

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “PTAR LOS CEBOLLALES”, EN EL MUNICIPIO DE PANAJACHEL, DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ, GUATEMALA

Fecha enviada: Enero 2025

Fecha corregida: 5 mayo 2025

Luis R. Castro, Juan C. Hernández, Jorge I. Cifuentes¹

RESUMEN

La descarga de aguas residuales sin o con deficiente tratamiento en la cuenca del Lago de Atitlán, es una de las principales causas del deterioro del Lago (Olivia, 2011). La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Los Cebollales” ubicada en el municipio de Panajachel fue evaluada en su afluente y efluente, determinándose que dicha planta posee una ineficiencia en la remoción de los parámetros Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno y coliformes fecales los cuales tienden a concentrarse en su salida y por consecuencia se incumple con los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Gubernativo No.12-2011, esto es debido a que los difusores de burbuja fina que se encuentran en la unidad aeróbica se encuentran rotos o dañados, imposibilitando la oxidación de la materia orgánica (Metcalf, 2004) y por otro lado el sistema de desinfección no posee una adecuada dosificación del germicida hipoclorito de sodio (Romero, 2010). Otro de los parámetros que se encuentra arriba del límite máximo permisible es el nitrógeno total que para aumentar la eficiencia en la desnitrificación se recomienda mejorar la tasa de recirculación de lodos activos y de licor de mezcla (Metcalf, 2004). Se determina también que las aguas residuales que ingresan a dicha planta carecen de metales pesados y cianuro por lo que puede considerarse un agua técnicamente de tipo ordinaria (Galvín, 1999). Por otro lado, los lodos residuales subproducto del proceso de tratamiento cumplen con los parámetros establecidos en la normativa vigente para su disposición final en aplicación al suelo.

Palabras clave: Atitlán, agua residual, plantas de tratamiento, calidad del agua, metales pesados, lodos, efluente, desnitrificación, materia orgánica, lodos activos.

ABSTRACT

The discharge of wastewater without or with poor treatment in the Lake Atitlan basin is one of the main causes of the deterioration of the Lake (Olivia, 2011). The Waste Water Treatment Plant "Los Cebollales" located in the municipality of Panajachel was evaluated in its tributary and effluent, determining that

said plant has an inefficiency in the removal of the parameters Chemical Oxygen Demand, Biochemical Oxygen Demand and fecal coliforms which tend to concentrate on their departure and as a result violates the maximum permissible limits established in Government Agreement No. 12-2011, this is because the fine bubble diffusers found in the aerobic unit are broken or damaged, preventing the oxidation of organic matter (Metcalf, 2004) and on the other hand the disinfection system does not have an adequate dosage of germicidal sodium hypochlorite (Romero, 2010). Another parameter that is above the maximum permissible limit is the total nitrogen which, in order to increase the efficiency in denitrification, is recommended to improve the recirculation rate of active sludge and mixing liquor (Metcalf, 2004). It is also determined that the wastewater entering this plant lacks heavy metals and cyanide, so it can be considered technically ordinary water (Galvín, 1999). On the other hand, the waste sludge byproduct of the treatment process complies with the parameters established in current regulations for final disposal in application to the soil.

Keyword: Atitlan, wastewater, treatment plants, water quality, heavy metals, sludge, effluent, denitrification, organic matter, active sludge.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua limita la disponibilidad del recurso y restringe las posibilidades de uso. El aumento en su demanda tiene como consecuencia un aumento en el volumen de las aguas residuales, cuya descarga sin un adecuado manejo que contemple su recolección y tratamiento, contribuye con el deterioro del entorno y de fuentes superficiales, situación que puede crear inconvenientes asociados a la disponibilidad del recurso hídrico (Donado, 2013).

Al ejecutar y poner en funcionamiento las unidades adecuadas para el manejo y tratamiento de las aguas residuales, es necesario analizar su eficiencia y dar el mantenimiento para su adecuado funcionamiento (CEPIS, 1991).

