

Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales restaurante Tekunal en el lago de Coatepeque, Santa Ana

Griselda Lisseth Baños-Castro¹ / Elba Noemy Martínez-de-Navas² /
Jacqueline Vanessa Landaverde-Sánchez³

Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Católica de El Salvador, El Salvador

DOI: <https://doi.org/10.5377/payds.v10i1.13348>

Recepción: 15/06/2021 Aceptación: 19/08/2021

Resumen

El artículo representa un aporte que constituye una mejora a la problemática ambiental, en uno de los ámbitos más importantes actuales como es la conservación del recurso hídrico, el cual es uno de los recursos más afectados por acciones humanas e industriales. El estudio realiza una propuesta de diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para el restaurante Tekunal, ubicado en lago de Coatepeque, entre los municipios de Santa Ana y El Congo, en el departamento de Santa Ana en El Salvador.

Se llevó a cabo un muestreo de parámetros fisicoquímico y biológico de las aguas producidas en el restaurante, así como una revisión de las instalaciones del lugar, mediante la cual se pudo determinar que no existían las condiciones necesarias para el tratamiento de las aguas. Con los resultados de laboratorio, se procedió a seleccionar el tratamiento adecuado según la capacidad de clientes, disposición de recursos y terreno con los que cuenta dicho restaurante. Además, se elaboró una memoria de cálculo y el diagrama del tren de tratamiento, el cual contará con tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario; brindando como la mejor opción el tratamiento anaerobio combinado con el humedal, y la gestión de lodos por parte de una empresa externa, para no afectar e incomodar a los usuarios del restaurante con posibles malos olores.

Palabras clave: Recurso hídrico, aguas residuales, generación de vertidos, diseño de tren de tratamiento de aguas residuales.

Abstract

The article represents a contribution that constitutes an improvement to the environmental problem, in one of the most important current areas such as the conservation of water resources, which is one of the resources most affected by human and industrial actions. The study makes a design proposal for a wastewater treatment plant for the Tekunal restaurant, located on Lake Coatepeque, between the municipalities of Santa Ana and El Congo, in the department of Santa Ana in El Salvador.

A sampling of physicochemical and biological parameters of the waters produced in the restaurant was carried out, as well as a review of the facilities of the place, by means of which it was possible to determine that the necessary conditions for the treatment of the waters did not exist. With the laboratory results, we proceeded to select the appropriate treatment according to the capacity of the clients, the availability of resources and the land that the restaurant has. In addition, a calculation report and a diagram of the treatment train were prepared, which will include preliminary, primary, secondary and tertiary treatment; providing as the best option the anaerobic treatment combined with the wetland, and the management of sludge by an external company, so as not to affect and inconvenience the restaurant users with possible bad odors.

Key words: Water resource, wastewater, discharge generation, wastewater treatment train design.

1. Maestra en Gerencia y Gestión Ambiental, Universidad Evangélica de El Salvador, Docente titular de la cátedra de biología, email: griselda.castrob@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8727-9133>

2. Maestra en Gerencia y Gestión Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Técnica en Articulación Territorial, email: elba_martinez99@icloud.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4653-103X>

3. Maestra en Gerencia y Gestión Ambiental, Alcaldía Municipal de Santa Ana, Auxiliar de proyectos, email: jacquelinelandaverde1@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2241-1786>

1. Introducción

El agua es uno de los elementos más importantes del planeta y, posiblemente, el más determinante recurso para el desarrollo en general. Sin agua no es posible el desarrollo agrícola, el comercio, la industria, el urbanismo, la sostenibilidad de los ecosistemas ni la vida misma. Todas las actividades humanas requieren la utilización del agua; pero según su diferente uso, a esta se le agregan sustancias que modifican sus características químicas, físicas y biológicas. A estos cambios en las características el agua se les conoce comúnmente como contaminación (MARN, 2009). Por esas razones, es necesario apoyar a las empresas cuyas actividades generan un impacto negativo al medio ambiente, especialmente cuando su ubicación es cercana a alguna fuente de agua.

