

Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales para el campus la María de la Universidad técnica estatal de Quevedo

Design of wastewater treatment plants for the María campus of the State Technical University of Quevedo

Dennise Liseth Ibarra Gamboa

Ingeniera en Gestión Ambiental, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Quevedo, Ecuador, dennise.ibarra2015@uteq.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0003-1263-7052>.

Julio César Pazmiño Rodríguez

Magíster en Administración Ambiental, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Quevedo, Ecuador, jpazmiño@uteq.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-3194-3963>.

Resumen

La presente investigación tuvo como propósito el diseño de una planta de tratamientos de aguas residuales para el campus La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). Se aplicó el método geométrico para obtener la proyección de la población estudiantil futura dentro de 10 años, que permitió la estimación de los caudales promedio (9,30 l/s), máximo (18,60 l/s) y mínimo (4,65 l/s) de producción de aguas residuales, de acuerdo con las directrices de la Norma INEN 1108. Por otro lado, la tecnología más idónea de tratamiento de las aguas residuales se seleccionó mediante la aplicación de los métodos de análisis multicriterio AHP y TOPSIS, cuyos resultados determinaron que la mejor alternativa para el tratamiento biológico de las aguas residuales es el proceso de lodos activados de aireación extendida. Finalmente, el esquema propuesto para la Planta de Tratamiento de aguas residuales en el campus La María incluye el diseño de la unidad de cribado, un desarenador, un tanque de igualamiento de caudales, un proceso de lodos activados de aireación extendida (biorreactor de dos cámaras más un clarificador secundario) y la deshidratación de lodos mediante lechos de secado.

Palabras clave: Tratamiento de aguas residuales; contaminación; descargas; alterativas; calidad de agua

Abstract

The present investigation had the purpose of designing a wastewater treatment plant for the La María campus of the Quevedo State Technical University (UTEQ). The geometric method was applied to obtain the projection of the future student population in 10 years, which allowed the estimation of the average (9.30 l/s), maximum (18.60 l/s) and minimum (4.65 l/s) flows of wastewater production, according to the guidelines of the INEN 1108 Standard. On the other hand, the most suitable wastewater treatment technology was selected by applying the AHP and TOPSIS multicriteria analysis methods, the results of which determined that the best alternative for biological wastewater treatment is the extended aeration activated sludge process. Finally, the proposed scheme for the wastewater treatment plant at the La María campus includes the design of the screening unit, a sand trap, a flow equalization tank, an extended aeration activated sludge process (two-chamber bioreactor plus a secondary clarifier) and sludge dewatering by means of drying beds.

Key words: Wastewater treatment, pollution, downloads, alternatives, water quality

Introducción

La creciente importancia que tiene la conservación de los recursos naturales ha despertado en el hombre la búsqueda de métodos para cuidarlos y recuperarlos, para que pueda ser aprovechado por los seres vivos (Buenaño, 2015). El agua se constituye en un líquido vital necesaria e indispensable para la supervivencia de los seres humanos y es un factor clave para las actividades cotidianas, domésticas, industriales, ganaderas y agrícolas; determinando que tanto el uso como degradación de este recurso ha ido en aumento y se le ha sumado, el bajo perfil en cuanto al interés por tratar las aguas residuales (Moran, 2014).

En el Ecuador esta problemática ha ido en aumento ya que realizan las descargas residuales sin tratamiento a los cuerpos de agua cercanos no importando las cargas de químicos, materia orgánica u otro contaminante que estas contengan (Moran, 2014). De tal manera que el tratamiento de aguas residuales ya sean estas de diferentes tipos tienen un objetivo común, el cual es la remoción de contaminantes para que cumplan con la normativa ambiental vigente dentro del país con la finalidad de poder hacerlas aptas para otros usos o a su vez evitar daños al ambiente y mejorar la calidad de vida de las personas (Rogel y Gallardo, 2014).

Por lo tanto debido al constante crecimiento de la población universitaria ligado a la demanda de carreras que se ofertan en la misma, la disposición de las aguas residuales se ha convertido

en un problema serio, que ha repercutido en el medio ambiente, ocasionando problemas graves de contaminación (Rogel y Gallardo, 2014), y la finalidad de esta investigación es poder reducir significativamente los impactos ambientales que estas aguas ocasionan, brindando un ambiente sano y seguro en el campus La María.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en la finca experimental “La María” (Figura 1), perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo localizada en el km 7 de la vía Quevedo – El Empalme. Su ubicación definida de manera geográficamente por las coordenadas de 70°27’13’’ longitud oeste y 01°06’02’’ de latitud sur y a una altitud de 73 metros sobre el nivel del mar (Liuba, 2019).

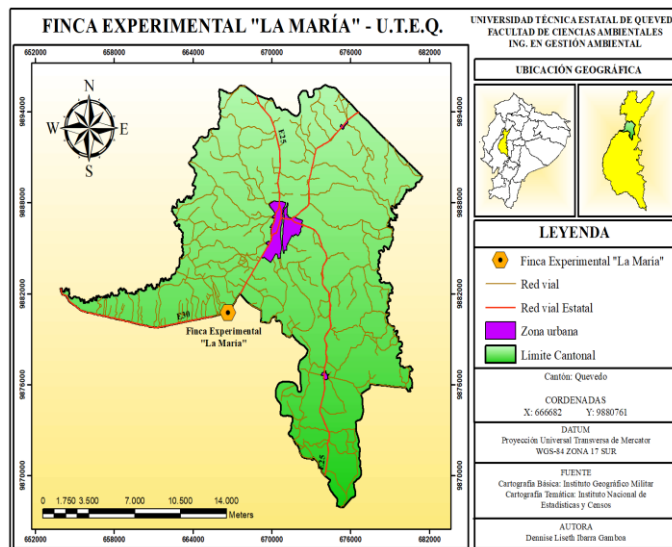


Figura 1. Mapa de localización de la Finca Experimental La María de la UTEQ

Estimación de la generación de aguas residuales en el campus La María

En primer lugar, se efectuó una proyección de la población estudiantil a un período de 10 años, empleando las fórmulas del método geométrico:

$$r = \left(\frac{Pob_f}{Pob_i} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

$$Pob_{Año\ n} = Pob_{Año\ 1} \times (1 + r)^{Año\ n - Año\ 1}$$

La obtención de esos datos sirvió para la estimación de los caudales aproximados a partir de los datos de abastecimiento y/o uso de agua en toda la extensión universitaria. Además, se realizó revisión bibliográfica para poder obtener valores referenciales de los parámetros a

tomar en cuenta en la presente investigación. Para la obtención del caudal promedio se aplicó la siguiente fórmula:

$$Q_p = \frac{(D)(P)}{86400}$$

Donde:

$$Q_p = \text{Caudal promedio} \left(\frac{l}{s} \right)$$

D= Dotación (L/ hab .d)

