

INFORME ANUAL

AGUAS

RESIDUALES

2020

Elaborado por:

Equipo de Aguas Residuales:

Ilena Vega Guzmán
Ernesto Alfaro Arrieta
Carmen Mora Aparicio

Colaboración de:

Eduardo Salazar Mesén
Juan José Alfaro Lara
Sergio Alvarez McInerney
Carlos Chacón Salas
Andrés Fonseca Picado



Apartado Especial de detección de
SARSCoV2 en aguas residuales
elaborado por el Equipo Unidad de
Investigación
Ambiente y Salud:

Pablo Rivera Navarro
Andrei Badilla Aguilar
Jimena Orozco Gutierrez

LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS
ÁREA DE AGUAS RESIDUALES

Aprobado por Dirección del Laboratorio Nacional de Aguas Darner Mora Alvarado



**Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Centro de Documentación e Información
UEN Investigación y Desarrollo**



**AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS,
ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN EL
REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI**

Yo, Jorge Luis Zapata Arroyo

N° Cédula: 2-0564-875

Dependencia: Gerencia General

Autorizo como Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital y Catálogo en línea (OPAC) la documentación incluida en la lista adjunta.

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

E-mail: gerenciageneral@aya.go.cr N° Teléfono: 2242-5090

Firma: _____

Personal Institucional Participante



ACTIVIDADES DE MUESTREO

Eduardo Salazar Mesén
Carlos Chacón Salas
Andrés Fonseca Picado
Juan Alfaro Lara



AREA DE BIOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA DE AGUAS RESIDUALES

Ernesto Alfaro Arrieta
Juan Alfaro Lara



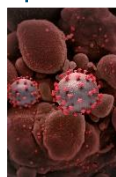
ÁREA DE FISICOQUÍMICA DE AGUAS RESIDUALES

Ilena Vega Guzmán
Eduardo Salazar Mesén
Sergio Álvarez McInerney



ÁREA DE FISICOQUÍMICA DE AGUAS RESIDUALES PTAR LOS TAJOS

Carmen Mora Aparicio
Carlos Chacón Salas
Andrés Fonseca Picado



AREA INVESTIGACIÓN, AMBIENTE Y SALUD

Pablo Cesar Rivera
Andrei Badilla Aguilar
Jimena Orozco Gutierrez

Índice de Contenido

1. Introducción	4
2. Objetivos	7
3. Metodología	8
3.1. Procedimientos de muestreo y análisis	8
3.2. Ubicación de los puntos de muestreo.....	11
4. Resultados de laboratorio	15
4.1. Resultados obtenidos para cada sistema de tratamiento administrado y operado por el AyA.....	16
4.2. Resultados de evaluación de calidad de PTARs en proceso de recepción por el AyA y estudio en la red de alcantarillado de Golfito.	23
4.3. Resultados de la Evaluación de los lodos generados en los sistemas de tratamiento en proceso de recepción, administrados y operados por el AyA.	31
4.4. Resultados de la evaluación de aguas superficiales (cuena 24, cuerpos receptores y estrategia ríos limpios)	34
4.5. Detección de Material Genético del SARS-CoV-2 en Aguas Residuales en sistemas de tratamiento administrados por el AyA.....	38
5. Proyectos	44
5.1. Evaluación y propuesta de humedal piloto del sistema de tratamiento de residuos líquidos en el LNA	44
5.2. Propuesta y Ejecución de la Gestión de residuos químicos generados en el LNA y el LPT	50
5.3. Sistema de Información Geográfica con los resultados de calidad de las PTAR. 52	
6. Conclusiones y Recomendaciones	53
7. Bibliografía.....	55

1. Introducción

El Laboratorio Nacional de Aguas en materia de las aguas residuales y en razón de su competencia participa en la:

- Vigilancia y control de lo concerniente a los servicios de recolección, evacuación y tratamiento de aguas residuales y residuos industriales líquidos en el país.
- Participa en la determinación de prioridades, conveniencias y viabilidades de los diferentes proyectos que se propongan en el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) para construir, reformar, ampliar y modificar obras de alcantarillado y sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Participa en la conservación de las cuencas hidrográficas y la protección ecológica, así como el control de la contaminación de las aguas que drenan hacia ellas.
- Participa y coordina con otros Organismos del Estado tales como Ministerio de Salud (MINSa), Ministerio de Ambiente y energía (MINAE), Comisión Nacional de Emergencias, sobre las actividades públicas y privadas en todos los asuntos relativos al establecimiento de alcantarillado y control de la contaminación de los recursos de agua, pudiendo actuar como un órgano consultivo de asesoría a esas entidades.
- Implementa el control y vigilancia de todos los sistemas de acueductos y alcantarillados en el país administrados por el AyA y los que se irán asumiendo o se encuentran en proceso de recepción, tomando en cuenta la conveniencia y disponibilidad de recursos.
- Contribuye en la protección de la salud pública colaborando con la vigilancia de la contaminación de los cursos de agua que puedan ser utilizados para abastecimiento, riego y recreación, entre otros.

El Decreto Ejecutivo N°26066-S del MINSa establece que el AyA ejercerá el control en materia de agua potable y recolección y evacuación de aguas residuales y residuos industriales líquidos. Se señala que el Laboratorio Nacional de Aguas del AyA ha demostrado la idoneidad

técnica y la capacidad para realizar un adecuado control de la calidad de las aguas potables, aguas residuales y residuos líquidos industriales, en todo el territorio nacional. Se establece como Centro de Referencia Nacional para las determinaciones fisicoquímicas y biológicas de las aguas. Para estas determinaciones el Laboratorio cuenta con un sistema de aseguramiento de la calidad analítico, por medio del cual, los ensayos están debidamente acreditados por el Ente de Acreditación (ECA) de conformidad con la Norma INTE-ISO/IEC 17025:2017.