El lago de Coatepeque se ubica en los municipios de El Congo y Santa Ana, ambos pertenecientes al departamento de Santa Ana en El Salvador. Geográficamente está situado a 11.0 kilómetros al sur de la ciudad de Santa Ana y posee un área de 24 kilómetros cuadrados. Dicho lago es un lugar turístico donde se encuentran centros de descanso y diversión, así como diversos hoteles y restaurantes (CNR, 2001). El lago de Coatepeque pertenece al Área de Conservación Apaneca-Illamatepec, denominada así por las agrupaciones de áreas naturales protegidas y los territorios que le

sirven de nexo. Estos espacios mantienen una relación directa entre ellos, llegando a constituir un sistema independiente e integral desde el punto de vista cultural, geográfico, hidrológico o ecológico (MARN, 2016). Esta área también cuenta con el reconocimiento de Reserva de Biosfera Apaneca-Illamatepec, la cual se ha creado para promover y demostrar una relación equilibrada entre los seres humanos y la biosfera. (UNESCO, 2007).

El desarrollo y crecimiento socioeconómico en la zona del Lago de Coatepeque ha conducido al desarrollo de infraestructura que no cumple con la normativa sobre saneamiento ambiental; incluido el abastecimiento de agua potable de calidad y el manejo y disposición adecuado de aguas residuales y desechos sólidos (MINSAL, 2017); como es el caso del restaurante Tekunal, ubicado en los alrededores del lago del Coatepeque. Este restaurante no solo posee una ubicación sensible, sino también, su modo de operación y producción conlleva un daño al ecosistema y a la salud pública de su entorno. Sin embargo, estos aspectos pueden mejorarse si se le brinda asesoría medioambiental con alternativas que ayuden a mitigarlas.

Por ello, se llevó a cabo una investigación de campo en donde se identificaron algunas deficiencias en las instalaciones del restaurante Tekunal. Se realizó un muestreo de las aguas negras y grises generadas por todas las activi-

dades que se realizan en el restaurante. Con base en los datos obtenidos, se seleccionó la mejor alternativa de un tren de tratamiento de aguas residuales apropiado y acorde a las necesidades del local. Además, se muestra la respectiva memoria de cálculo y un esquema que representa el diagrama de los procesos de tratamiento, tomándose en cuenta factores como la naturaleza del negocio y la disposición del terreno. Cabe añadir que el personal de este restaurante mostró interés en cuanto a construir una planta de tratamiento de aguas residuales, con el agregado del reúso del agua tratada para abastecer la cisterna de inodoros, en un área donde no estarán en contacto directo con el público (MARN, 2009).

2. Materiales y Métodos

Según el Reglamento especial de tratamiento de aguas residuales en El Salvador (MARN, 2000), el término agua residual se define como: Agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes y vertidas a un cuerpo receptor. Ellas son de dos tipos: ordinario y especial. Teniendo en cuenta los usos que el restaurante hace del recurso hídrico (ver tabla 1), esta se clasifica como agua residual de tipo ordinario, ya que se genera mediante las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y otras similares. (MARN, 2000)

Para poder hacer la selección y diseño del tren de tratamiento de aguas residuales para el restaurante Tekunal, fue necesario visitar las instalaciones e identificar las fuentes de aguas residuales. La primera visita se realizó el 23 de noviembre de 2019, con el objetivo de conocer la problemática del restaurante en cuanto al manejo de las aguas residuales. Se evidenció el interés por parte de la empresa en realizar acciones concretas para su mitigación, específicamente la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, con la finalidad de darle un manejo adecuado a las mismas y contribuir al saneamiento ambiental de la zona.