P= Población de diseño (hab)

Así mismo para el caudal máximo diario se empleó la siguiente fórmula:

$$Q_{md} = (K_1) (Q_p)$$

Donde:

$$Q_{md} = \text{Caudal maximo diario} \left(\frac{l}{s} \right)$$

$K_1 = 1.3$ (coeficiente de caudal maximo diario recomendado en las Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de AR)

$$Q_p = \text{caudal promedio} \left(\frac{l}{s} \right)$$

Para el cálculo del caudal máximo horario se usó la siguiente fórmula:

$$Q_{mh} = (K_2) (Q_p)$$

Donde:

$$Q_{mh} = \text{Caudal maximo horario} \left(\frac{l}{s} \right)$$

$K_2 = 2$ (coeficiente de caudal maximo horario recomendado en las Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de AR)

$$Q_p = \text{caudal promedio} \left(\frac{l}{s} \right)$$

Y por último para determinar el caudal mínimo horario se utilizó la siguiente formula:

$$Q_{minh} = (K_3) (Q_p)$$

Donde:

$$Q_{\text{minh}} = \text{Caudal mínimo horario} \left(\frac{l}{s} \right)$$

$K_3 = 0.5$ (coeficiente de caudal mínimo horario recomendado en las Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de AR)

$$Q_p = \text{caudal promedio} \left(\frac{l}{s} \right)$$

Selección de la alternativa tecnológica óptima para el tratamiento de las aguas residuales del campus La María

Para la toma de decisión de la mejor tecnología, se empleó el análisis de decisión multicriterio, el cual Yáñez y González (2005) mencionan que este tiene el objetivo de ayudar al tomador de decisiones a elegir la “mejor” alternativa dentro de un conjunto de opciones factibles, ante la presencia de múltiples criterios de selección (posiblemente, enfrentados) con diferentes prioridades.

Los tipos de métodos del análisis de decisión multicriterio que se aplicaron son el AHP y el TOPSIS; el AHP propone una estructura jerárquica de 3 niveles para la resolución de un problema de decisión multicriterio, estos se dividen en meta u objetivo como primer nivel, los diferentes criterios a evaluar en el segundo nivel, y las diferentes alternativas en el nivel más bajo. El método le asigna un peso a cada criterio gracias a la matriz de comparación por parejas, significando un peso elevado una mayor importancia del criterio en cuestión. Además, para cada criterio, se realizará otra matriz de comparación por parejas de las alternativas, generando el peso que posee cada alternativa dentro del criterio elegido (Peinado, 2019).

Se procede a valorar cada criterio con un número del 1 al 9. Y luego mediante el siguiente procedimiento matemático, se calculan todas las matrices de comparación pareadas (Peinado, 2019).

$$A = B ; X = 1$$

$$\left. \begin{array}{l} A = 9 \\ B = 1 \end{array} \right\} X = 9$$

$$\left. \begin{array}{l} A = 9 \\ B = 1 \end{array} \right\} X = 1/9$$

Cuando $A > B$ aplicaremos la siguiente formula:

$$X = (A - B) + 1$$

Y cuando $A < B$ esta otra:

$$X = \frac{1}{(B - A) + 1}$$

El otro método es el de TOPSIS, que según Pallarés (2015) lo describe que se basa en el concepto del ideal y del anti-ideal en la elección de alternativas, ya que en este método las alternativas elegidas deben tener la distancia geométrica más corta de la solución ideal positiva (ideal) y la distancia geométrica más larga de la solución ideal negativa (anti-ideal). Es una solución que se define como un conjunto de niveles (o puntuaciones) ideal respecto a todos los atributos considerados de un determinado problema, aun cuando la solución ideal usualmente sea imposible o no sea factible de obtener. (Barros, Turpo, 2017)

Para la realización de las matrices se tomo como guia el trabajo elaborado por Peinado (2019); como primer paso se creó la matriz con la puntuación de las alternativas en cada uno de los diferentes criterios, una vez terminada, esta matriz ha de ser normalizada de manera que nos permitió comparar la medición en diferentes unidades. En el segundo paso se utilizaron los pesos de cada criterio. Existen múltiples métodos para obtener los pesos, en este trabajo he optado por utilizar la ponderación que se realizó del método AHP. Para construir la matriz de decisión normalizada ponderada se multiplico cada elemento por su peso correspondiente.

$$V_j^+ = \begin{cases} V_j^{max}, & \text{si } j \text{ es un criterio positivo} \\ V_j^{min}, & \text{si } j \text{ es un criterio negativo} \end{cases}$$

$$V_j^- = \begin{cases} V_j^{min}, & \text{si } j \text{ es un criterio negativo} \\ V_j^{max}, & \text{si } j \text{ es un criterio positivo} \end{cases}$$

El siguiente paso se basó en calcular la distancia respecto al ideal positivo y negativo de cada una de las alternativas. Para cada alternativa i , su distancia será:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_j^+)^2}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

Y por último se calculó la ratio de proximidad/lejanía para cada alternativa i. Este es calculado como la división entre la distancia al punto ideal negativo y la suma de ambas distancias.

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

Diseño las unidades de tratamiento de las aguas residuales generadas en el campus La María

Una vez que haya sido seleccionada la opción tecnológica más conveniente para el tratamiento de aguas residuales en La María, se realizó el diseño de los procesos y estructuras de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, y tratamiento terciario.

