



PROATAS
Programa de Asistencia Técnica
en Agua y Saneamiento



**PROGRAMA DE ASISTENCIA TÉCNICA EN AGUA POTABLE
Y SANEAMIENTO NICARAGUA
PROATAS**

INFORME:

**Evaluación de Planta de Tratamiento de Aguas
Residuales de la ciudad de Santo Tomás
ENACAL - Delegación Chontales.**

Octubre 2021

CONTENIDO

ABREVIATURAS.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SANTO TOMÁS.	6
2.1 PROCESOS DE TRATAMIENTO.	7
2.2 DATOS BÁSICOS DE DISEÑO.....	9
3. CARACTERIZACIÓN DE LOS AFLUENTES Y EFLUENTES.	10
3.1 CAUDALES OPERATIVOS MEDIDOS EN LA PTAR.....	10
3.2 RESULTADO DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES POR ETAPA DE TRATAMIENTO.....	11
4. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PTAR SANTO TOMÁS.....	13
4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE DATOS OPERACIONALES Y CRITERIOS DE DISEÑO A 2024 EN EL AFLUENTE.	13
4.2 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES POR ETAPA DE TRATAMIENTO (DOS MUESTREOS).	14
4.3 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN PTAR SANTO TOMÁS.....	18
5. COMPROBACIÓN DE CUMPLIMIENTO DE CALIDAD DE VERTIDO SEGÚN DECRETO 21-2017.....	18
6. CONCLUSIONES.	19
7. ANEXOS.....	20
7.1 PARÁMETROS DE SERVICIOS DE OPERACIÓN Y DE DISEÑO	20
7.2 MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL PTAR SANTO TOMÁS 2018 – 2021.	21
7.3 MEDICIÓN DE CAUDALES EN PTAR SANTO TOMÁS 2018 – 2021.	22
7.4 CONEXIONES EFECTIVAS AS Y APORTE DE CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES.	23

ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: VISTA SATELITAL DE PTAR SANTO TOMÁS.	6
ILUSTRACIÓN 2: ESQUEMA DE PTAR SANTO TOMÁS.	6
ILUSTRACIÓN 3: PLANO GENERAL DE PTAR SANTO TOMÁS CONSTRUIDO PARA AÑO 2024.	7
ILUSTRACIÓN 4: COMPORTAMIENTO DEL CAUDAL DURANTE 24 HORAS.	10
ILUSTRACIÓN 5: CONCENTRACIONES POR ETAPA DE TRATAMIENTO – ANÁLISIS 20/07/2021.	12
ILUSTRACIÓN 6: VALOR PARAMÉTRICO DE C.F. POR ETAPA DE TRATAMIENTO – ANÁLISIS 20/07/2021.	12
ILUSTRACIÓN 7: CARGA CONTAMINANTE EN AFLUENTE (OPERACIÓN 2021 Y DISEÑO A 2024).	14
ILUSTRACIÓN 8: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARÁMETRO COLIFORMES FECALES.	15
ILUSTRACIÓN 9: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARÁMETRO ACEITES Y GRASAS.	15
ILUSTRACIÓN 10: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARÁMETRO DBO ₅	15
ILUSTRACIÓN 11: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARÁMETRO DQO.	16
ILUSTRACIÓN 12: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARÁMETRO FÓSFORO TOTAL.	16
ILUSTRACIÓN 13: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARÁMETRO NITRÓGENO TOTAL.	16
ILUSTRACIÓN 14: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARÁMETRO SÓLIDOS SEDIMENTABLES.	17
ILUSTRACIÓN 15: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARÁMETRO SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.	17
ILUSTRACIÓN 16: CAUDALES PROMEDIOS DIARIOS 2018 - 2021.	22

TABLAS

TABLA 1: INSTALACIONES EN LA LÍNEA DE AGUA.	7
TABLA 2: INSTALACIONES EN LA LÍNEA DE LODO.	8
TABLA 3: INSTALACIONES EN LA LÍNEA DE BIOGÁS.	8
TABLA 4: HABITANTES, DOTACIONES Y CAUDALES DE DISEÑO.	9
TABLA 5: PROYECCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ESTIMADA EN EL DISEÑO.	9
TABLA 6: CAUDALES MÍNIMO, PROMEDIO Y MÁXIMO DIARIO EN PTAR.	10
TABLA 7: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES.	11
TABLA 8: CAUDALES, CONCENTRACIONES Y CARGAS OPERACIONALES EN AFLUENTE Y DE DISEÑO.	13
TABLA 9: EFICIENCIA DE REMOCIÓN EN PORCENTAJE DE CONTAMINANTES POR ETAPA DE TRATAMIENTO.	14
TABLA 10: EFICIENCIA DE REMOCIÓN EN PORCENTAJE DE CONTAMINANTES EN PTAR.	18
TABLA 11: CALIDAD DE VERTIDO DEL EFLUENTE Y CUMPLIMIENTO DE LA NORMA.	18
TABLA 12: COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SERVICIOS DE OPERACIÓN Y DISEÑO.	20
TABLA 13: RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES.	21
TABLA 14: CONEXIÓN EFECTIVA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO.	23
TABLA 15: APORTE DE CAUDAL DE AGUA RESIDUAL.	23

Abreviaturas

AyG	Aceites y Grasas
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BMZ	Ministerio Federal Alemán para la Cooperación Económica y el Desarrollo
CA	Carga contaminante Afluyente
CAo/CAd	Carga contaminante Afluyente Operativo / Carga contaminante Afluyente Diseño
C.C.	Carga Contaminante
C.F.	Coliformes fecales
CTD	Carga Total Dinámica
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EBAR	Estación de Bombeo de Aguas Residuales
ENACAL	Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado Sanitario
EPP	Equipo de Protección Personal
EU	Unión Europea
GIZ	Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)
IICN	Instituto Interdisciplinario de Ciencias Naturales
l/p/d	Litros por Persona por Día
L.D.	Límite de Detección
N/A	No Aplica
NMP	Número Más Probable
N _T	Nitrógeno total
OyM	Operación y Mantenimiento
PISASH	Programa Integral Sectorial de Agua y Saneamiento Humano
PROATAS	Programa de Asistencia Técnica en Agua y Saneamiento
P _T	Fósforo total
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
Q	Caudal
SST	Sólidos Suspendidos Totales
UASB	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

1. Introducción.

A finales de 2015 ENACAL solicitó a la GIZ que se aumente el número de las ciudades del PISASH apoyadas por el PROATAS de 11 á 13, y que se incluyan las ciudades de Bluefields y Bilwi a base de un cofinanciamiento del PROATAS por ENACAL con fondos de AECID y BID. El 6 de diciembre 2016 fue firmado el “Acuerdo de cofinanciamiento” entre ENACAL y GIZ, el 8 de febrero 2017 el BMZ constató formalmente el encargo. En coordinación con entidades donantes (AECID, EU y GIZ). En octubre 2019 se amplió esta intervención a las ciudades de Santo Tomás y Acoyapa, desde una perspectiva técnica en operación, mantenimiento y de sostenibilidad a mediano y largo plazo de las obras.

En el marco del Programa de Asistencia Técnica la Consultora AKUT fue contratada por GIZ-PROATAS como responsable de la ejecución del asesoramiento vinculado al proyecto de “FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES DE LAS DELEGACIONES DE BILWI, BLUEFIELDS, SANTO TOMAS Y ACOYAPA DE ENACAL”¹ como una ampliación a las fases anteriores, y será ejecutada hasta octubre 2021.

- Uno de los resultados de esta fase establece: Existe un estudio independiente para verificar el cumplimiento de la normativa de vertidos que resulta de la operación de las PTAR de Acoyapa, Santo Tomás y Bilwi², resultado dentro de la línea de acción 2 “Operación eficiente de los sistemas de alcantarillado sanitario”.
- En concordancia con lo mencionado y como parte de ese estudio se realiza la presente evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Acoyapa y Santo Tomás.

La evaluación consiste en la caracterización de los afluentes y efluentes de la PTAR del municipio de Santo Tomás, el cálculo de eficiencia de remoción por etapa de tratamiento, la comparación de los criterios de diseño y datos operacionales, y la verificación de cumplimiento de decreto 21 – 2017 “Reglamento en el que se establecen las disposiciones para el vertido de aguas residuales”.

Para ello se definieron 2 etapas, la primera en campo que abarcó el monitoreo de calidad de agua por un laboratorio externo a ENACAL con supervisión del equipo técnico de PROATAS y se realizó de la siguiente manera:

- Monitoreo compuesto de 24 horas para los 9 parámetros establecidos en la norma (Decreto 21-2017) sobre la calidad de la descarga de vertidos: caudal, pH, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, aceites y grasas, fósforo total, nitrógeno total y coliformes fecales.

Y la segunda etapa para efectuar la interpretación y análisis comparativos de los resultados relacionados al diseño 2024 (capacidad construida actualmente), a la eficiencia, al cumplimiento de la normativa y a los procesos de operación.

