

# Empleo del Modelo Streeter-Phelps para estimar el oxígeno disuelto del Río Utcubamba

## Use of Streeter-Phelps Model to estimate the dissolved oxygen of the Utcubamba River

Lenin Quiñones Huatangari<sup>1</sup>, Manuel Emilio Milla Pino<sup>2</sup>, Oscar Andrés Gamarra Torres<sup>3</sup>, Rolando Salas López<sup>4</sup>, y José Federico Bazán Correa<sup>5</sup>

### RESUMEN

El río Utcubamba nace en el distrito de Leymebamba a los 3 100 m.s.n.m, en la provincia de Chachapoyas de la Región Amazonas-Perú, desemboca en el río Marañón, provincia de Bagua y cuenta con una longitud aproximada de 253 km de cauce principal. Las poblaciones de Leymebamba, Chachapoyas, Pedro Ruíz Gallo, Bagua Grande, Cajaruro, El Milagro y Bagua, con una población total que supera los 150 000 habitantes, son los principales asentamientos urbanos a orillas del río, o con influencia directa sobre el mismo. El objetivo del presente trabajo de investigación, fue emplear el modelo Streeter-Phelps para estimar el oxígeno disuelto del Río Utcubamba. La metodología empleada fue de orden analítico y consistió en primera instancia en seleccionar los puntos de muestreo que fueron tomados sobre el cauce principal, de los datos reportados y documentados por el Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, INDES-CES; posteriormente de acuerdo a las características hidráulicas se determinaron los puntos donde se empleó el modelo, a partir de esta información se seleccionaron las variables, aplicando las ecuaciones respectivas. El modelo describe el comportamiento del OD para los primeros 95,2 km, caracteriza adecuadamente los procesos de autodepuración y el balance de oxígeno en las aguas del río. Además, se prueba que los residuos tienen distribución normal mediante Shapiro Wilk cuyo valor es 0,9687; de esta manera se concluye que el modelo puede ser empleado para realizar inferencias.

**Palabras clave:** Autodepuración, Calidad de Agua, Oxígeno Disuelto, Río Utcubamba, Streeter Phelps.

### ABSTRACT

The Utcubamba river is born in the Leymebamba district at 3 100 m.a.s.l., in the province of Chachapoyas of the Amazon-Peru Region, it flows into the Marañón river, province of Bagua and has an approximate length of 253 km of main channel. The populations of Leymebamba, Chachapoyas, Pedro Ruíz Gallo, Bagua Grande, Cajaruro, El Milagro and Bagua, with a total population exceeding 150,000 inhabitants, are the main urban settlements on the banks of the river, or with direct influence on it. The objective of this research work was to use the Streeter-Phelps model to estimate the dissolved oxygen of the Utcubamba River. The methodology used was analytical and consisted in the first instance in selecting the sampling points that were taken on the main channel, from the data reported and documented by the Research Institute for Sustainable Development of Ceja de Selva, INDES-CES; subsequently, according to the hydraulic characteristics, the points where the model was used were determined, from this information the variables were selected, applying the respective equations. The model describes the behavior of the OD for the first 95.2 km, adequately characterizes the processes of self-purification and oxygen balance in river waters. In addition, it is proved that the waste has normal distribution through Shapiro Wilk whose value is 0.9687; This concludes that the model can be used to make inferences.

**Keywords:** Self-purification, Water Quality, Dissolved Oxygen, Utcubamba River, Streeter Phelps.

**Fecha de recepción:** Marzo 10, 2020

**Fecha de aceptación:** Julio 18, 2020

### Introducción

La determinación del estado ambiental de los ríos y quebradas es una tarea ardua, sin embargo para protegerlos o restaurarlos es fundamental conocer su estado actual, particularmente cuando la condición de referencia de las corrientes se desconoce y éstas han estado sujetas por largo tiempo a perturbaciones antropogénicas (Arango et al. 2008). En la Región de Amazonas, Perú, se encuentran nueve cuencas hidrográficas, siendo la del Utcubamba la cuarta más grande en extensión con 663 316.96 km<sup>2</sup> (MINAM, 2009; APECO, 2009). El río Utcubamba nace en el distrito de Leymebamba (6°42'15"LS/ 77°48'45"LO), dirigiéndose en sentido S-N (Sur-Norte) hasta llegar al cañón del Utcubamba para luego tomar la dirección SE-NO (Sudeste-Nordeste) y ampliarse en la parte baja del valle (460-800 m de altitud) hasta su

