

# DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE MANTA

## DIAGNOSIS OF WASTEWATER TREATMENT SYSTEM OF MANTA

Giselle Velasco T.<sup>1</sup>, Jorge Moncayo S.<sup>1</sup> & David Chuquer S.<sup>1, 2</sup>

Recibido: 09 octubre 2018/ Aceptado: 15 noviembre 2018

DOI: 10.26807/ia.v7i1.93

**Palabras claves:** DBO<sub>5</sub>, DQO, lagunas de oxidación, materia orgánica, tratamiento de agua residual.

**Keywords:** BDO<sub>5</sub>, COD, oxidation lagoons, organic matter, wastewater treatment.

### RESUMEN

Se realizó un diagnóstico de la eficiencia de remoción de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la ciudad de Manta, la cual recibe en promedio un caudal de 30798 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup> de agua residual. Para ello se caracterizó fisicoquímicamente el agua durante el tratamiento, determinándose

---

**1** Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Químicas, Quito, Ecuador.  
(gpvelasco@uce.edu.ec; jemoncayo@uce.edu.ec; dschuquer@uce.edu.ec)

**2** Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Ciencias Químicas, Quito, Ecuador.  
(dchuquer295@puce.edu.ec)

eficiencias de remoción de  $\text{DBO}_5$  del 51 % y de DQO del 56 %, valores que, al ser comparados con otras PTAR del mismo tipo, indican una pobre remoción de materia orgánica. Con respecto al efluente de descarga del sistema, se encontró que los parámetros DQO,  $\text{DBO}_5$ , nitrógeno Kjeldahl y sólidos totales, sobrepasan los límites máximos permisibles de la normativa ecuatoriana. En conclusión, se demostró que el sistema requiere mantenimiento especialmente en las lagunas facultativas, ya que son las principales responsables de la disminución de la eficiencia global de remoción de contaminantes.

### **ABSTRACT**

A diagnosis of the removal efficiency of pollutants was made in the wastewater treatment plant (WWTP) of the city of Manta. The plant receives on average a volume of  $30798 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$  of wastewater. To that end, physicochemical analyses were carried out in the different stages of the treatment process. The results showed removal efficiencies of  $\text{BOD}_5$  of 51 % and COD of 56 %. These values, when compared with other WWTPs of the same type, indicate a poor removal of organic matter. Regarding the discharge effluent system, it was found that the COD,  $\text{BOD}_5$ , Kjeldahl Nitrogen and Total Solids parameters exceed the maximum permissible limits of the Ecuadorian regulations. In conclusion, it was shown that the system requires maintenance, especially at the facultative lagoons, since it is the main responsible stage to reduce the global efficiency of pollutants removal.

## INTRODUCCION

La ciudad de Manta tiene una población de aproximadamente 220000 habitantes. Hasta el 2013, la cobertura de agua potable y alcantarillado en Manta fue del 78,7 % y 64,1 %, respectivamente (SENPLADES, 2014). Sin embargo, la cobertura de saneamiento necesita todavía inversión, especialmente en el tratamiento de efluentes domésticos.

Se estima que en el Ecuador, se realiza el tratamiento de entre el 10 y 25 % de las aguas residuales que se descargan a cuerpos de agua (Sato, Qadir, Yamamoto, Endo, & Zahoor, 2013). La solución planteada para afrontar este problema en las principales ciudades del país, fue la construcción de sistemas de lagunas de oxidación o estabilización, como en el caso de las ciudades de Manta, Cuenca, Guayaquil y Portoviejo, debido a aspectos como el bajo costo en la implementación, facilidad al construirlas y su operatividad (Ho, Van Echelpoel, & Goethals, 2017)..

Desde 1972, en el sector de San Juan de Manta se implementó una planta de tratamiento de aguas residuales

(PTAR), sistema que se compone de tres lagunas anaerobias, tres facultativas y cuatro de maduración o pulimento, que constituyen las tres fases del tratamiento, y que interconectadas trabajan continuamente, para depurar en promedio  $30798 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$  de agua residual, como se muestra en la Figura 1.

