

MODELIZACIÓN DE LA PRESIÓN EJERCIDA POR EFLUENTE DE LA RALLANDERÍA DE YUCA (*MANIHOT ESCULENTA*) SOBRE EL RÍO TARUGO

Autor: Andrade Candell Joffre

Co Autor: Fabián Peñarrieta Macías

Co Autor: Burgos García Shirley

Co Autor: Mera Vélez Yenlene

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

RESUMEN: La presente investigación ayudó a predecir el comportamiento del efluente de la rallandería de yuca sobre el río Tarugo. Mediante una entrevista se determinó que el proceso para la obtención del almidón de yuca es semi-industrial y se generan en promedio de 30 a 40 m³, dependiendo las toneladas de yuca que se procesen, también se determinó que se desconoce sobre la presión que generan las aguas residuales al río. Se realizaron varios monitoreos de parámetros físicos, químicos e hidrológicos como temperatura, oxígeno disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días (DBO₅), caudal, velocidad y profundidad del agua. Los vertidos que descarga la rallandería alcanzaron en promedio los siguientes valores: caudal 0,00266 m³/s, temperatura de 27,20 °C, OD 1,14 mg/l y el DBO₅ 914,91 mg/l. El río Tarugo presentó en promedio los siguientes valores: caudal 0,23 m³/s, la velocidad 0,28 m/s, profundidad 0,16 m, temperatura 25,01 °C, OD 6,19 mg/l y la concentración de DBO₅ fue de 11,11 mg/l, datos que aportaron al modelo matemático Streeter and Phelps, donde el punto crítico fue de 3,69 mg/l a los 1,51 km – 1,68 km de distancia y el punto de mezcla se encontró en 2,5 km – 2,51 km de distancia aguas abajo de la descarga. Finalmente, el río empieza el proceso de recuperación a los 6 km de distancia volviendo a sus condiciones óptimas, por lo cual se acepta la hipótesis planteada puesto que la resiliencia del río fue antes de los 10 km luego de la descarga.

PALABRAS CLAVE: Presión, Streeter and Phelps, Tarugo, rallandería.

INTRODUCCIÓN: La Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2014) menciona que el deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico. El Centro de Comunicación de las Ciencias de la Universidad de Chile (CCCs, 2021) indica que alrededor del 90% del suministro de agua en las ciudades a nivel mundial está contaminado, de los cuales el 33% son aguas residuales industriales que se vierten directamente en los ríos sin tratamiento previo. Este residuo líquido contiene un 80% de contaminantes de materia orgánica (Demanda Química de Oxígeno-DQO y Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO₅) que provoca presión sobre el ambiente si es descargado directamente (Galeano y Rojas, 2016).

Según Blanco (2016) se producen presiones directas e indirectas sobre el medio ambiente a consecuencia de las actividades humanas y el funcionamiento propio de los sistemas naturales, estos cambios afectan al flujo de servicios de los ecosistemas, de cuya integridad depende el bienestar humano.

En Ecuador la yuca es considerada parte de la seguridad alimentaria de la población, especialmente de las regiones costa y sierra, con amplio potencial de desarrollo industrial. Las zonas que más la cultivan se encuentran en la provincia de Manabí, destacando la parroquia de Canuto del cantón Chone por el valor agregado que se le otorga a su raíz a través de productos y subproductos con diferentes usos (Zambrano, 2016).

En la provincia de Manabí la extracción del almidón se realiza en industrias artesanales, semi-mecanizada y mecanizada con mano de obra intensiva, donde la naturaleza artesanal de esta actividad y la falta de regulación generan serios problemas ambientales, como el inadecuado manejo de las descargas de aguas residuales procedentes de los procesos de extracción del almidón (Saltos y Zambrano, 2021).

