



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL-DICA-

**INFORME DE MUESTREO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA
DEL LAGO DE ATITLÁN 2012-2016**

Responsable: Licda. Flor Mayarí Barreno Ortiz (*Encargada de Laboratorio*); Elsa María Reyes Morales (*Jefe depto. Investigación y Calidad Ambiental*). **Fecha de redacción:** noviembre 2016

INTRODUCCIÓN

La AMSCLAE está facultada para planificar, coordinar y ejecutar en coordinación con las instituciones que corresponda, todos los trabajos que permitan conservar, preservar y resguardar los ecosistemas de la cuenca del Lago de Atitlán, generando los mecanismos necesarios para lograr sus objetivos. De igual forma busca sustentar sus decisiones sobre una base de ciencia y de datos sólidos y actualizados que permitan el desarrollo de políticas y planificación hacia el uso y manejo sustentable del Lago Atitlán y los recursos en su cuenca hidrográfica.

El Departamento de Investigación y Calidad Ambiental (DICA), realiza el muestreo de la calidad de agua de las plantas de tratamiento de aguas residuales que se enmarca en el inciso d) del artículo 13 del Reglamento de Amsclae (Acuerdo Gubernativo 78-2012): *“Evaluar el cumplimiento y el efecto de las medidas correctivas que se implementan en las herramientas para el manejo integrado de la cuenca”*. Con base en lo anterior y en el Reglamento de Descargas de Aguas Residuales en la Cuenca del Lago de Atitlán (Acuerdo Gubernativo 12-2011), y al reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos (Acuerdo Gubernativo 236-2006), se efectúan dos muestreos al año, de la calidad de agua de las plantas de tratamiento ubicadas dentro de la cuenca.

De cada muestreo realizado en los años 2016 al 2012, se realizaron informes los cuales se han entregado a las diferentes municipalidades para informar sobre el funcionamiento de las mismas.

ANTECEDENTES

El tratamiento de las aguas residuales, consiste en una combinación de procesos y operaciones físicas, químicas y biológicas, para remover sólidos, materia orgánica y a veces nutrientes (Pescod, 1992). La eficiencia del tratamiento se expresa en términos de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO).

Una planta de tratamiento de aguas residuales normalmente está diseñada para cualquiera de los siguientes niveles de tratamientos:

Pretratamiento, empleado para eliminar material flotante, sólidos gruesos, grasas, arenas y otros materiales grandes (Pescod, 1992).

Tratamiento primario, empleado para remover una fracción significativa de materia orgánica particulada (Sólidos suspendidos sedimentables), lo que contribuyen a la reducción de DBO.

Tratamiento secundario, el propósito de este tratamiento es oxidar la DBO biodegradable que escapa al tratamiento primario (Karia y Christian, 2006)

Tratamiento Terciario, es empleado para remover aquellos constituyentes o impurezas que no pudieron ser removidas en el tratamiento secundario y que obligatoriamente deben de ser removidas, entre estos los nutrientes (nitrógeno y fósforo) (Davis, 2010). En la cuenca del lago de Atitlán la planta de tratamiento de Panajachel Cebollales I, es de las únicas que cuenta con esta tecnología.

OBJETIVOS

- Evaluar el funcionamiento y eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales dentro de la cuenca del lago de Atitlán.
- Proporcionar información a las municipalidades y al departamento de saneamiento ambiental de la AMSCLAE, para implementar mantenimiento, remozamiento e incluso la modificación en algún componente de la planta y cualquier otro tipo de solución a problemáticas internas y externas de las plantas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

Dentro del plan de muestreo 2016, se incluyeron las plantas de tratamiento (Cuadro 1) que se han venido evaluando desde julio 2012, las cuales se encuentra ubicadas dentro de la Cuenca del Lago de Atitlán (Fig. 1). En cada planta de tratamiento se muestreo el afluente y efluente para calcular el porcentaje de remoción de DBO y DQO.

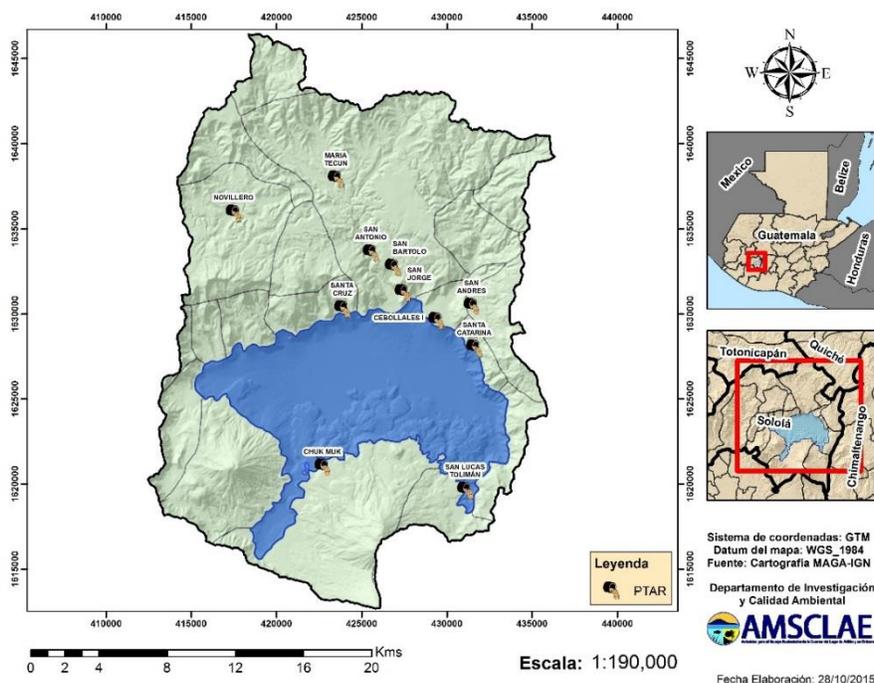


Figura 1. Ubicación de las plantas de tratamiento de aguas residuales dentro de la cuenca del lago de Atitlán, Fuente: DICA - AMSCLAE, 2015

Cuadro 1. Listado y tipo de tecnología de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la cuenca del lago de Atitlán. (DICA/AMSCLAE, 2015)

No.	Planta de tratamiento	Municipio	Tecnología*					
			RAFA	Tanque Imhoff	Laguna Facultativa	Fosa Séptica	Lodos Activados de Aireación Extendida	Lodos Activados de Aireación Convencional
1	Novillero	Sta Lucía Utatlán						
2	María Tecún	Sololá						
3	Barrio Sn Bartolo							
4	Barrio Sn Antonio							
5	Sn Jorge la Laguna							
6	Cebollales I	Panajachel						
7	Sta Catarina Palopó	Sta Catarina Palopó						
8	Sn Andrés Semetabaj	Sn Andrés Semetabaj						
9	Sta Cruz la Laguna	Sta Cruz La Laguna						
10	Chuk Muk	Santiago Atitlán						
11	San Lucas Tolimán	San Lucas Tolimán						

Materiales

- Hoja de registro
- Agua desmineraliza
- Agua ultrapura
- Hielera
- Frascos de vidrio ambar y transparente
- Frascos de plástico
- Guantes de neopreno
- Marcadores
- Combustible
- Reactivos

Equipo de laboratorio

- Espectrofotómetro UVVIS
- Fotómetro Nova 60
- Termo reactor TR 420
- Autoclave tipo olla 6.25gal
- Horno de convección
- Micro pipetas de diferentes volúmenes
- Balanza analítica Scientech
- Bomba de vacío
- Refrigerador
- Campa de extracción de gases
- Purificador de agua
- Incubadora Análoga
- Sistema de Oxitop
- Mesa Anti vibración
- Desecador de reactivos
- Agitador eléctrico
- Computadora
- Picetas

Equipo de Campo

- Sonda de Oxígeno Hach HQ40D
- Sonda de Conductividad Hach HQ40D
- Sonda de pH WTW 330i
- Cámara fotográfica
- Vehículo
- Lancha

Frecuencia de muestreo.

En coordinación con el departamento de Saneamiento Ambiental, durante el 2016, se realizaron dos muestreos en las 11 plantas de tratamiento. Uno en época seca y otro en época lluviosa.

Durante el 2015, se realizaron dos muestreos en las 11 plantas de tratamiento. En época seca y lluviosa. En el 2014, se muestreo en época seca y lluviosa, las 10 plantas de tratamiento y el humedal artificial ubicado en el municipio de San Lucas Tolimán. En el 2013, se muestreo una vez en época lluviosa las plantas de tratamiento y 12 veces la planta de tratamiento del municipio de Panajachel, debido a un acuerdo con la municipalidad. En el año 2012, en época lluviosa se muestrearon ocho plantas de tratamiento de las once actuales, ya que la planta de tratamiento del municipio de Panajachel se inauguró en 2013 y la planta de tratamiento del municipio de Santa Cruz la Laguna se rehabilitó en el 2013.

Tipo de muestra

La muestra simple, es aquella muestra tomada en una sola operación, proporcionando información sobre la calidad en un punto y momento dado (Acuerdo Gubernativo 12-2011). La muestra compuesta, se refiere a dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para re-uso o lodos (Acuerdo Gubernativo 12-2011).