¹ Términos de referencia para la asesoría en el fortalecimiento de capacidades de las delegaciones de Bilwi, Bluefields, Santo Tomás y Acoyapa de ENACAL en el marco del contratado (AN) AKUT.

² La Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) de Bilwi a octubre 2021 no está en operación y no forma parte de esta evaluación.

2. Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales de Santo Tomás.

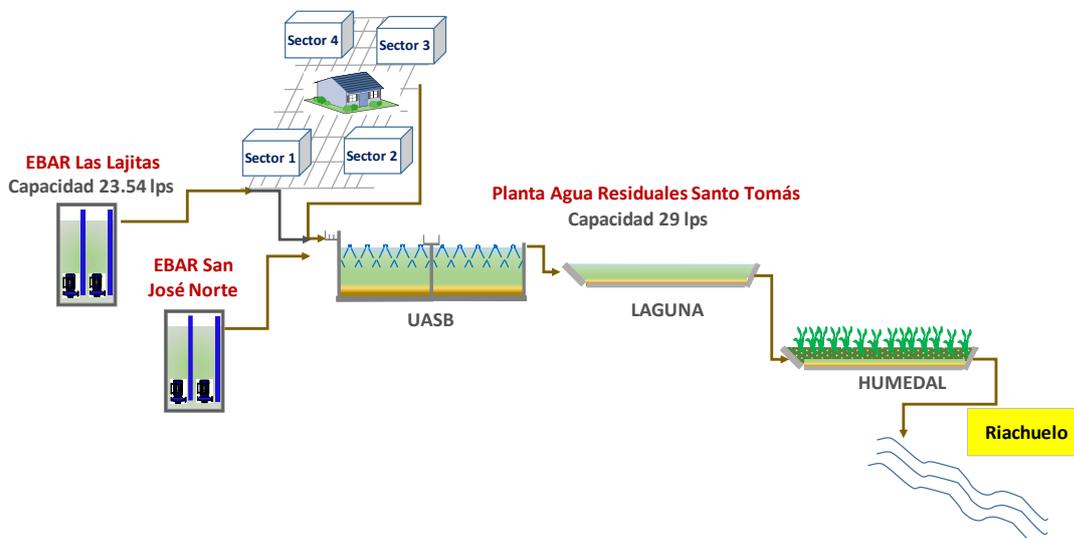
La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales brinda servicio al casco urbano de la ciudad de Santo Tomás, se encuentra ubicada en las coordenadas 707397.00 m E, 1336250.00 m N. La PTAR fue diseñada con un horizonte de proyecto al año 2034 con la capacidad de 3,559.22 m³/d, actualmente está construida la primera etapa correspondiente al año 2024 con una capacidad de 2,469.68 m³/d. El objetivo es cumplir con la legislación nacional de vertido. Una vez que el agua residual pasa el proceso de depuración, las aguas tratadas son vertidas a un riachuelo.

Ilustración 1: Vista satelital de PTAR Santo Tomás.



La PTAR consta de un sistema de pretratamiento (pozo de gruesos, rejillas auto limpiantes, desarenador y canal parshall), tratamiento biológico (UASB), sistema de lagunas facultativas y humedal de flujo abierto (biofiltro). Para tratar los lodos cuenta con sistema de purga por bombeo y lechos de secado. En el UASB se realiza la recolección del biogás, el cual se quema vía antorcha.

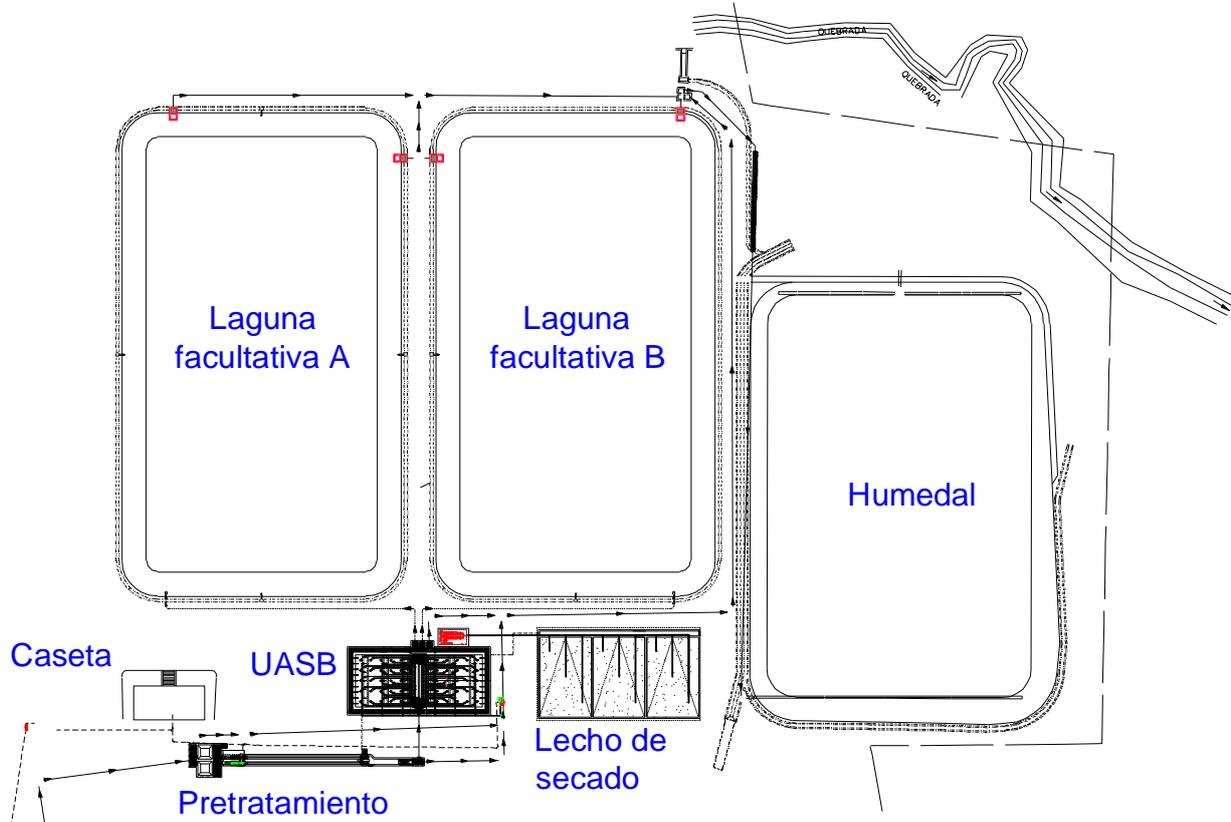
Ilustración 2: Esquema de PTAR Santo Tomás.



2.1 Procesos de tratamiento.

A continuación, se indican las características físicas de las instalaciones que conforman los procesos de tratamiento construido para el año 2024, para alcanzar la capacidad de diseño al año 2024 se requiere realizar nuevas construcciones para ampliar la capacidad existente.

Ilustración 3: Plano general de PTAR Santo Tomás construido para año 2024.



Línea de agua

Tabla 1: Instalaciones en la línea de agua.

Unidad	Características
Obra de llegada y aliviadero	Tubería de 0.60 m (24 pulgadas) Aliviadero que permite efectuar by-pass general de la PTAR y drenar sobrecaudales
Pre-tratamiento	<p><u>Pozo de gruesos</u> Cantidad: 2 unidades Dimensiones: 2.50 m. de longitud, 2.50 m. de anchura y en la parte superior; 1.50 m. de longitud, 1.50 m. de anchura y 0.50 m. de profundidad en la parte inferior. Los pozos en el fondo forman una pendiente de 45° hacia el interior Área superficial unitario: 6.25 m² Volumen útil unitario: 5.79 m³ Equipos de apoyo: Compuertas manuales</p> <p><u>Tamiz mecánico</u> Cantidad: 2 unidades Marca HUBER, modelo Rotomat® Micro Strainer Ro9, con un pazo de luz de 6 mm. Equipos de apoyo: Sistema hidroneumático</p> <p><u>Desarenador – desengrasador</u> Cantidad: 2 cámaras Dimensiones: 20 m. de longitud, 0.50 m. de ancho, 0.67 m de altura útil y 0.80 m. de altura total</p>

Unidad	Características
	<p>Área transversal unitario: 0.27 m² Volumen útil unitario: 5.4 m³ Equipos de apoyo: Compuertas manuales</p> <p><u>Medidor de caudal</u> Canal parshall con ancho de garganta de 15.2 cm.</p>
Reactores UASB	<p>Cantidad: 2 unidades Dimensiones: 10.50 m. de largo, 9.05 m. de ancho y 5.15 m. de profundidad útil Área superficial unitario: 95.03 m² Volumen útil unitario: 489.38 m³ Equipo de apoyo: Un sistema de alimentación por un canal de reparto mediante vertederos; tuberías que introducen el efluente al fondo del reactor; en la zona superior del tanque, tubería superficial perforadas para recolección del afluente; y las campanas para la captación del biogás</p>
Lagunas facultativas	<p>Cantidad: 2 unidades Dimensiones: 82.50 m. de largo y 46.50 m. de ancho en promedio; y 1.60 m de profundidad útil Área superficial unitario: 3,836.25 m² Volumen unitario: 6,138.00 m³</p>
Humedal horizontal de flujo superficial	<p>Cantidad: 1 unidad Dimensiones: trapecio irregular Área superficial: 3,142.97 m²</p>
Vertido al cauce receptor	A través de una tubería de 0.45 m (18 pulgadas)

Línea de lodo

Tabla 2: Instalaciones en la línea de lodo.