La segunda visita técnica se realizó el 22 de febrero de 2020. Durante esta visita se realizó un recorrido por toda la infraestructura del restaurante: área de cocina, área de servicios sanitarios, área social, área de dormitorios y área verde. Se tomaron fotografías para evidenciar los referidos espacios, además se tomaron medidas para poder realizar un levantamiento de la distribución del local donde funciona el restaurante.; también se determinaron los diversos usos que se le dan al agua y se identificaron los sitios de descarga. Posterior a la visita, se determinó la forma adecuada de cómo se debería realizar la toma de muestras.

Tabla 1*Diversos usos del agua potable y fuente de obtención*

Tipo de uso	Fuente de obtención
Preparación de alimentos (comidas y bebidas)	Agua embotellada
Lavado de platos	Agua de pipa (extraída de un nacimiento de agua).
Lavado de trapos y trapeadores	
Limpieza del local	
Baños y duchas	
Regar plantas	

Posteriormente, para la realización del muestreo de aguas residuales que genera el restaurante Tekunal, se contrataron los servicios de la empresa Hidropur. Esta empresa trabaja desde el año 2009 en el país, con el objetivo de dar una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. El muestreo fue realizado el 01 de marzo de 2020, comenzando a las 9:00 a.m., utilizando la siguiente metodología por parte de los técnicos de dicha empresa:

Tabla 2*Tipos de muestreo realizados por Hidropur*

Tipo de muestreo	Procedimiento
Puntual	Consistió en tomar una muestra individual o un grupo de muestras individuales en un periodo no mayor a 15 minutos. Se emplea en agua residual y potable (Hidropur, 2020).
Compuesto	Consistió en tomar muestras sucesivas a lo largo de un periodo de tiempo (Hidropur, 2020).
Automático	Consistió en usar un equipo que provee muestras a lo largo de un periodo de tiempo, de manera uniforme (Hidropur, 2020).

En el muestreo del restaurante Tekunal se empleó tanto un muestreo compuesto como uno automático, dado que se tenían varios vertidos de desechos no continuos. Primero se empleó un muestreo con ayuda de recipientes volumétricos graduados para conocer la cantidad de caudal, y para la toma de muestra en los caudales de cocina y lavados, dado que estos no eran continuos y no se tenía un lugar de finalización. Mientras que, en la caja de aguas negras se obtuvo un flujo semicontinuo donde se colocó el muestreador automático. (Hidropur, 2020).

Con base en los resultados obtenidos en este muestreo, se procedió a seleccionar el tren de tratamiento de aguas residuales, para luego hacer la memoria de cálculo que, posteriormente, serviría para hacer el diseño de los planos de la planta de tratamiento de aguas residuales del restaurante el Tekunal.

3. Resultados y Discusión

a. Tren de tratamiento

- **Tratamiento preliminar**

Como primer paso en el tratamiento de las aguas residuales del restaurante se requirió del diseño de una trampa de grasas. Esta es un dispositivo que permite separar los residuos sólidos y las grasas que bajan por las tuberías del restaurante (Cavimex, s.f.).

- **Tratamiento primario**

Con la finalidad de eliminar los sólidos en suspensión se eligió el reactor anaeróbico de lecho de lodos (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, por sus siglas en inglés, UASB)⁴ con flujo ascendente, ya que no provoca malos olores. Además, al construirse en una zona turística representa una amplia ventaja (Lorenzo, 2006).

- **Tratamiento secundario**

Se tomaron en cuenta los criterios: disponibilidad del área, formación de olores, ubicación del proyecto, recursos y personal especializado para el manejo de sistemas de tratamiento y eficiencia en la remoción de materia orgánica (Fernández, s. f.). Se seleccionó la alternativa del humedal artificial, ya que son sistemas de fitodepuración de aguas residuales que remueven el material orgánico, requieren un bajo consumo de energía y un bajo mantenimiento (Delgadillo, 2010).