En la comunidad de Tarugo existen 22 rallanderías de yuca que tienen como principal problema ambiental el inadecuado manejo de las descargas de aguas residuales generadas por el proceso de extracción de almidón. Esta actividad causa degradación sobre el cuerpo receptor de agua de la zona, debido a la alta carga contaminante que poseen las aguas residuales generadas durante el proceso productivo (Vélez, 2010). En la investigación realizada por Saltos y Zambrano (2021) los efluentes de las rallanderías estudiadas presentan una DBO₅ de 400 mg/l sobrepasando los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA (Tabla 12) que se encuentra en un rango de 100 mg/l.

Los modelos matemáticos de calidad del agua, una vez contruidos, calibrados y validados, permiten una mejor comprensión de los mecanismos que producen las variaciones espaciales y temporales, así como seleccionar las variables relevantes y los procesos de mayor importancia en el sistema (Rangel, 2012). Es fundamental realizar ecuaciones matemáticas implementando estos modelos, con la finalidad de descubrir los tipos de sustancias que son vertidas directamente a los cuerpos receptores (García, 2019).

El modelo de Streeter y Phelps consiste en relacionar los dos principales mecanismos que definen el oxígeno disuelto en un cauce de agua superficial que recibe la descarga de aguas residuales, estas son la descomposición de materia orgánica, y aireación de oxígeno, este modelo ha sido adaptado tanto para fuentes puntuales como para fuentes difusas o dispersas (Cajas, 2015).

El objetivo general de la investigación fue predecir el comportamiento del efluente proveniente de la rallandería de yuca para el cálculo de la presión ejercida en el cuerpo de agua sobre el río Tarugo.

METODOLOGÍA: Para la realización de la presente investigación, se estableció los procedimientos descritos a continuación, los cuales estuvieron acordes con los objetivos propuestos.

Monitorear el efluente de manera física, química e hidrológica de la rallandería y del río. Pérez (2019) indica que para el análisis de (DBO_5) se utiliza un envase de plástico de 1 l con resistencia a entrada de la luz, el envase debe estar estéril y ser prelavado en el sitio de estudio, la muestra se tomará a la mitad del cauce sumergiendo la botella hasta llenarla completamente, la botella debe estar rotulada con el distintivo del punto de muestreo, posteriormente deben ser llevadas al laboratorio Bureau Veritas Ecuador donde se le realizaron los respectivos análisis. Para las mediciones de oxígeno disuelto y temperatura, se realizó el procedimiento in situ en el punto de muestreo mediante el método electroquímico de acuerdo con la norma técnica INEN 2169:2013. En la siguiente tabla se detallan los parámetros que requiere el modelo matemático planteado por Streeter y Phelps (1925).

Los parámetros fisicoquímicos se basaron en lo establecido por Zuñiga (2014) y el modelo matemático de Streeter and Phelps (1925) que son las variables que influyen en la autodepuración de materia orgánica. La toma de los parámetros se realizó en la época seca y transición de época lluviosa de acuerdo con lo establecido por (Reinoso, 2015). La frecuencia de las tomas se basó de acuerdo con ANAP (2011), en la cual señala que esta dependerá de varios factores como el presupuesto de la investigación, la estacionalidad de la zona y además indica que esta puede variar en el transcurso de la investigación donde se pueden incluir o suprimir parámetros de estudio o también determinar si algunos de los parámetros

se debiesen establecer con menor o mayor frecuencia, esto de acuerdo con los datos de análisis de campo; por lo cual se estableció de la siguiente manera:

En el punto de muestreo base se establecieron los parámetros de (DBO₅, temperatura y OD) que se registraron cada semana, los cuales permitieron obtener una mayor cantidad de datos para el respaldo de la investigación. Las muestras que se tomaron en horarios cercanos al medio día (12h00) de acuerdo con Reinoso (2015) es el horario en que se presenta una mayor cantidad de carga orgánica de las aguas residuales.

La toma de muestra se recogió lo más cerca al centro del cuerpo de agua (río, quebrada) y en contra de la corriente al flujo de agua, evitando alterar las condiciones reales, en los casos en que no es posible recoger las muestras del centro del río, por los riesgos que representan las corrientes fuertes, la profundidad, falta de implementos de seguridad o el apoyo logístico necesario, se deberá ubicar el punto en zona de orilla o en una zona apropiada para la toma de muestra, buscando que la muestra sea representativa del cuerpo de agua (ANAP, 2011).