Se deben realizar un conjunto de acciones que el ente generador debe implementar para mejorar su

¹ lrodolfocastro@gmail.com jicifuentes@ing.usac.edu.gt Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “PTAR LOS CEBOLLALES”, EN EL MUNICIPIO DE PANAJACHEL, DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ, GUATEMALA

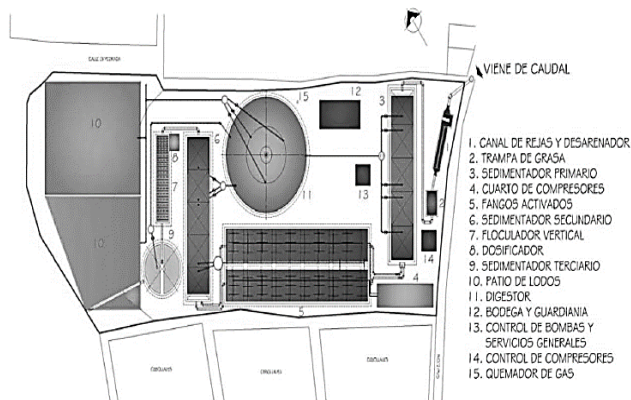
Fecha enviada: Enero 2025

Fecha corregida: 5 mayo 2025

desempeño ambiental con el objeto de cumplir con los límites máximos permisibles y las metas que el Acuerdo Gubernativo No. 12-2011 estipula para las descargas en la Cuenca del Lago de Atitlán.

En el presente artículo se evalúan y proponen las acciones que la Municipalidad de Panajachel como administrador de la Planta de tratamiento de aguas residuales del área urbana del municipio debe implementar para cumplir con el reglamento de las descargas.

Figura 1: Flujograma Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Los Cebolles



Fuente: Estudio Técnico de Aguas Residuales, Municipalidad de Panajachel, 2018.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

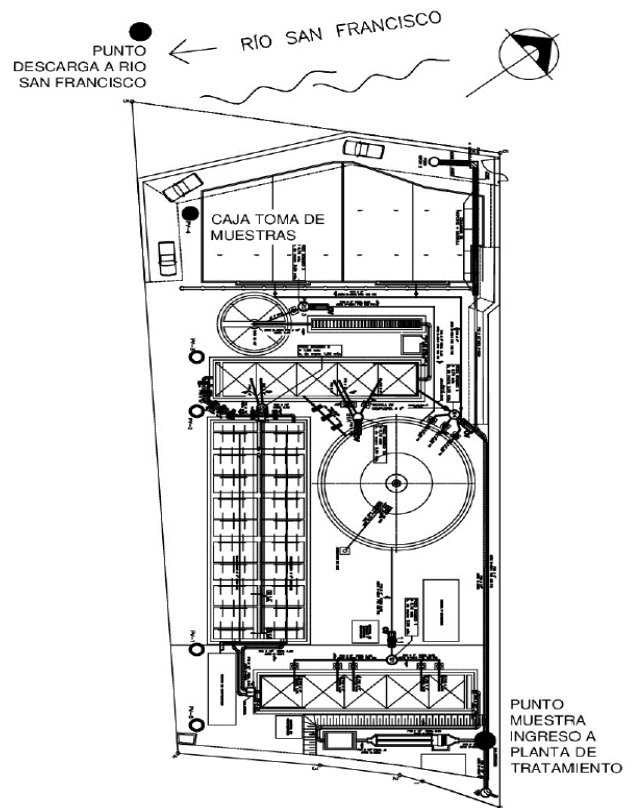
El municipio de Panajachel, Sololá cuenta con una Planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) diseñada para un caudal de 37.5 L/s, la cual opera a un 50% de su capacidad correspondiente a 19 L/s. Las aguas que se tratan son aguas domésticas y comerciales de las 2,155 conexiones al alcantarillado municipal. (Municipalidad de Panajachel, 2018). Durante los últimos monitoreos realizados por el ente rector de la cuenca del lago de Atitlán, AMSCLAE se ha demostrado que el efluente de planta de tratamiento descargado al cuerpo receptor Río San Francisco, no cumple con lo establecido en la normativa vigente para los parámetros relacionados con materia orgánica y macronutrientes (AMSCLAE, 2016) y además se desconoce las características de los lodos residuales subproducto del proceso de tratamiento. Por lo que se debe de evaluar la eficiencia de la PTAR “Los Cebolles”, caracterizar los lodos residuales y recomendar las medidas de

mitigación que contribuyan al mejoramiento del sistema de tratamiento.