- **Tratamiento terciario**

Con el fin de eliminar compuestos tales como sólidos suspendidos, nutrientes y la materia orgánica remanente no biodegradable y cumplir con los parámetros y normas de descarga nacionales, se seleccionó el tanque de contacto de cloro (Tabla 7) (Noyola, 2013).

4. Es un reactor anaeróbico de flujo ascendente de alta eficiencia. Normalmente, el reactor UASB es utilizado en procesos primarios para la estabilización de la materia orgánica inicial.

- **Tratamiento de lodos residuales**

Dado que el área disponible para la construcción y funcionamiento de la planta era reducida y los sistemas de tratamiento de estos requerían de gran espacio, se optó por recomendar contratar a una empresa que los retire del lugar y haga una correcta disposición final de los mismos; evitando así la propagación de los malos olores (Noyola, 2013).

Tabla 3

Resumen de caudales de diseño

Caudales estudiados (Q)	Unidades de medición				
	L/s	m ³ /día	m ³ /s	L/día	m ³ /h
Q_{med}	0.136	11.750	0.00014	11750.400	0.490
Q_{min}	0.068	5.875	0.00007	5875.200	0.245
Q_{max ins}	0.5617	44.669	0.00052	44668.800	1.861
Q_{max ext}	0.776	67.046	0.00078	67046.400	2.794
Q_{max ext} - Q_{max ins}*	0.136	11.750	0.00014	11750.400	0.490

Nota. * La diferencia entre el caudal máximo extraordinario (Q_{max ext}) y el caudal máximo instantáneo (Q_{max ins}) se considera en el diseño del pretratamiento, específicamente en la caja de demasías.

- **Trampa de grasas y aceites**

En la tabla 4 se muestra el resumen de los cálculos para determinar las medidas de la trampa de grasa a utilizar en la planta de tratamiento de aguas residuales del restaurante Tekunal.

Tabla 4

Medidas de la trampa de grasas y aceites

Unidades	Medidas en metros (m)
Ancho	0.18
Largo	0.72
Altura	0.69

- **Reactor anaeróbico de lecho de lodos ascendente (UASB)**

En la tabla 5 se detalla un resumen de los cálculos que se realizaron para la determinación de las medidas y forma del reactor para la planta de aguas residuales del restaurante Tekunal.

Tabla 5
Cálculos y forma del reactor

Unidades	Medidas
Volumen	4.9 m ³
Área	1.63 m ²
Altura	3.20 m
Ancho	0.9 m
Largo	1.8 m
Forma	Rectangular

- **Humedal**

A continuación, se muestra un resumen de los cálculos que se realizaron para la determinación de las medidas y forma del humedal para la planta de aguas residuales del restaurante Tekunal.

Tabla 6
Cálculos y especificaciones del humedal

Especificaciones	Medida en diversas unidades
Profundidad	0.5 m
Flora a utilizar	Carrizo común (<i>Phragmites australis</i>)
Pendiente	0.01 m/m
Medio filtrante	Arena gruesa
Porosidad	30 %
Conductividad hidráulica	480 m ³ /m ² . d
Cinética de reacción Ka	1.44 d ⁻¹
Ancho del humedal	4.9 m
Superficie necesaria	92.64 m ²
Largo del humedal	18.91 m

- **Tanque de contacto de cloro**

En la tabla 7 se detalla un resumen de los cálculos que se realizaron para la determinación de las medidas y forma del tanque de contacto, así como el tipo de agente desinfectante para la planta de aguas residuales del restaurante Tekunal.

- **Cárcamo de bombeo**

En la tabla 8 se muestra un resumen de los cálculos que se realizaron para la determinación de las medidas y forma del cárcamo de bombeo para la planta de aguas residuales del restaurante Tekunal.