La operación del sistema está a cargo de la Empresa Pública de Aguas de Manta EPAM. El efluente del sistema se descarga en el río Manta, el cual en su recorrido se une al río Burro y finalmente desemboca en el Océano Pacífico (Velasco, 2018).

La falta de mantenimiento de los sistemas de lagunas de oxidación, genera graves problemas por la acumulación de sólidos y materia orgánica en las lagunas, lo que involucra la necesidad de operaciones adicionales, aumentando los costos de operación y disminuyendo la remoción de contaminantes (Grady, Daigger, Love, & Filipe, 2011), así como la generación de malos olores para la población ; este último es un problema recurrente en los barrios Miraflores, Tarqui y Los

Esteros de la ciudad de Manta (El Diario, 2016). Adicionalmente, se ha reportado que la calidad del agua en la playa de Los Esteros no reúne las ca-

racterísticas necesarias para fines recreativos (González & González, 2016).

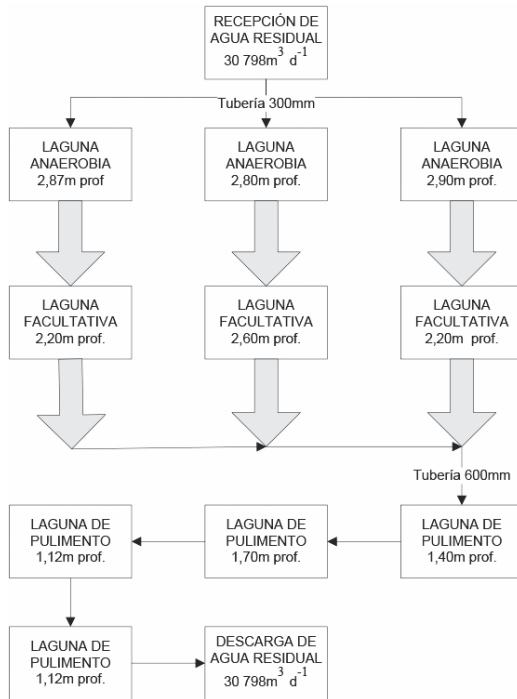
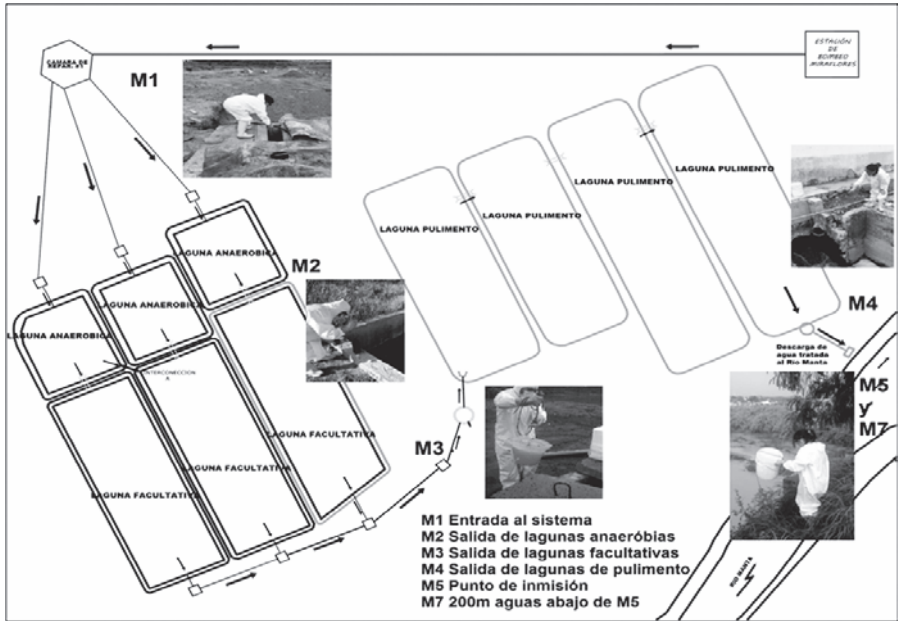


Figura 1. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento

Con estos antecedentes, se hace necesario un diagnóstico del funcionamiento de la PTAR de Manta, ya que su efluente es uno de los emisarios más importantes que contribuyen a la baja calidad del agua de los ríos

Manta, Burro y la playa de Los Esteros.