De acuerdo con el Decreto N° 26042-S-MINAE Reglamento de vertido y reúso de aguas residuales y al Decreto N°39316-S Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos, el AyA no queda exenta de los controles ambientales y está en la obligación de presentar reportes operacionales de sus sistemas de tratamiento. El Laboratorio Nacional de Aguas Residuales efectúa los análisis fisicoquímicos y microbiológicos para esos reportes operacionales. La frecuencia de los controles operacionales se establece según lo indicado en los reglamentos para cada sistema de tratamiento.

Para las aguas residuales tratadas, los parámetros de acatamiento obligatorio son: caudal, potencial de hidrógeno, temperatura, demanda bioquímica y química de oxígeno, sólidos suspendidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, sustancias activas al azul de metileno y coliformes fecales. “Los coliformes fecales sólo serán de análisis obligatorio si las aguas residuales fueren vertidas en cuerpos de agua utilizados para actividades recreativas de contacto primario, si se originasen en hospitales u otros centros de salud, en laboratorios microbiológicos, o en casos particulares que la División de Saneamiento Ambiental del MINSA establezca”. De igual manera se requerirán otros parámetros fisicoquímicos complementarios según casos especiales tanto para vertidos de aguas residuales al alcantarillado sanitario como en los cuerpos de agua, que se establecen según el código CIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme) de la actividad.

Para los lodos generados en el tratamiento de las aguas residuales y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después del tratamiento puedan ser aprovechados como biosólidos, deben cumplir con los siguientes parámetros de acatamiento obligatorio: porcentaje de humedad, también expresada como porcentaje de materia seca, potencial de hidrógeno y parámetros complementarios que establece el MINSA con base en los insumos, materias primas y procesos de producción utilizados en el tratamiento de los lodos. Según la disposición final de los biosólidos (terrenos con o sin contacto directo con el público) deben también reportar coliformes fecales y huevecillos de helmintos patógenos.

Los productos que se obtienen del Laboratorio Nacional de Aguas a nivel institucional son un valioso aporte a la Ingeniería Sanitaria para la toma de decisiones en función de proponer cambios y mejoras a sistemas de depuración, evaluación de sistemas depuradores y para el diseño mismo de unidades de tratamiento.

El 2020 fue un año atípico debido la pandemia por COVID-19 que hasta el momento sigue siendo un desafío por enfrentar, ante esta situación se debe tener presente que **“Nada en la vida debe temerse, sólo debe ser entendido. Ahora es el momento de comprender más para que podamos temer menos”** (Marie Curie), bajo este espíritu a partir de marzo del 2020, y con base en los reportes iniciales que indicaban la excreción de partículas virales a través de las heces, el LNA inició la revisión de literatura y el diseño de posibles protocolos para la detección del virus SARS-CoV-2, causante de la COVID-19, en las aguas residuales. Estos esfuerzos iniciaron a mostrar resultados positivos cuando en el mes de mayo, se logró realizar la primera detección de partículas de SARS-CoV-2 en aguas residuales del Centro de Aprehensión Temporal para Extranjeros en Condición Irregular (CATECI), el cual en ese momento albergaba a 12 personas enfermas de COVID-19. Este hallazgo fue comunicado al país en la conferencia de prensa habitual que se realizaba todos los días en la Casa Presidencial.

Luego de esto, el equipo conformado por la Unidad de Biología Molecular y el Departamento de Aguas Residuales perfeccionó la técnica y estableció programas de muestreo y análisis, en conjunto con el MINSA y la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS), con criterios epidemiológicos para detectar la circulación del virus, en las aguas residuales de diferentes zonas y comunidades del país. En este informe se incluye los resultados en los sistemas administrados por el AyA.

2. Objetivos

Objetivo general

Efectuar el control fisicoquímico y microbiológico de la calidad de las aguas residuales en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas operados y administrados por el AyA, Municipalidades y entes públicos y privados que solicitan esos servicios, así como en los cauces receptores de esas descargas, de acuerdo con la capacidad analítica posible.

Objetivos específicos

- ✓ Mantener la acreditación de las técnicas de análisis fisicoquímicos y microbiológicos implementadas y aplicables en el Área de aguas residuales del LNA.
- ✓ Implementar las metodologías analíticas fisicoquímicas y microbiológicas que se requieran según surja nueva normativa nacional que requiera ampliar el alcance de las determinaciones realizadas
- ✓ Caracterizar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua residual y lodos generados en los sistemas
- ✓ Evaluar la funcionalidad y estado actual de los sistemas de depuración de aguas residuales ordinarias domésticas que operan el AyA en todo el país.
- ✓ Determinar el impacto de la calidad de los efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales sobre el cuerpo receptor.
- ✓ Contribuir en las caracterizaciones fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales que se pretenden tratar en los nuevos proyectos de saneamiento, así como la caracterización de los futuros cuerpos receptores de acuerdo con la capacidad analítica disponible.
- ✓ Desarrollar proyectos de investigación pertinentes y con insumos importantes para los proyectos de saneamiento del AyA pertinentes y con insumos importantes para los proyectos de saneamiento del AyA con apoyo de la Unidad de Investigación Agua, Ambiente y Salud del LNA.