Resultados

Proyección de Población futura

Se recolectaron los datos de estudiantes matriculados desde el 2015 hasta el 2020, como se muestra en el cuadro 1:

Cuadro 1. Registro de cantidad de estudiantes matriculados de los últimos 5 años del campus La María

Para la proyección de la población futura de las facultades, se aplicó el método

	2015-2016		2016-2017		2017-2018		2018-2019		2019-2020	
	PPA	SPA	PPA	SPA	PPA	SPA	PPA	SPA	PPA	SPA
Matriculados en la Facultad de Ciencias Pecuarias	615	789	920	1027	1090	1199	1319	1428	1522	1582
Total de matriculados en la Facultad de Ciencias Pecuarias	1404		1947		2289		2747		3104	
Matriculados en la Facultad de Ciencias Agrarias	628	688	729	726	696	710	716	698	682	678
Total de matriculados en la Facultad de Ciencias Agrarias	1316		1455		1406		1414		1360	

Geométrico, donde se obtuvieron los datos que se encuentran en el cuadro 2:

Cuadro 2: cálculos de la población futura

	Población Actual	Población futura
Estudiantes matriculados en la Facultad de Ciencias Pecuarias	3104	15171
Estudiantes matriculados en la Facultad de Ciencias Agrarias	1360	1452
Docentes de la Facultad de Ciencias Pecuarias	75	75
Docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias	32	32
TOTAL	4571	16730

Dotación de agua por estudiante

Se obtuvo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-11) capítulo 16 Norma Hidrosanitaria NHE Agua, donde se especifica rangos de dotación de agua potable para diversos tipos de edificaciones en su Tabla 16.2, en el cual indica que para universidades existe una dotación de 40 a 60 l/estudiante/día.

Caudal de diseño de Agua Residuales

Se aplicaron las respectivas fórmulas, tomando en cuenta datos de la proyección de población futura, dotación de agua potable por estudiante y para el coeficiente del caudal se obtuvo datos de las NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES. Para determinar la cantidad de generación de aguas residuales se multiplicará la cantidad obtenida de los caudales por 0,8 (cantidad propuesta por las normas INEN 1108 para obtener la cantidad de aguas residuales usadas) (Ver cuadro N° 3).

Cuadro 1. Resultados obtenidos para dotación de agua potable y generación de aguas residuales para el campus La Maria

Descripción	Dotación de agua potable (l/s)	Generación de aguas residuales (l/s)	Generación de aguas residuales (m ³ /d)
Caudal Promedio	11,62	9,30	803,52
Caudal Máximo Diario	15,11	12,09	1044,58
Caudal Máximo Horario	23,24	18,60	1607,04
Caudal Mínimo Horario	5,81	4,65	401,76

Alternativas tecnológicas óptimas para el tratamiento de las aguas residuales del campus La María

Se propusieron cuatro (4) alternativas para el tratamiento adecuado de las aguas residuales, los cuales se detallan a continuación:

Filtro Percolador: consiste en un tanque, cilíndrico o rectangular, que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de piedras de diversas formas o materiales sintéticos, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. El agua residual es generalmente sometida previamente a un proceso de sedimentación, para evitar la taponamiento del relleno que soporta la biomasa. A lo largo de la percolación del agua residual a través del lecho, se elimina gran parte de la materia orgánica gracias a la biopelícula que se forma sobre el material. El sustrato y el oxígeno se difunden a través de la biopelícula, en donde se produce la metabolización (Gutiérrez, Olmo, y Zumalacárregui, 2013).

Lodos Activados de aireación extendida: Estos están dirigidos a transformar sustrato orgánico soluble o insoluble, en forma coloidal o suspendida, en sólidos biológicos floculantes, que pueden ser asentados por medio de los procesos convencionales de sedimentación. En otras palabras, se pretende transformar la "contaminación" de las aguas, presente en forma de DBO -soluble e insoluble- en biomasa, que contendrá gran parte de la DBO original del sustrato orgánico, pero que puede ser separada del AR por sedimentación y filtración. Estos sólidos separados deberán luego ser concentrados y estabilizados para someterlos a una posterior disposición final, ya en forma de desechos sólidos (Jaramillo, 2005).

Reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB): El reactor se inocula inicialmente con cantidad suficiente de lodo anaeróbico, y a continuación se comienza a alimentar a velocidades de carga baja, en flujo ascendente. La velocidad de carga del sistema debe aumentarse progresivamente, de acuerdo con una respuesta favorable del sistema. De ahí un lecho de lodo altamente concentrado es desarrollado cerca del fondo del reactor, el cual es muy denso y tiene excelentes características de sedimentación. El sistema se encuentra en agitación debido al movimiento ascendente de las burbujas de biogás y al flujo de la alimentación a través del reactor (Barbazán, 2015).

Lagunas de estabilización: estas son diseñadas para el tratamiento de aguas residuales por medio de la interacción de la biomasa (principalmente bacterias y algas) (Oakley, 2005). Constituyen el método más sencillo de tratamiento de aguas residuales, remueven principalmente, la materia orgánica y los coliformes fecales, a continuación, se describe su funcionamiento de cada laguna (Martínez, Cansino, y Ortiz, 2017).

- Lagunas anaerobias: El propósito de las lagunas anaerobias es el desbaste de la materia orgánica, por lo que pueden recibir altas concentraciones de cargas orgánicas, la remoción de la DBO₅ se lleva a cabo debido a la sedimentación de sólidos y el proceso anaerobio.

- **Lagunas facultativas:** El tratamiento del agua residual en lagunas facultativas considera tres zonas: a) se establecen condiciones aerobias en la parte superior; es decir, existe oxígeno disuelto, b) una parte facultativa intermedia en donde las bacterias aerobias, anaerobias y facultativas llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica, y c) una zona anaerobia en la parte inferior de la laguna, donde los sólidos que sedimentan se descomponen de manera fermentativa.
- **Lagunas de maduración:** Las condiciones del tratamiento son totalmente aerobias en toda la laguna. El propósito es reducir los coliformes fecales hasta cumplir con la norma de descarga del agua residual tratada a los cuerpos receptores.