<sup>1</sup> Magister. Universidad Nacional de Jaén, Perú. E-mail: lenin.quinones@unj.edu.pe

<sup>2</sup> Dr. Especialista en estadística. Universidad Nacional de Jaén, Perú. E-mail: manuel\_milla@unj.edu.pe

<sup>3</sup> Dr. Biólogo. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú. E-mail: oscar.gamara@untram.edu.pe

<sup>4</sup> Ing. Especialista en geomática. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú. E-mail: rsalas@indes-ces.edu.pe

<sup>5</sup> Dr. Especialista en medio ambiente y desarrollo sostenible. Universidad Nacional de Piura, Perú. E-mail: jbazanc@yahoo.com

**Como citar:** Quiñones Huatangari, L., Milla Pino, M. E., Gamarra Torres, O. A., Salas López, R., & Bazán Correa, J. F. (2020). Empleo del Modelo Streeter-Phelps para estimar el oxígeno disuelto del Río Utcubamba. *Ecuadorian Science Journal*, 4(2), 12-16.  
DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.4.2.59>

desembocadura en el río Marañón. La parte baja del valle del Utcubamba es la zona más productiva y donde se concentran la mayoría de centros poblados del departamento (Garayar et al., 2005).

Se han realizado investigaciones, donde se ha abordado el tema de la calidad del agua del río Utcubamba, tales como: (a) en base a parámetros biológicos como es el uso de Diatomeas (*Bacillariophyceae*). Para ello, se realizaron dos muestreos, en época seca (octubre 2014) y húmeda (marzo 2015), en 43 estaciones de muestreo ubicadas a lo largo de la cuenca del río, situadas entre 386 (9386480N y 770597E) y 2834 (9244491N y 191314E) m.s.n.m. El Índice de diversidad de Shannon & Wiener (H') indican que en la cuenca del río Utcubamba el agua presenta una Contaminación Moderada para el tramo alto de la misma, y una Contaminación Leve en los tramos medio y bajo, durante la época seca. Para la época húmeda se registraron los mismos datos interpretativos (Valqui y Tafur 2017); (b) la calidad ecológica del agua, mediante parámetros fisicoquímicos in situ, determinándose también la microflora ribereña. Se establecieron siete estaciones de muestreo en la Cuenca del Utcubamba y se realizaron tres muestreos, en mayo, agosto y noviembre durante el 2009; abarcando las provincias de Chachapoyas, Luya, Bongará Utcubamba y Bagua. La calidad ecológica del agua del río Utcubamba se realizó en relación a la valoración de los parámetros fisicoquímicos y biológicos considerados y siguiendo criterios para valoración de importancia ecológica. Se encontró que la calidad ecológica del agua del río Utcubamba fue de (-178) debido al desarrollo de actividades antropogénicas (Huamán, Delgado, y Medrano 2014); (c) además se ha evaluado la calidad hidrogeomorfológica del río Utcubamba, ubicado en la cuenca del Amazonas, mediante la aplicación del Índice Hidrogeomorfológico (IHG) dividiéndolo en ocho sectores fluviales. Los resultados mostraron que el río Utcubamba está afectado por notables impactos antropogénicos que alteran las condiciones hidrogeomorfológicas, con un creciente deterioro de las mismas desde su nacimiento a su desembocadura. La calidad de las riberas es la más afectada en toda la cuenca, principalmente en el curso bajo debido a las explotaciones agropecuarias de carácter extensivo dominantes en este tramo. Por otra parte, el IHG presentó una adaptabilidad total a las condiciones del área de estudio, en un ámbito geográfico diferente y alejado de la Península Ibérica (Barboza et al. 2017b); y (d) el INDES-CES de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ejecutó el proyecto “Desarrollo de Índices Biológicos para la Evaluación Espacio - Temporal de la Calidad Ecológica del Agua en la Cuenca del Río Utcubamba, Región Amazonas, Perú”. De este trabajo de investigación se han publicado dos libros y múltiples artículos científicos. Donde se reportan los datos que se han obtenido de las 43 estaciones de muestreo establecidas a lo largo de la cuenca principal y en los tributarios más importantes e influyentes del río Utcubamba (Gamarra Torres, Barrena Gurbillón, et al. 2018). La recolección de muestras de agua se realizó entre los años 2014 y 2015, a lo largo de dos campañas de muestreo que se hicieron coincidir con la estación de lluvias (a lo largo del mes de octubre de 2014), y la estación seca (mes de agosto de 2015). Los parámetros fisicoquímicos fueron 15. Cinco parámetros fueron analizados in situ en el campo, con los equipos correspondientes (oxígeno disuelto, pH, temperatura, turbiedad y conductividad eléctrica), y fueron examinados a una profundidad de 0.2 metros aproximadamente. Para el resto de parámetros, fueron colectadas muestras de agua en recipientes plásticos de tres litros de volumen, enjuagados tres veces en un lugar próximo al punto de muestreo antes de recoger la muestra definitiva. Estas