Tabla 7*Cálculos y especificaciones del tanque de contacto de cloro*

Especificaciones	Medida en diversas unidades
Q _{max inst}	0.517 L/s
Número de de módulos	1
Tirante útil	0.5 m
Número de canales (NC)	4
Relación largo/ancho	3 a 1
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	15 minutos
Tipo	Mamparas
Forma	Rectangular
Dosis de cloro suministrado	10 mg/L
Volumen	0.47 m ³
Área de la sección transversal	0.94 m ²
Ancho de cada canal	0.28 m
Largo de cada canal	0.84 m
Dosificación del cloro	
Oxidante	Hipoclorito de sodio
Concentración del oxidante	13% en peso
Capacidad del recipiente	200 L
Tipo del recipiente	Rotoplast con goteo a flujo constante

Tabla 8*Cálculo y especificaciones del cárcamo de bombeo*

Especificaciones	Medida en diversas unidades
Profundidad (PT)	1.15 m
Bordo libre	0.15 m
Volumen efectivo	0.03 m ³
Área	0.06 m ²
Ancho	0.25 m
Largo	0.25 m
Área de trincheras para las bombas	
Alto (hT)*	0.5 m
Ancho (aT)**	0.7 m

Nota. * Altura de la trinchera adicional a la profundidad del cárcamo de bombeo que garantiza que las bombas siempre se encuentren sumergidas // ** Ancho de las trincheras que corresponden al ancho calculado para el cárcamo de bombeo.

- **Diagrama de proceso planta de tratamiento en restaurante Tekunal**

En la figura 2 se muestra la representación en planta del restaurante y ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales del restaurante Tekunal.

La figura 1 representa el diseño de los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales del restaurante Tekunal.

Figura 1

Diagrama de proceso de la planta de tratamiento para el restaurante Tekunal

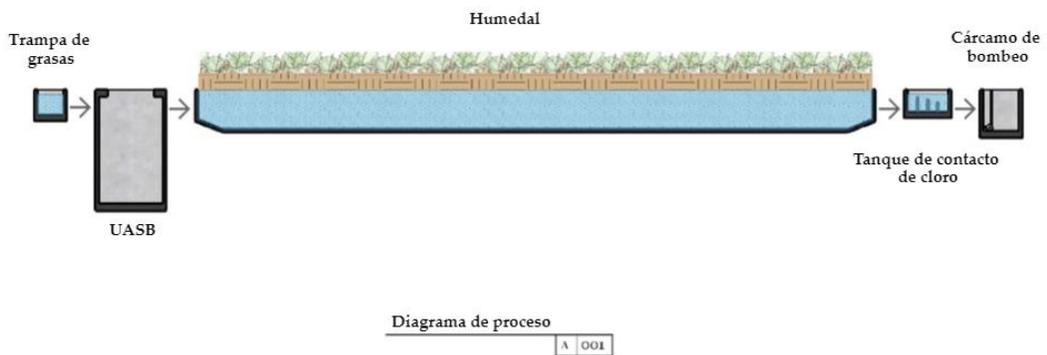
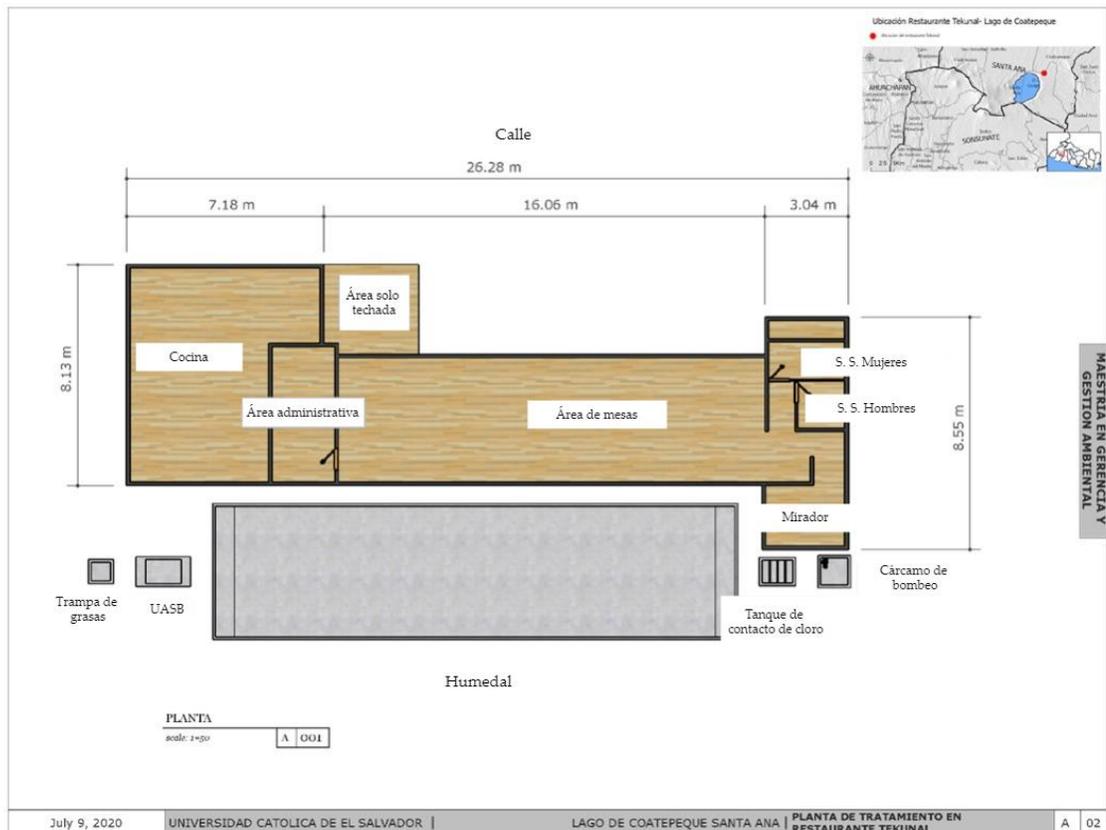