3. Metodología

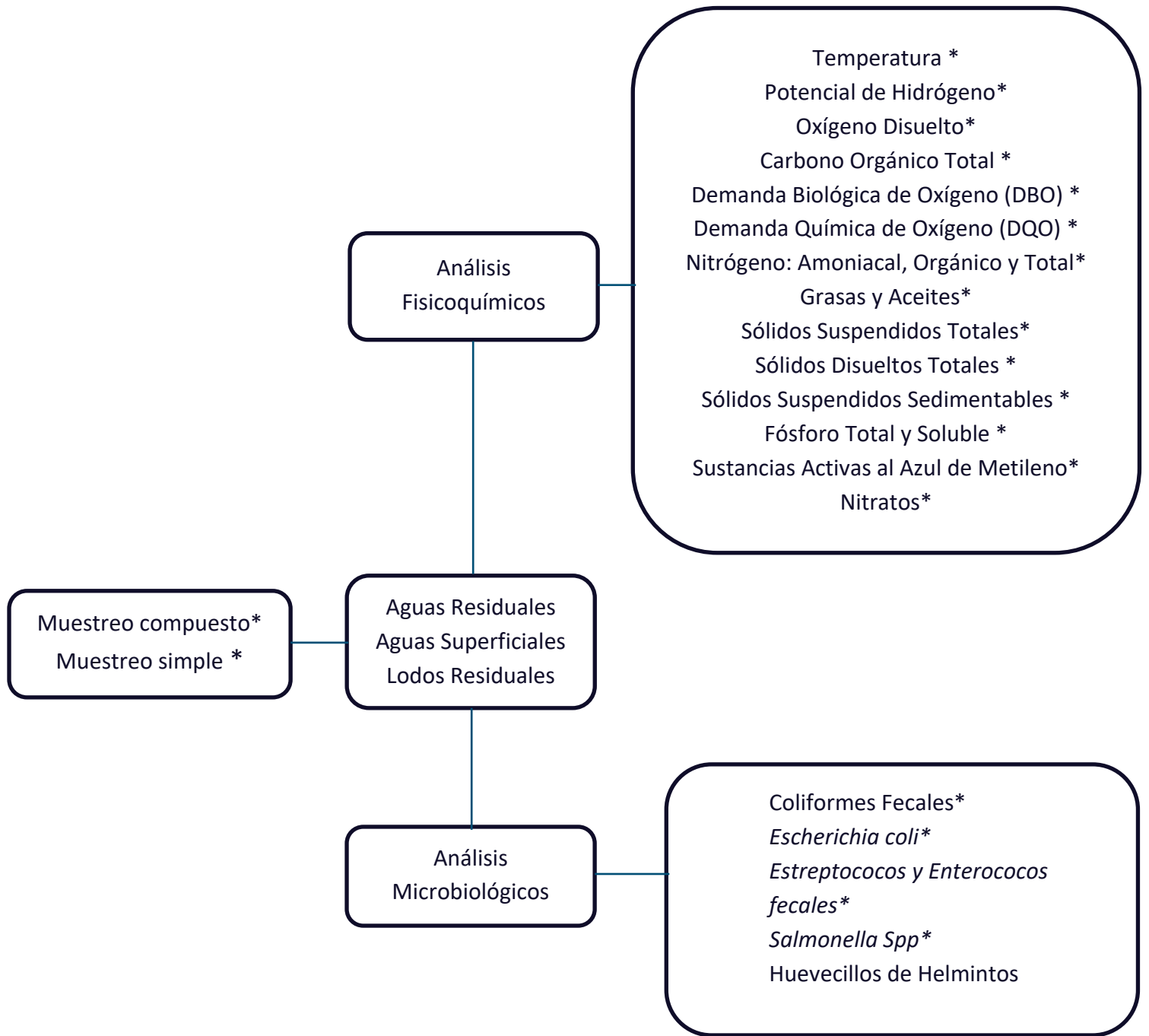
3.1. Procedimientos de muestreo y análisis

En el esquema de la figura 1 se representa la metodología de muestreo y de análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizadas a cada uno de los sistemas de tratamiento en estudio en las muestras de aguas residuales y de lodos.

Para el 2020, dentro del proyecto Detección de Material Genético del SARS-CoV-2 en Aguas Residuales, se abarcaron distintos sistemas de recolección y tratamiento administrados por AyA, ubicados en las provincias de Alajuela, Guanacaste, Heredia, Limón, Puntarenas y San José. Los muestreos se llevaron a cabo entre mayo de 2020 y se continuaron realizando en el 2021.

En el esquema de la figura 2 se representa la metodología de muestreo y de análisis para la detección de Material Genético del SARS-CoV-2. La concentración de partículas virales se llevó a cabo mediante un procedimiento de adsorción-extracción por medio de membranas electronegativas y suplementación de la muestra con $MgCl_2$ (Symonds et al., 2017, Warish et al., 2020). El aislamiento del material genético se realizó mediante el kit RNeasy PowerWater (Qiagen), mientras que el ADN copia se sintetizó utilizando el kit SuperScript IV (ThermoFisher Scientific). Los ensayos N1 y N2 de los Centros para la Prevención y Control de Enfermedades de USA y el ensayo E del Hospital Charité de Alemania, fueron utilizados para la detección y cuantificación del ARN viral mediante RT-qPCR. Adicionalmente, se determinaron controles endógenos y se realizaron ensayos de recuperación viral en algunas de las muestras.

La recolección de las muestras tanto para los análisis de rutina como para detección de material genético del SARS-CoV-2, se llevó a cabo por medio de muestreos compuestos de 2 horas, excepto en el caso de la PTAR Los Tajos, donde se realizaron muestreos compuestos por 24 horas.



*Análisis Acreditados ISO17025:2017

Figura 1. Esquema metodológico: Tipos de Muestreo, Matrices y Parámetros Físicos Químicos y Microbiológicos utilizados.