Unidad	Características
Bombas de lodos de los UASB	<p><u>Bombas</u> Cantidad: 2 unidades Marca Netzch Pumps & Systems, modelo Nemo. Tipo de desplazamiento positivo Caudal: 10 m³/h CTD: 5 mca</p> <p><u>Tubería de impulsión</u> Material: polietileno de alta densidad Diámetro: 100 mm.</p>
Lechos de secado	<p>Cantidad: 3 unidades protegidas por techo Dimensiones: 14 m. de largo, 9 m. de ancho y altura 0.40 m Canal de lixiviado: hacia los reactores UASB</p>

Línea de biogás

Tabla 3: Instalaciones en la línea de biogás.

Unidad	Características
Recolectora de biogás	Diámetro de la tubería: 5 cm (2 pulgadas) de acero inoxidable
Sistema de quemado de biogás	<p>Cantidad: 1 unidad, marca: Fokal Componentes: Válvula de alivio de presión, Sello hidráulico, Apaga llamas de 6 pulgadas, Panel de control, Antorcha Equipo de apoyo: tubería de alimentación de agua para sello hidráulico y válvula de alivio</p>

2.2 Datos básicos de diseño.

La PTAR Santo Tomás se diseñó con año base 2014 y un horizonte de proyecto al año 2034, y la construcción se ha realizado para la primera etapa correspondiente al año 2024. En la **Tabla 4** y **Tabla 5** se indican los datos básicos de diseño³.

Tabla 4: Habitantes, dotaciones y caudales de diseño.

Descripción	U.M.	2,014	2,021	2,024	2,034
Habitantes	Hab.	14,964	17,354	19,155	24,520
Conexión	c/u	3,118	3,615	3,991	5,108
Dotaciones de agua residual	L/hab/d	113.10	132.66	128.93	145.16
DBO ₅	g/hab/d	46.5	46.5	46.5	46.5
DQO	g/hab/d	93	93	93	93
SST	g/hab/d	53.5	53.5	53.5	53.5
N _T	g/hab/d	9.3	9.3	9.3	9.3
P _T	g/hab/d	1.6	1.6	1.6	1.6
Q medio diario	m ³ /d	1,692.43	2,302.14	2,469.68	3,559.22
Q medio horario	m ³ /h	70.52	95.92	102.9	148.3
Q máximo	m ³ /h	170.81	229.26	243.77	341.32

Tabla 5: Proyección de la contaminación estimada en el diseño.

Parámetro de Agua cruda	U.M.	2,014	2,021	2,024	2,034
DBO ₅	kg/d	695.83	806.96	890.71	1,140.18
	mg/L	411.14	350.53	360.66	320.35
SST	kg/d	800.57	928.44	1,024.79	1,311.82
	mg/L	473.03	403.29	414.95	368.57
DQO	kg/d	1,391.65	1,613.92	1,781.42	2,280.36
	mg/L	822.28	701.05	721.31	640.69
N _T	kg/d	139.17	161.39	178.14	228.04
	mg/L	82.23	70.11	72.13	64.07
P _T	kg/d	23.94	27.77	30.65	39.23
	mg/L	14.15	12.06	12.41	11.02
C.F.	NMP / 100mL	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07

³ Fuente: "Diseños finales del sistema de alcantarillado sanitario de Santo Tomás, Departamento de Chontales. Documento No. 1: Memoria y anexos".

3. Caracterización de los afluentes y efluentes.

3.1 Caudales operativos medidos en la PTAR.

En la **Ilustración 4** se puede ver la medición de caudales en l/s que se inició el día martes 19/07/2021 a las 6 am y finalizó el día miércoles 20/07/2021, ver datos. Y los resultados de caudal mínimo = 4.47 l/s (386.51 m³/d), caudal promedio = 14.62 l/s (1,262.88 m³/d) y caudal máximo = 37.39 l/s (3,230.10 m³/d), se indican en la **Tabla 6**.

Ilustración 4: Comportamiento del caudal durante 24 horas.

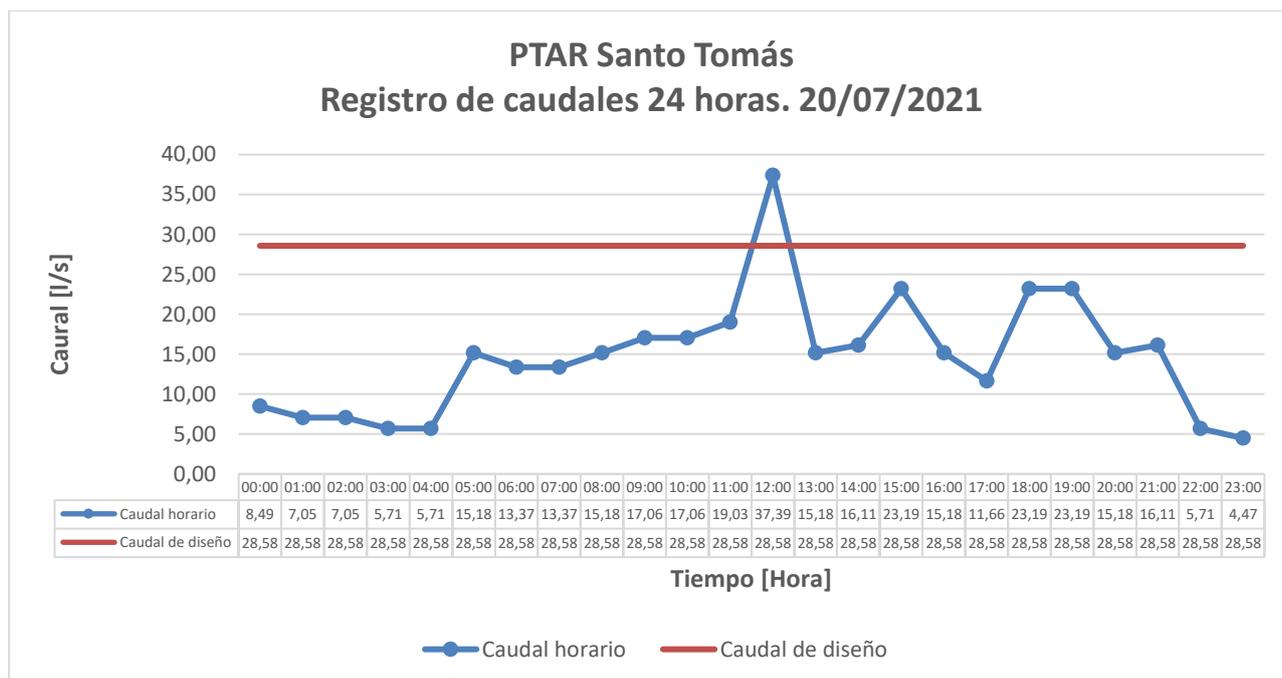


Tabla 6: Caudales mínimo, promedio y máximo diario en PTAR.

Caudal	U.M.	Operativo (2,021)	Diseño (2,024)	%
Mínimo	[l/s]	4.47	17.15	26
	[m ³ /d]	386.51	1,481.81	
Promedio	[l/s]	14.62	28.58	51
	[m ³ /d]	1,262.88	2,469.68	
Máximo	[l/s]	37.39	67.71	55
	[m ³ /d]	3,230.10	5,850.48	

3.2 Resultado de análisis de calidad de aguas residuales por etapa de tratamiento.

Los parámetros analizados son los indicados en el decreto 21-2017, en la **Tabla 7** se muestran los resultados de dos muestreos realizados. Para los parámetros DBO₅ y Nitrógeno total se utilizó los análisis de 28/07/2020 debido a que no fueron realizados el 20/07/2021.

Tabla 7: Resultados de análisis de calidad de aguas residuales.