Para la aplicación de los métodos AHP y TOPSIS, se consideró definir los aspectos y criterios importante a evaluar. Se tomaron en cuenta 4 aspectos importantes (Ambiental, Económico, Técnico y Social), y una cantidad de 10 criterios (Ver cuadro 4).

Cuadro 4. Características de los criterios

Código de Criterios	Criterios	Unidad
A1	Reutilización de agua	Cualitativo
A2	Requerimiento energético	kWh/m3
A3	Eficiencia de remoción	Porcentual %
A4	Impacto al ecosistema	Cualitativo
E1	Costo de capital	Presupuesto
E2	Costos de operación y mantenimiento	Cualitativo
T1	Fiabilidad	Cualitativo
T2	Requerimiento de área	Cualitativo
S1	Empleabilidad	Cualitativo
S2	Beneficio social	Cualitativo

Una vez determinada las características de los criterios se procedió a convertir lo cualitativo a cuantitativo en base a una escala (Ver cuadro 5).

Cuadro 2. Conversión de Cualitativo a Cuantitativo

Escala cualitativa	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
Escala cuantitativa	10	30	50	70	90

Se procedió a evaluar los criterios de la siguiente manera, tomando en cuenta información bibliográfica y de expertos en el tema (ver cuadro 6).

Cuadro 6. Evaluación de Criterios de acuerdo su importancia

Código	Criterios	Valor
A1	Reutilización de agua	7
A2	Requerimiento energético	5
A3	Eficiencia de remoción	9
A4	Impacto al ecosistema	7
E1	Costo de capital	7
E2	Costos de operación y mantenimiento	5
T1	Fiabilidad	5
T2	Requerimiento de área	9
S1	Empleabilidad	3
S2	Beneficio social	1

Por lo tanto, aplicando las fórmulas detalladas en la metodología, la matriz de comparación de criterios es la siguiente (ver cuadro 7):

Cuadro 7. Matriz de comparación de criterios

MATRIZ DE COMPARACION DE CRITERIOS										
	A1	A2	A3	A4	E1	E2	T1	T2	S1	S2
A1	1,00	3,00	0,33	1,00	1,00	3,00	3,00	0,33	5,00	7,00
A2	0,33	1,00	0,20	0,33	0,33	1,00	1,00	0,20	3,00	5,00
A3	3,00	5,00	1,00	3,00	3,00	5,00	5,00	1,00	7,00	9,00
A4	1,00	3,00	0,33	1,00	1,00	3,00	3,00	0,33	5,00	7,00
E1	1,00	3,00	0,33	1,00	1,00	3,00	3,00	0,33	5,00	7,00
E2	0,33	1,00	0,20	0,33	0,33	1,00	1,00	0,20	3,00	5,00
T1	0,33	1,00	0,20	0,33	0,33	1,00	1,00	0,20	3,00	5,00
T2	3,00	5,00	1,00	3,00	3,00	5,00	5,00	1,00	7,00	9,00
S1	0,20	0,33	0,14	0,20	0,20	0,33	0,33	0,14	1,00	3,00
S2	0,14	0,20	0,11	0,14	0,14	0,20	0,20	0,11	0,33	1,00
SUMA	10,34	22,53	3,85	10,34	10,34	22,53	22,53	19,73	39,33	58,00

Una vez realizada la comparación de criterios se procedió a realizar una matriz normalizada, de cual se basa en la toma del valor resultante de cada criterio y se procede a dividir con la suma total de cada columna dada en el cuadro 7, por lo que se obtuvo lo siguiente (ver cuadro 8):

Cuadro 8. Matriz Normalizada

MATRIZ NORMALIZADA										
	A1	A2	A3	A4	E1	E2	T1	T2	S1	S2
A1	0,10	0,13	0,09	0,10	0,10	0,13	0,13	0,02	0,13	0,12
A2	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,01	0,08	0,09
A3	0,29	0,22	0,26	0,29	0,29	0,22	0,22	0,05	0,18	0,16
A4	0,10	0,13	0,09	0,10	0,10	0,13	0,13	0,02	0,13	0,12
E1	0,10	0,13	0,09	0,10	0,10	0,13	0,13	0,02	0,13	0,12
E2	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,01	0,08	0,09
T1	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,01	0,08	0,09
T2	0,29	0,22	0,26	0,29	0,29	0,22	0,22	0,05	0,18	0,16
S1	0,02	0,01	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,05
S2	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
SUMA	0,68	0,75	0,67	0,68	0,68	0,75	0,75	0,13	0,79	0,78

Para obtener los pesos de cada criterio se promedia cada fila, y se obtuvo lo siguiente (ver cuadro 9):

Cuadro 9. Pesos determinados para cada criterio

Código	Criterios	Pesos
A1	Reutilización de agua	0,10
A2	Requerimiento energético	0,05
A3	Eficiencia de remoción	0,22
A4	Impacto al ecosistema	0,10
E1	Costo de capital	0,10
E2	Costos de operación y mantenimiento	0,05
T1	Fiabilidad	0,05
T2	Requerimiento de área	0,22
S1	Empleabilidad	0,02
S2	Beneficio social	0,01

Una vez determinados los pesos de cada criterio, se procedió en aplicar el método TOPSIS. Para la elaboración de las matrices se tomó en cuenta los códigos de identificación de las tecnologías a evaluar detallados en el siguiente cuadro (ver cuadro 10).

Cuadro 10. Tecnología por evaluar

Código	Alternativa
TB1	Filtro Percolador
TB2	Lodos Activados
TB3	Reactor anaerobio de lodos de flujo ascendente (UASB)
TB4	Lagunas de estabilización

Mediante una revisión bibliográfica se ha podido obtener información importante para evaluar cada alternativa. Se realizó la matriz de decisión con las diferentes alternativas y criterios como se muestra a continuación (ver cuadro 11).

Cuadro 11. Matriz de decisión

	ASPECTO AMBIENTAL				ASPECTO ECONÓMICO		ASPECTO TÉCNICO		ASPECTO SOCIAL	
	A1	A2	A3	A4	E1	E2	T1	T2	S1	S2
TB1	50	0,30	80	60	752850	0,21	50	50	50	70
TB2	50	0,47	90	70	1100400	0,24	70	30	70	70
TB3	50	0,18	70	70	701900	0,06	50	50	50	50
TB4	50	0,16	80	70	334600	0,02	50	90	30	50

Una vez desarrollada la matriz de decisión, se efectuó la normalización de la matriz de decisión, obteniendo la suma y raíz de cada columna (ver cuadro 12).