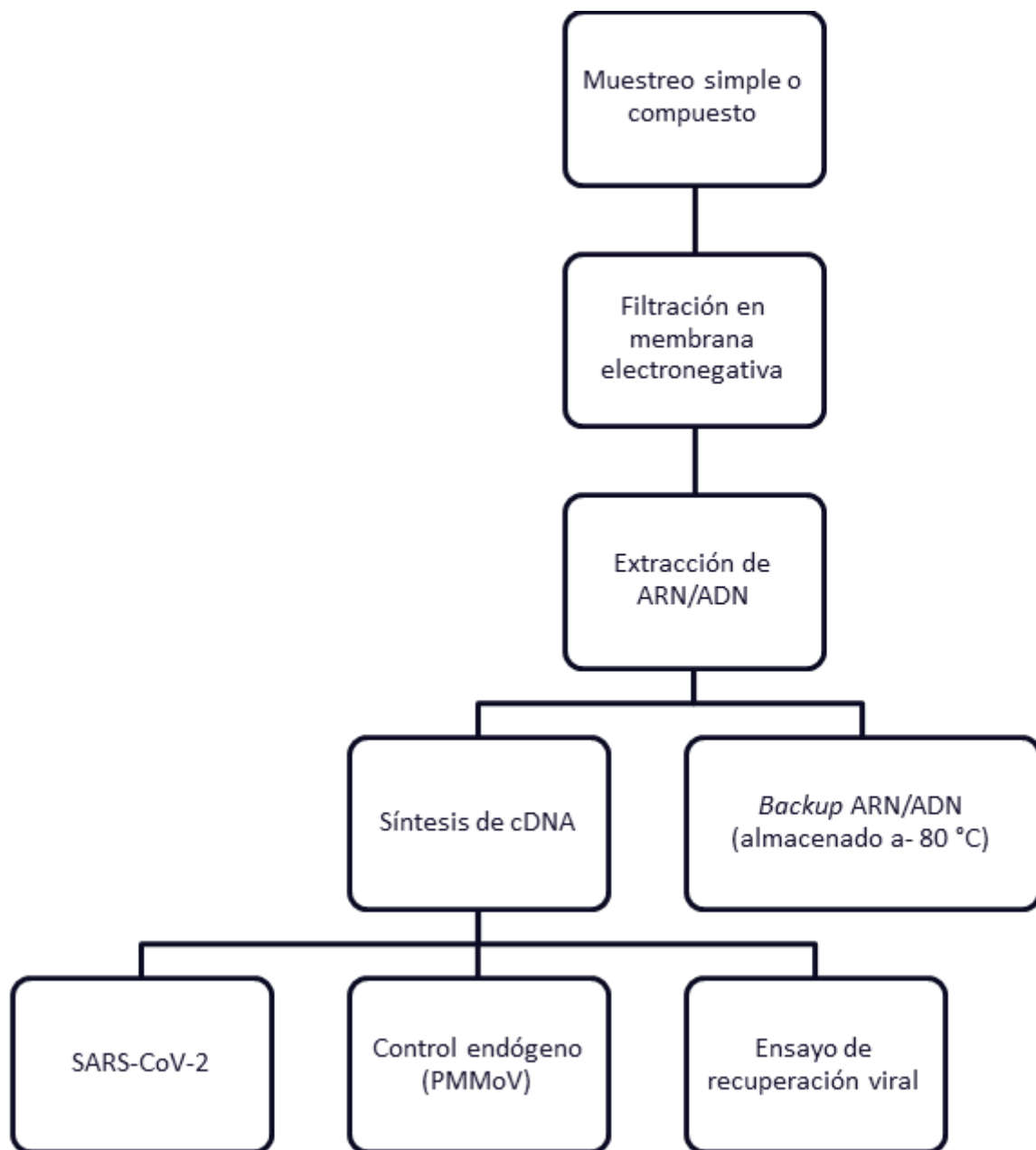


Figura 2. Esquema metodológico muestreo y detección de Material Genético del SARS-CoV-2.

Cuadro 1. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales estudiados por el LNA-AyA y administrados por la UEN Periféricos AyA.

Número	Sistema de Tratamiento	Tipo de Tratamiento	Frecuencia de monitoreo	Sitios de muestreo
1	Lagunas Liberia	Lagunas de Estabilización Facultativas y de Maduración	Trimestral	1.Afluente 2.Mezcla de Efluente lagunares. 3.Ríos receptores aguas arriba vertido. 4.Ríos receptores aguas abajo vertido.
2	Lagunas Cañas			
3	Lagunas Santa Cruz			
4	Lagunas Nicoya			
5	Lagunas San Isidro	Lagunas Aireada	Trimestral	1.Afluente 2.Mezcla de Efluente lagunares. 3.Río receptor aguas arriba vertido. 4.Río receptor aguas abajo vertido.
6	Laguna Boruca Buenos Aires	Lagunas Aireada	Semestral	1.Afluente 2. Efluente
7	Laguna de Lomas	Facultativa	Semestral	1.Afluente 2. Efluente
8	PTAR El Roble	Lodos Activados con Biopelícula Fija (IFAS)	Trimestral	1.Afluente 2. Efluente
9	PTAR Hacienda Los Reyes	Lodos Activados	Trimestral	1.Afluente 2. Efluente
10	PTAR Villa Verano El coyol	Reactores Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)	Semestral	1.Afluente 2. Efluente
11	PTAR Don Edwin Guápiles	Lodos Activados	Trimestral	1.Afluente 2. Efluente
12	EPA/Emisario Submarino Limón	Dilución y dispersión marina	Trimestral	1.Afluente 2.Agua tamizada 3. Efluente: Desfogue (Salida) 4 sitios en el mar