muestras fueron transportadas en cajas isotérmicas con hielo hasta el Laboratorio de Investigación en Suelos y Aguas (LABISAG) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza para su posterior análisis (Gamarra Torres, Gurbillón, et al. 2018).

Las poblaciones de la Región Amazonas-Perú de Leymebamba, Chachapoyas, Pedro Ruíz Gallo, Bagua Grande, Cajaruro, El Milagro y Bagua, con una población total que supera los 150 000 habitantes, son los principales asentamientos urbanos a orillas del río, o con influencia directa sobre el mismo. Estos habitantes son afectados por la contaminación de sus aguas, los cuales utilizan el agua del mencionado río para diversos fines, el riego de cultivos, la crianza de ganado, el lavado de ropa y recreativo. Situación que pone en peligro su salud y la de la comunidad. En este contexto es necesario complementar la información de los estudios realizados anteriormente que nos permita estimar el actual grado de contaminación del agua de la cuenca y así dar una propuesta de solución para el bienestar de la población y del ecosistema acuático.

Los modelos matemáticos son herramientas muy utilizadas, que nos permiten entender y describir el comportamiento de las variaciones de ciertos parámetros que influyen la calidad de los cuerpos de agua, asociada a las descargas de los contaminantes, a cambios en el uso de la tierra, etc. Esta herramienta juega un rol importante ya que permite a las autoridades ambientales a entender relaciones causa-efecto asociadas a las descargas de los contaminantes a las corrientes del río. También pueden ser utilizados para evaluar beneficios de la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales, estudios de impacto ambiental y planes de saneamiento. El objetivo del presente trabajo de investigación, fue emplear el modelo Streeter-Phelps para estimar el oxígeno disuelto del Río Utcubamba.

## Materiales y Métodos

La metodología empleada, es de orden analítico. Se realizó en seis etapas: 1) haciendo uso de los datos reportados y documentados por el INDES-CES, se seleccionaron los puntos de muestreo los cuales fueron tomadas del cauce del río para la estación de lluvias (octubre 2014); 2) se calculó la distancia entre ellos usando las herramientas de ArcGIS 10.3; 3) selección de los puntos de muestreo donde se podría implementar el modelo matemático; 4) selección de variables necesarias para estimar el OD mediante el modelo Streeter-Phelps; 5) se implementó una rutina en lenguaje m del software MatLab 2017a, para simular los resultados entre el modelo y los datos medidos de OD; y 6) finalmente a los residuos, entre los datos reales y el calculado, se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, mediante el programa Statistix 8.0.

### Modelo Streeter-Phelps

Es el primer modelo matemático aplicado a un curso de agua, donde se abordó la polución y purificación natural del río Ohio (Phelps y Streeter 1925), que presenta la primera modelación de OD y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) para un río. Relaciona los dos principales mecanismos que definen el OD en un cauce de agua superficial que recibe la descarga de aguas residuales, estas son la descomposición de materia orgánica, y aireación de oxígeno. La Concentración de oxígeno disuelto, este se estima a partir de la diferencia entre la concentración de

saturación de oxígeno disuelto y el déficit de oxígeno disuelto, ver ecuación (1).