Cuadro 12. Normalización de la matriz de decisión

	ASPECTO AMBIENTAL				ASPECTO ECONÓMICO		ASPECTO TÉCNICO		ASPECTO SOCIAL	
	A1	A2	A3	A4	E1	E2	T1	T2	S1	S2
TB1	2500,00	0,09	6400,00	3600,00	566783122500,00	0,04	2500,00	2500,00	2500,00	4900,00
TB2	2500,00	0,22	8100,00	4900,00	1210880160000,00	0,06	4900,00	900,00	4900,00	4900,00
TB3	2500,00	0,03	4900,00	4900,00	492663610000,00	0,00	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00
TB4	2500,00	0,03	6400,00	4900,00	111957160000,00	0,00	2500,00	8100,00	900,00	2500,00
SUMA	10000,00	0,37	25800,00	18300,00	2382284052500,00	0,11	12400,00	14000,00	10800,00	14800,00
RAÍZ	100,00	0,61	160,62	135,28	1543464,95	0,33	111,36	118,32	103,92	121,66

Con los datos ya obtenidos se obtuvo la matriz de decisión normalizada (ver cuadro 13), la cual se tomaron cada uno de los datos del cuadro 11 y se dividió para la raíz obtenida en el cuadro 12.

Cuadro 13. Matriz de decisión normalizada

	ASPECTO AMBIENTAL				ASPECTO ECONÓMICO		ASPECTO TÉCNICO		ASPECTO SOCIAL	
	A1	A2	A3	A4	E1	E2	T1	T2	S1	S2
TB1	0,500	0,494	0,498	0,444	0,488	0,646	0,449	0,423	0,481	0,575
TB2	0,500	0,774	0,560	0,517	0,713	0,738	0,629	0,254	0,674	0,575
TB3	0,500	0,296	0,436	0,517	0,455	0,185	0,449	0,423	0,481	0,411
TB4	0,500	0,263	0,498	0,517	0,217	0,062	0,449	0,761	0,289	0,411

Para realizar la siguiente matriz (ver cuadro 14), se tomaron los datos del cuadro 13 y se multiplicaron con los pesos determinados con el método AHP, y por último se aplicaron las normas para máximo y mínimo.

Cuadro 14. Matriz normalizada ponderada

	ASPECTO AMBIENTAL	ASPECTO ECONÓMICO	ASPECTO TÉCNICO	ASPECTO SOCIAL
--	-------------------	-------------------	-----------------	----------------

	A1	A2	A3	A4	E1	E2	T1	T2	S1	S2
TB1	0,052	0,022	0,109	0,046	0,051	0,029	0,020	0,092	0,011	0,007
TB2	0,052	0,035	0,122	0,054	0,074	0,034	0,029	0,055	0,015	0,007
TB3	0,052	0,013	0,095	0,054	0,047	0,008	0,020	0,092	0,011	0,005
TB4	0,052	0,012	0,109	0,054	0,023	0,003	0,020	0,166	0,006	0,005
Norma										
Máximo	0,052	0,035	0,122	0,054	0,074	0,034	0,029	0,166	0,015	0,007
Mínimo	0,052	0,012	0,095	0,046	0,023	0,003	0,020	0,055	0,006	0,005

Para los criterios de tipo positivo, el ideal positivo representó el máximo de la matriz de decisión normalizada ponderada. Por el contrario, en criterios de tipo negativo, el ideal positivo equivalió al mínimo (ver cuadro 15 y 16)

Cuadro 15. Matriz del vector diferencia con ideal positivo

	ASPECTO AMBIENTAL				ASPECTO ECONÓMICO		ASPECTO TÉCNICO		ASPECTO SOCIAL	
	A1	A2	A3	A4	E1	E2	T1	T2	S1	S2
TB1	0,000	0,010	-0,014	0,000	0,028	0,027	-0,008	0,037	-0,004	0,000
TB2	0,000	0,023	0,000	0,008	0,052	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000
TB3	0,000	0,001	-0,027	0,008	0,025	0,006	-0,008	0,037	-0,004	-0,002
TB4	0,000	0,000	-0,014	0,008	0,000	0,000	-0,008	0,111	-0,009	-0,002

Cuadro 16. Matriz de vector de diferencia con ideal negativo

	ASPECTO AMBIENTAL				ASPECTO ECONÓMICO		ASPECTO TÉCNICO		ASPECTO SOCIAL	
	A1	A2	A3	A4	E1	E2	T1	T2	S1	S2
TB1	0,000	-0,013	0,014	-0,008	-0,023	-0,004	0,000	-0,074	0,004	0,002
TB2	0,000	0,000	0,027	0,000	0,000	0,000	0,008	-0,111	0,009	0,002
TB3	0,000	-0,022	0,000	0,000	-0,027	-0,025	0,000	-0,074	0,004	0,000
TB4	0,000	-0,023	0,014	0,000	-0,052	-0,031	0,000	0,000	0,000	0,000

Una vez que se definió los ideales de cada criterio es posible calcular la distancia de cada alternativa respecto a los puntos ideales (ver cuadro 17 y 18).

Cuadro 17. Matriz de distancia a la solución ideal positiva

	ASPECTO AMBIENTAL				ASPECTO ECONÓMICO		ASPECTO TÉCNICO		ASPECTO SOCIAL		
	A1	A2	A3	A4	E1	E2	T1	T2	S1	S2	Norma euclidea
TB1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,057
TB2	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,065
TB3	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,054
TB4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,112

Cuadro 18. Matriz de distancia a la solución ideal negativa

	ASPECTO AMBIENTAL				ASPECTO ECONÓMICO		ASPECTO TÉCNICO		ASPECTO SOCIAL		Norma euclídea
	A1	A2	A3	A4	E1	E2	T1	T2	S1	S2	
TB1	0	0,0002	0,000184	5,92E-05	0,000549	1,7576E-05	0	0,005427039	1,85581E-05	4,44484E-06	0,080
TB2	0	0	0,000736	0	0	0	6,65859E-05	0,012210837	7,42325E-05	4,44484E-06	0,114
TB3	0	0,0005	0	0	0,000722	0,00063272	0	0,005427039	1,85581E-05	0	0,085
TB4	0	0,0005	0,000184	0	0,002666	0,00094518	0	0	0	0	0,066

Por último, para finalizar el método se procedió a obtener el ratio de proximidad/lejanía (ver cuadro 19).