Figura 2

Distribución en Planta de la planta de tratamiento del restaurante Tekunal



4. Conclusiones

Para la selección del tren de tratamiento se tomaron en cuenta los siguientes criterios: disponibilidad de terreno, recursos económicos y humano y la carga de contaminación de las aguas negras y grises generadas por el restaurante.

- a. **Tratamiento preliminar:** La trampa de grasas seleccionada permite separar los residuos sólidos y las grasas que bajan por las pocetas de lavado, y de posicionamiento de alimentos en restaurantes, hoteles, negocios de comida rápida, plantas de producción y en diferentes aplicaciones y procesos industriales. Estas trampas tienen el fin de proteger las instalaciones sanitarias, al mismo tiempo que permiten capturar los olores.
- b. **Tratamiento primario:** Es la etapa en donde se removerán los sólidos suspendidos en el reactor anaeróbico de lecho de lodos con flujo ascendente. El reactor presenta ciertas ventajas que lo hacen el ideal para una planta de tratamiento de aguas residuales en un restaurante, ya que al ser un tratamiento anaeróbico no provoca malos olores. Dado que el sitio donde se construirá es una zona turística, esto representa una ventaja muy grande. Este lecho de lodos funge también como un filtro en el sentido mismo de la palabra; en él queda retenido material particulado

que podrá ser degradado en el lecho (Lorenzo, 2006). Con un reactor anaeróbico tipo UASB, alimentado con agua residual municipal típica, se pueden lograr eficiencias de remoción en demanda química de oxígeno (DQO) del orden de 60 a 70% (DBO del 70 al 80%) (Noyola, 2013).