En el 2016 durante los dos muestreos, se tomaron muestras semicompuestas con una duración de 4 hrs, en cada planta de tratamiento. En el primer muestreo del 2015, se tomaron muestras compuestas con una duración de 7 hrs, por planta de tratamiento. En el segundo muestreo se tomaron muestras simples. Durante los años 2012-2014, se tomaron muestras simples.

Recolección de muestras

En cada planta de tratamientos se tomaron datos *in situ* de los parámetros (Oxígeno disuelto, Saturación de Oxígeno, pH, Temperatura, Conductividad eléctrica, Sólidos disueltos totales). Adicionalmente se recolectaron muestras de agua para realizar los análisis de los siguientes parámetros en el laboratorio: Físicos (Sólidos Totales en Suspensión, Turbidez, Color aparente y Color Verdadero), Químicos (Fósforo Total, Nitrógeno Total, DBO y DQO) y Microbiológico (Coliformes totales y E. Coli).

Muestras para análisis microbiológico Las muestras fueron recolectadas en recipientes plásticos previamente esterilizados y transportadas en cadena de frío a 4°C, en hielera. Las muestras fueron procesadas inmediatamente al ingresar al laboratorio ya que no pueden ser almacenadas para su posterior análisis por más de 24 hrs. Las muestras del muestreo de época seca se diluyeron 1:100, con el objetivo de disminuir la carga bacteria y poder obtener resultados más exactos. Las muestras del muestreo de época lluviosa se diluyeron 1:1000 y 1:10000.

Muestras para análisis físicos y químicos Las muestras fueron recolectadas en recipientes de vidrio previamente lavados y transportadas previamente a su análisis en cadena de frío a una temperatura de 4°C en hielera. El análisis de nutrientes se realizó 24 hrs, después de tomada la muestra. El análisis de DQO y DBO, se realizó el mismo día de la toma de muestra. Los TSS, turbidez, color aparente y color verdadero, fueron analizados al tercer día posterior a la toma de muestras.

Antes de llenar los recipientes de vidrio con la muestra, este se lavó tres veces con la muestra, excepto cuando el envase contenía un conservante o un declarante. Según el análisis, se llenó el envase por completo (análisis orgánicos), o se dejó un espacio vacío para aireación (análisis microbiológicos).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las plantas de tratamiento ubicadas dentro de la cuenca del lago de Atitlán a excepción de la planta de tratamiento de Panajachel están diseñadas para realizar la sedimentación y degradación de la materia orgánica, por lo que la eficiencia del tratamiento se expresa en términos de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO). Por lo anterior se esperaría que la mayoría de plantas de tratamiento no cumplan con la normativa en cuanto a remoción de nutrientes y que tengan un impacto sobre los cuerpos receptores. En los cuadros 2 y 3 se reportan los resultados del efluente y en colores se indica si cumple o no con la normativa del Acuerdo Gubernativo No. 12-2011.

Según los resultados del muestreo realizado durante el 2016 en época seca, la planta de tratamiento del municipio de Santa Catarina Palopó, cumple con la normativa del Acuerdo Gubernativo No. 12-2011, para los parámetros de T°, pH, DQO, fósforo total, nitrógeno total, color aparente y sólidos en suspensión, en época lluviosa cumple con los parámetros de T°, Ph, DBO, DQO, fósforo total, color aparente y sólidos en suspensión. La planta de tratamiento del municipio de Panajachel cumple con la normativa en el parámetro de fósforo total, según los resultados obtenidos de los dos muestreos realizados. La planta de tratamiento del Chuk Muk (Santiago Atitlán), cumple con lo establecido en la normativa en el muestreo realizado en época seca en los parámetros de T°, DBO, fósforo total, nitrógeno total, sólidos en suspensión, en época lluviosa en los parámetros de T°, pH, DBO, fósforo total, nitrógeno total y sólidos en suspensión.

Según los resultados de los dos muestreos realizados durante el 2015, en época seca y en época lluviosa, la planta de tratamiento del municipio de Santa Catarina Palopó, cumple con la normativa del Acuerdo Gubernativo No. 12-2011, para los parámetros de pH, DBO, DQO, fósforo total, nitrógeno total, color aparente y sólidos en suspensión. La planta de tratamiento del municipio de Panajachel cumple con la normativa en el parámetro de fósforo total, según los resultados obtenidos durante el muestreo realizado en época lluviosa. (Anexo 3 y 4)

Durante el 2014, según los resultados, la planta de tratamiento de Santa Catarina Palopó cumple con la normativa en los parámetros de fósforo total y nitrógeno total. La planta de tratamiento del municipio de Panajachel cumple durante este mismo año únicamente en el parámetro de fósforo total. Al igual que las plantas de tratamiento de Novillero del municipio de Santa Lucía Utatlán, y la planta de San Andrés Semetabaj. (Anexo 1 y 2)

Cuadro 2. Resultados del muestreo realizado en época seca durante el 2016. (DICA – AMSCLAE, 2016).

No.	Parámetros	Norma (Artículo 11, Ac. Gub.#. 12-2011)	PTAR		Norma (Artículo 12, Ac. Gub.#. 12-2011)	PTAR								PTAR Chukmuk (Santiago Atitlán)
			Sta. Cararina Palopó	Sm. Lucas Tolimán		Novillero	Ma. Tecún	Barrio San Barolo	Barrio San Antonio	Sn Jorge la Laguna	Panajachel	Sta. Cruz la Laguna	Sn Andrés Semetabaj	
1	Temperatura	TRC +/- 3°	23.18	23.58	TRC +/- 7°	20.02	20.27	20.2	21.3	20.02	26.4	21.78	22	25.72
2	Potencial de Hidrógeno	6-9	7.61	7.51	6-9	7.35	7.41	7.71	7.43	7.37	7.35	6.88	7.22	9.80
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅	30	39.4	107	50	113	95.8	62	101	>800	130	394	>800	28.2
4	Demanda Química de Oxígeno, DQO	60	37	304	100	333	245.6	147.3	212	563.3	248.3	657.3	261.6	115
5	Fósforo Total	3	0.5	3.13	5	5.5	7.81	6.57	8.2	14.93	4.06	9.27	4.35	1.34
6	Nitrógeno Total	5	2	7	10	26	32	38	44	69	17.6	33	15	3
7	Color Aparente	400	103.6	1650.3	300	1908.6	697	340	799.3	2010.66	1455.6	2333	1173.3	307.3
8	Sólidos en Suspensión	40	7	136.6	60	130.91	45	39.2	42.4	243.3	73.3	1.65	52.5	23.3
9	Coliformes Fecales	500	43 X 10 ⁴	240 X 10 ⁴	<1x10 ⁴	460 X 10 ⁴	>1100 X 10 ⁴	1100 X 10 ⁴	>1100 X 10 ⁴	>1100 X 10 ⁴	1100 X 10 ⁴	>1100 X 10 ⁴	460 X 10 ⁴	3.6 X 10 ⁴

Verde: Cumple con la normativa, Rojo: no cumple con la normativa

Cuadro 3. Resultados del muestreo realizado en época lluviosa durante el 2015. (DICA – AMSCLAE, 2015).

No.	Parámetros	Norma (Artículo 11, Ac. Gub.#. 12-2011)	PTAR								Norma (Artículo 12, Ac. Gub.#. 12-2011)	PTAR								Norma (Artículo 13, Ac. Gub.#. 12-2011)	PTAR Chuk muk (Santiago Atitlán)
			Novillero	Ma. Tecún	Barrio Sn Bartolo	Barrio Sn Antonio	Sn Jorge la Laguna	Panajachel	Sta. Cruz la Laguna	Sn Andrés Semetabaj		Novillero	Sn. Lucas Tolimán	Sta. Catarina Palopó	Sn. Lucas Tolimán	Barrio Sn Bartolo	Barrio Sn Antonio	Sn Jorge la Laguna	Panajachel		
1	Temperatura	TRC+/ 3*	18.7	19.92	20.57	19.62	19.8	22.45	20.2	19.8	TRC+/ 7*	23.66	22.4	20.57	19.62	19.8	22.45	20.2	19.8	Menor de 25	23.77
2	Potencial de Hidrógeno	6-9	7.76	7.33	7.74	7.35	7.46	7.48	7.04	6-9	7.72	7.59	7.74	7.35	7.46	7.48	7.04	7.41	6-9	8.67	
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅	30	113	98.9	56.5	56.5	169	56.5	282	50	28.2	268	56.5	56.5	169	56.5	282	155	50	28.2	
4	Demanda Química de Oxígeno, DQO	60	374.3	243.6	110.6	216.6	402.6	98.6	391.3	100	31.33	543	110.6	216.6	402.6	98.6	391.3	233.3	100	102.3	
5	Fósforo Total	3	2.57	3.93	2.49	3.09	4.57	1.25	2.45	5	1.71	1.60	2.49	3.09	4.57	1.25	2.45	1.67	5	3.18	
6	Nitrógeno Total	5	27	33	9.3	40	27	13	15.6	10	6	4	9.3	40	27	13	15.6	13	10	9.66	
7	Color Aparente	400	1460	943.6	444	546	1508.3	219	1853.3	300	142.3	2418.6	444	546	1508.3	219	1853.3	1266.3	300	487.3	
8	Sólidos en Suspensión	40	128	48	20	30	130	12	112	60	9	146	20	30	130	12	112	80	60	32	
9	Coliformes Fecales	500	240 X 10 ⁴	1100 X 10 ⁴	460 X 10 ⁴	1100 X 10 ⁴	1100 X 10 ⁴	240 X 10 ⁴	1100 X 10 ⁴	<1x10 ⁴	240 X 10 ⁴	240 X 10 ⁴	460 X 10 ⁴	1100 X 10 ⁴	1100 X 10 ⁴	240 X 10 ⁴	1100 X 10 ⁴	460 X 10 ⁴	<1x10 ⁴	<3 X 10 ⁴	

Verde: Cumple con la normativa, Rojo: no cumple con la normativa

Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es importante resaltar que la eficiencia de las plantas de tratamiento se mide en % de remoción de DBO, este porcentaje no indica que cumpla o no con los límites máximos permisibles según la normativa.