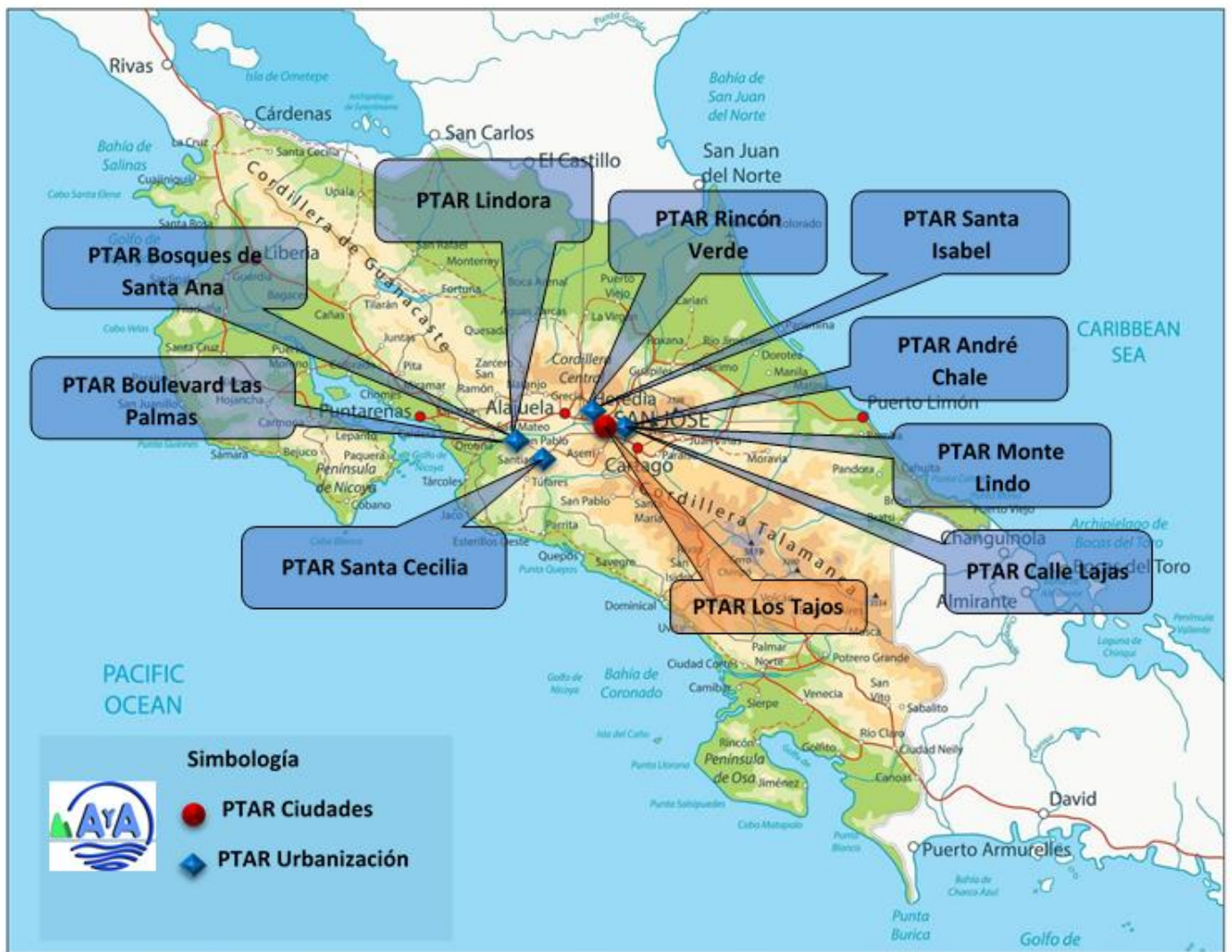


Figura 4. Esquema de ubicación de los sistemas de tratamiento y sus cuerpos receptores estudiados. Administrados por la Dirección Recolección y Tratamiento GAM del AyA.

(En el siguiente Link pueden ubicarlos en un mapa

<https://geouna.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=ee3d02ead672494f9ef4037b5d6da454>)

Cuadro 2. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales estudiados por el LNA-AyA y administrados por la Dirección Recolección y Tratamiento GAM AyA.

Número	Sistema de Tratamiento	Tipo de Tratamiento	Frecuencia de monitoreo Según Reglamento	Sitios de muestreo
1	PTAR Los Tajos	Pretratamiento y Tratamiento Primario	Trimestral	1.Afluente 2.Efluente
2	PTAR Santa Isabel	Lodos Activados	Semestral	1.Afluente 2.Efluente
3	PTAR Rincón Verde II	Lodos Activados	Semestral	1.Afluente 2.Efluente
4	PTAR Boulevard Las Palmas	Lodos Activados	Semestral	1.Afluente 2.Efluente
5	PTAR Bosques de Santa Ana	UASB/Lodos Activados	Semestral	1.Afluente 2.Efluente
6	PTAR André Chalé	Lodos Activados	Semestral	1.Afluente 2.Efluente
7	PTAR Lagos de Lindora	Lodos Activados	Semestral	1.Afluente 2.Efluente
8	PTAR Monte Lindo	Lodos Activados	Semestral	1.Afluente 2.Efluente
9	PTAR Santa Cecilia	UASB/DHS/Filtro Carbón Activo	Semestral	1.Afluente 2.Efluente
10	Calle Lajas	Lodos Activados	Semestral	1.Afluente 2.Efluente

4. Resultados de laboratorio

En este apartado se presentan los principales resultados obtenidos durante el 2020, para este año es importante considerar que se priorizaron esfuerzos a la recolección y análisis (alta complejidad) de muestras en aguas residuales en diferentes puntos del alcantarillado sanitario, así como de sus plantas de tratamiento que sirven a la población del país. Contando con el apoyo de la administración superior del AyA y del MINSA al otorgar el 14 de Julio del 2020, mediante el documento MS-DM-6141-2020 una amnistía para la presentación de reportes operacionales ante el Ministerio de Salud de los sistemas de tratamiento de aguas residuales administrados por el AyA, con el fin de centrar los esfuerzos en la recolección de muestras para la detección de SARS-CoV- 2 en aguas residuales.