En la siguiente tabla se detallan los parámetros que requiere el modelo matemático planteado por Streeter y Phelps (1925).

Tabla 1. Parámetros requeridos para el modelo matemático Streeter y Phelps.

TIPOS DE ANÁLISIS	PARÁMETROS	MÉTODO	UND	TIEMPO	FRECUENCIA
Físico	Temperatura	Potenciómetro	°C	3 meses	Dos veces a la semana
Químico	Oxígeno Disuelto	Oximetría	mg/l	3 meses	Dos veces a la semana
	DBO ₅	Respirométrico	mg/l	3 meses	Una vez a la semana

Fuente: Cajas (2015).

Parámetro hidrológico en el efluente de yuca y el río. Para la determinación de este parámetro se utilizó la metodología de Leopold y Maddock (1953) el cual menciona que, en una sección transversal, el caudal varía de acuerdo con la anchura superficial del flujo, la profundidad y velocidad media de la corriente, y otras variables tales como el gradiente superficial del agua. Estos ajustes son descritos mediante relaciones de función potencial del tipo:

$$V = aQ^b \quad ; \quad H = cQ^d \quad ; \quad B = eQ^f$$

Donde:

Q es el caudal

V la velocidad

H la profundidad

B la anchura.

Como $VHB = Q$, se deduce que $b+d+f = 1$ y $a \cdot c \cdot e = 1$.

Tabla 2. Parámetro Hidrológico requerido para el modelo matemático Streeter y Phelps.

PARÁMETROS HIDROLÓGICOS	MÉTODO	UNIDAD	TIEMPO	FRECUENCIA
Caudal	Ecuación	m ³ /s	3 meses	Semanal

Fuente: García y Álvarez (1996, citado en Botto, 2019).

Tabla 3. Parámetros Hidrológicos requeridos para el modelo matemático Streeter y Phelps.

PARÁMETROS HIDROLÓGICOS	MÉTODO	UNIDAD	TIEMPO	FRECUENCIA
Caudal	Flotador	m ³ /s	3 meses	Semanal
Profundidad	Ec. Leopold y Maddock	M	3 meses	Semanal
Velocidad	Ec. Leopold y Maddock	m/s	3 meses	Semanal

Fuente: García y Álvarez (1996, citado en Botto, 2019).

Ejecución de los parámetros de campo (OD y temperatura). El oxígeno disuelto y la temperatura se midieron in situ dentro de la zona de estudio mediante el método electroquímico de acuerdo con la norma técnica INEN 2169:2013, donde señala tomar muestras directamente en los puntos catalogados, registrándolos en una libreta y utilizando todos los equipos adecuados para la medición.

Las muestras de DBO₅ se recolectaron semanalmente en botellas de vidrio color ámbar, se rotularon y luego se enviaron en una hielera al laboratorio Bureau Veritas Ecuador para sus respectivos análisis ver anexo 4.

Tabulación de datos. Luego de obtener toda la información de campo de los parámetros físicos, químicos e hidrológicos del río y del efluente de yuca se utilizó una hoja de cálculo, permitiendo tener de manera organizada todos los datos necesarios para aplicarlos en el modelo matemático establecido anteriormente (Anexo 11).

Modelización de datos. Luego de disponer de la base de datos, a través de la hoja de cálculo se procedió a el modelo matemático Streeter and Phelps (1925), se utilizó las diferentes condiciones del río y la descarga en época seca con transición de época lluviosa como DBO₅, OD, temperatura, caudal, velocidad y profundidad, como lo indica (Zuñiga, 2014). Para el desarrollo del modelo se utilizó los valores

semanales de cada mes de las variables del río y del efluente de yuca y se registraron las diferentes ecuaciones citadas en el marco teórico de la investigación para establecer los respectivos cálculos:

Ecuación del balance general.

$$\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial(u)}{\partial t} + \frac{\partial(v)}{\partial t} + \frac{\partial(w)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_z \frac{\partial}{\partial z}) + R$$

Modelación de la DBO₅.

$$L_{(x)} = L_0 e^{-\frac{K_1' x}{u}}$$

Modelación de la OD.

$$D_{(x)} = D_0 e^{-\frac{K_2' x}{u}} + \frac{K_1' L_0}{K_2' - K_1'} \left[e^{-\frac{K_1' x}{u}} - e^{-\frac{K_2' x}{u}} \right]$$

RESULTADOS.