Los resultados obtenidos del muestreo realizado en época seca del 2016, indican que las plantas de tratamiento del municipio de Santa Catarina, del Barrio San Bartolo del municipio de Sololá, y de la aldea Chuk Muk del municipio de Santiago Atitlán, tuvieron un porcentaje de remoción de DQO y DBO mayor al 80% (Fig. 2). Los resultados del muestreo realizado en época lluviosa indican que las plantas de tratamiento de los municipios de Santa Catarina Palopó, de la aldea Chuk Muk del municipio de Santiago Atitlán, y la del municipio de Panajachel, tuvieron un porcentaje de remoción de DQO y DBO mayor al 80% (Fig. 3)

Los resultados obtenidos del 2015, del muestreo realizado en época seca la planta de tratamiento del municipio de Santa Catarina Palopó, tuvo un porcentaje de remoción de DQO y DBO mayor al 80% (Fig. 4). Los resultados del muestreo de la época lluviosa indican que las plantas de tratamiento de los municipios de Santa Catarina Palopó y de la aldea Chuk Muk del municipio de Santiago Atitlán, tuvieron un porcentaje de remoción de DQO y DBO mayor al 80% (Fig. 5). En el 2014, en el muestreo realizado en época seca, las plantas de tratamiento de los municipios de Panajachel, Santa Catarina Palopó y de la aldea María Tecún de Sololá, tuvieron un porcentaje de remoción de DQO y DBO mayor al 80% (Fig. 6). Los resultados del muestreo en época lluviosa indican que las plantas de tratamiento de los municipios de Santa Catarina Palopó, barrio San Bartolo, barrio San Antonio y aldea María Tecún del municipio de Sololá, tuvieron un porcentaje de remoción de DQO y DBO mayor al 80% (Fig. 7). Durante el muestreo en época lluviosa del 2013, las plantas de tratamiento de San Andrés Semetabaj, Santa Catarina Palopó, Santiago Atitlán-Chuk Muk y barrio San Antonio del municipio de Sololá presentaron el mayor porcentaje de remoción de DBO y DQO (Fig. 8). Durante el año 2012, las plantas de tratamiento obtuvieron el mayor porcentaje de remoción de DBO y DQO fueron el barrio San Antonio y Barrio San Bartolo, ambas del municipio de Sololá (Fig. 9).

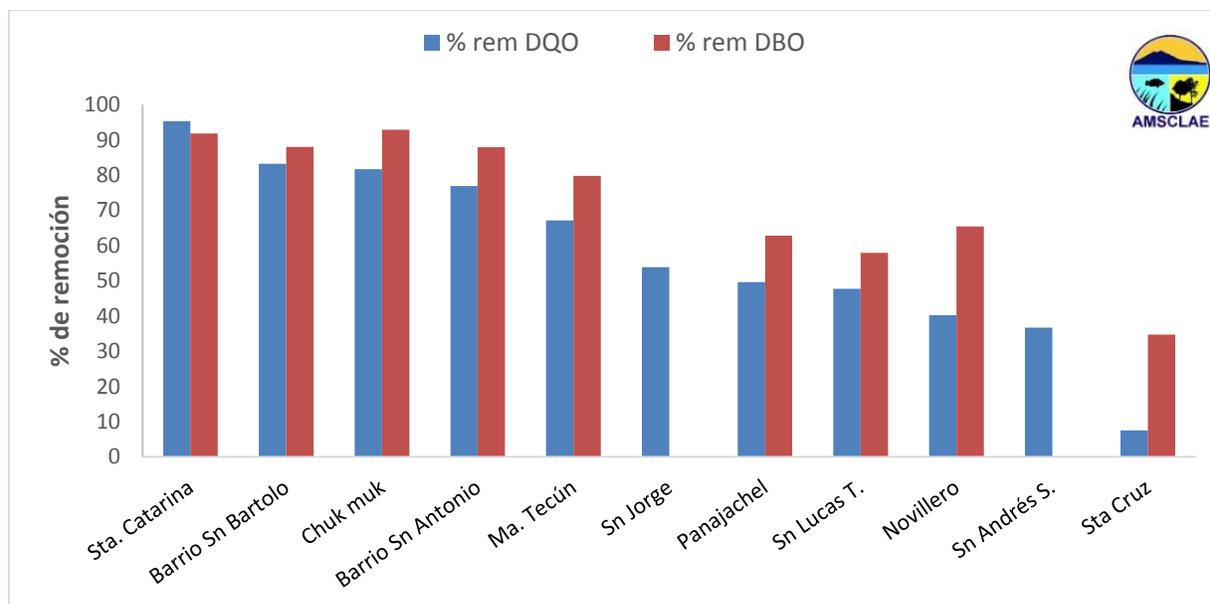


Figura 2. Porcentaje remoción de DQO Y DBO de las aguas residuales de las PTAR de la cuenca, época seca 2016.
(Fuente: DICA - AMSCLAE, 2016).

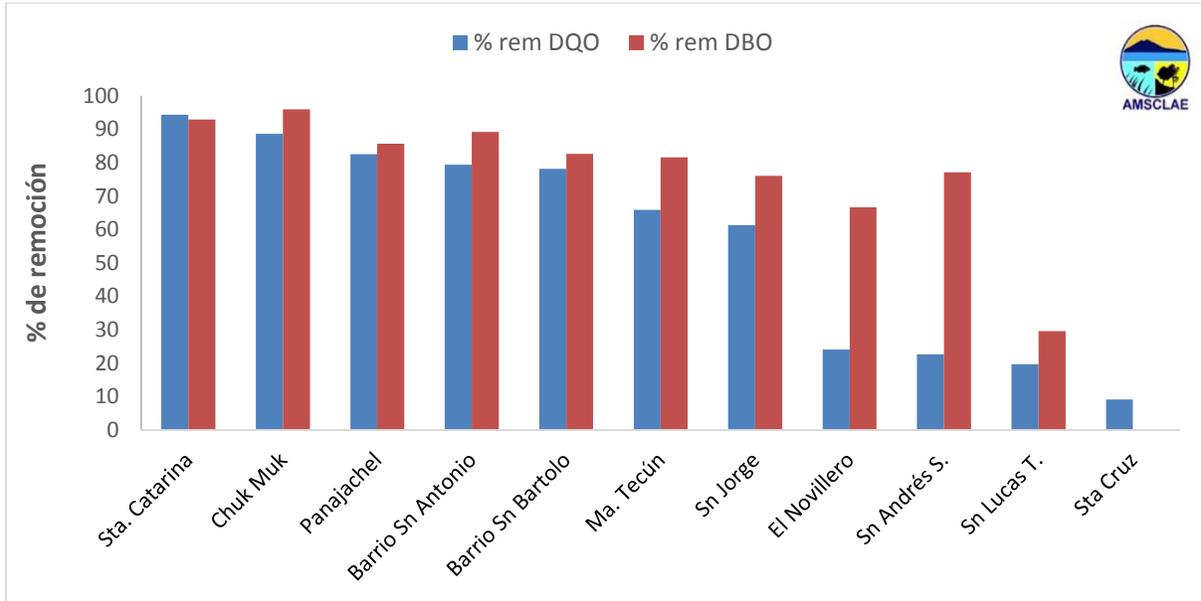


Figura 3. Porcentaje remoción de DBO Y DQO de las aguas residuales de las PTAR de la cuenca, época lluviosa 2016.
(Fuente: DICA – AMSCLAE, 2016)