Sin embargo, a pesar de contar con la amnistía y continuar con la recolección de muestras para este proyecto, el área de aguas residuales continuó realizando análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los sistemas de alcantarillado y de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs). A continuación, se enlista lo realizado durante este año 2020:

1. Se realizó el programa de muestreo del IV Trimestre del 2020 para el análisis de las aguas residuales y lodos de todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales administrados por el AyA, así como de los sistemas que se solicitan por recepción y los proyectos de programas de calidad de aguas superficiales.
2. Se dio respuesta a la Dirección General de la Subgerencia Gestión de Sistema de Delegados del AyA, para determinar la calidad del agua de 5 PTARs que se encuentran en proceso de recepción.
3. Se realizó el monitoreo del mes de Junio y setiembre de la Cuenca 24, proyecto en conjunto con la Unidad Ejecutora PAPS y el programa Estrategia Nacional para la Recuperación de Cuencas Urbanas 2020-2030, Ríos Limpios, dicho proyecto se trabaja en conjunto con el MINAE.

- Se dio respuesta a la solicitud de la Dirección de Diseño de Saneamiento del AYA para caracterizar las aguas residuales de Golfito para el proyecto de Diseño de la PTAR de Golfito.

4.1. Resultados obtenidos para cada sistema de tratamiento administrado y operado por el AyA.

En las figuras 5 a la 12 se presentan los resultados obtenidos para cada sistema de tratamiento administrado y operado por el AyA, graficados con el valor promedio obtenido de las campañas de muestreos realizados durante el periodo anual, para cada uno de los parámetros obligatorios y Coliformes fecales, establecidos en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales Decreto N° 33601-MINAE-S y el Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos Decreto N°39316-S. Para todos los sistemas de tratamiento en estudio se presenta la comparación de los valores obtenidos para los afluentes y los efluentes con el fin de evaluar el adecuado funcionamiento de cada uno de los sistemas.

4.1.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno.

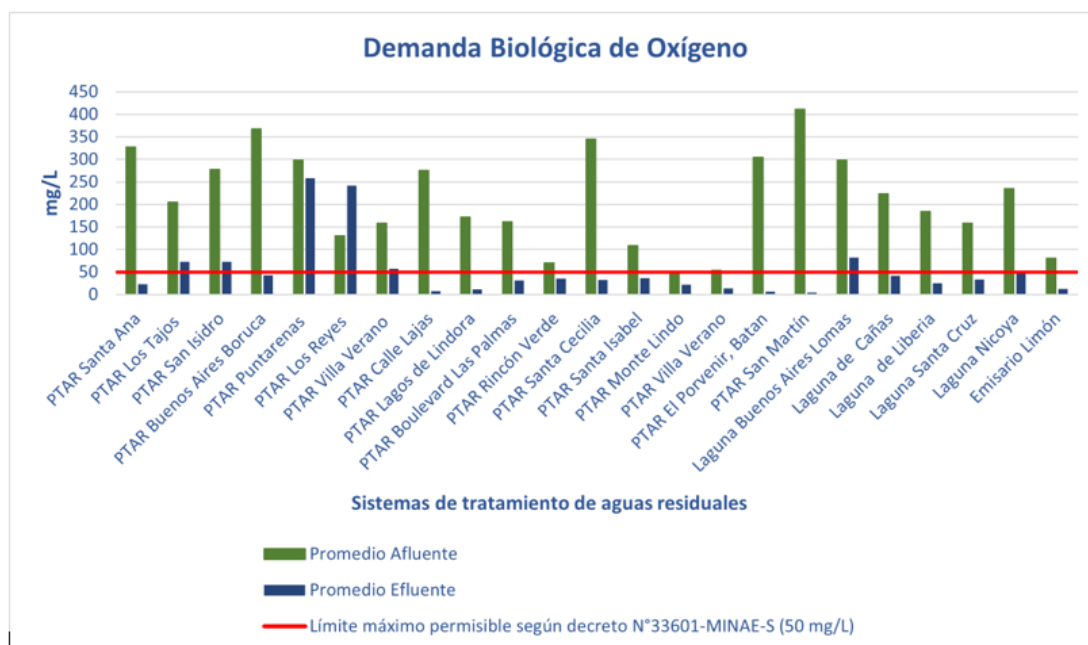


Figura 5. Promedios de los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno de los afluentes y efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