Cuadro 19. Ratio de proximidad/lejanía

Alternativa	Puntuación
TB1	0,585
TB2	0,638
TB3	0,613
TB4	0,370

Una vez identificada la proximidad/lejanía, se realizó la clasificación dándonos cuenta de que la alternativa óptima (color verde) para su implementación es la de LODOS ACTIVADOS, y la peor alternativa (color rojo) para implementar son las LAGUNAS DE ESTABILIZACION (ver cuadro 20).

Cuadro 20. Clasificación final de las alternativas

Alternativa	Ranking
TB2	0,638
TB3	0,613
TB1	0,585
TB4	0,370

Diseño de las unidades de tratamiento de las aguas residuales generadas en el campus La María

Una vez determinada la tecnología óptima para implementar, se procede a realizar el diseño, el cual se detalla en el siguiente cuadro (ver cuadro 21).

Cuadro 21. Datos del diseño de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales

PROCESOS DEL TRATAMIENTO		FORMULAS	RESULTADOS OBTENIDOS
CRIBADO	Área despejada total a través de la rejilla	$A = \frac{Q_{\max}}{V_{\max}}$	A= 0,06 m ²

	Ancho de las aberturas	$W_a = \frac{A}{d}$	$W_a = 0,2 \text{ m}$
	Aberturas entre barras	$n_a = \frac{W_a}{a}$	$n_a = 10$
	Número de barras que se deben implementarse	$n_b = n_a - 1$	$n_b = 9$
	Ancho de la cámara	$W_c = w_a + (w_b)(n_b)$	$W_c = 0,29 \text{ m}$
	Longitud de la rejilla	$L = \frac{d}{\sin \theta}$	$L = 0,3 \text{ m}$
	Coefficiente de eficiencia	$CE = \frac{W_a}{W_c}$	$CE = 0,69 \text{ m}$
	Perdida de carga	$H = \beta \left(\frac{W}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V^2}{2g} * \sin \theta$	$H = 0,000 \text{ m}$
Desarenador	Caudal máximo	$Q_{\max} = (Q_d) f$	$Q_{\max} = 0,028 \text{ m}^3/\text{s}$
	Volumen del desarenador	$V = \frac{(Q_{\max})\theta}{n_c}$	$V = 4,20 \text{ m}^3$
	Profundidad de las cámaras	$h = W \cdot r_{h/w}$	$h = 1,5 \text{ m}$
	Longitud de las cámaras	$L = \frac{V}{(h)(w)}$	$L = 2,8 \text{ m}$
	Suministro de aire	$A = (\text{scfm}) L$	$A = 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$
	Volumen promedio de arena que se produce	$V_a = \rho_a \cdot Q_d$	$V_a = 0,04 \text{ m}^3/\text{d}$
Lodos activados de aireación extendida	Carga de DBO y SST en la PTAR	$\overline{DBO}_{5(\text{ARC})} = DBO_5 (Q_p)$	$\overline{DBO}_{5(\text{ARC})} = 328 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$
		$\overline{SST}_{(\text{ARC})} = SST (Q_p)$	$\overline{SST}_{(\text{ARC})} = 415 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$
	DBO y SST	$S_0 = \frac{\overline{DBO}_5}{Q_p}$	$S_0 = 380 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$
		$SST_0 = \frac{\overline{SST}_{(\text{ARC})}}{Q_p}$	$SST_0 = 480 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$
	DBO5 de los SST	$SST_{F(\text{BIO})} = SST_E (\% \text{Biodegradabilidad})$	$SST_{F(\text{BIO})} = 34 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$
		$DBOU_{SST_{F(\text{BIO})}} = SST_{F(\text{BIO})} (O_2)$	$DBOU_{SST_{F(\text{BIO})}} = 48 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$
		$DBO5_{SST_{F(\text{BIO})}} = \frac{DBO5}{DBOU} (DBOU_{SST_{F(\text{BIO})}})$	$DBO5_{SST_{F(\text{BIO})}} = 32 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$
	DBO5 soluble final	$S = (DBO_F) - (DBO5_{SST_{F(\text{BIO})}})$	$S = 6 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$
Eficiencia del tratamiento biológico	$E_{TB} = \left(\frac{S_0 - S}{S_0}\right) 100\%$	$E_{TB} = 98,4 \%$	