$$OD = O_s - D \tag{1}$$

donde  $OD$  es el Oxígeno disuelto en el río a  $x$  (m) aguas debajo de la descarga,  $O_s$  es la Saturación del oxígeno disuelto y  $D$  es el Déficit del oxígeno disuelto

La ecuación (2) estima el déficit de oxígeno disuelto ( $D$ ) a una distancia aguas abajo, conociendo el déficit inicial ( $D_0$ ), la velocidad promedio ( $V$ ), la DBO medido o modelado en el cauce del río ( $L_0$ ) y las constantes de desoxigenación ( $K_d$ ) y de aireación ( $K_a$ ).

$$D = \frac{K_d L_0 \left( e^{-\frac{K_d x}{V}} - e^{-\frac{K_a x}{V}} \right)}{(K_a - K_d)} + D_0 e^{-\frac{K_a x}{V}} \tag{2}$$

La concentración de saturación de oxígeno  $O_s$ , se obtiene tomando en cuenta la temperatura  $T$  y reemplazando esta última variable en la ecuación (3).

$$O_s = 14,652 - 0,41022T + 0,0079910T^2 - 0,000077774 \tag{3}$$

## Resultados

### Selección y distancia de los puntos de muestreo

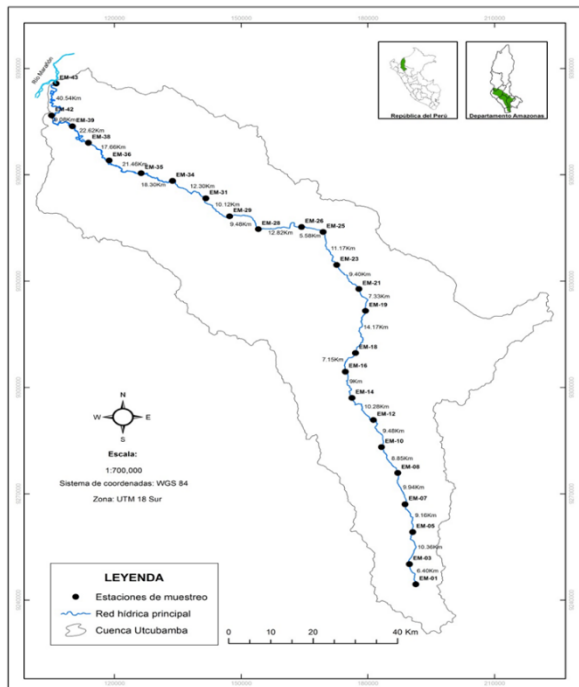


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo y su distancia.

De los cuarenta y tres puntos de muestreo realizados por el INDES-CES, solo se consideró veinticinco puntos de muestreo

los cuales se encuentran en el cauce del río Utcubamba. En la Figura 1, se puede observar dichos puntos sobre la cuenca hidrográfica y las distancias entre dichos puntos de muestreo. Debido a las características similares o constantes del cuerpo de agua, como la velocidad, profundidad del río en estos tramos del río, se ha considerado en el presente estudio once estaciones de muestreo.

### Valores de parámetros calculados o referenciados

En la Tabla 1, se detallan los puntos de muestreo, su distancia respectiva y el OD encontrado en campo.

**Tabla 1.** Estimación de OD en el río Utcubamba.

Punto Muestreo	Distancia (km)	OD
EM-1	0	8.62
EM-3	6.4	8.03
EM-5	16.8	8.08
EM-7	26.8	8.32
EM-8	35.9	8.22
EM-10	49.8	8.45
EM-12	54.3	8.47
EM-14	64.6	8.47
EM-16	73.8	8.39
EM-18	81.0	8.45
EM-19	95.2	8.66

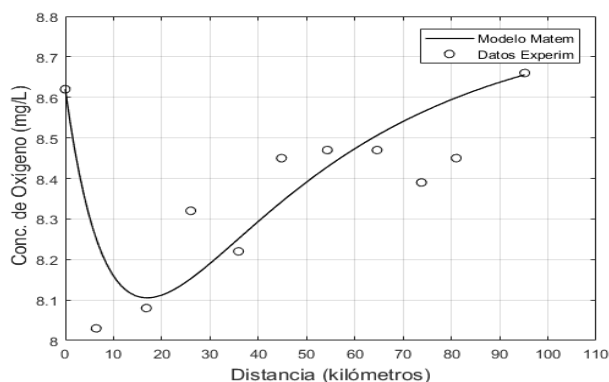
Para la evaluación del modelo, fueron seleccionados los siguientes parámetros, ver Tabla 2.