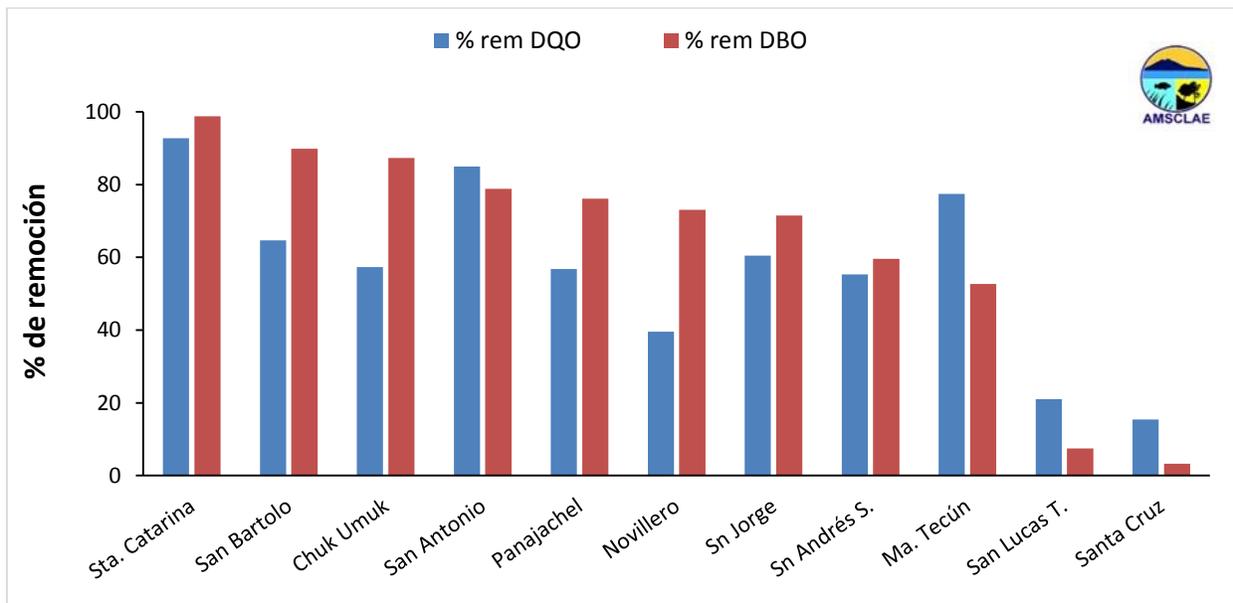


Figura 4. Porcentaje remoción de DQO Y DBO de las aguas residuales de las PTAR de la cuenca, época seca 2015.
(Fuente: DICA – AMSCLAE, 2015).

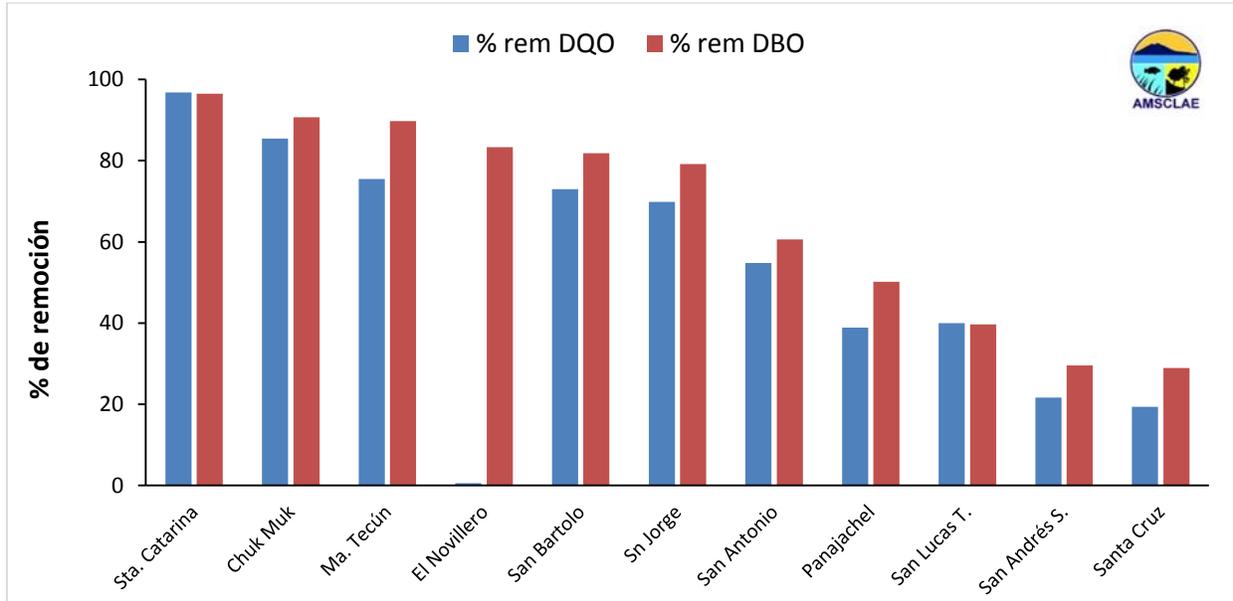


Figura 5. Porcentaje remoción de DBO Y DQO de las aguas residuales de las PTAR de la cuenca, época lluviosa 2015.
(Fuente: DICA – AMSCLAE, 2015)

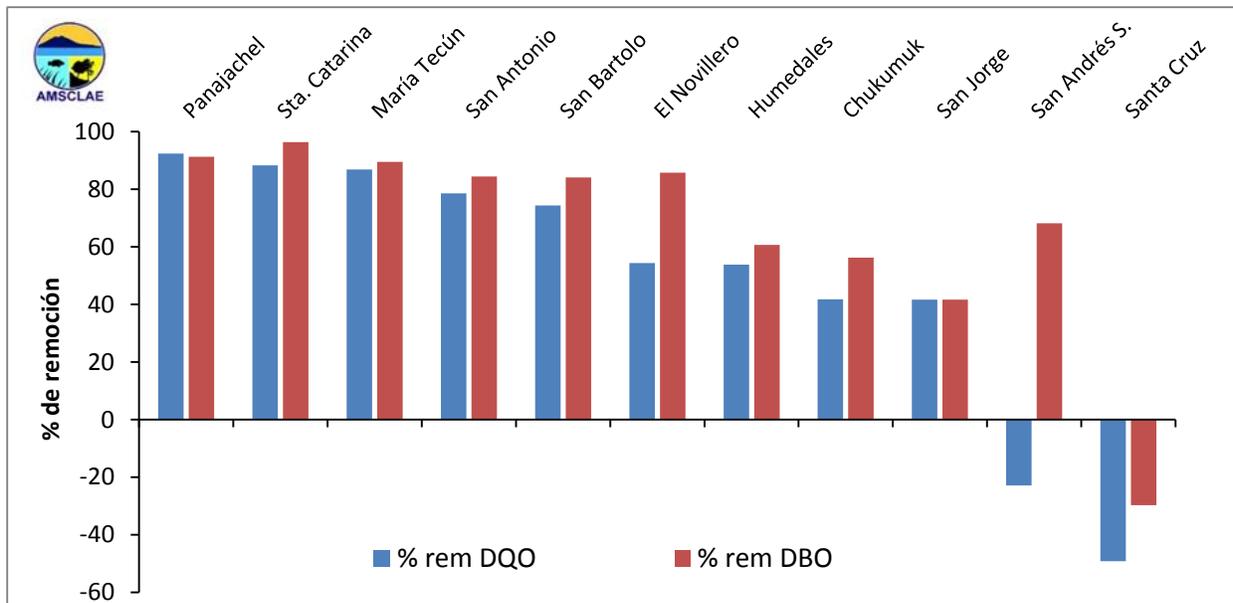


Figura 6. Porcentaje remoción de DBO Y DQO de las aguas residuales de las PTAR de la cuenca, época seca 2014.
(Fuente: DICA – AMSCLAE, 2014).

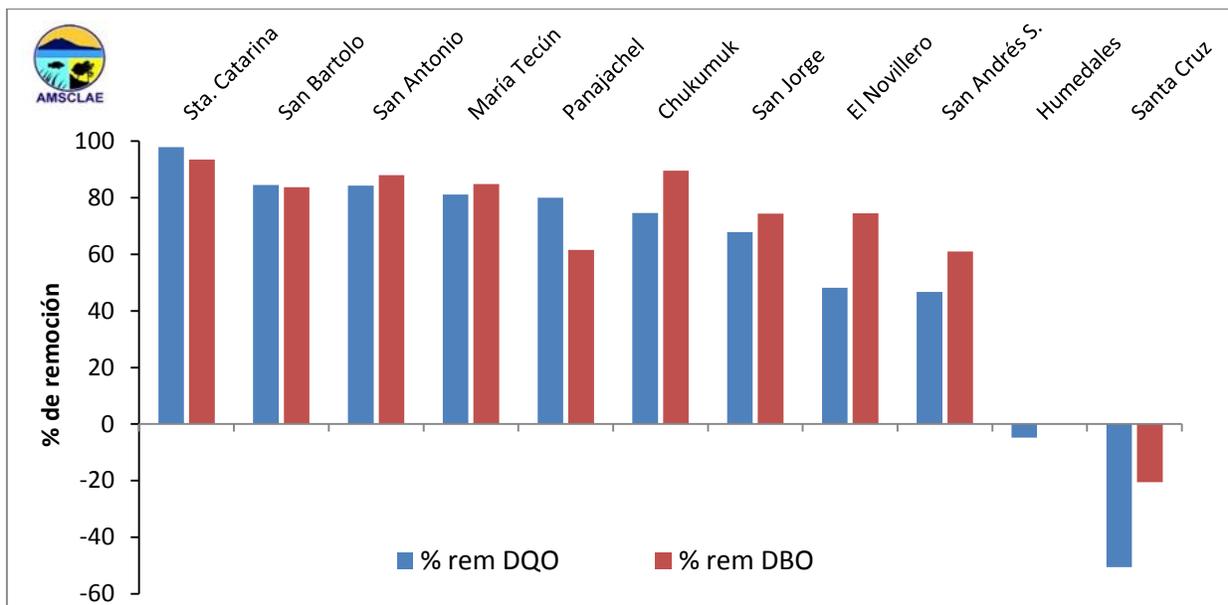


Figura 7. Porcentaje remoción de DBO Y DQO de las aguas residuales de las PTAR de la cuenca, época lluviosa 2014.
(Fuente: DICA – AMSCLAE, 2014)