	basado en DBO5 soluble		
	Eficiencia global de la planta	$E_{PTAR} = \left(\frac{DBO_{5(ARC)} - DBO_{5(F)}}{DBO_{5(ARC)}} \right) 100\%$	$E_{PTAR} = 90 \%$
	Volumen del reactor	$V = \frac{(\theta_c)(Q_p)(Y)(S_o - S)}{X(1 + K_d(\theta_c))}$	$V = 1005 \text{ m}^3$
	Dimensiones del tanque de aireación	$V = (L)(w)(h)$	$w = 7,9 \text{ m}$
		$L = 1,5 (w)$	$L = 11,85 \text{ m}$
		$h_t = h_w + b$	$h_t = 4,5 \text{ m}$
	Caudal de eliminación de lodos desde el tanque de aireación	$Q_{wa} = \frac{V(X) - (\theta_c)(Q_p)(X_e)}{\theta_c (X_{wa})}$	$Q_{wa} = 22 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$
	Rendimiento de lodos observados en el sistema	$Y_{obs} = \left(\frac{Y}{1 + k_d(\theta_c)} \right)$	$Y_{obs} = 0,3111 \frac{\text{mg ssv}}{\text{mg DBO5}}$
	Incremento de la masa SSLM	$p_x = (Y_{obs})(Q_p)(S_o - S)$	$p_x = 101 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$
	Calcular el incremento de SST	$p_{SST} = \frac{p_x}{SST}$	$p_{SST} = 126 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$
	SST perdida en el efluente	$p_e = (Q_p - Q_{WA})SST_F$	$p_e = 40 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$
	Cantidad de lodos que se deben eliminar	$p_{LD} = (p_{SST} - p_e)$	$p_{LD} = 86 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$
	Caudal de la línea de retorno de lodos	$Q_r = \frac{(Q_p)(X)}{X_R - X}$	$Q_r = 460 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$
	Tiempo de retención Hidráulica	$\theta = \frac{V}{Q_p}$	$\theta = 28 \text{ h}$
	Relación F/M	$U = \frac{S_o - S}{\theta X}$	$U = 0,13 \text{ d}^{-1}$
	Masa de DBOU final utilizada	$\overline{DBOU}_u = \frac{Q_p(S_o - S)}{\overline{DBOU}_5}$	$\overline{DBOU}_u = 482 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$
	Requerimiento de oxígeno	$O_{2req} = \overline{DBOU}_u - 1,42 (P_x)$	$O_{2req} = 339 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$
	Aire teórico requerido	$A_{teo} = \frac{O_{2req}}{p_a(FO_2)}$	$A_{teo} = 1216 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$
	Aire real requerido	$A_R = \frac{A_{teo}}{E_{O_2}}$	$A_R = 17 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$
	Aire requerido (con factor de seguridad 2)	$A_d = A_R(F_s)$	$A_d = 34 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$
	Aire suministrado por Kg de DBO5 eliminado	$A_{DBO5-E} = \frac{A_R}{Q_p(S_o - S)}$	$A_{DBO5-E} = 75 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$
	Aire suministrado por m3 de aguas residuales	$A_{VW} = \frac{A_R}{Q_p}$	$A_{VW} = 28,15 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$
	Aire suministrado por m3 de tanque de aireación	$A_{vb} = \frac{A_R}{V}$	$A_{vb} = 24,2 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 \text{ d}}$
	Flujo de diseño al clarificador secundario	$Q = Q_p + Q_r - Q_{wa}$	$Q = 0,01508 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

Clarificador secundario	Área y diámetro del clarificador	$A = \frac{Q(X)}{SF}$	$A = 141 \text{ m}^2$
		$A = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$	$d = 13,4 \text{ m}$
	Tasa de desbordamiento de la superficie al flujo de diseño promedio	$td = \frac{Q}{A}$	$td = 9,2 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{d}}$
	Área del clarificador	$tdsc = \frac{Q}{A}$	$tdsc = 0,39 \frac{\text{m}}{\text{h}}$
	Tasa de desbordamiento de la superficie en el flujo de diseño máximo	$Q_{mt} = Q_{max} + Q_r$	$Q_{mt} = 2188 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$
		$V = \frac{Q_{mt}}{A(1)}$	$V = 15,52 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{d}}$
	Proporción de reciclaje requerida para mantener la concentración de MLSS 3125 $\frac{\text{mg}}{\text{l}}$	$(Q + Q_r) \left(3125 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) = Q(X) + Q_r(X_u)$	$\alpha = 0,45$
	Profundidad requerida para la zona de espesamiento	$STA = MLSS(h)(w)(L)$	$STA = 1170 \text{ kg}$
		$S_c = STA(SRCS)(t)$	$S_c = 702 \text{ kg}$
		$h = \frac{S_c}{A(C)}$	$h = 0,71 \text{ m}$
	Profundidad de la zona de almacenamiento de lodos	$P_x = \frac{Y_{obs}(Q)(S_o - S)}{1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}}}$	$P_x = 303 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$
		$S_{ta} = \frac{P_x(t)}{\frac{SSV}{SST}}$	$S_{ta} = 757,5 \text{ kg}$
		$SA = \frac{S_{ta}}{1}$	$SA = 757,5 \text{ kg}$
		$ST = SA + S_c$	$ST = 1459,5 \text{ kg}$
		$h = \frac{ST}{C(A)}$	$h = 1,48 \text{ m}$
$HT = ha + h1 + h$		$HT = 4,2 \text{ m}$	
Tiempo de retención hidráulica	$V = \pi * r^2 * 4 \text{ m}$	$V = 570 \text{ m}^3$	
	$TRH = \frac{V}{Q_d}$	$TRH = 10,5 \text{ h}$	
	$TRH = \frac{V}{Q_{mt}}$	$TRH = 7,9 \text{ h}$	
Tasa de carga del vertedero	$Wp = \frac{Q}{\pi(d)(1)}$	$Wp = 30,95 \frac{\text{m}^3}{\text{m} * \text{d}}$	
Desinfección	Dosis promedio del desinfectante	$D = \frac{D_M + D_m}{2}$	$D = 1,5 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$
	Peso necesario del desinfectante	$P = Q * D$	$P = 22,5 \frac{\text{mg}}{\text{s}}$
	Volumen del tanque donde se mezcla el cloro	$V = Q * T_r$	$V = 27 \text{ m}^3$
	Largo del tanque	$L = 1,5 (B)$	$L = 3 \text{ m}$
	Altura del tanque	$A_T = \frac{V}{L(B)}$	$A_T = 4,5 \text{ m}$
Diseño de lecho de secado	Área del lecho desecado	$A_L = \frac{P_x}{T_s}$	$A_L = 461 \text{ m}^2$

Discusión

La investigación fue desarrollada con el propósito de mejorar la calidad de vida de los estudiantes, la imagen paisajista y además crear un ambiente ecológicamente sano en el campus La María de la UTEQ, ya que las descargas de aguas residuales provocan malos olores, atraen vectores e incitan a la contaminación en las áreas de descargas, por lo que concordamos con Cando y Morales (2014) que menciona que es importante considerar la implementación de una PTAR ya que gracias a estas descargas de aguas residuales no solo el ambiente se deteriora sino también la salud de la población, puesto que por el mal olor que emana, la proliferación de fauna nociva como son ratas, mosquitos y otros vectores es evidente la contaminación que se genera.