Cálculo de la presión ejercida por el efluente de la rallandería de yuca sobre el río tarugo mediante el modelo de Streeter y Phelps.

Luego de obtener los datos de monitoreo durante las doce semanas de época seca con transición a época lluviosa se utilizó una hoja de cálculo donde se realizó un promedio total del periodo analizado. En la tabla 4.3 se ilustran los valores promedio de los puntos base que sirven para el cálculo de la ecuación de balance general.

Tabla 4. Valores de la primera semana en los puntos base.

	T (°C)	OD (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	Caudal (m ³ /s)	H (m)	V (m/s)
Río	25,02	0,9	11,12	0,19	0,14	0,24
Descarga	27,21	0	914,92	0,0027		

Elaborado por: Burgos y Mera, (2021).

Esta ecuación permitió obtener los valores de mezcla de los parámetros físicos, químicos e hidrológicos de los puntos base (efluente y río).

Tabla 5. Valores de mezcla de los parámetros físicos, químico e hidrológicos

Parámetros	Balace de mezcla
Caudal	0,192 m ³ /s
Oxígeno Disuelto	0,89 mg/l
DBO ₅	23,87 mg/l
Temperatura	25,14 °C

Elaborado por: Burgos y Mera, (2021).

Determinación de las constantes de degradación (k_1) y reoxigenación (k_2).

Tabla 7. Constante de degradación (k_1) y reoxigenación (k_2).

TRATAMIENTO	K_1 (20 °C)	K_2 (20 °C)
Sin tratamiento	5	19,41

Elaborado por: Burgos y Mera, (2021).

Correcciones de las constantes cinéticas por la temperatura

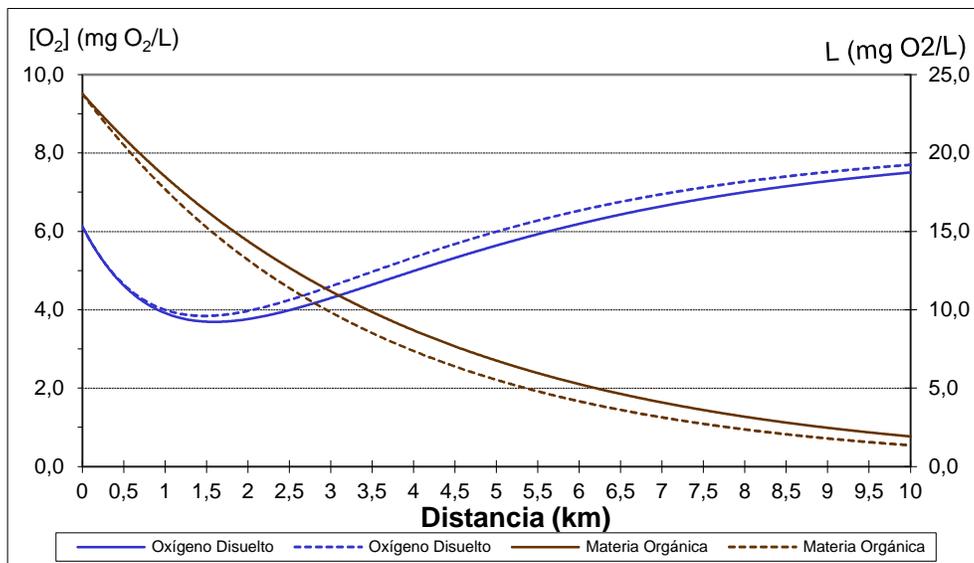
Tabla 8. Correcciones de las constantes cinéticas por la temperatura.