El objetivo de esta investigación fue realizar un diagnóstico de la eficiencia de remoción de contaminantes en



**Figura 2.** Vista superior de la planta de tratamiento de aguas residuales de Manta (Velasco, 2018)

la PTAR de Manta, mediante la caracterización de parámetros fisicoquímicos del agua residual antes y después de su tratamiento, para verificar el cumplimiento de la norma ambiental

del TULSMA, Libro VI, Anexo 1 (Registro Oficial, 2015) y así recomendar mejoras al sistema de tratamiento a base de los resultados obtenidos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectaron muestras de agua residual de la PTAR de Manta entre marzo y abril de 2017 en los sitios de muestreo señalados en la Figura 2. El

muestreo se realizó tomando en cuenta los tiempos de retención teóricos del agua residual en las lagunas y se detalla en la Tabla 1.

La época en la que se realizó el muestreo está caracterizada por precipitaciones en la zona (Hernández & Zambrano, 2007). Las muestras fueron recolectadas y preservadas tomando en cuenta las especificaciones establecidas en la norma NTE INEN 2169:2013.

**Tabla 1. Programa de muestreo ejecutado**

Muestra	Día 1	Día 3	Día 7	Día 14
M1	X			
M2		X		
M3			X	
M4				X
M5				X
M7				X

Una vez recolectadas las muestras, fueron trasladadas vía terrestre al Laboratorio OSP (Oferta de Servicios y Productos) de la Facultad Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador, acreditado bajo la norma de calidad ISO 17025:2005 donde se analizaron los parámetros: demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO<sub>5</sub>), fósforo total (P), nitrógeno Kjeldhal, (N-K), nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), nitrógeno total (NT), nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitratos

(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), sólidos totales (ST), sólidos suspendidos (SS) y sólidos disueltos (SD) mediante procedimientos estandarizados para cada fin como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2. Métodos utilizados para el análisis de muestras**

Parámetro	Método estandarizado
DBO <sub>5</sub>	APHA 5210-B
DQO	Merck 112, fotómetro SQ118
SD	APHA 2540 C
SS	APHA 2540 D
N-K	AOAC 981.10
P	APHA 4500-P C
pH	APHA 4500-H B
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	APHA 4500-NO3 B
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Colorimétrico HACH 375
N-NH <sub>3</sub>	Colorimétrico HACH
NT	Cálculo
ST	Cálculo

Se determinó la eficiencia de la PTAR dividiendo al sistema en tres etapas. La etapa 1 (E1), desde el ingreso del agua residual al sistema, hasta la salida del agua de las lagunas anaerobias. La etapa 2 (E2), desde el efluente de las lagunas anaerobias hasta el efluente de las lagunas facultativas. La etapa 3 (E3), desde el efluente de las lagunas facultativas hasta el efluente de la laguna de maduración o pulimento.

Para identificar la eficiencia de las etapas se dividió el sistema en tres tipos de tratamientos. El tratamiento 1 (T1) corresponde a E1. El tratamiento 2 (T2) corresponde a E1 seguida de E2, es decir, desde el ingreso del agua residual al sistema hasta el efluente de las lagunas facultativas. El tratamiento 3 (T3) está compuesto por las etapas E1, E2 y E3, es decir desde el ingreso del agua residual al sistema hasta el efluente de las lagunas de maduración o pulimento.