**Tabla 2.** Selección de parámetros necesarios para el modelo.

Parámetros	Lluvias
Déficit de oxígeno disuelto ( $D$ )	Ec. (1)
Coefficiente Desoxigenación ( $K_d$ )	0.469
Coefficiente de aireación ( $K_a$ )	2.03
DBO medido en el río ( $L_0$ )	4.47
Déficit inicial de OD ( $D_0$ )	0.18
Velocidad promedio ( $V$ )	6.75
Distancia ( $x$ )	[0, 120]
Saturación del OD ( $O_s$ )	8.8

### Estimación del Oxígeno Disuelto.

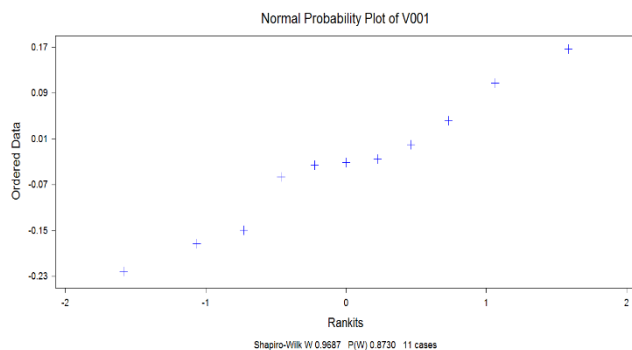
El resultado de la implementación de la rutina en MatLab del modelo, para los primeros once puntos de muestreo sobre el cauce principal del río Utcubamba, se puede observar en la Figura 2, donde se presentan los datos obtenidos en campo, además mediante una curva el valor predicho por el modelo Streeter-Phelps y la concentración de oxígeno de saturación.



**Figura 2.** Modelamiento del OD mediante Streeter-Phelps.

### Análisis de los residuos

Con los residuos obtenidos, entre el valor real y el pronosticado por el modelo se procedió a hacer un análisis de normalidad de Shapiro Wilk de 0.9687 para once puntos de muestreo, ver Figura 3.



**Figura 3.** Prueba de normalidad de Shapiro Wilk, para los residuos.

### Discusión

Para este trabajo se tuvo como antecedente el análisis y desarrollo del modelo Streeter Phelps para descargas puntuales, el cual correspondió un hito histórico la presentación de "El estudio de la polución y purificación natural del río Ohio" (Streeter & Phelps, 1925). Una vez asimilado el modelo, se dio paso al estudio de las características hidrológicas, morfológicas, físicas, químicas y biológicas del río Utcubamba, así como las principales fuentes de contaminación existentes que están afectando este tipo de agua superficial. El modelo permite determinar la evolución que sufre la concentración de oxígeno disuelto y la resiliencia de un cuerpo de agua, al ser este vertido en un punto de un río por un afluente (Rodríguez Badillo y Oliva Atiaga 2015), tal como se puede corroborar en el presente trabajo, donde podremos deducir con ayuda del modelo, que se recupera después de cien kilómetros aproximadamente después de la descarga puntual de las aguas residuales de la provincia de Leymebamba, además de la materia orgánica que contamina al río, causado por la ganadería que se desarrolla en la cabecera del cuerpo de agua y sus afluentes del mismo, los cuales son descritas en el trabajo de (Barboza et al. 2017a).

Dada una muestra aleatoria simple de tamaño once, consistente en los residuos entre los datos de campo y los calculados por el modelo, se quiere saber si procede de una población con distribución normal. Este problema es muy frecuente, ya que no son pocas las pruebas de inferencia estadística que exigen como condición imprescindible para su aplicabilidad que la población de procedencia de la muestra sea normal (Anón, 2002). La prueba de normalidad que se desarrolló en esta investigación es la de Shapiro-Wilks obteniendo un valor de 0.9687 y por ende se comprueba que los datos tienen tendencia normal. De esta manera se concluye que el modelo puede ser empleado para realizar inferencias.