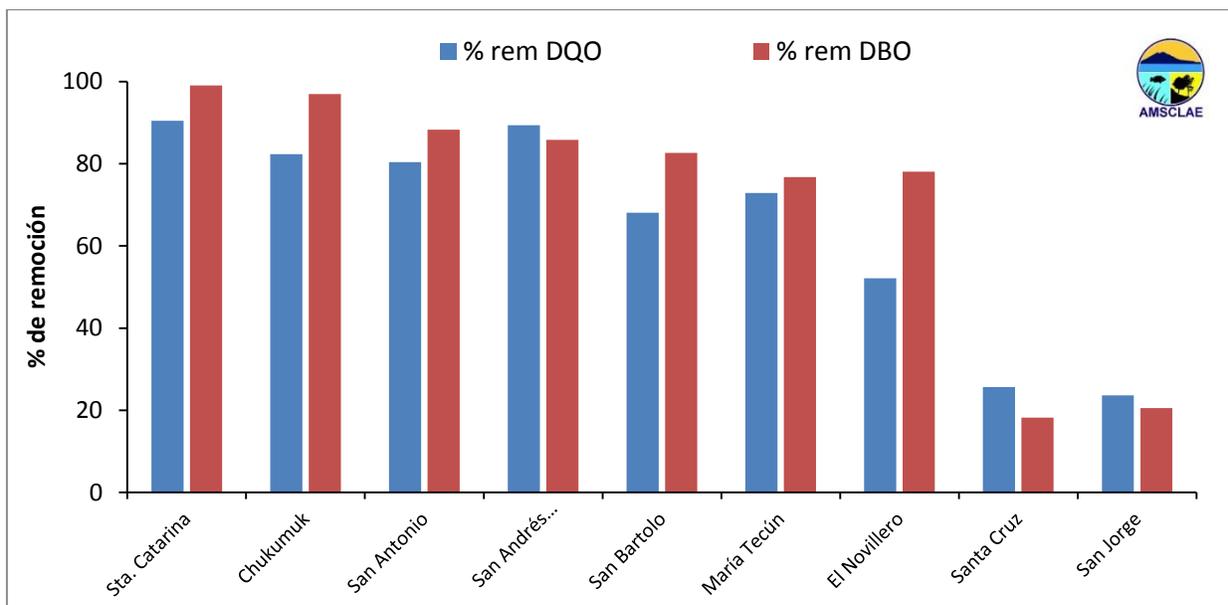


Figura 8. Porcentaje remoción de DBO Y DQO de las aguas residuales de las PTAR de la cuenca, época lluviosa 2013.
(Fuente: DICA – AMSCLAE, 2013).

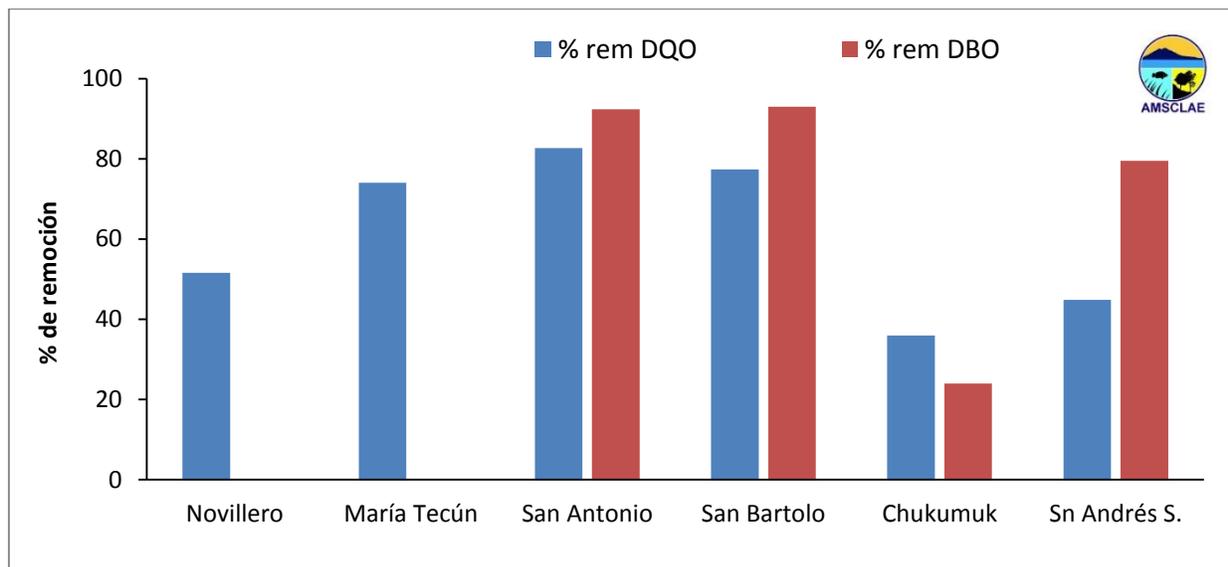


Figura 9. Porcentaje remoción DBO y DQO de las aguas residuales de las PTAR de la cuenca, época lluviosa, 2012.
(Fuente: DICA – AMSCLAE, 2012)

Nutrientes (Fosforo y Nitrógeno)

La planta de tratamiento Cebollales I del municipio de Panajachel, es la única planta que cuenta con un tratamiento terciario químico para tratar el fósforo. Los resultados obtenidos de fósforo total en los dos muestreos realizados durante el 2016, indican que la planta de tratamiento cumplió con los límites establecido en el Acuerdo Gubernativo 12-2011, en su efluente (Fig. 10)

Durante el 2015, las concentraciones de fósforo total en la Ptar de Cebollales I cumplió únicamente en el muestreo realizado en época lluviosa (Fig. 11). Durante el 2014, la planta de tratamiento cumplió con lo establecido en la normativa durante los dos muestreos realizados (Fig. 12). Según los resultados de fósforo total obtenidos del efluente durante el 2013, la planta de tratamiento Cebollales I, cumplió con los valores máximos establecidos en el Ac. Gub. 11-2011 (Fig. 13). En los meses de julio a octubre el cuerpo receptor fue el río San Francisco, por lo que el valor máximo permisible fue de 5mg/L. En los meses de noviembre y diciembre el límite permisible bajo a 3mg/L, debido a que el cuerpo receptor fue el lago de Atitlán.

Durante el 2016, 2015 y 2014, las concentraciones de nitrógeno total en la planta de tratamiento de Cebollales I no cumplieron con los límites máximos permisible según el Ac. Gub. 12-2011 (Fig 14, 15 y 16). Durante el muestreo realizado en época lluviosa en la Ptar de Cebollales I se puede observar que el efluente presentó una mayor concentración que el afluente.

En la figura 17, se pueden observar los resultados de nitrógeno total de los muestreos realizados en julio, septiembre, noviembre y diciembre del año 2012, la planta de tratamiento de Cebollales I no cumplió con el Ac. Gub. 11-2011. Se hace la observación que los valores máximos permisibles cambian de 10mg/L a 5 mg/L debido, a que, a partir de noviembre del 2012, el cuerpo receptor paso a ser el Lago Atitlán. Es importante mencionar que además de no cumplir con lo normativa, la mayoría de las veces el efluente presenta mayor concentración

de nitrógeno total, que el afluente. Este aumento en la concentración de nitrógeno, se debe probablemente al exceso de velocidad al momento de inyectar el oxígeno por medio de los aireadores a los lodos.

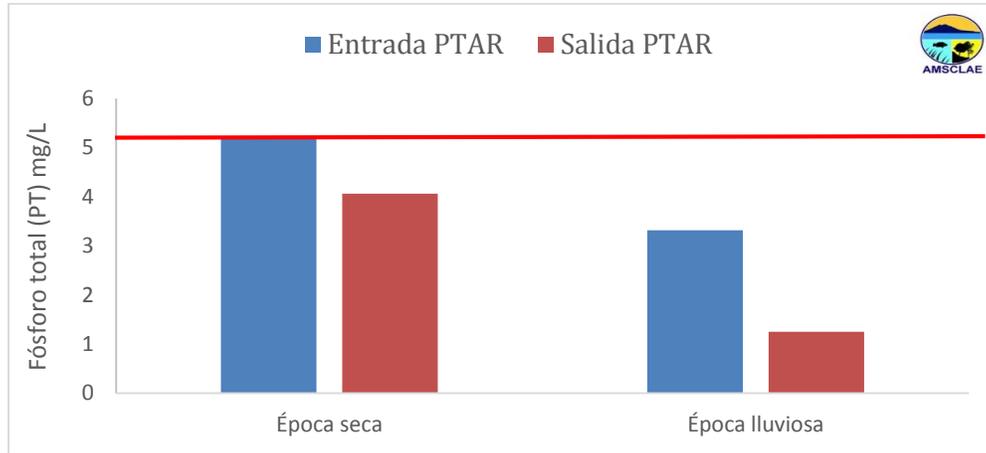


Figura 10. Resumen comparativo de afluente y efluente de fósforo total en la planta Cebollales I, 2016. La línea roja representa la concentración máxima permisible (Ac. Gub. 11-2012). (Fuente: DICA – AMSCLAE, 2016).