Parámetro	U. M.	Laboratorio	Fecha	Afluyente	Entrada UASB	Entrada Laguna	Entrada Humedal	Efluente	Decreto 21-2017
Coliformes fecales	NMP/100mL	ENACAL / IICN	19/11/2019	1.60E+06	1.60E+06	1.60E+06	1.60E+06	3.50E+04	1.00E+05
		ENACAL/GIZ	20/07/2021	2.40E+08	2.40E+08	2.40E+08	5.40E+06	3.90E+04	
Aceites y grasas	mg/L	ENACAL / IICN	19/11/2019	35	29	10	10	10	20
		ENACAL/GIZ	20/07/2021	28	28	1	3	2	
DBO ₅	mg/L	ENACAL / IICN	19/11/2019	186	161.1	85	48	37.4	110
		ENACAL/GIZ	28/07/2020	74	74	78	58	19	
DQO	mg/L	ENACAL / IICN	19/11/2019	276	252	152	106	116	220
		ENACAL/GIZ	20/07/2021	374	374	187	135	83	
Fósforo total	mg/L	ENACAL / IICN	19/11/2019	0.36	0.4	0.35	0.25	0.26	15
		ENACAL/GIZ	20/07/2021	3.96	3.96	2.9	2.59	3.81	
Nitrógeno total	mg/L	ENACAL / IICN	19/11/2019	24.89	25.59	24.75	9.04	7.71	45
		ENACAL/GIZ	28/07/2020	17.67	17.2	25.76	15.68	16.24	
pH	-	ENACAL / IICN	19/11/2019	7.55	7.41	7.28	8.41	8.15	6 – 9
		ENACAL/GIZ	20/07/2021	7.70	7.70	7.21	7.90	7.98	
Sólidos sedimentables	mL/L	ENACAL / IICN	19/11/2019	5.8	1	0.2	0.1	0.1	1
		ENACAL/GIZ	20/07/2021	4	4	1	0.3	0.3	
Sólidos suspendidos totales	mg/L	ENACAL / IICN	19/11/2019	86	53	18	61	61	100
		ENACAL/GIZ	20/07/2021	168	168	93	64	9	

En enero 2021, la laguna facultativa B sale fuera de operación para realizar reparaciones en la geomembrana y, en febrero 2021 la PTAR recibió vertidos no autorizados de hidrocarburos; el 09 de agosto reinició su operación con todas sus unidades de tratamiento.

Ilustración 5: Concentraciones por etapa de tratamiento – Análisis 20/07/2021.

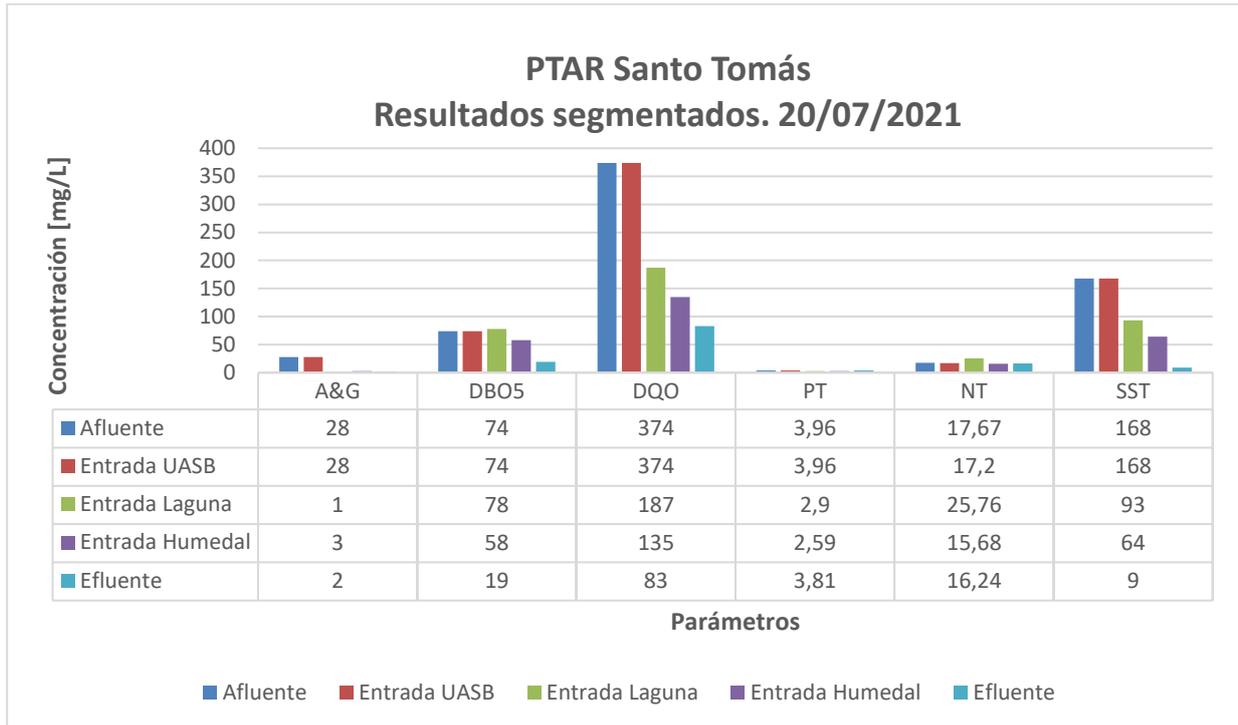
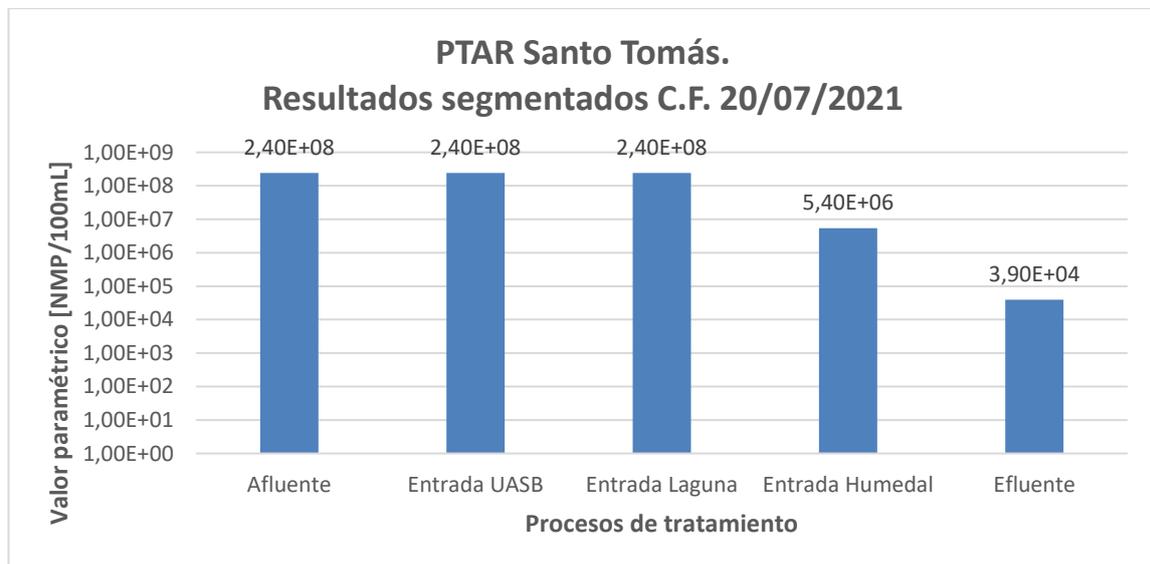


Ilustración 6: Valor paramétrico de C.F. por etapa de tratamiento – Análisis 20/07/2021.



4. Evaluación de la eficiencia de la PTAR Santo Tomás.

4.1 Análisis comparativo de datos operacionales y criterios de diseño a 2024 en el afluente.

En la **Tabla 8** se muestra los datos operacionales obtenidos en el muestreo más recientes, la proyección estimada de la contaminación para diseño 2024 (capacidad construida) y la comparación de la capacidad alcanzada en dicho muestreo.

Desde el ámbito hidráulico la PTAR está operando al 51% de su caudal medio de capacidad instalada; desde el ámbito contaminante la capacidad de operación depende del parámetro a comparar.