- c. **Tratamiento secundario:** Este es la etapa más importante del tratamiento de aguas, pues la parte donde se elimina el mayor porcentaje de materia orgánica. El método seleccionado fue el humedal artificial. Para la elección del tratamiento secundario que resultará más adecuado y adaptable a la realidad del restaurante Tekunal, se tomaron cuenta los siguientes criterios:

- Disponibilidad de área: El área de la que dispone el restaurante es un factor que limita la elección de tecnología ya que se debe condicionar en cuanto a espacio y pendiente de terreno.
- Formación de olores: Los sistemas aeróbicos como los discos biológicos rotatorios y el filtro percolador están al aire libre, lo que genera malos olores y moscas. Esto no es recomendado en un restaurante y conllevaría riesgo a la salud del personal y de los visitantes.
- Ubicación del proyecto: En términos de paisaje, este sistema es recomendable por su capacidad de mantenimiento

de distintas especies de peces, anfibios, aves, etc. Pueden construirse en lugares turísticos y en sitios de estudio de diferentes disciplinas por las complejas interacciones biológicas que se generan y establecen (Fernández, s. f.).

- Recursos: El restaurante no dispone de personal especializado ni un rubro que esté destinado al mantenimiento ni manejo de las aguas residuales. Los humedales fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica; además, utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento (Delgadillo, 2010).
 - Eficiencia de remoción de materia orgánica: Con El reactor anaeróbico tipo UASB del tratamiento primario se tendrá remoción en demanda química de oxígeno (DQO) del orden de 60 a 70% (DBO del 70 al 80%) (Noyola, 2013).
- d. Tratamiento terciario:** El método seleccionado fue la cloración. Es el proceso de desinfección de aguas residuales más utilizado. El proceso incluye la adición de cloro o hipoclorito al agua residual. Cuando se usa cloro, este se combina con agua para formar ácido hipocloroso (HClO) y ácido clorhídrico (HCl). El

ácido hipocloroso es el desinfectante primario en el agua. En aguas residuales, los desinfectantes primarios son las especies de monocloroaminas. Por lo tanto, la tendencia del ácido hipocloroso para disociarse a ácido hipoclorito debe evitarse manteniendo un pH menor de 7.5. La demanda de cloro se determina mediante la diferencia entre el cloro suministrado y la concentración del cloro residual, medido después de un tiempo de la aplicación del cloro; usualmente de 15 a 30 minutos. El tanque de contacto de cloro cuenta con baffles para tener buen mezclado y evitar los atajos del flujo (CONAGUA, 2016).

Con base en el establecimiento del tren de tratamiento, se procedió a realizar los cálculos para cada estructura y la selección de tratamiento. El diseño de la planta fue hecho a partir de autores y literatura extranjera, ya que el país no cuenta con información suficiente y necesaria para el desarrollo de estas tecnologías según las condiciones de cada usuario.

5. Referencias

- Centro Nacional de Registro (2001). *Monografías departamentales y sus municipios*.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2016). *Manual de agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) Introducción al tratamiento de aguas residuales municipales*. Estados Unidos Mexicanos.
- Delgadillo, O; Camacho, A.; Pérez, I. F. y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Fernández-González, J. (s.a). *Humedales artificiales para la depuración*. https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-07-15_10-49-45107073.pdf
- Hidropur. (2020). *Informe de aforo en restaurante Tekunal - Lago de Coatepeque*. San Salvador.
- Lorenzo, Y. y Obaya, M. C. (2006). La digestión anaerobia y los reactores UASB. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, XL (1)* <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223121549002.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (31 de mayo de 2000). *Reglamento especial de aguas residuales, Decreto N° 39*. <http://cidoc.marn.gob.sv/documentos/reglamento-especial-de-aguas-residuales-decreto-n-39/>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2009). *Elementos de un modelo de gestión para plantas de tratamiento de aguas residuales*. San Salvador.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (15 de marzo de 2016). *Áreas de Conservación*. <https://www.marn.gob.sv/areas-de-conservacion/>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2017). *Lineamientos para el manejo de aguas residuales en el Lago de Coatepeque*.
- Noyola, A.; Morgan-Sagastume, J. M. y Güereca, L. P. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2007). *Reserva de Biosfera Apaneca-Ilamatepec*, El Salvador, C.A.