La remoción de contaminantes en la PTAR se calculó mediante la ecuación 1, dónde %E es el porcentaje de remoción del contaminante en el tratamiento,  $M1$  es la concentración del contaminante en la entrada al tratamiento en miligramos por litro ( $\text{mgL}^{-1}$ ) y  $Mx$  es la concentración del contaminante en la salida del tratamiento en  $\text{mgL}^{-1}$ .

$$\%E = \frac{M1 - Mx}{M1} * 100 \quad (1)$$

Para el cálculo de las constantes de degradación se aplicó el modelo de Marais-Shaw (Cruz, Alayón-Torres & Monsegny, 2000; Ho et.al., 2017). Este modelo se ha utilizado en la mayoría de los diseños de sistemas lagunares, y se calcula mediante la ecuación 2, dónde  $K$  es la constante de biodegradación de primer orden en  $\text{dia}^{-1}$  y  $t$  el tiempo de retención de la laguna en días.

$$K = \frac{M1}{Mx * t} - \frac{1}{t} \quad (2)$$

Finalmente, para identificar si existen diferencias significativas entre las concentraciones de contaminantes en todas las muestras analizadas en cada etapa del tratamiento, se realizó la prueba de Mínima Diferencia Significativa (LSD) mediante el "software" estadístico Statgraphics®.

## RESULTADOS

**Tabla 3. Resultados de análisis fisicoquímico y remoción de contaminantes**

Parámetro	M1 (mgL <sup>-1</sup> )	M2 (mgL <sup>-1</sup> )	Remoción T1 (%)	M3 (mgL <sup>-1</sup> )	Remoción T2 (%)	M4 (mgL <sup>-1</sup> )	Remoción T3 (%)	M5 (mgL <sup>-1</sup> )	M7 (mgL <sup>-1</sup> )	LMP**
DQO	567	207	63	264	53	252	56	203	115	200
DBO <sub>5</sub>	264	117	56	122	54	128	51	80	49	100
P	5,5	2,3	58,5	6,8	-22,5	5,0	9,8	0,4	0,9	10,0
N-K	156,0	183,0	-17,1	330,9	-111,7	179,7	-14,9	158,7	154,0	50,0
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,04	0,06	-62,16	0,06	-62,16	0,08	-116,22	0,09	0,07	NA
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	9,3	2,1	77,5	2,1	76,9	1,6	82,3	2,3	2,4	NA
N-NH <sub>3</sub>	49,3	34,1	30,7	32,2	34,6	19,9	59,6	6,7	6,1	30,0
NT	214,9	219,3	-2,0	365,3	-70,0	201,3	6,3	167,7	162,6	NA
pH*	7,8	7,6	2,6	9,7	-24,4	7,9	-1,3	7,5	7,8	6 a 9
SS	229	149	35	155	32	128	44	849	1007	130
SD	2133	2142	0	2502	-17	2049	4	2229	2436	NA
ST	2363	2291	3	2657	-12	2176	8	3079	3443	1600
% Cumple	50									

\* Es un parámetro adimensional; \*\*Límite máximo permisible establecido en el TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 Tabla 10; NA indica que no existe límite máximo permisible para dicho parámetro en la norma evaluada. El número de cifras significativas se relaciona con la apreciación de cada método analítico.

### Eficiencia de los tratamientos

En la Tabla 3 se presentan los valores de las eficiencias de remoción de cada tratamiento para los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO, P, N-K, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-NH<sub>3</sub>, NT, SS, SD, ST y pH.

### Constantes de degradación

La constante de degradación (*K*) relaciona la tasa de remoción de materia orgánica con respecto a la concentración del parámetro en el sistema. En la Tabla 4 se indican las constantes calculadas en cada una de las etapas y tratamientos de la PTAR.



**Tabla 4. Constantes de degradación de materia orgánica en las diferentes etapas y tratamientos**

	E1	E2	E3	T1	T2	T3
Tiempo de retención (d)	3,0	3,4	5,7	3,0	6,4	11,1
$K DBO_5$ (d <sup>-1</sup> )	0,42	NA	NA	0,42	0,18	0,10
$K DQO$ (d <sup>-1</sup> )	0,58	NA	0,01	0,58	0,18	0,11

NA: no hay remoción de materia orgánica

### Análisis estadístico

En la Tabla 5 se resumen los resultados de la prueba LSD con un 95 % de confianza. Las muestras que tienen casilleros en blanco significan que no forman parte de ningún grupo

homogéneo en el parámetro definido, mientras que las muestras que tienen casilleros con el mismo color (gris o negro) significan que forma parte de algún grupo homogéneo en el parámetro definido.