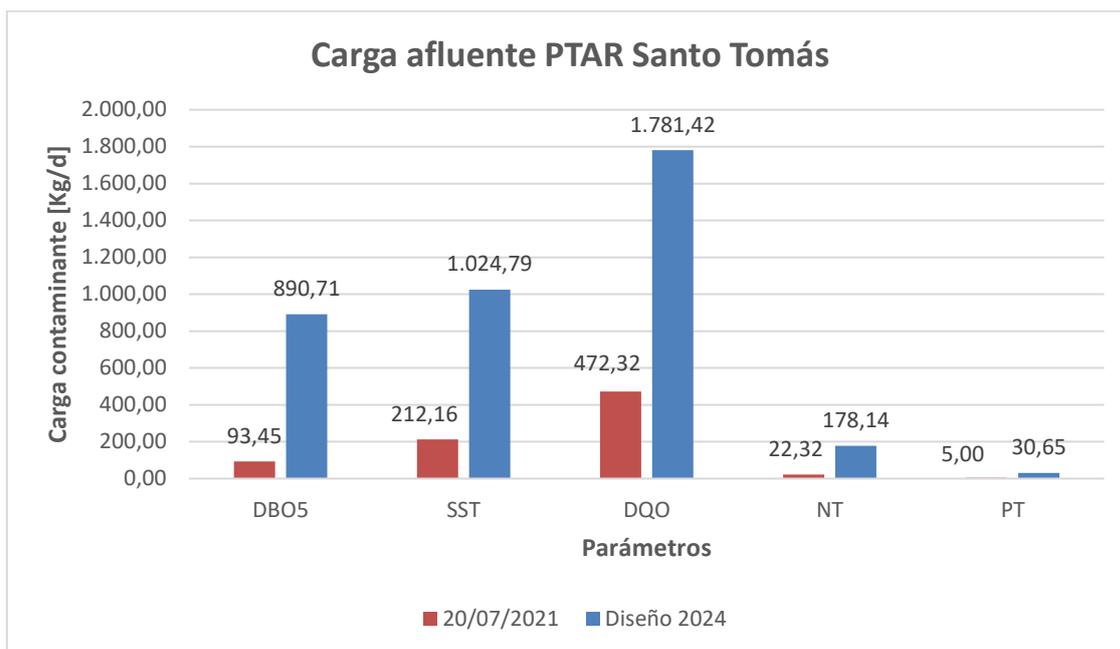
Los factores que influyen en el caudal son las conexiones efectivas conectadas a las redes de alcantarillado sanitario y la dotación de aporte de aguas residuales a la PTAR:

- El diseño del proyecto contemplaba 3,615 conexiones al año 2021 (ver **Tabla 4**).
- A octubre 2021 existen 2,289 conexiones efectivas de 3,083 predios conectables con caja de registro construida (ver **Tabla 14**).
- El caudal de aporte de aguas residuales actualmente es 110 l/p/d (ver **Tabla 15**), siendo menor al caudal de diseño estimado al 2021 de 132.66 l/p/d, según la **Tabla 4**.

Tabla 8: Caudales, concentraciones y cargas operacionales en afluente y de diseño.

Parámetro	U.M.	Resultado	Diseño 2024	%
Conexiones	c/u	2,289	3,991	54
Q_{medio}	m ³ /d	1,262.88	2,469.68	51
	m ³ /h	52.62	102.90	
Q_{máximo}	m ³ /d	3,230.10	5,850.48	55
	m ³ /h	134.59	243.77	
DBO₅	kg/d	93.45	890.71	10
	mg/L	74.00	360.66	21
SST	kg/d	212.16	1,024.79	21
	mg/L	168.00	414.95	40
DQO	kg/d	472.32	1,781.42	27
	mg/L	374.00	721.31	52
N_T	kg/d	22.32	178.14	13
	mg/L	17.67	72.13	24
P_T	kg/d	5.00	30.65	16
	mg/L	3.96	12.41	32
C.F.	NMP/100mL	2.40E+08	1.00E+07	

Ilustración 7: Carga contaminante en afluente (operación 2021 y diseño a 2024).



4.2 Eficiencia de remoción de contaminantes por etapa de tratamiento (dos muestreos).

En la **Tabla 9** se indica la eficiencia de remoción de contaminantes por etapa de tratamiento en dos fechas de muestreo.

Tabla 9: Eficiencia de remoción en porcentaje de contaminantes por etapa de tratamiento.

Parámetro	Realizado por	Fecha	Eficiencias			
			Pretratamiento	UASB	Lagunas	Humedal
Coliformes fecales	ENACAL/ IICN	19/11/2019	0%	0%	0%	98%
	ENACAL/ GIZ	20/07/2021	0%	0%	98%	99%
Aceites y grasas	ENACAL/ IICN	19/11/2019	17%	66%	0%	0%
	ENACAL/ GIZ	20/07/2021	0%	96%	-200%	33%
DBO ₅	ENACAL/ IICN	19/11/2019	13%	47%	44%	22%
	ENACAL/ GIZ	28/07/2020	0%	-5%	26%	67%
DQO	ENACAL/ IICN	19/11/2019	9%	40%	30%	-9%
	ENACAL/ GIZ	20/07/2021	0%	50%	28%	39%
Fósforo total	ENACAL/ IICN	19/11/2019	-11%	13%	29%	-4%
	ENACAL/ GIZ	20/07/2021	0%	27%	11%	-47%
Nitrógeno total	ENACAL/ IICN	19/11/2019	-3%	3%	63%	15%
	ENACAL/ GIZ	28/07/2020	3%	-50%	39%	-4%
Sólidos sedimentables	ENACAL/ IICN	19/11/2019	83%	80%	50%	0%
	ENACAL/ GIZ	20/07/2021	0%	75%	70%	0%
Sólidos suspendidos totales	ENACAL/ IICN	19/11/2019	38%	66%	-239%	0%
	ENACAL/ GIZ	20/07/2021	0%	45%	31%	86%

Ilustración 8: Eficiencia de remoción de parámetro Coliformes fecales.

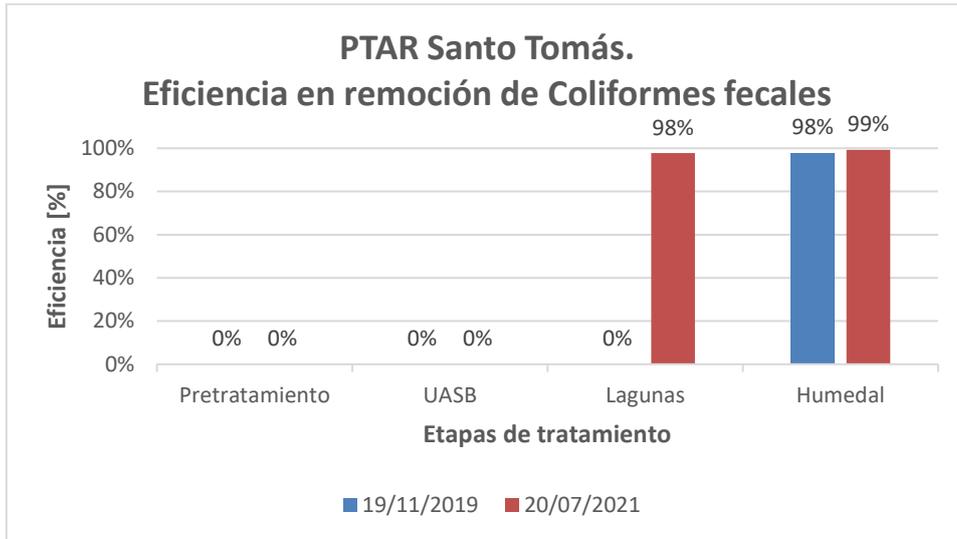


Ilustración 9: Eficiencia de remoción de parámetro Aceites y grasas.

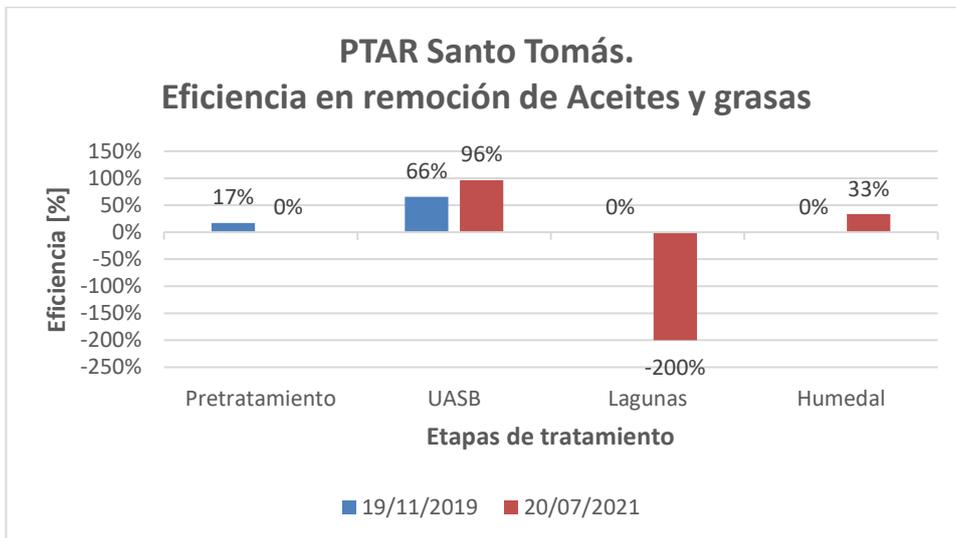


Ilustración 10: Eficiencia de remoción de parámetro DBO₅.