4.1.2 Demanda Química de Oxígeno.

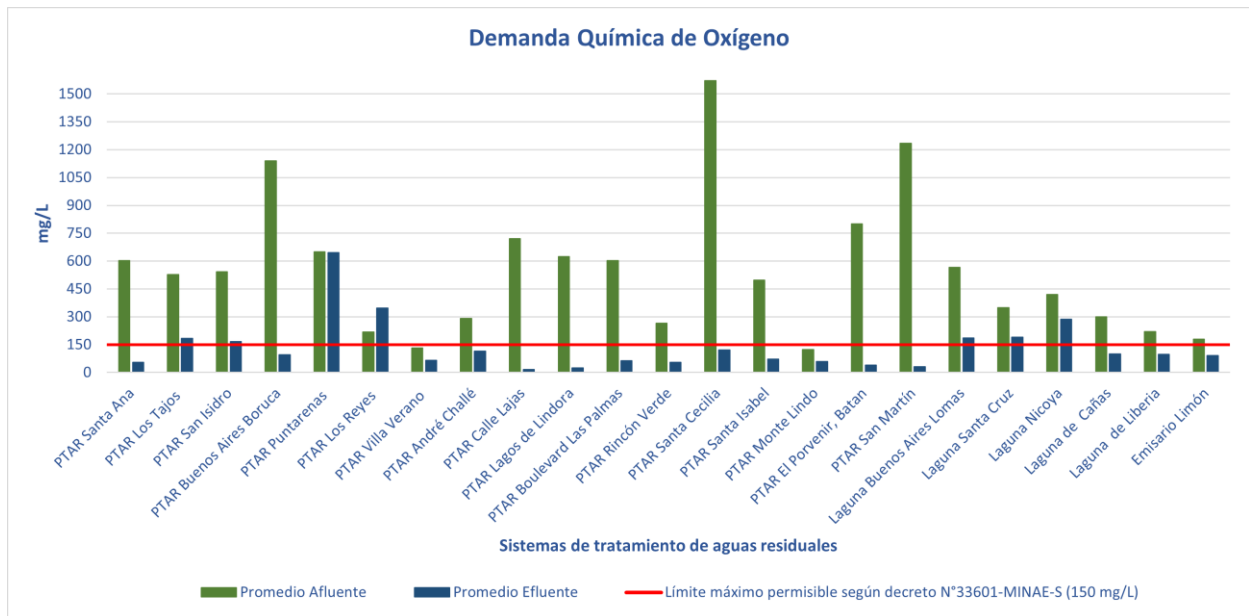


Figura 6. Promedios de los valores de Demanda Química de Oxígeno de los afluentes y efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

4.1.3. Sólidos Suspendidos Totales

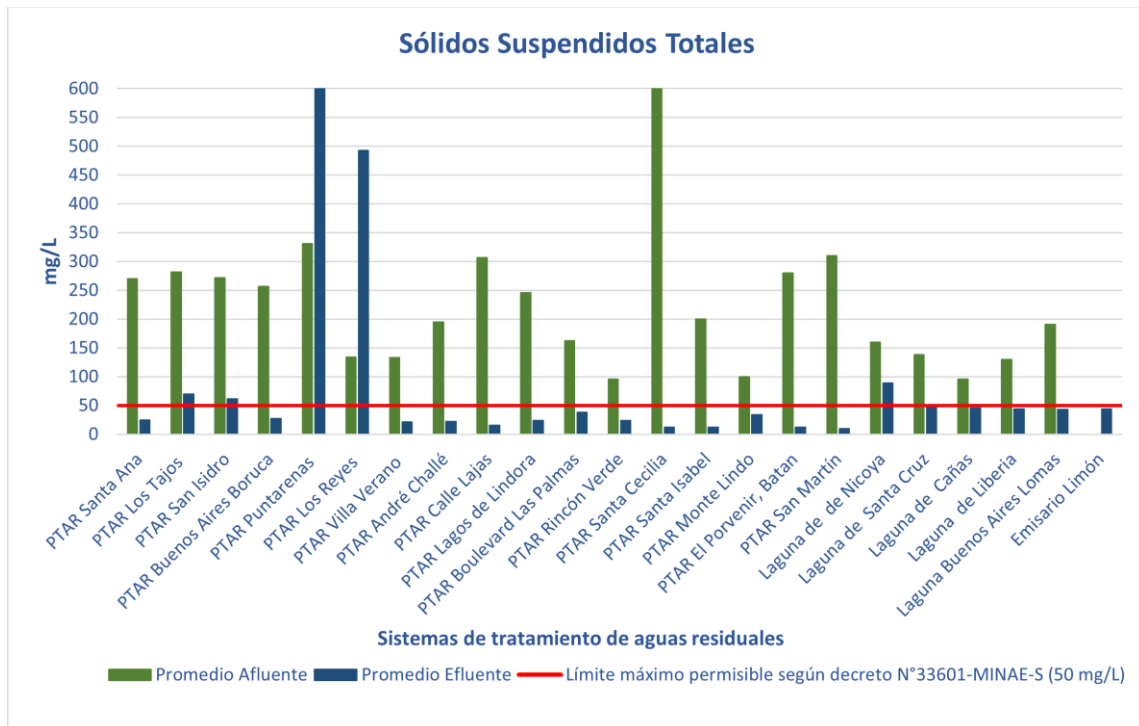


Figura 7. Promedios de los valores de Sólidos Suspendidos de los afluentes y efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