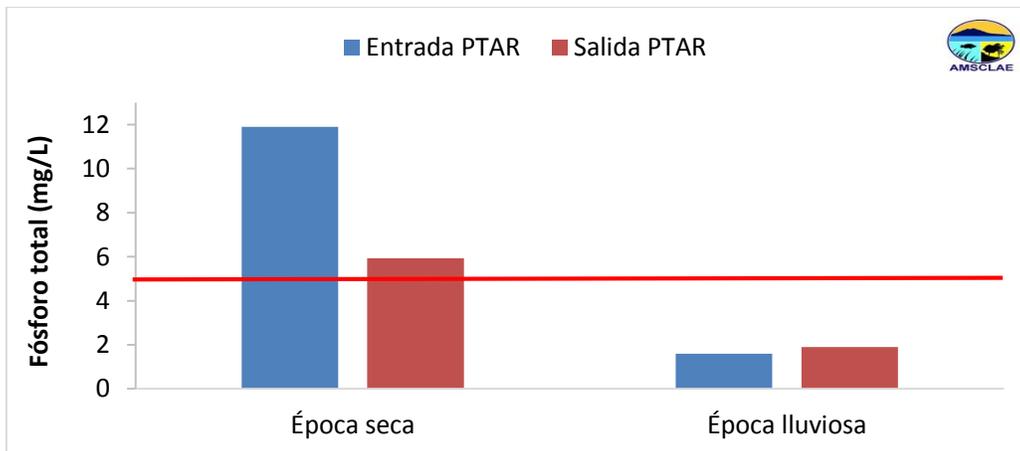


Figura 11. Resumen comparativo de afluente y efluente de fósforo total en la planta Cebollales I, 2015. * La línea roja representa la concentración máxima permisible (Ac. Gub. 11-2012) (Fuente: DICA – AMSCLAE, 2015).

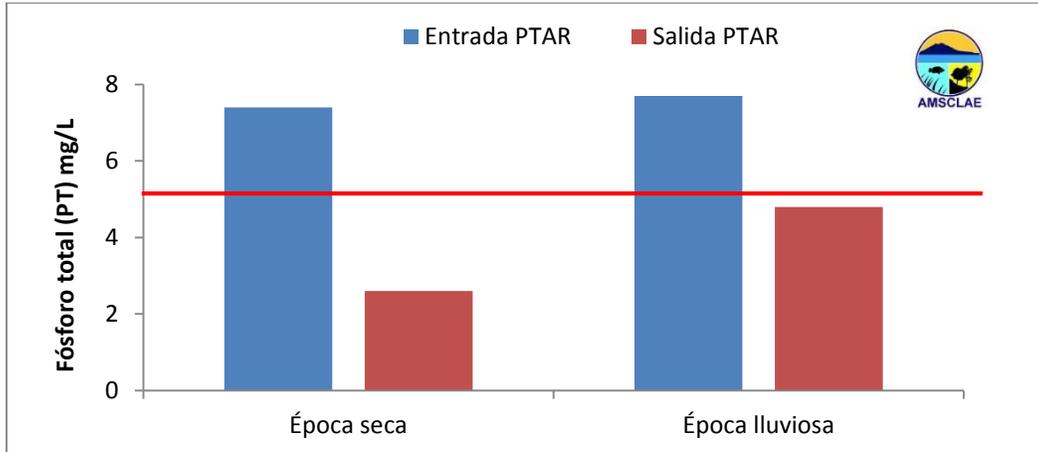


Figura 12. Resumen comparativo de afluente y efluente de fósforo total en la planta Cebollales I, 2014. La línea roja representa la concentración máxima permisible (Ac. Gub. 11-2012) (Fuente: DICA - AMSCLAE, 2014).

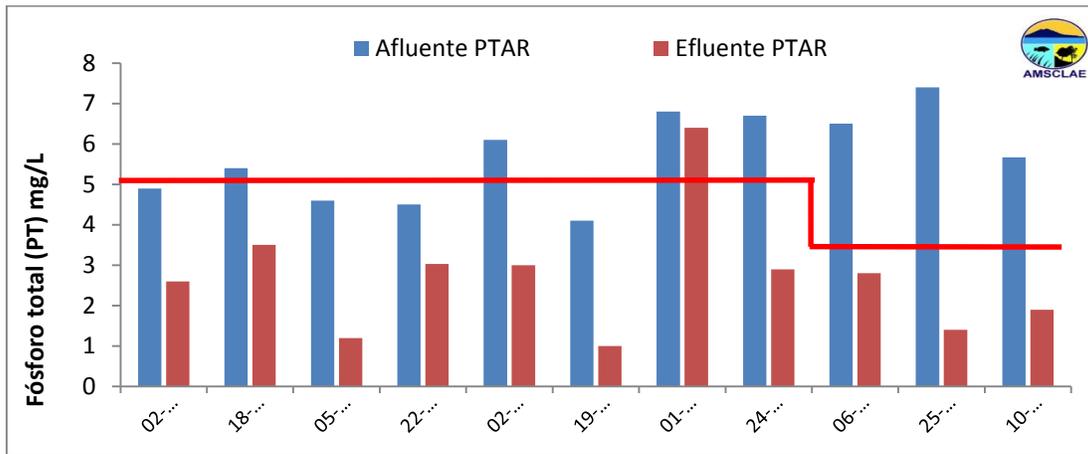


Figura 13. Resumen comparativo de afluente y efluente de fósforo total de la planta Cebollales I, 2013. La línea roja representa la concentración máxima permisible (Ac. Gub. 11-2012) (Fuente: DICA - AMSCLAE, 2013)

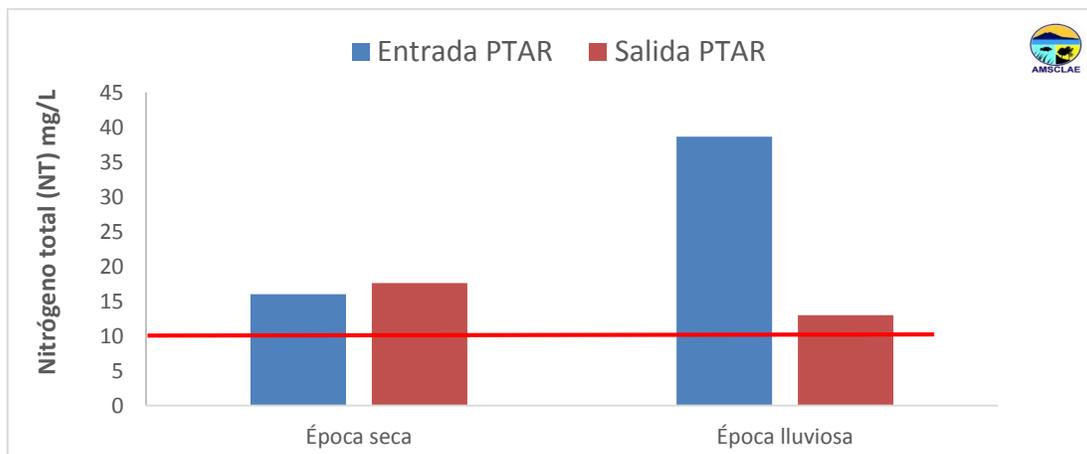


Figura 14. Resumen comparativo de afluente y efluente de nitrógeno total en la planta Cebollales I, 2016. La línea roja representa la concentración máxima permisible (Ac. Gub. 11-2012) (Fuente: DICA - AMSCLAE, 2016).

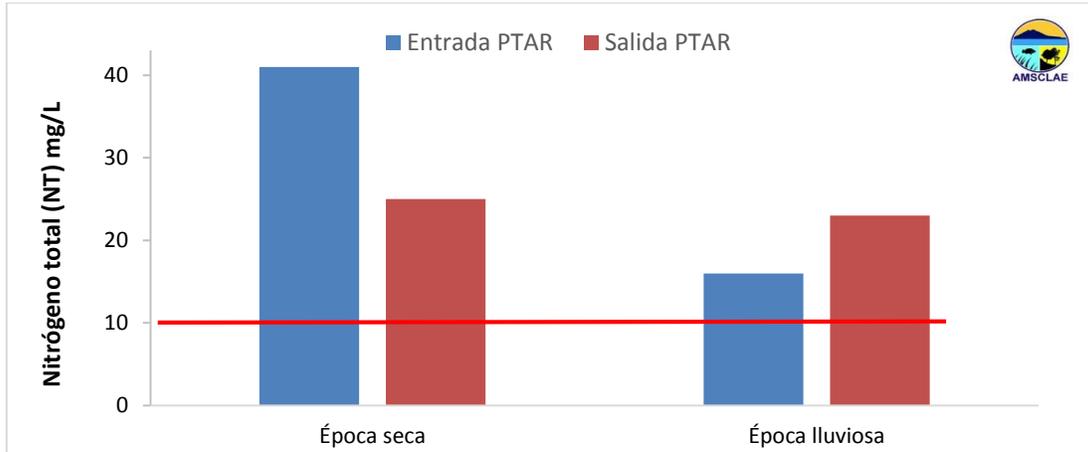


Figura 15. Resumen comparativo de afluente y efluente de nitrógeno total en la planta Cebollales I, 2015. La línea roja representa la concentración máxima permisible (Ac. Gub. 11-2012) (Fuente: DICA – AMSCLAE, 2015).