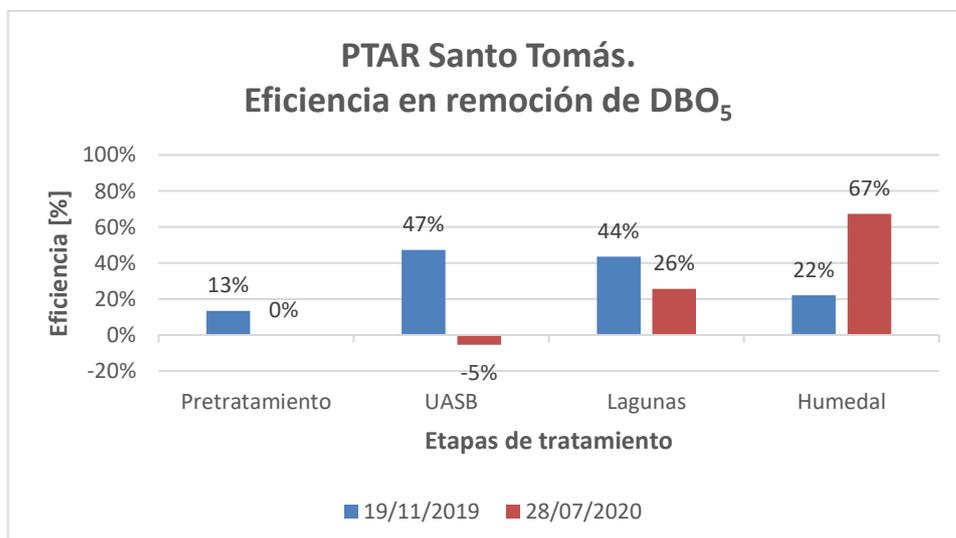


Ilustración 11: Eficiencia de remoción de parámetro DQO.

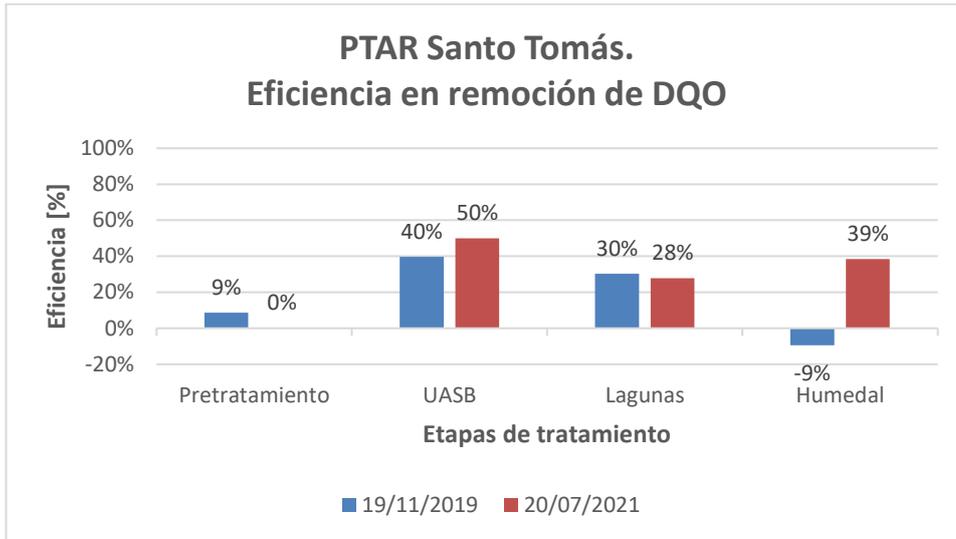


Ilustración 12: Eficiencia de remoción de parámetro Fósforo total.

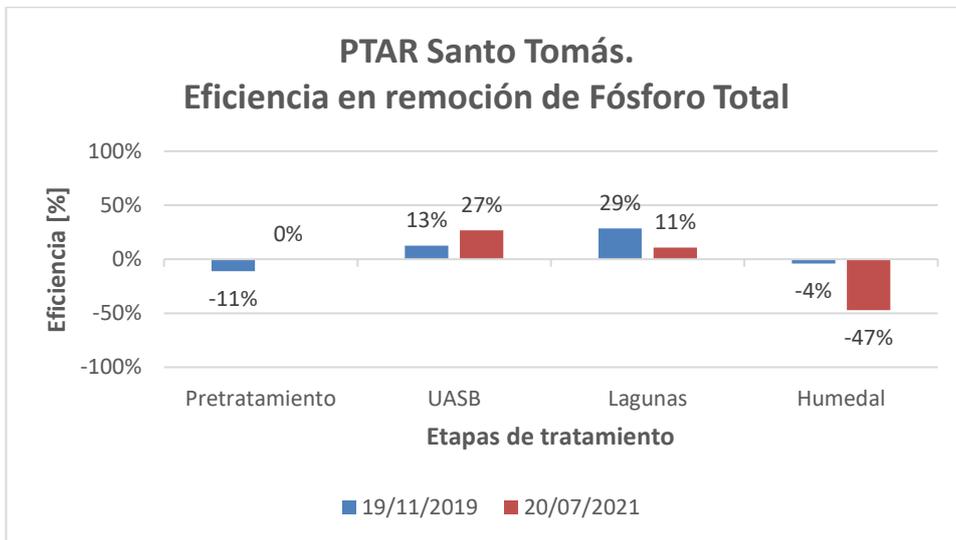


Ilustración 13: Eficiencia de remoción de parámetro Nitrógeno total.

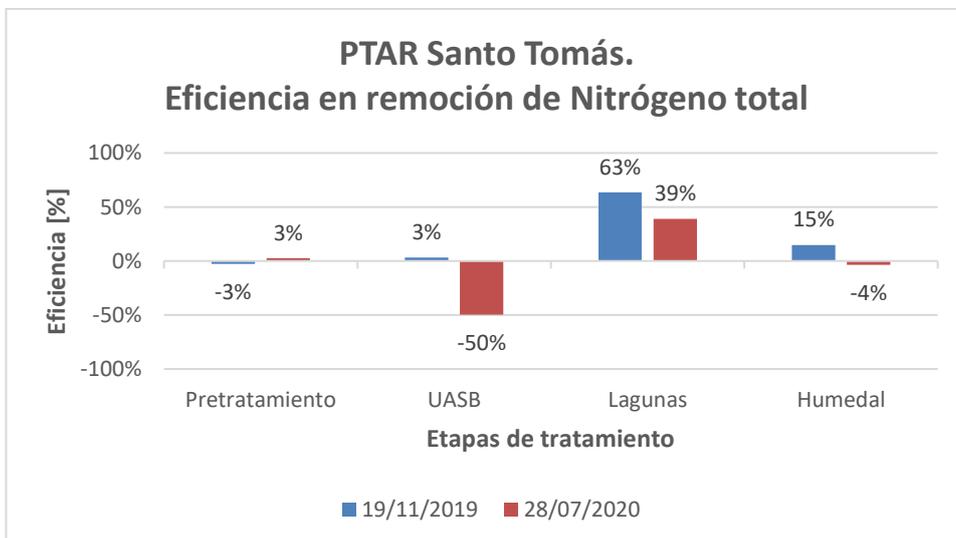


Ilustración 14: Eficiencia de remoción de parámetro Sólidos sedimentables.

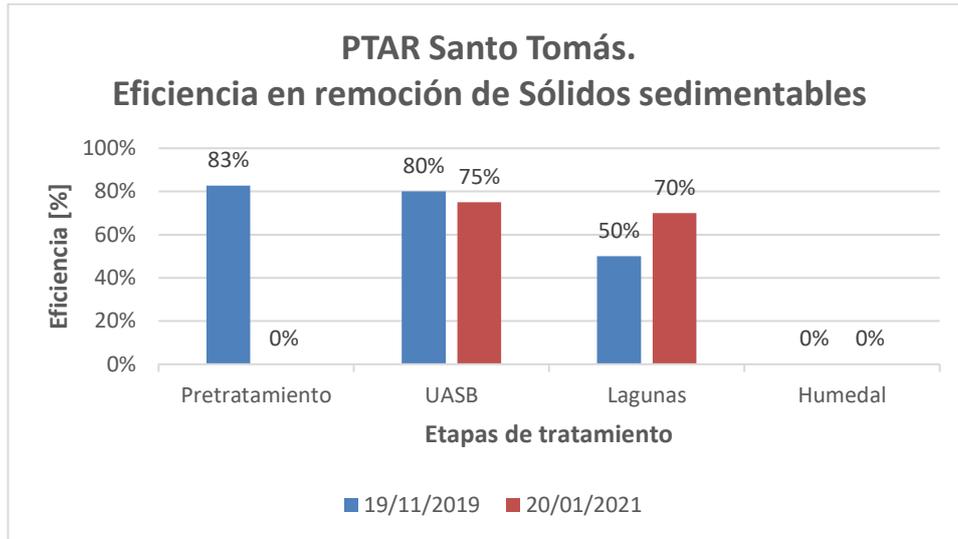
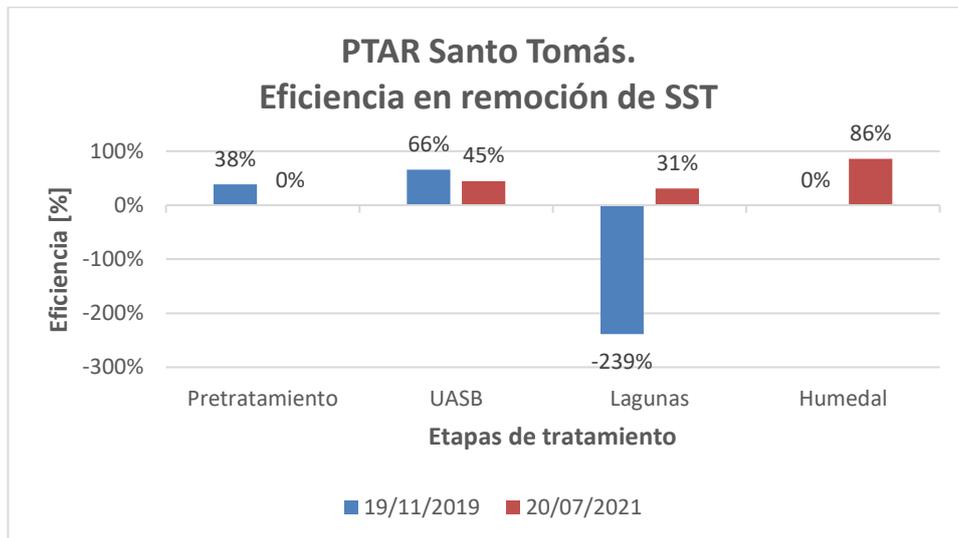