TRATAMIENTO	K_1 (Tmezcla)	K_2 (Tmezcla)
Sin tratamiento	6,31	21,88

Elaborado por: Burgos y Mera, (2021).

Representación gráfica del modelo de Streeter y Phelps en el río Tarugo.

Gráfico 1. Presión ejercida por el efluente de la rallandería de yuca sobre el río tarugo mediante el modelo de Streeter y Phelps.



Elaborado por: Burgos y Mera, (2021).

En el gráfico 1 se ilustra el modelo matemático aplicado (Ec 2.1) el cual muestra el comportamiento del oxígeno disuelto y la materia orgánica en relación a 10 km de distancia en el cuerpo de agua. Se observa que 0 km de distancia el río tiene una concentración de OD de 6,13 mg/l y 23,78 mg/l una materia de orgánica. Además, se identifica que el punto crítico del río se encuentra entre 1,51 km – 1,68 km siendo estas las distancias donde se presentan los niveles más bajos de OD con un promedio de 3,69 mg/l y la materia orgánica mantiene su media concentración. Por otro lado, se constata que el punto de mezcla se encuentra en el 2,5 km – 2,51 km.

Y por último se observa que a partir de 6 km el oxígeno recupera su condición natural (6,19 mg/l) y la vez la materia orgánica.

Se identificó que después del momento de la descarga de las aguas residuales, la concentración de oxígeno disuelto empieza a disminuir alcanzando un punto crítico entre 1,51 km – 1,68 km con un valor de 3,69 mg/l. En la investigación de García (2016) durante la aplicación del modelo matemático Streeter-Phelps demostraron que el oxígeno disuelto sufrió un decaimiento progresivo, alcanzando un punto crítico de 2,38 mg/l a los 5,5 km. Mientras que en la investigación de Flores y Menéndez (2020) realizada en el río Carrizal, alcanzan un punto crítico de 2,38 mg/l en una distancia de 34,67 km.

CONCLUSIONES

El modelo matemático Streeter and Phelps utilizado para el análisis del comportamiento del río Tarugo frente a las aguas residuales provenientes de la rallandería de yuca refleja valores obtenidos en el punto crítico de 3,69 mg/l a los 1,51 km – 1,68 km mientras que el punto de mezcla se encontró 2,5 km – 2,51 km de distancia aguas abajo de la descarga. Finalmente, el río empieza el proceso de recuperación a los 6 km de distancia volviendo a sus condiciones óptimas.

RECOMENDACIONES

Con relación a el nivel de contaminación que recibe el río Tarugo por las descargas de las rallanderías de yuca, se recomienda al departamento de gestión ambiental del GADM de Chone junto con el GADP de Canuto, implementar una planta de tratamiento fisicoquímico previo al vertimiento de las aguas residuales, siguiendo con lo establecidos en la normativa vigente para descargas a cuerpos de agua dulce.

Aplicar el modelo matemático Streeter and Phelps considerando otros parámetros físicos químicos - microbiológicos, y ampliar la frecuencia de monitoreo es decir mañana, tarde y noche.