**Tabla 5. Resumen del análisis estadístico**

PARÁMETROS	MUESTRAS			
	M1	M2	M3	M4
DQO			■	■
DBO <sub>5</sub>		■	■	■
P	■	■	■	■
N-K		■	■	■
SS		■	■	■
SD	■	■	■	■
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	■	■	■	■
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	■	■	■	■
N-NH <sub>3</sub>				
pH	■	■	■	■

## DISCUSIÓN

### Eficiencia de los tratamientos

En la Tabla 3 se observa que las lagunas anaerobias (T1) presentan las mayores remociones de DQO, DBO<sub>5</sub> y P, con eficiencias superiores al 50 % para cada uno de los parámetros. Los T2 y T3 tienen menores remociones de DQO, DBO<sub>5</sub> y P, por lo que se puede considerar que para la remoción de estos parámetros es suficiente con la primera etapa de la PTAR.

Con respecto al N-K vemos que el paso de agua por las lagunas facultativas provoca un aumento del 111,7 % de respecto al influente debido a la proliferación vegetal excesiva de algas cianofíceas lo cual ha creado una capa superficial que impide el paso de la luz solar y el intercambio de oxígeno con la atmósfera. Posterior al paso del agua residual por las lagunas de maduración hay una disminución de 151,7 mgL<sup>-1</sup> de N-K generando concentraciones del parámetro similares al ingreso de agua residual al sistema.

Con respecto al NO<sub>2</sub><sup>-</sup> existe un aumento durante todo el tratamiento

debido a las condiciones anaerobias predominantes lo cual favorece la reducción de los NO<sub>3</sub><sup>-</sup> lográndose remociones de hasta el 82,3 % mediante el T3. Con respecto al N-NH<sub>3</sub> existe una remoción del 59,6 % cuando se realiza el T3. En cuanto a los SS, SD y ST tienen una remoción del 44 %, 4 y 8 % respectivamente en el T3, a pesar de la contaminación sufrida durante el paso del agua residual por la laguna facultativa por la acumulación de sólidos, lo cual reduce su volumen y sus tiempos de retención, provocando una disminución en su desempeño (Oliveira & von-Sperling, 2010).

Al comparar los parámetros fisicoquímicos evaluados con la legislación vigente, los resultados de la Tabla 3 señalan que en la muestra M4 (salida de la laguna maduración) se tiene un incumplimiento de la normativa ambiental vigente del 50 % de los parámetros analizados en este estudio (DQO, DBO<sub>5</sub>, N-K y ST). En definitiva, el tratamiento que se ejecutó en la PTAR de Manta al momento del diagnóstico, solo condujo al cumplimiento de los límites permisibles de

los parámetros SS y N-NH<sub>3</sub>, ya que los parámetros P y pH estaban en cumplimiento de los límites permisibles antes del ingreso a la PTAR.

### **Constantes de degradación**

La Tabla 4 muestra las constantes de degradación del sistema en sus diferentes etapas. Es notorio que E1 (lagunas anaerobias) es la que aporta la mayor remoción de materia orgánica, mientras que E2 (lagunas facultativas) y E3 (lagunas de maduración) no contribuyen significativamente en su remoción provocando una disminución de las constantes de degradación.

El sistema en conjunto (E1, E2 y E3) presenta una pobre remoción en DBO<sub>5</sub> y DQO (51 % y 56 % respec-

tivamente) comparado con otras PTAR con remociones de DBO<sub>5</sub> de entre el 70 y 95 % (Espinosa, von Sperling & Verbyla, 2017; Cárdenas, et.al. 2005; El Sharkawi, El Sebaie, Hossam & Abdel Kerim, 1995; Pearson, Mara, Cawley, Arridge & Silva, 1996; von-Sterling & Chenircharo, 2005).

### **Análisis estadístico**

En la Tabla 5 se detalla el análisis estadístico mediante LSD. El resultado indica que el T3 provoca una disminución estadísticamente significativa de parámetros de DBO<sub>5</sub>, DQO, SS, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y N-NH<sub>3</sub>. Parámetros como el NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y N-K presentan un aumento significativo durante T3, mientras que el P y SD no presentan diferencias significativas durante el T3.