Ilustración 15: Eficiencia de remoción de parámetro Sólidos suspendidos totales.



4.3 Eficiencia de remoción de contaminantes en PTAR Santo Tomás.

Tabla 10: Eficiencia de remoción en porcentaje de contaminantes en PTAR.

Parámetro	Realizado por	Fecha	Eficiencias PTAR
Coliformes fecales	ENACAL/ IICN	19/11/2019	97.81%
	ENACAL/ GIZ	20/01/2021	99.98%
Aceites y grasas	ENACAL/ IICN	19/11/2019	71%
	ENACAL/ GIZ	20/01/2021	93%
DBO ₅	ENACAL/ IICN	19/11/2019	80%
	ENACAL/ GIZ	28/07/2021	74%
DQO	ENACAL/ IICN	19/11/2019	58%
	ENACAL/ GIZ	20/01/2021	78%
Fósforo total	ENACAL/ IICN	19/11/2019	28%
	ENACAL/ GIZ	20/01/2021	4%
Nitrógeno total	ENACAL/ IICN	19/11/2019	69%
	ENACAL/ GIZ	28/07/2021	8%
Sólidos sedimentables	ENACAL/ IICN	19/11/2019	98%
	ENACAL/ GIZ	20/01/2021	93%
Sólidos suspendidos totales	ENACAL/ IICN	19/11/2019	29%
	ENACAL/ GIZ	20/01/2021	95%

5. Comprobación de cumplimiento de calidad de vertido según decreto 21-2017.

Tabla 11: Calidad de vertido del efluente y cumplimiento de la norma.

Parámetro	U.Medida.	Resultado	Decreto 21-2017	Cumplimiento
C.F	NMP/100mL	3.90E+04	1.00E+05	Si
A y G	mg/L	2	20	Si
DBO ₅	mg/L	19	110	Si
DQO	mg/L	83	220	Si
P _T	mg/L	3.81	15	Si
N _T	mg/L	16.24	45	Si
pH	-	8.15	6 - 9	Si
SS	mL/L	0.3	1	Si
SST	mg/L	9	100	Si

Con los valores obtenidos de los análisis de cada parámetro, realizado el 20 de julio 2021 la PTAR de Santo Tomás cumple con la norma de vertidos según el decreto 21-2017.

6. Conclusiones.

Los análisis de calidad del agua residual realizados el 20/07/2021 indican que la PTAR cumple con la legislación vigente de calidad de vertidos en todos los parámetros (ver **Tabla 11**). También en los análisis realizados por ENACAL/ IICN el 19/11/2019.

Las 2,289 conexiones efectivas a octubre 2021 representan el 74.25% del total de 3,083 conexiones factibles construidas (2,115 en la primera etapa y 968 en la segunda etapa del proyecto).

El caudal promedio operativo actual es 1,262.88 m³/d (14.62 l/s), para 2,289 conexiones efectivas, lo que indica un aporte de 0.55 m³/d/conexión. Lo cual permite concluir que la PTAR está trabajando al 51% de su capacidad de volumen de tratamiento. Con la segunda etapa del proyecto, se construyeron 2 EBAR ubicadas en los barrios Las Lajitas y San José Norte, cuya capacidad es 23.54 l/s para EBAR Las Lajitas. La combinación de caudales sobrepasaría la capacidad promedio instalada en la PTAR (28.58 l/s) pero no la de su caudal máximo (67.71 l/s).

Las cargas contaminantes aún se encuentran por debajo de las cargas de diseño, siendo el parámetro de DQO en kg/día que tiene el mayor valor porcentual con 27% (ver **Tabla 8**).

Los parámetros de servicios operacionales están dentro de los criterios de diseño, en las diferentes etapas, a excepción del humedal de flujo superficial (ver **Tabla 12**).

La eficiencia de remoción por cada etapa es variable según el proceso y los parámetros a depurar, por ejemplo, en el UASB se presenta buena remoción de la materia orgánica biodegradable y prácticamente ninguna eficiencia de remoción para nutrientes (N y P); y bajas eficiencias de remoción de los coliformes fecales. En las lagunas facultativas, buena remoción de coliformes, pero la remoción de sólidos suspendidos totales se ven afectadas por la influencia de las algas a la salida.

7. Anexos.

7.1 Parámetros de servicios de operación y de diseño.

Tabla 12: Comparación de los parámetros de servicios de operación y diseño.

Parámetro de servicio	U.M.	Resultado 2021	Diseño 2024	Observación
Pozo de grueso				
TRH	min	5.16	1.43	Con $Q_{m\acute{a}x}$ Funcionando 1
		13.20	3.38	Con $Q_{promedio}$ Funcionando 1
Carga superficial	$m^3/m^2/h$	10.77	39	Con $Q_{m\acute{a}x}$ Funcionando 1
		4.21	16.46	Con $Q_{promedio}$
Desarenador				
Velocidades	m/s	0.069	0.3	Con $Q_{m\acute{a}x}$ Funcionando 1
		0.027	0.127	Con $Q_{promedio}$
		0.0062	0.076	Con $Q_{m\acute{i}n}$
TRH	min	4.81	1.11	Con $Q_{m\acute{a}x}$
		12.31	2.63	Con $Q_{promedio}$
		53.67	4.38	Con $Q_{m\acute{i}n}$
UASB				
TRH	h	7.27	4.02	Con $Q_{m\acute{a}x}$
		18.60	9.51	Con $Q_{promedio}$
Carga orgánica	Kg DQO/ m^3/d	0.48	1.82	
Carga superficial	$m^3/m^2/h$	0.71	1.28	Con $Q_{m\acute{a}x}$
		0.28	0.54	Con $Q_{promedio}$
Velocidad Ascensional	m/h	0.71	1.28	Con $Q_{m\acute{a}x}$
		0.28	0.50	Con $Q_{promedio}$
Lagunas facultativas				
TRH	d	9.72	5	
Carga superficial	Kg DBO ₅ /Ha/d	128.39	348.08	
Humedal de flujo superficial				
TRH	d	3.48	2 - 15	
Carga superficial	Kg DBO ₅ /Ha/d	233.05	< 112	