METODOLOGÍA

Se procedió con un protocolo de toma de muestras de aguas residuales y lodos los cuales fueron analizados en un laboratorio nacional certificado con su respectiva firma de profesional colegiado activo. Se realizó una interpretación de resultados obtenidos a partir de los análisis de laboratorio, se evaluó la eficiencia del sistema de tratamiento y se proponen medidas de mitigación considerando la naturaleza de la actividad del ente generador, en este caso para aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento del municipio de Panajachel, departamento de Sololá, para así cumplir con el Acuerdo Gubernativo No. 12-2011, de la Cuenca del Lago de Atitlán (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2011).

Figura 2: Puntos de Monitoreo Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Los Cebolles



Fuente: Estudio Técnico de Aguas Residuales, Municipalidad de Panajachel, 2018.

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “PTAR LOS CEBOLLALES”, EN EL MUNICIPIO DE PANAJACHEL, DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ, GUATEMALA

Fecha enviada: Enero 2025

Fecha corregida: 5 mayo 2025

RESULTADOS

Las muestras de agua residual fueron analizadas por el laboratorio Ecoquimsa, en cumplimiento al artículo 12 “Límites máximos permisibles para descargas a Ríos, Riachuelos, Quebradas y Zanjones” del Acuerdo Gubernativo 12-2011, obteniendo lo siguiente:

Fecha de caracterización: 10 de junio de 2019, a las 11:00 horas.

Tabla 1: Resultados análisis fisicoquímico Efluente PTAR Los Cebollales

Parámetro	Dimensionales	Artículo 12 Acuerdo 12-2011	Resultado	ESTADO
Color Aparente	u Pt-Co	300	39.00	cumple
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	50	978	no cumple
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	100	1,460	no cumple
Relación DQO/DBO	---	---	1.5	---
Fósforo total	mg/L	5	3.90	cumple
Grasas y aceites	mg/L	10	< 5	cumple
Materia flotante	--	Ausente	Ausente	Cumple
Nitrógeno total	mg/L	10	22.90	No cumple
pH	--	6-9	7.10	cumple
Sólidos sedimentables	mg/L	---	1.0	---
Sólidos suspendidos	mg/L	60	46	cumple
Coliformes fecales	mg/L	<10,000	7,000,000	no cumple

Fuente: Resultados de Análisis Laboratorio Ecoquimsa, Código: 19-2863-1

Las muestras de agua residual fueron analizadas por el laboratorio Ecoquimsa, en cumplimiento al artículo 15 “Límites máximos permisibles para entes generadores de metales pesados y cianuro total” del Acuerdo Gubernativo 12-2011, obteniendo lo siguiente:

Fecha de caracterización: 10 de junio de 2019, a las 11:00 horas

Tabla 2: Resultados análisis de metales y cianuro Efluente PTAR Los Cebollales

Parámetro	Dimensional	Artículo 15 Acuerdo 12-2011	Resultado	ESTADO
Arsénico	mg/L	0.1	0.0083	cumple
Cadmio	mg/L	0.1	< 0.009	cumple
Cianuro total	mg/L	1.0	< 0.0100	cumple
Cobre	mg/L	0.5	0.039	cumple
Cromo (VI)	mg/L	0.1	< 0.020	cumple
Mercurio	mg/L	0.01	< 0.00080	cumple
Níquel	mg/L	0.5	< 0.160	cumple
Plomo	mg/L	0.1	< 0.065	cumple
Zinc	mg/L	1.0	0.459	cumple