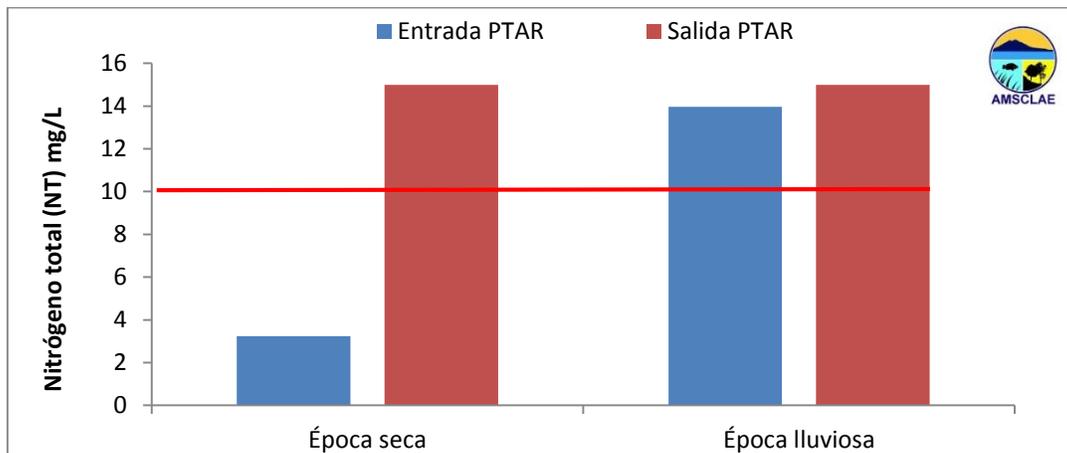


Figura 16. Resumen comparativo de afluente y efluente de nitrógeno total en la planta Cebollales I, 2014. La línea roja representa la concentración máxima permisible (Ac. Gub. 11-2012) (Fuente: DICA – AMSCLAE, 2014).

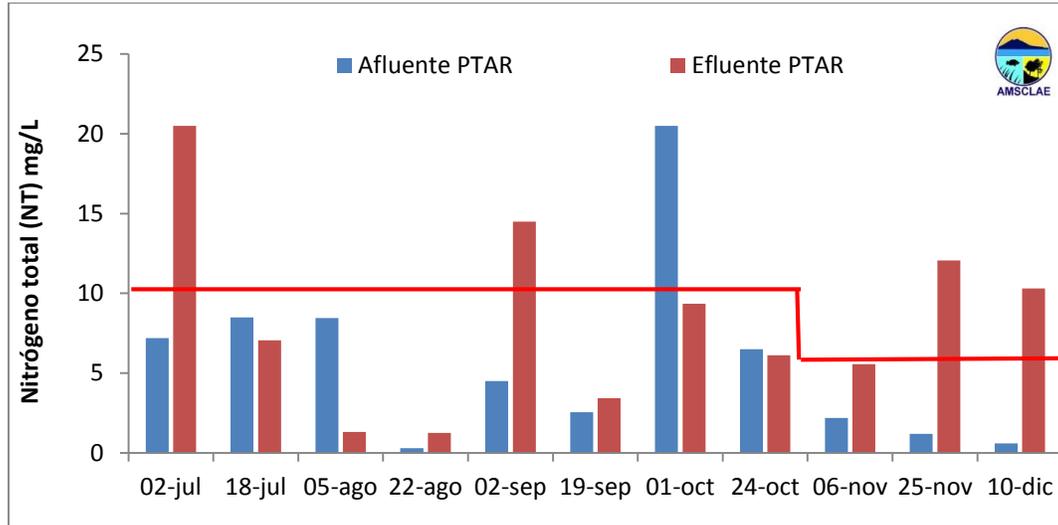


Figura 17. Resumen comparativo de afluente y efluente de nitrógeno total en la planta Cebollales I, 2013. La línea roja representa la concentración máxima permisible (Ac. Gub. 11-2012) (Fuente: DICA – AMSCLAE, 2013).

Según lo observado durante los muestreos es necesario una buena operación del pretratamiento de las plantas de tratamiento, ya que este elimina las arenas y grasas, contribuyendo a aumentar el % de remoción de materia orgánica.

Respecto a la planta de tratamiento de los Cebollales I se debe implementar el tratamiento fisicoquímico en el canal de floculación, dosificando un derivado de las poliacrilamidas como agente floculante para una mejor clarificación.

En los filtros percoladores de las plantas de tipo anaerobias (Rafa y Tanque Imhoff, cuadro 1) se observó que las rocas son demasiado grandes en algunos casos, esto no favorece el área de depósito de la película biológica, asimismo se observaron rocas de baja porosidad. Es necesario reemplazar este medio por roca volcánica de no más de 6 pulgadas o algún otro tipo de medio de retención con un área superficial adecuada (mayor de 100 m²/m³).

Los patios de secado de lodos de las plantas de tratamiento deben de recibir un mantenimiento adecuado para evitar crecimiento de material vegetal. El lodo seco puede utilizarse para abono de cierto tipo de vegetación como grama y árboles frutales, si se utiliza para hortalizas debe realizarse el análisis de coliformes fecales y metales pesados exigidos por el referido Acuerdo Gub. 236-2006 en su artículo 42.

CONCLUSIONES

- ❖ Ninguna de las plantas de tratamiento cumple con el parámetro de coliformes fecales, por lo cual es necesario implementar un sistema de desinfección en todas las plantas diseñado para eliminar este contaminante de origen fecal.

- ❖ Durante el 2016, ninguna planta de tratamiento cumplió con la mayoría de los valores máximos permisibles establecidos en el Ac. Gub. No. 12-2011, siendo la de Santa Catarina Palopó la que cumple con más parámetros siendo estos: pH, DQO, Fósforo Total, Color Aparente y Sólidos en Suspensión.
- ❖ Las plantas de tratamiento que obtuvieron porcentajes de remoción de DQO y DBO mayores al 80% durante el 2016, fueron la del municipio de Santa Catarina Palopó y la de la aldea Chuk Muk, del municipio de Santiago Atitlán.
- ❖ Respecto al fósforo total, la planta de tratamiento del municipio de Panajachel cumplió con los límites establecido en el Acuerdo Gubernativo 12-2011, según los resultados de los muestreos realizados, durante el 2016.
- ❖ En el 2015, la planta de tratamiento del municipio de Santa Catarina Palopó fue la única que cumplió con los valores máximos permisibles establecidos en el Ac. Gub. No. 12-2011, en los parámetros de pH, DBO, DQO, fósforo total, nitrógeno total, color aparente y sólidos en suspensión.
- ❖ En el 2015, las plantas de tratamiento que obtuvieron porcentajes de remoción de DBO mayores al 60% en época seca y lluviosa fueron cinco. En cuanto al porcentaje de remoción de DQO en época seca fueron ocho y en época lluviosa fueron siete plantas de tratamiento las que tuvieron un porcentaje de remoción mayor al 60%.
- ❖ Desde el 2012 al 2015, la planta de tratamiento que cumplió con los límites máximos establecidos en el Ac. Gub. 12-2011 en los parámetros de DBO y DQO, ha sido la del municipio de Santa Catarina Palopó. Las otras plantas de tratamiento de una u otra forma no han podido cumplir con los límites establecidos en el reglamento.
- ❖ El apoyo administrativo y financiero por parte de las municipalidades respectivas, a las plantas de tratamiento es fundamental para mejorar el funcionamiento de las mismas, ya que una buena operación y mantenimiento eficiente el tratamiento de las aguas residuales generadas.

RECOMENDACIONES

- ❖ Las plantas de tratamiento deben implementar un sistema de desinfección diseñado para eliminar contaminantes fecales.
- ❖ En las plantas de tratamiento de tipo anaerobias (Rafa y tanque Imhoff), es necesario reemplazar la roca de los filtros percoladores por roca volcánica de no más de 6 pulgadas o algún otro tipo de medio de retención con un área superficial adecuada (mayor de 100 m²/m³).
- ❖ Los efluentes de aguas residuales tratadas pueden ser utilizados para fertirriego, apegado a los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35 del Ac. Gub. 236-2006; no se recomienda la descarga directa al lago ya que además de que los parámetros son más rigurosos resultan en un impacto negativo, se recomienda diseñar dispositivos de descarga como pozos de absorción o zanjas de infiltración.
- ❖ Continuar con los muestreos realizando muestras compuestas, para obtener resultados acordes a las variaciones que ocurren durante un día en cada planta de tratamiento.
- ❖ Incluir dentro del programa de monitoreo la medición de caudales. Esto con el fin de verificar si las plantas de tratamiento están operando dentro de la capacidad para las que fueron diseñadas.
- ❖ Implementar la medición de grasas y aceites en el muestreo anual, para cuantificar y medir la eficiencia de la operación y funcionamiento de las plantas de tratamiento.

- ❖ Dar acompañamiento y asesoría técnica a las municipalidades para efectuar las mejoras correspondientes a cada planta de tratamiento.
- ❖ Es necesario que las municipalidades provean de insumos, recursos y capacitación a los operarios de las plantas de tratamiento, para que estos puedan operar las mismas de la mejor forma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Davis, L. (2010). Water and wastewater engineering: design principles and practice. Nueva York, USA: McGraw-Hill.
- Karia, G. y Christian, R. (2006), Wastewater treatment: concepts and design approach. India: Prentice-Hall
- APHA-AWWA-WPCF (1992) Métodos Normalizados, para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos, S.A. España
- OPS (2005) Organización Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, Perú.
- Pescod, M.B. (1992), Wastewater treatment and use in agricultura. Roma, Italia: FAO Press.
- Romero Rojas, J. A. (2010). Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- World Health Organization -WHO- (2000). Monitoring Bating Waters – A Practical Guide to the Design and Implementation of Assessments and Monitoring Programmes. London: F & FN Spon.

