y un Filtro Biológico. En el punto 3 el valor fue de 0,93, el cual, disminuye sin embargo sigue siendo alto, estación ubicada de 592,8 metros del puente internacional. En el punto 4 se calculó un valor de 0,58, estación ubicada a una distancia de 1,52 km de la población de Chosconty donde utilizan el agua del Río Sococha para el riego de cultivos.

El indicador se encuentra entre pésima y media, entre los puntos de muestreo del recurso hídrico, que están siendo afectados por vertimientos de aguas residuales domésticas, evidenciado la contaminación por materia orgánica y degradación de la calidad del agua, que existe en el río Sococha.

Gráfico 1 ICOMO en diferentes puntos



Conclusiones

El diagnóstico reveló la existencia de 16 puntos de vertimiento de aguas residuales domésticas: 8 provenientes del municipio de Villazón y 8 de la localidad de La Quiaca. De estos, uno corresponde a la salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Ojo de Agua, mientras que los 15 restantes son derivados de las redes de alcantarillado y desagües directos al río. A partir de esta identificación y cuantificación de los puntos de vertido, se establecieron cuatro puntos de muestreo: Punto 1 (sector con mínima interferencia antrópica), Punto 2 (salida de la PTAR de Ojo de Agua), Punto 3 (sector con vertimientos considerables) y Punto 4 (sector utilizado por los comunarios). Además, se aplicó una encuesta a la población de Villazón, lo que permitió conocer las percepciones y los impactos de esta problemática sobre la comunidad. Esta encuesta fue esencial para delimitar tanto el área de influencia directa como indirecta de los vertimientos.

Mediante la aplicación del método ICOMO, se cuantificó el grado de contaminación por materia orgánica en el río Sococha, obteniendo una calificación de 0,35 en el área de estudio, lo que sitúa al río dentro de la categoría de calidad "Buena", según el parámetro de contaminación (rango >0,2-0,4).

En el Punto 2, se registró un valor de 0,99 y en el Punto 3, un valor de 0,93, ambos en la categoría de calidad "Pésima" (rango >0,8-1,0), indicando una alta contaminación por materia orgánica. Por otro lado, en el Punto 4, el valor de 0,58 clasifica la calidad del agua como "Media" (rango >0,4-0,6), lo que refleja la presencia significativa de contaminación y la consiguiente degradación de la calidad del agua en esta área.

El proceso de validación del método ICOMO se llevó a cabo mediante una comparación exhaustiva con parámetros adicionales como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), el Oxígeno Disuelto (OD), los Coliformes Totales, el pH, la Conductividad Eléctrica (CE) y la Temperatura (T), con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH). Los resultados obtenidos en el Punto 1 indican que el recurso hídrico se clasifica en la Clase C, de acuerdo con las categorías establecidas. En el Punto 2, se superan los límites permisibles para descargas líquidas A-2, mientras que en el Punto 3 los niveles exceden los límites de la Clase B. Finalmente, en el Punto 4, que es utilizado para riego agrícola, la mayoría de los parámetros analizados están fuera de los límites admisibles de las clases A y B, lo que indica que el agua no es apta para riego.

En conclusión, los resultados obtenidos evidencian la grave contaminación del Río Sococha debido a los vertimientos de aguas residuales domésticas, afectando directamente la calidad del agua y su utilidad tanto para consumo como para riego agrícola en la región.

Referencias

- Aguilar, S., & Solano, G. A. (2018). Evaluación del impacto por vertimientos de aguas residuales domésticas, mediante la aplicación del índice de contaminación (Icom) En Caño Grande, Localizado En Villavicencio-Meta. [Trabajo de Grado, Universidad Santo Tomás. Villavicencio Colombia].
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/14218/2018aguilarsantiago.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arancibia, L. R., Ramirez, M. I. G., Quispe, L. R., Quintanilla, M. I. E., Subieta, L. S., & Molina, E. J. (2007). PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL (PDM 2007 - 2011) MUNICIPIO DE VILLAZÓN. In [Archivo PDF].
http://vpc.planificacion.gob.bo/uploads/PDM_S/05_POTOSI/051501_Villazon.pdf
- Coello, J., & Ormaza, R. (2013). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque nacional Sangay Ecuador. [Revista Universidad Nacional Mayor de San Marcos], 16(31).
- FAO. (2016). informe de la contaminación del agua en Latinoamérica. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura.
<https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/a0844t/docrep/008/T0311S/T0311S01.htm>
- Fuentes Rivas, R. M., Ramos Leal, J. A., Jimenez Moleon, M. del C., & Esparza Soto, M. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 31(0188-4999).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992015000300005

- Gonzalez, J. H. (2017). Evaluación de los indicadores de calidad ICA e ICO del Rio Botello ubicado en el municipio de Facatativá. [Proyecto de Investigación, Universidad Nacional Abierta y a Distancia–UNAD Colombia]. <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/13563/3/1023892238.pdf>
- Luis, J. (2014). El Método de la Investigación Research Method. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 9(3), 195–204. [http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9\(3\)195-204.pdf](http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9(3)195-204.pdf)
- Quino, I., & Quintanilla, J. (2013). Índice De Calidad Del Agua En La Cuenca Del Lago PoopóUru Uru Aplicando Herramientas Sig. *Revista Bolivian Journal of Chemistry*, 30(1), 91– 101.
- Ramirez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. formulaciones y aplicación. *Revista CT y F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3), 135–153. <http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v1n3/v1n3a09.pdf>
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>