### Conclusiones

Quedó en evidencia que de los 43 puntos de muestreo tomadas en la cuenca del Utcubamba por el INDES-CES, los mismos que han sido tomados sobre el cauce principal y sus afluentes. Para el presente trabajo, se han tomado en cuenta las veinticinco estaciones del cauce principal y dentro de los cuales, solo once cumplen con las condiciones necesarias como velocidad constante, altura promedio, para poder emplear el modelo Streeter Phelps.

Las predicciones del comportamiento del OD realizado para un tramo, que comprende desde el 0 km hasta 95.2 km del río, son fiables debido a que sus residuos poseen tendencia normal, debido a la prueba de Shapiro-Wilks. Por otro lado, lo que se ha realizado, constituye un ejercicio concreto en el camino de utilizar la modelación matemática en la proyección de futuros modelos para predecir el parámetro de OD para todo el cauce.

### Agradecimientos

Al INDES-CES por brindarnos la información encontrada en campo, además por la orientación de sus profesionales que han ejecutado el proyecto sobre calidad de agua del río Utcubamba.

### Referencias Bibliográficas

- Anón. (2002). «BioMates: Contraste de normalidad Shapiro-Wilks». Recuperado 15 de agosto de 2018 ([https://www.sgapeio.es/INFORMEST/VICongreso/taller/applets/biomates/explora/explora\\_shapiro/explora\\_shapiro.htm](https://www.sgapeio.es/INFORMEST/VICongreso/taller/applets/biomates/explora/explora_shapiro/explora_shapiro.htm)).
- Apeco. (2009). Plan estratégico regional del recurso hídrico de Amazonas. Baras, P. (Ed.), Amazonas, 72 p.
- Arango, María Cecilia, Luisa Fernanda Álvarez, Gloria Alexandra Arango, Orlando Elí Torres, y Asmed de Jesús Monsalve. 2008. «Calidad del agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia». *Revista EIA* (9):121-141.
- Barboza, Elgar, Fernando Corroto, Rolando Salas, Oscar Gamarra, Daniel Ballarín, y Alfredo Ollero. 2017a. «Hidrogeomorfología en áreas tropicales: aplicación del índice hidrogeomorfológico (IHG) en el río Utcubamba (Perú)». *Ecología Aplicada* 16(1):39-47.
- Barboza, Elgar, Fernando Corroto, Rolando Salas, Oscar Gamarra, Daniel Ballarín, y Alfredo Ollero. 2017b. «Hydrogeomorphology on tropical areas: Application of

- the Hidrogeomorphologic Index (IHG) in the Utcubamba river (Peru)». *Ecología Aplicada* 16(1):39-47.
- Gamarra Torres, Oscar Andrés, Miguel Angel Barrena Gurbillón, Elgar Barboza Castillo, Jesús Rascón Barrios, Fernando Corroto, y Luis Alberto Taramona Ruiz. 2018. «Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú». *Arnaldoa* 25(1):179-94.
- Gamarra Torres, Oscar Andrés, Barrena Gurbillón, Miguel Angel, Elgar Barboza Castillo, Jesús Rascón Barrios, Fernando Corroto, y Luis Alberto Taramona Ruiz. 2018. «Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú». *Arnaldoa* 25(1):179-194.
- Garayar, C., Vallenas, H & Coronado, G. (2005). Gran Atlas del Perú. Lima: Ediciones Peisa. 352 p.
- Huamán, Flor Teresa García, Jorge Torres Delgado, y Segundo Edilberto Vergara Medrano. 2014. «Calidad ecológica del agua del río Utcubamba en relación a parámetros fisicoquímicos y biológicos. Amazonas, Perú.» *SCIENDO* 14(1).
- Ministerio del Ambiente. MINAM. (2009). Sistema de información ambiental regional.
- Phelps, E. B., y H. W. Streeter. 1925. «A study of the pollution and natural purification of the Ohio River». *Health Bulletin* (146).
- Rodríguez Badillo, Leo, y Franco Oliva Atiaga. 2015. «Análisis de contaminación y modelamiento de OD y materia orgánica, Río Puyo».
- Valqui, Betty Karina Guzman, y Damaris Leiva Tafur. 2017. «Diatomeas como bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas-Perú». *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería* 2(1):16-21.