7.2 Medición de parámetros de calidad del agua residual PTAR Santo Tomás 2018 – 2021.

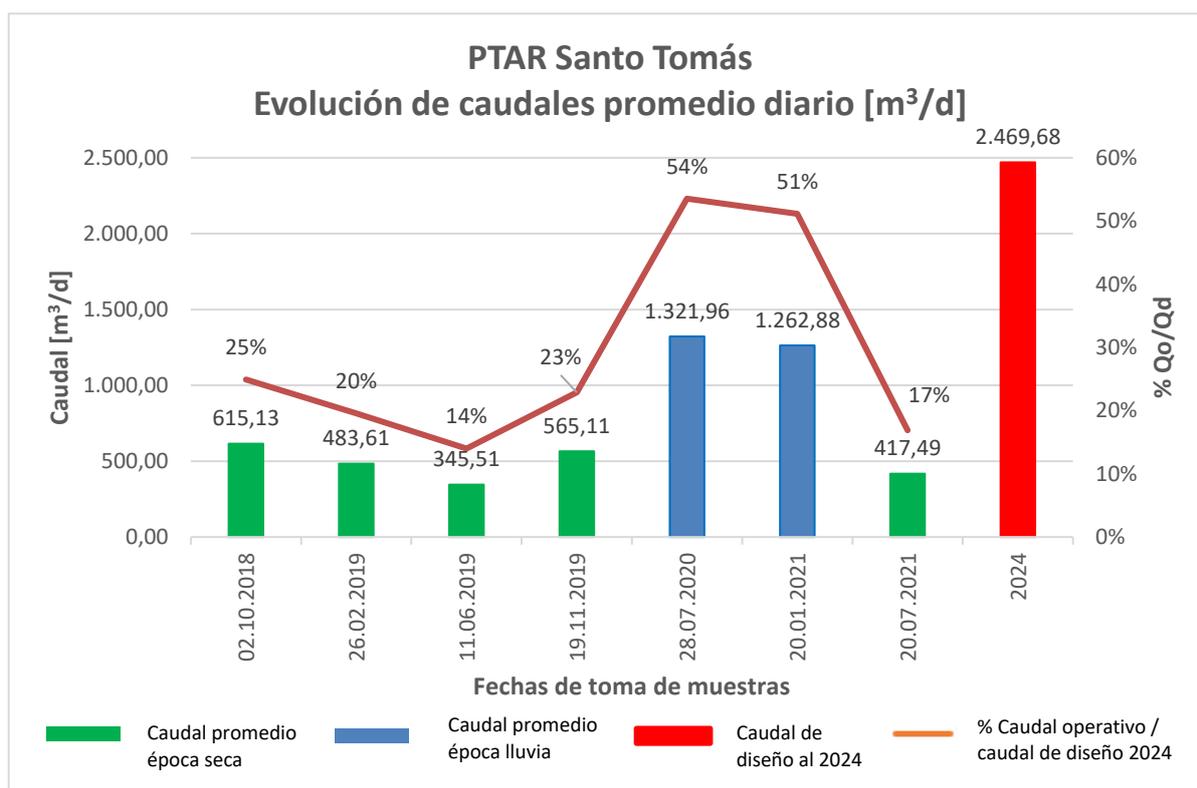
Tabla 13: Resultados de calidad de aguas residuales.

Parámetro	U. M.	Laboratorio	Fecha	Afluyente	Entrada UASB	Entrada Laguna	Entrada Humedal	Efluente	Decreto 21-2017
Coliformes fecales	NMP/100mL	ENACAL	02/10/2018	7.80E+03	-	-	-	1.70E+06	1.00E+05
		ENACAL	26/02/2019	2.40E+08	-	5.15E+06	3.90E+03	0.00E+00	
		ENACAL	11/06/2019	7.90E+07	-	9.90E+06	1.50E+05	2.40E+05	
		ENACAL / IICN	19/11/2019	1.60E+06	1.60E+06	1.60E+06	1.60E+06	3.50E+04	
		ENACAL / GIZ	19/11/2019	7.90E+07	1.70E+07	2.80E+06	2.30E+04	1.30E+04	
		ENACAL	28/07/2020	1.10E+08	3.30E+06	3.30E+06	3.30E+05	4.90E+05	
		ENACAL	20/01/2021	1.60E+09	1.60E+08	2.40E+07	1.30E+07	4.90E+06	
Aceites y grasas	mg/L	ENACAL	02/10/2018	0	-	-	-	0	20
		ENACAL	26/02/2019	0	-	-	-	0	
		ENACAL	11/06/2019	0	-	-	-	0	
		ENACAL / IICN	19/11/2019	35	29	10	10	10	
		ENACAL / GIZ	19/11/2019	24	17	3	0	0	
		ENACAL	28/07/2020	11	-	-	-	0	
		ENACAL	20/01/2021	31	-	-	-	2	
DBO ₅	mg/L	ENACAL	02/10/2018	7	-	-	-	10	110
		ENACAL	26/02/2019	71	-	71.5	217	6	
		ENACAL	11/06/2019	79	-	65.5	24	19	
		ENACAL / IICN	19/11/2019	186	161.1	85	48	37.4	
		ENACAL / GIZ	19/11/2019	179	174	117	29	18	
		ENACAL	28/07/2020	74	74	78	58	19	
		ENACAL	20/01/2021	-	-	-	-	-	
DQO	mg/L	ENACAL	02/10/2018	26	-	-	-	45	220
		ENACAL	26/02/2019	209	-	234.5	217	63	
		ENACAL	11/06/2019	156	-	173.5	49	42	
		ENACAL / IICN	19/11/2019	276	252	152	106	116	
		ENACAL / GIZ	19/11/2019	283.28	267.98	148.11	127.71	15.32	
		ENACAL	28/07/2020	160.9	166.88	190.83	169.88	77.18	
		ENACAL	20/01/2021	451.3	433.33	196.82	205.8	100.62	
Fósforo total	mg/L	ENACAL	02/10/2018	1.31	-	-	-	1.02	15
		ENACAL	26/02/2019	2.77	-	-	-	2.25	
		ENACAL	11/06/2019	1.86	-	-	-	0.6	
		ENACAL / IICN	19/11/2019	0.36	0.4	0.35	0.25	0.26	
		ENACAL / GIZ	19/11/2019	3.59	4.54	3.27	1.86	1.86	
		ENACAL	28/07/2020	2.96	2.8	3.75	4.06	4.38	
		ENACAL	20/01/2021	4.99	-	-	-	5.76	
Nitrógeno total	mg/L	ENACAL	02/10/2018	0	-	-	-	0	45
		ENACAL	26/02/2019	9.9	-	-	-	2.8	
		ENACAL	11/06/2019	14.63	-	-	-	1.91	
		ENACAL / IICN	19/11/2019	24.89	25.59	24.75	9.04	7.71	
		ENACAL / GIZ	19/11/2019	19.86	21.08	19.03	5.39	5.72	
		ENACAL	28/07/2020	17.67	17.2	25.76	15.68	16.24	
		ENACAL	20/01/2021	-	-	-	-	-	
pH	-	ENACAL	02/10/2018	-	-	-	-	-	6 – 9
		ENACAL	26/02/2019	-	-	-	-	-	
		ENACAL	11/06/2019	-	-	-	-	-	
		ENACAL / IICN	19/11/2019	7.55	7.41	7.28	8.41	8.15	
		ENACAL / GIZ	19/11/2019	-	-	-	-	-	
		ENACAL	28/07/2020	-	-	-	-	-	
		ENACAL	20/01/2021	-	-	-	-	-	
ENACAL / GIZ	20/07/2021	-	-	-	-	-			

Parámetro	U. M.	Laboratorio	Fecha	Afluente	Entrada UASB	Entrada Laguna	Entrada Humedal	Efluente	Decreto 21-2017
Sólidos sedimentables	mL/L	ENACAL	02/10/2018	0	-	-	-	0	1
		ENACAL	26/02/2019	0	-	-	-	0	
		ENACAL	11/06/2019	0	-	-	-	0	
		ENACAL / IICN	19/11/2019	5.8	1	0.2	0.1	0.1	
		ENACAL / GIZ	19/11/2019	6.81	0.67	0.22	0	0	
		ENACAL	28/07/2020	2.3	1.2	0.2	0.3	0	
		ENACAL	20/01/2021	1.2	-	-	-	0	
		ENACAL /GIZ	20/07/2021	4	-	1	0.3	0.3	
Sólidos suspendidos totales	mg/L	ENACAL	02/10/2018	3	-	-	-	21	100
		ENACAL	26/02/2019	55	-	33.5	63	11	
		ENACAL	11/06/2019	17	-	18	45.5	21	
		ENACAL / IICN	19/11/2019	86	53	18	61	61	
		ENACAL / GIZ	19/11/2019	94	85	35	70	6	
		ENACAL	28/07/2020	178	127	32	65	37	
		ENACAL	20/01/2021	143	72	22	83	44	
		ENACAL /GIZ	20/07/2021	168	-	93	64	9	

7.3 Medición de caudales en PTAR Santo Tomás 2018 – 2021⁴.

Ilustración 16: Caudales promedios diarios 2018 - 2021.



⁴ ENACAL realiza dos muestreos de calidad por año, en período seco y período lluvioso.

7.4 Conexiones efectivas AS y aporte de caudal de aguas residuales.

Tabla 14: Conexión efectiva al sistema de alcantarillado sanitario.

Parámetro analizado	I Etapa del proyecto	II Etapa del proyecto	Total
Inmuebles conectables a AS	2.115	968	3,083
Conectados efectivamente a AS	1,766	523	2,289
No conectados	349	445	794
% conexión efectiva al AS	83.50%	54.03%	74.25%

Tabla 15: Aporte de caudal de agua residual.

Parámetro analizado	Unidad	Resultado
Caudal promedio 2021	m ³ /d	1,262.88
Conexiones efectivas a octubre 2021	unidad	2,289
Índice de hacinamiento	Hab./viv.	4.8
Aporte de caudal por conexión	m ³ /d/conexión	0.55
Aporte de caudal por conexión	m ³ /d/persona	0.11
	l/p/d	110