ANEXOS

Anexo 1. Resultados de los muestreos realizados en época seca durante el 2014. (DICA – AMSCLAE, 2014).

No.	Parámetros	Norma (Artículo 11, Ac.Gub.#.12- 2011)	PTAR							Norma (Artículo 12, Ac.Gub.#.12- 2011)	PTAR							Norma (Artículo 13, Ac.Gub.#.12- 2011)	FTAR
			Sta. Catarina Palopó	Sn. Lucas Tolimán	Novillero	Ma. Tecún	Barrio Sn. Bartolo	Barrio Sn. Antonio	Sn. Jorge la Laguna		Panajachel	Sta. Cruz la Laguna	Sn. Andrés Semetabaj	Novillero	Ma. Tecún	Barrio Sn. Bartolo	Barrio Sn. Antonio		
1	Temperatura (°C)	TRC+/- 3*	22.7	24.7	23.6	18.5	21.2	20.9	22.4	24.2	22.3	21.7	25.4	Menor de 25					
2	Potencial de Hidrógeno	6-9	7.81	8.10	8.49	7.25	8.33	7.78	7.58	7.84	7.45	9.26	6-9						
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅ (mg/L)	30	22.5	113	56.3	56.3	67.6	468	33.8	36.6	78.9	118	50						
4	Demanda Química de Oxígeno, DQO ₂ (mg/L)	60	111	277	228.3	120.6	156	156.3	724.3	600	464	282.6	100						
5	Fósforo Total (mg/L)	3	1.4	2.1	4.8	6.1	7.6	11.8	2.6	9.9	4.1	8.3	5						
6	Nitrógeno Total (mg/L)	5	3	1.8	16.53	>15	>15	>15	1.2	>15	18.5	6.26	10						
7	Color Aparente	400	228	1154	1641	362.3	589	1923.7	197	2327.33	763	2421.33	300						
8	Sólidos en Suspensión (mg/L)	40	29	69	105	30	23	150	14	196	57.5	175.71	60						
9	Coliformes Fecales (NNF)	500	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	920	<1x10 ⁴						

Verde: Cumple con la normativa, Rojo: no cumple con la normativa

Anexo 2. Resultados de los muestreos realizados en época lluviosa durante el 2014. (DICA – AMSCLAE, 2014).

No.	Parámetros	Norma (Artículo 11, Ac.Gub.#12-2011)	PTAR		Norma (Artículo 12, Ac.Gub.#12-2011)	PTAR								Norma (Artículo 13, Ac.Gub.#12-2011)	PTAR (Santiago Atitlán)
			Sta. Catarina Patopó	Sn. Lucas Tolimán		Novillero	Ma. Tecún	Barrio Sn. Barolo	Barrio Sn. Antonio	Sn. Jorge la Laguna	Panajachel	Sta. Cruz la Laguna	Sn. Andrés Semetabaj		
1	Temperatura (°C)	TRC+/- 3°	22.7	23	TRC+/- 7°	24.09	20.6	20.5	20.4	20.3	33.6	21.8	20.5	28.6	
2	Potencial de Hidrógeno	6-9	7.39	8.10	6-9	9.61	7.27	7.90	7.38	7.37	7.84	7.54	7.70	8.22	
3	Demanda Biológica de Oxígeno, DBO ₅ (mg/L)	30	22.5	259	50	67.6	62	67.6	39.4	101	180	394	90.1	28.2	
4	Demanda Química de Oxígeno, DQO ₅ (mg/L)	60	11.3	587.66	100	212.83	116	79	104	197	118.33	410	193	117.66	
5	Fósforo Total (mg/L)	3	1.3	3.2	5	4.83	6.8	5.8	6.5	7.4	4.8	4.3	4.3	8.1	
6	Nitrógeno Total (mg/L)	5	2.5	2.8	10	21.4	>15	>15	>15	21	>15	15.56	12.1	16.8	
7	Color Aparente	400	116.66	2157.66	300	1875.33	593	179.66	567.33	1221.33	854.66	1802.33	1149.33	868.33	
8	Sólidos en Suspensión (mg/L)	40	6.75	135.42	60	105	29	16.25	33.5	150	65	134.5	89.7	14.5	
9	Coliformes Fecales (NMP)	500	92000	>2400	<1x10 ⁴	>16000	>2400	>2400	>2400	>2400	460	>2400	1,100,000	1100	

Verde: Cumple con la normativa, Rojo: no cumple con la normativa

Anexo 3. Resultados de los muestreos realizados en época seca durante el 2015. (DICA – AMSCLAE, 2015).

No	Parámetros	Norma (Artículo 11, Ac.Gub.#.12-2011)	PTAR		Norma (Artículo 12, Ac.Gub.#.12-2011)	PTAR								PTAR	
			Sta. Catarina Palopó	Su. Lucas Tolman		Novillero	Ma. Tecún	Barrio Sn Bartolo	Barrio Sn Antonio	Su Jorge la Laguna	Fanjachel	Sta. Cruz la Laguna	Su Andrés Semetabaj		Norma (Artículo 13, Ac.Gub.#.12-2011)
1	Temperatura	TRC+/- 3*	22.06	22.35	TRC+/- 7*	21.68	19.48	20.2	20.5	21.62	24.9	24.9	21.7	21.2	25.7
2	Potencial de Hidrogeno	6-9	7.69	7.34	6-9	9.09	7.31	7.84	7.35	7.43	7.49	7.49	7.56	7.63	9.30
3	Demanda Bioquímica de Oxigeno. DBO:	30	4.5	2.97	50	7.6	80	40.4	12.4	1.75	90	90	180	107	35
4	Demanda Química de Oxigeno. DQO	60	46	543	100	300.3	141.3	233	157.67	405.6	276.6	276.6	367.33	207.3	172
5	Fósforo Total	3	1.29	3.32	5	8.26	5.12	5.02	5.3	10.5	5.93	5.93	4.9	9.8	6.7
6	Nitrógeno Total	5	1.2	2.3	10	27.8	34	39.6	38.3	>15	25	25	19.23	19.5	19
7	Color-Apparente	400	143.3	2048	300	1711	493.67	496.67	628	1863	1403	1403	1740.66	1128.6	1560.67
8	Sólidos en Suspensión	40	5.3	167.4	60	118	26.5	20.2	12.55	83.75	-----	-----	106.71	55.3	59
9	Coliformes Fecales	500	86 x 10 ³	2200 x 10 ³	<1x10 ⁴	186 x 10 ³	920 x 10 ³	480 x 10 ³	2200 x 10 ³	2200 x 10 ³	920 x 10 ³	920 x 10 ³	24800	920 x 10 ³	86 x 10 ³

Verde: Cumple con la normativa, **Rojo:** no cumple con la normativa

Anexo 4. Resultados de los muestreos realizados en época lluviosa durante el 2015. (DICA – AMSCLAE, 2015).

No.	Parámetros	Norma (Artículo 11, Ac.Gub.#.12- 2011)	PTAR		Norma (Artículo 12, Ac.Gub.#.12- 2011)	PTAR						Norma (Artículo 13, Ac.Gub.#.12- 2011)	PTAR Chik-muk (Santiago Atitlán)	
			Sta. Catarina Patopó	Sn. Lucas Tolimán		Novillero	Ma. Tecin	Barrio Sn. Barrolo	Barrio Sn. Antonio	Sn Jorge La Laguna	Panajachel			Sta. Cruz La Laguna
1	Temperatura	TRC+/- 3*	26.5	25.3	TRC+/- 7*	27.1	19.3	21.5	21	24.2	23.8	20.5	22.1	27.2
2	Potencial de Hidrógeno	6-9	7.61	7.75	6-9	9.39	7.80	7.90	7.28	7.63	7.35	7.19	7.1	9.13
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅	30	11.3	146	50	56.3	62	78.9	213	135	163	197	214	39.4
4	Demanda Química de Oxígeno, DQO	60	16.33	393.6	100	608.33	245.6	175	357	294.3	365.3	356	292.6	100
5	Fósforo Total	3	0.426	3.21	5	3.55	6.47	5.98	7.11	7.18	1.90	1.34	3.68	4.17
6	Nitrógeno Total	5	0.4	1.4	10	10	30.3	15.3	22	35	23	9	10.3	4.8
7	Color Aparente	400	81.6	240.6	300	1595	701.3	538.6	1259.6	1394.6	2330.6	1839	1417.6	670.6
8	Sólidos en Suspensión	40	1	142	60	76.6	26.6	24	110	126	128	160	63	54.1
9	Coliformes Fecales	500	4 x 10 ⁴	2200 x 10 ³	<1x10 ⁴	23 x 10 ⁴	2400 x 10 ⁴	240 x 10 ⁴	240 x 10 ⁴	460 x 10 ⁴	460 x 10 ³	≥2400 x 10 ³	≥2400 x 10 ³	≥2400

Verde: Cumple con la normativa, **Rojo:** no cumple con la normativa