Se realizó toma de datos en el campus los cuales sirvió para aplicar el método geométrico y realizar una proyección futura de 10 años, en base a las fórmulas aplicadas se obtuvo que dentro del tiempo propuesto se obtendrá una cantidad de 16730 estudiantes, con un caudal promedio de agua residual de 9,30 l/s, mientras que en la investigación realizada por Vega y Neyra (2019) en el cual aplicó la misma metodología obtuvo una proyección de 4288 estudiantes con un caudal promedio de agua residual de 1,98 l/s, esta variación significativa de agua residual se debe a la cantidad de estudiantes que posee cada una de las universidades, por lo tanto en el campus La María habrá más descarga de agua residual debido a la gran cantidad de población estudiantil que posee.

Para la toma de decisión de la mejor alternativa para implementar, se trabajó en métodos como el AHP y TOPSIS, donde se propuso 4 tipos de alternativas óptimas, en base a matrices que fueron evaluadas acorde a los requerimientos necesarios tomando cuenta aspectos y criterios fundamentales, el cual nos dio como resultado LODOS ACTIVADOS CON AIREACIÓN EXTENDIDA; a diferencia de la metodología aplicada, Urquiza y Morales (2017) basaron su decisión de mejor tecnología a Lodos activados con aireación extendida para la Universidad Nacional de Chimborazo, creando un prototipo con cada uno de los tratamientos, el cual demostró tener una eficiencia en tratamiento de aguas y remoción de contaminantes, esto demuestra que ya sea, aplicando métodos o creando prototipos se puede obtener el resultado esperado y requerido para nuestra investigación.

En el diseño de la PTAR para el tratamiento biológico se diseñó Lodos Activados con aireación extendida, en el cual se pudo calcular la eficiencia del tratamiento biológico de la planta de tratamiento en el cual resultó el 98,4%, al contrario de la PTAR que diseñó Cando y Morales (2014) que dio una eficiencia del tratamiento biológico de 96,8%, el porcentaje de variación se da por los métodos aplicados en cada una de ellas, determinando que para una mejor eficiencia se debe implementar la PTAR diseñada en la presente investigación, tomando en cuenta cada uno de ellos procesos que se siguió.

Conclusiones

Mediante la aplicación de fórmulas se pudo determinar la cantidad de población futura que habrá dentro de 10 años en el campus la María, el cuál sirvió para poder calcular el agua a tratar en la planta de tratamiento propuesta, basándonos en las proyecciones realizadas. En el tratamiento biológico se propusieron 4 alternativas que podrían ser aplicadas, cada una de ellas con sus respectivos funcionamientos, de las cuales mediante la aplicación del método AHP y TOPSIS se pudo determinar cuál es la alternativa óptima, cumpliendo los aspectos y criterios requeridos. Se determino que LODOS ACTIVADOS CON AIREACIÓN EXTENDIDA es la mejor opción para implementar en el campus La María, con un presupuesto de implementación de \$ 1100400 y el cual con la aplicación de los métodos obtuvo una valoración de 0,638 la más alta de las 4 alternativas que se habían propuesto, cumpliendo así con los aspectos y criterios evaluados.

Para finalizar se procedió a diseñar la planta de tratamiento de aguas residuales para el campus La María, con cada uno de los tratamientos que se deben aplicar y acordé a los datos obtenidos de la población futura y los caudales de agua que se determinaron en el primer resultado.

References

- Barbazán, M. d. (2015). Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB). 13.
- Buenaño, M. (2015). Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa envasadora de leche del Cantón Rumiñahui, para que cumpla con la norma técnica ambiental. (Tesis previo la obtención de título de Tecnóloga en Agua y Saeamiento Ambiental). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Barros, C., & Turpo, O. (2017). La formación en el desarrollo del docente investigador: una revisión sistemática. *Revista Espacios*, 38(45).
- Cando, K. M., & Morales, M. A. (2014). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la universidad politécnica salesiana sede Quito campus sur. "Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: Ingeniera Ambiental e Ingeniero Ambiental". Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Quito, Ecuador.
- Gutiérrez, C. M., Olmo, J. P., & Zumalacárregui, J. G. (2013). Planta de tratamiento de aguas residuales municipales mediante filtros percoladores. 51.
- Jaramillo, A. O. (2005). Bioingeniería de aguas residuales. (Acodal, Ed.)
- Liuba, R. I. (2019). Efecto de las densidades poblacionales, tipos de siembra y fertilización edáfica en el cultivo de soya (*Glycine max*, L.) sembrado en la epoca seca, zona de Quevedo. (Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero

Agrónomo). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.

Martinez, F. C., Cansino, A. T., & Ortiz, A. C. (2017). Dimensionamiento de lagunas de estabilización. México: IMTA.

Moran, D. (2014). Diseño de Planta de Aguas Residuales para el municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz. (Tesis previo la obtención de título de Ingeniero Ambiental). Universidad Rafael Landivar, Guatemala de la Asuncion.

Oakley, S. M. (2005). Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad de Lagunas de Estabilización en Honduras.

Pallarés, J. R. (2015). Método de decisión multicriterio ELECTRE y TOPSIS aplicados a la elección de un dispositivo movil. (Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Industrial). Escuela Técnica Superior de Ingeniería-Universidad de Sevilla, Sevilla.

Peinado, G. P. (2019). Proceso analítico jerárquico y TOPSIS aplicados a la selección de una cámara digital. Trabajo fin de grado en Ingeniería de organización industrial. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

Rogel, K., & Gallardo, M. (2014). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito Campus Sur. (Tesis previo la obtención del título de Ingeniero Ambiental). Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Quito.

Urquiza, V. E., & Morales, G. C. (2017). Construcción de un prototipo a escala mediante el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales generadas por la Universidad Nacional de Chimborazo Campus Edison Riera para el regadío de áreas verdes y descargas de baterías sanitarias. Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Vega, Y. A., & Neyra, Y. D. (2019). Tratamiento de aguas residuales del campus N° II de la Universidad Nacional del Santa para el uso del riego en áreas verdes. "Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Civil". Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Perú.

Yáñez, J. M., & González, J. Á. (2005). Sistema de información Medioambiental. (Netbiblo, Ed.)