Fuente: Resultados de Análisis Laboratorio Ecoquimsa, Código: 19-2863-1

Las muestras de agua cruda y tratada fueron analizadas por el laboratorio Ecoquimsa, calculándose los %remoción para cada parámetro:

Fecha de caracterización: 10 de junio de 2019, a las 11:00 horas

Tabla 3: Remoción de contaminantes PTAR Los Cebollales

Parámetro	Dimensionales	Agua Cruda	Agua Tratada	%Remoción
Color Aparente	u Pt-Co	68.00	39.00	42.6
DBO	mg/L	181	978	-440.3*
DQO	mg/L	272	1,460	-436.8*
Relación DQO/DBO	---	1.5	1.5	---
Fósforo total	mg/L	6.00	3.90	35.0
Grasas y aceites	mg/L	10	< 5	>50.0
Materia flotante	--	Ausente	Ausente	---
Nitrógeno total	mg/L	39.30	22.90	41.7
pH	--	7.00	7.10	---
Sólidos sedimentables	mg/L	6.0	1.0	83.3
Sólidos suspendidos	mg/L	410	46	88.8
Coliformes fecales	mg/L	540,000	7,000,000	-19.5*
Arsénico	mg/L	0.0080	0.0083	-3.7*
Cadmio	mg/L	< 0.009	< 0.009	---
Cianuro total	mg/L	<0.0100	< 0.0100	---
Cobre	mg/L	0.051	0.039	23.5
Cromo (VI)	mg/L	< 0.020	< 0.020	---
Mercurio	mg/L	<0.00080	<0.00080	----
Níquel	mg/L	< 0.160	< 0.160	----
Plomo	mg/L	< 0.065	< 0.065	----
Zinc	mg/L	0.511	0.459	10.2

*Remociones “negativas” = aumento en la concentración

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “PTAR LOS CEBOLLALES”, EN EL MUNICIPIO DE PANAJACHEL, DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ, GUATEMALA

Fecha enviada: Enero 2025

Fecha corregida: 5 mayo 2025

Fuente: Resultados de Análisis Laboratorio
Ecoquimsa, Código: 19-2863-1,-2

CONCLUSIONES

Las muestras de lodos subproducto del proceso de tratamiento de aguas fueron analizadas por el laboratorio del Ministerio de Energía y Minas, en cumplimiento al artículo 42 “Límites máximos permisibles para Lodos” del Acuerdo Gubernativo 236-2006, obteniendo lo siguiente:

Fecha de caracterización: 9 de agosto de 2018.

Tabla 4: Remoción de contaminantes PTAR Los Cebollales

Descripción	*Límite de detección (mg/kg)	Resultados en forma elemental	Artículo 42 Acuerdo 236-2006 Aplicación al Suelo	ESTADO
Plata (mg/kg)		3	---	---
Aluminio %masa		4.68	---	---
Arsénico (mg/kg)		35	50	cumple
Bario (mg/kg)		543	---	---
Bismuto (mg/kg)	10	No detectable	---	---
Calcio %masa		3.75	---	---
Cadmio (mg/kg)		3	50	cumple
Cobalto (mg/kg)	3	No detectable	---	---
Cromo (mg/kg)		57	1500	cumple
Cobre (mg/kg)		103	---	---
Hierro %masa		1.69	---	---
Potasio %masa		0.93	---	---
Litio (mg/kg)		20	---	---
Magnesio %masa		0.62	---	---
Manganeso %masa		387	---	---
Sodio %masa		0.85	---	---
Níquel (mg/kg)		15	---	---
Plomo (mg/kg)		54	500	cumple
Estroncio (mg/kg)		150	---	---
Zinc %masa		0.18	---	---
Fósforo %masa		0.72	---	---
Mercurio (mg/kg)	5	No detectable	25	cumple

*Metodología: Espectrometría de Emisión Óptica

Fuente: Resultados de Análisis Laboratorio
Ministerio de energía y minas Orden No. L-181-19