## **CONCLUSIONES**

Se realizó un diagnóstico puntual de la eficiencia de remoción de contaminantes en la PTAR de la ciudad de Manta durante la época lluviosa de la zona, siendo las lagunas anaerobias son las que remueven la mayor parte de materia orgánica y determinándose que el sistema aplicado actual-

mente presenta deficiencias debido a la acumulación de sólidos en las lagunas facultativas, que causa un decremento de la calidad del agua residual que sale de ellas. Se recomienda realizar una limpieza o dragado de las lagunas facultativas.

Los resultados del estudio establecen que el efluente de la PTAR de Manta no cumple con los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente ecuatoriana en los

parámetros DQO, DBO<sub>5</sub>, N-K y ST , para lo cual es necesario realizar nuevos estudios que corroboren el comportamiento del sistema de tratamiento.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Cárdenas, C., Jaeger, C., H., V., Perruolo, T., Yabroudi, S., López, F., . . . Castejón, O. (2005). Evaluación de unidades que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales de Maracaibo sur. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia*, 28(2), 97-109.
- Cruz, L., Alayón-Torres, W., & Monsegny, C. (2000). Metodología para la selección de régimen de flujo en lagunas de estabilización. *Revista Ingeniería e Investigación*, 46, 14-19.
- El diario. (16 de marzo de 2016). *Eldiario.ec*. Obtenido de Ciudad: Incienso contra malos olores: <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/386954-incienso-contramalos-olores/>
- El Sharkawi, F., El Sebaie, O., Hossam, A., & Abdel Kerim, G. (1995). Evaluation of Daqahla wastewater treatment plant, aerated lagoon and ponds system. *Water Science and Technology*, 32(11), 111-119.
- Espinosa, M., von Sperling, M., & Verbyla, M. (2017). Performance evaluation of 388 full-scale waste stabilization pond system with seven different configurations. *Water Science and Technology*, 75(4), 916-927.
- González, C., & González, H. (2016). Evaluación química y microbiológica de la playa de "Los Esteros" en la ciudad de Manta. *La Granja: Revista de Ciencias de la vida*, 23(1), 47-52.
- Grady, L., Daigger, G., Love, N., & Filipe, C. (2011). *Biological Wastewater Treatment* (3. ed.). Boca Raton: CRC Press.

- Hernández, F., & Zambrano, E. (2007). Inicio, duración y término de la estación lluviosa en cinco localidades de la costa ecuatoriana. *Acta oceánica del pacífico*, 14(1), 7-11.
- Ho, L., Van Echelpoel, W., & Goethals, P. (2017). Design of waste stabilization pond systems: A review. *Water Research*, 123, 236-248.
- Oliveira, S., & von-Sperling, M. (2010). Assesment of clasical surface organic loading design equations based on actual perfomance of primary and secondary facultative ponds. *Water Science and Technology*, 61(4), 971-977.
- Pearson, H., Mara, D., Cawley, L., Arridge, H., & Silva, S. (1996). The performance of an innovative tropical experimental waste stabilisation pond system operating at high organic loadings. *Water Science and Technology*, 33(7), 63-73.
- Pescod, M. (1996). The role and limitations of anaerobic pond systems. *Water Science & Technology*, 33(7), 11-21.
- Registro Oficial. (13 de 02 de 2015). Edición especial No. 270 de 13 de febrero de 2015. *Acuerdo ministerial No. 028: Sustitúyase el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria*. Quito, Pichincha, Ecuador: Registro Oficial.
- Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T., & Zahoor, A. (2013). Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, 130, 1– 13.
- SENPLADES. (2014). *Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador*. Quito: Secretaría Nacional de Planificacion y Desarrollo.
- Velasco, G. (2018). Trabajo de investigacion para la obtención del título profesional de Químico. *Evaluación de la eficiencia en la remoción de materia orgánica en una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Manta*. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Von-Sterling, M., & Chenircharo, C. (2005). *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*, (Vol.1). London: IWA Publishings.