BIBLIOGRAFÍA

- Alava, G., y Rojas, J. (2019). *Estimación del déficit de oxígeno disuelto usando el modelo Streeter y Phelps en la cuenca baja del río Moche, 2019*. PDF: <https://docplayer.es/203505514-Tesis-para-obtener-el-titulo-profesional-de-autores-asesor-linea-de-investigacion.html>
- ANAP. (2011). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos autoridad nacional del agua – dgcrh*. Pdf. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/2011-protocolo-anaperu.pdf
- Arana, R., y Sánchez, N. (2017). *Modelización de la calidad del agua del estero macache, zona sur, cantón Quevedo, año 2016-2017*. Repositorio.uteq: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2017/1/T-UTEQ-0035.pdf>
- Cajas, V. (2015). *Estimación de valores de contaminación difusa para el río tomebamba en zonas periféricas y urbanas – primera aproximación*. Pdf. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23122/1/TESIS.pdf>
- Centro de Comunicación de Ciencias (2021). *Almidón de yuca para combatir la contaminación de las aguas*. Ciencias.uautonoma.cl. https://ciencias.uautonoma.cl/noticias/almidon_de_yuca/
- Cuero, L. (2017). *Evaluación de la incidencia de las descargas contaminantes en la calidad del agua del río Quevedo, cantón Quevedo, provincia de los ríos, año 2016*. PDF: <http://190.15.134.12/bitstream/43000/1999/1/T-UTEQ-0028.pdf>
- Cunha J, Parreira Bittencourt R, Sá Farias M, Pinheiro Bello I, Coutinho de Oliveira LF, Fia R. *Deoxygenation rate, reaeration and potential for self-purification of a small tropical urban stream*. Revista Ambiente e Agua. 2015;9(3):445-458.
- Drinan, J. (2019). *The drinking water handbook*. PRIMERA ed. España: Acribia.
- Escobar, J., y Moreno, N. (2016). *Determinación de los coeficientes de oxigenación y desoxigenación para la curva de comportamiento de oxígeno disuelto en el río Fucha*. Repositorio.ucatolica. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/6805/4/Determinaci%>
- La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2018). *Agronoticias: Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe*. FAO. <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/1141955/>
- García, D. (2019). *Modelización de la calidad del agua del estero Guayji, Cantón Quevedo, Provincia De Los Ríos, Año 2018-2019*. Pdf. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3735/1/T-UTEQ-0088.pdf>
- Global Onium. (Agosto de 2018). *La importancia del agua para el desarrollo sostenible*. Actualidad.globalonium.

<https://actualidad.globalomnium.com/la-importancia-del-agua-para-el-desarrollo-sostenible/>

Hernández, J. (2019). *Gestión de vertimientos líquidos de la industria del almidón de yuca en Santander de Quilichao*. Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación, 4 (1), 44-56. <http://revistas.sena.edu.co/index.php/sennova/article/view/2091/2563>

Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los (WWDR). (2017). *Aguas residuales*. Pdf. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/\\$FILE/1__15.247647s.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/$FILE/1__15.247647s.pdf)

López, S. (2018). *Reducción DQO y DBO. Aguas residuales*. iagua. <https://www.iagua.es/blogs/alejandro-santos-altes/reduccion-dqo-dbo-aguas-residuales>

Lynch, I., y Zambrano, J. (2021). *Aprovechamiento de residuos de yuca (Manihot esculenta Crantz) como aporte nutricional del chame (Dormitator latifrons) con fines de economía circular*. Repositorio ESPAM. <http://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/1438/1/TTMA27D.pdf>

Martínez, G. (2019). *Modelización de la calidad del agua del estero El Pital, cantón Quevedo, estación lluviosa, año 2019*. Repositorio.uteq: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3733/1/T-UTEQ-0086.pdf>

Menéndez, C., y Dueñas, J. (2018). *Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional*. Scielo. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v39n3/1680-0338-riha-39-03-97.pdf>

Mora, C., Saucedo, R., González, I., Gómez, S., y Flores, H. (2020). *Efecto de la temperatura del agua sobre la constante de velocidad de reacción de los contaminantes en un humedal construido para el tratamiento de aguas residuales porcícolas*. Revista Scielo. Vol.11 http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242020000500002

Toapanta, M. B. (2018). *Modelización de la calidad del agua del estero El Limón, Cantón Quevedo, estación seca, Año 2018*. Repositorio uteq: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3642/3/T-UTEQ-0083.pdf>

Valdivia, R. (2018). *Transporte de sedimentos de fondo y volumen generado aguas arriba de la captación del Chicche – Cajamarca 2016*. Pdf. http://190.116.36.86/bitstream/handle/UNC/2051/T016_46776873_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zambrano, J. (Julio de 2016). *Evaluación de la influencia de actividades productivas del cultivo yuca, en la calidad del suelo, comunidad San Pablo de Tarugo*. Repositorio ESPAM. <http://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/290/1/TMA91.pdf>