1. El efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales Los Cebollales, no cumple con los límites máximos permisibles en los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Nitrógeno total y Coliformes fecales, según la normativa vigente para la cuenca del Lago de Atitlán.
2. El efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales Los Cebollales, cumple con los límites máximos permisibles en los parámetros de metales pesados y cianuro, los cuales se encuentran en concentraciones por debajo del límite de detección o en cantidades trazas, por lo que se pueden considerar aguas técnicamente de tipo ordinarias, según la normativa vigente para la cuenta del Lago de Atitlán.
3. La planta de tratamiento de aguas residuales Los Cebollales, presenta una ineficiencia en los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes fecales y Arsénico los cuales tienden a concentrarse posterior al proceso de tratamiento.
4. La ineficiencia que presenta la planta de tratamiento de aguas residuales Los Cebollales, puede atribuirse principalmente a que los difusores de burbuja fina en la unidad aeróbica de tratamiento secundario se encuentran rotos o dañados, lo que imposibilita la oxidación de la materia orgánica; así mismo no se está aplicando la dosificación adecuada de hipoclorito de sodio para hacer efectiva la desinfección de las bacterias de origen fecal.
5. La planta de tratamiento de aguas residuales Los Cebollales, posee una buena eficiencia (>80%) en cuanto a remoción de sólidos suspendidos y sólidos sedimentables, por lo que se considera que las unidades de Sedimentador Primario y Secundario funcionan adecuadamente.
6. Se recomienda mejorar la tasa de recirculación en el retorno de lodos activos y de licor de mezcla para aumentar la eficiencia del proceso de desnitrificación hasta valores menores o iguales a 10 mg/L como lo establece el Reglamento.
7. Los lodos residuales subproducto del proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTAR los Cebollales, cumplen con lo establecido en la normativa vigente para ser aplicados al suelo en su disposición final.

Canalización del Conocimiento Científico

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “PTAR LOS CEBOLLALES”, EN EL MUNICIPIO DE PANAJACHEL, DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ, GUATEMALA

Fecha enviada: Enero 2025

Fecha corregida: 5 mayo 2025

AGRADECIMIENTOS

Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas - CESEM-, Proyecto AGUA FUTURA Cooperación Italiana, Proyecto FODECYT 07-2018.

REFERENCIAS

1. APHA (2005) “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 21st ed. American Public Health Association, Washington, DC. 874 pp.
2. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (2016) “Informe de Muestreo de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de la Cuenca del Lago de Atitlán 2012-2016”, Departamento de Investigación y calidad Ambiental, Sololá, Guatemala. 25 pp.
3. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (1991) “Manual de Disposición de Aguas Residuales” Tomo I, Lima, Perú. 1,002 pp.
4. Donado, Roger (2013) Plan de Gestión para lodos generados en PTAR-D de los municipios de Cumaral y San Martín de los Llanos departamento del Meta”, Tesis, Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Colombia. 86 pp.
5. Metcalf & Eddy (2004), Wastewater Engineering. Treatment and Reuse. McGraw Hill: USA, Fourth Edition. 1459 pp.
6. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2011), Reglamento de Descargas de Aguas Residuales en la Cuenca del Lago de Atitlán”, Acuerdo Gubernativo No. 12-2011, Guatemala. 11 pp.
7. Municipalidad de Panajachel (2018) “Estudio Técnico de Aguas Residuales”, Sololá, Guatemala. 133 pp.
8. Galvín, Rafael Marín, Rodríguez Mellado, José Miguel (1999) *Fisicoquímica De Aguas*”, Ediciones Diaz de Santos S.A., España. 492 pp.
9. Oliva, B., Pérez, J.F., Valladares, B. (2011) Evaluación de la Eutrofización en los Lagos Atitlán y Petén Itzá de Guatemala. En XIII Congreso Brasileiro de Limnología. Natal, septiembre de 2011. 54 pp.
10. Romero Rojas, J. A. (2010). Tratamiento de aguas residuales Teoría y principios de diseño. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1233 pp.