4.1.4. Grasas y Aceites

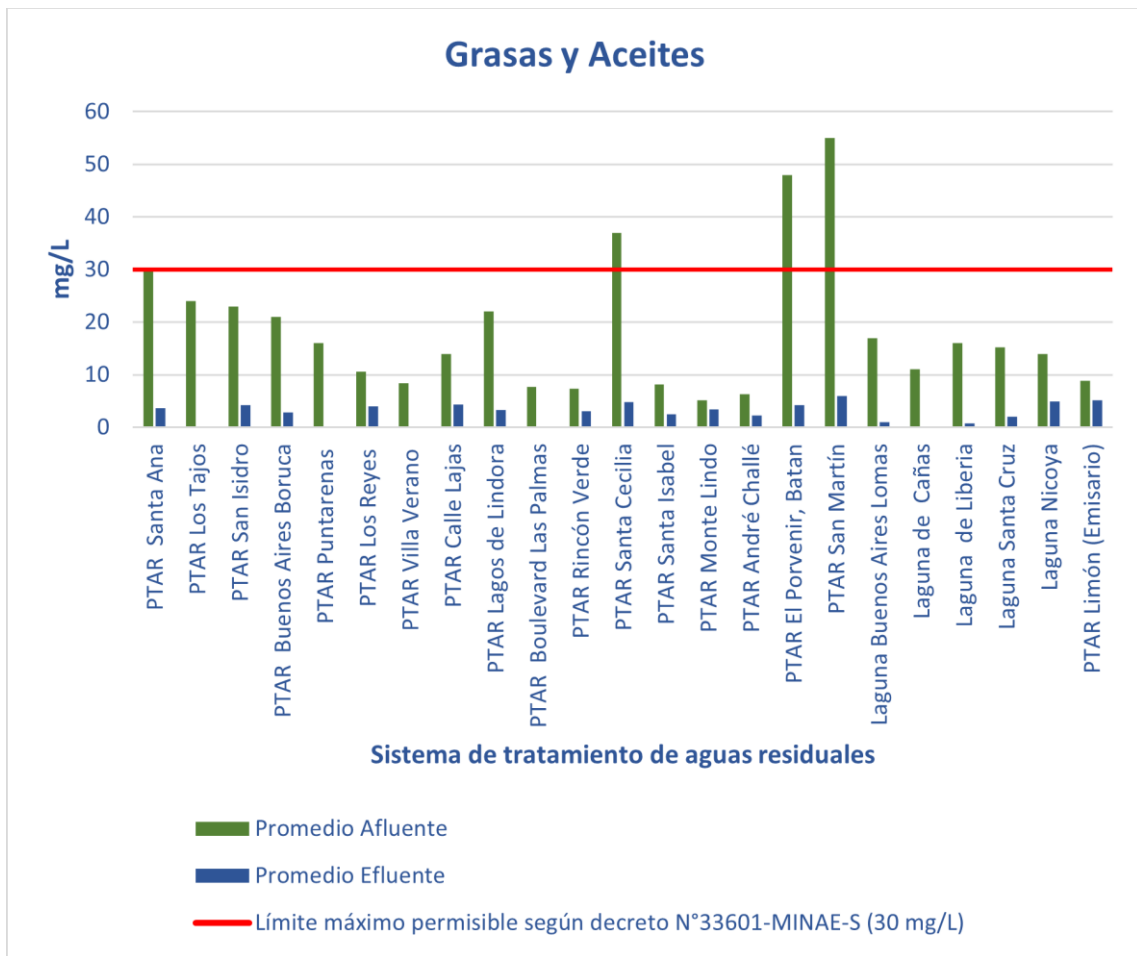


Figura 8. Promedios de los valores de Grasas y Aceites de los afluentes y efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

4.1.5. Potencial de Hidrógeno

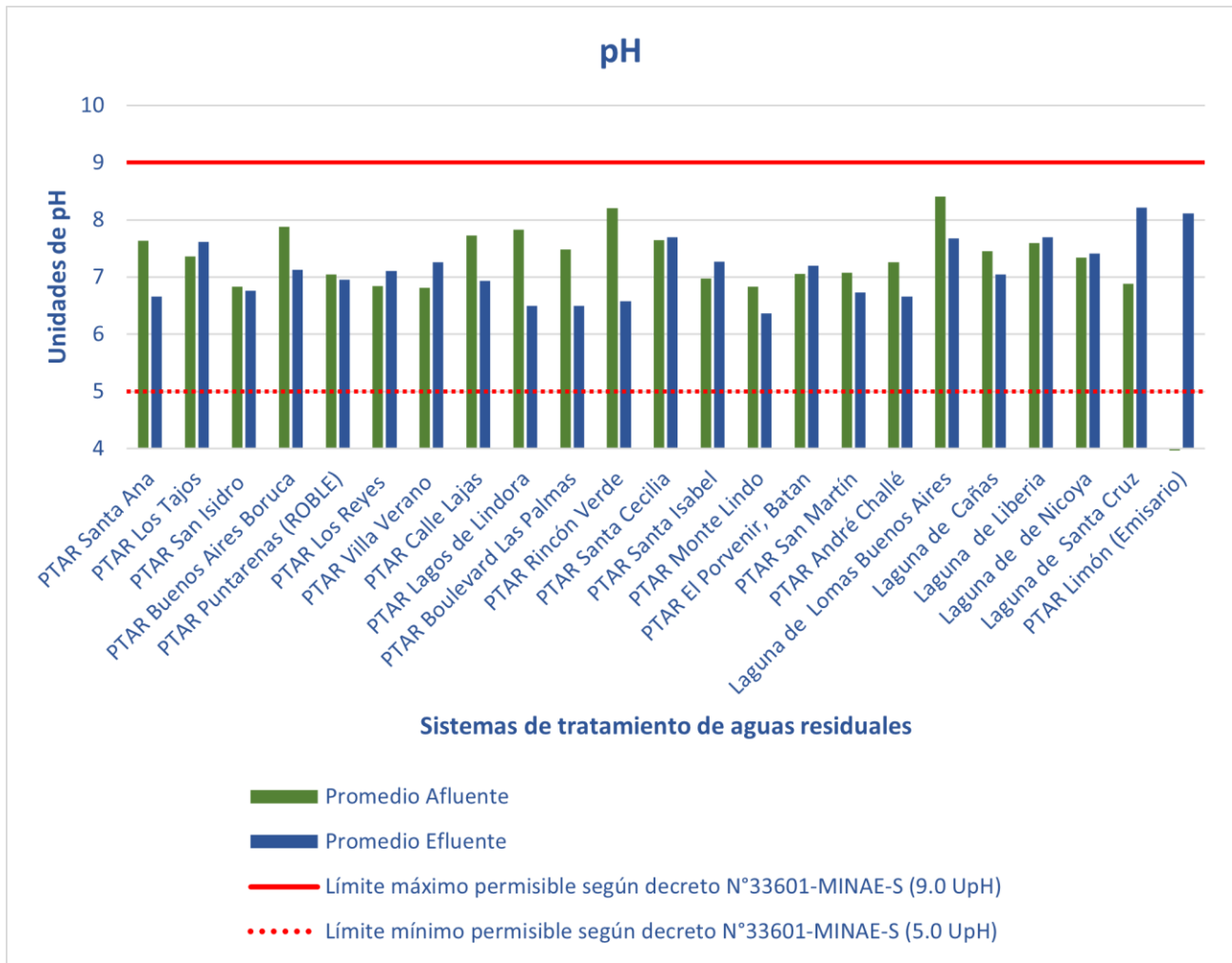


Figura 9. Promedios de los valores de pH de los afluentes y efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

4.1.6. Temperatura del agua

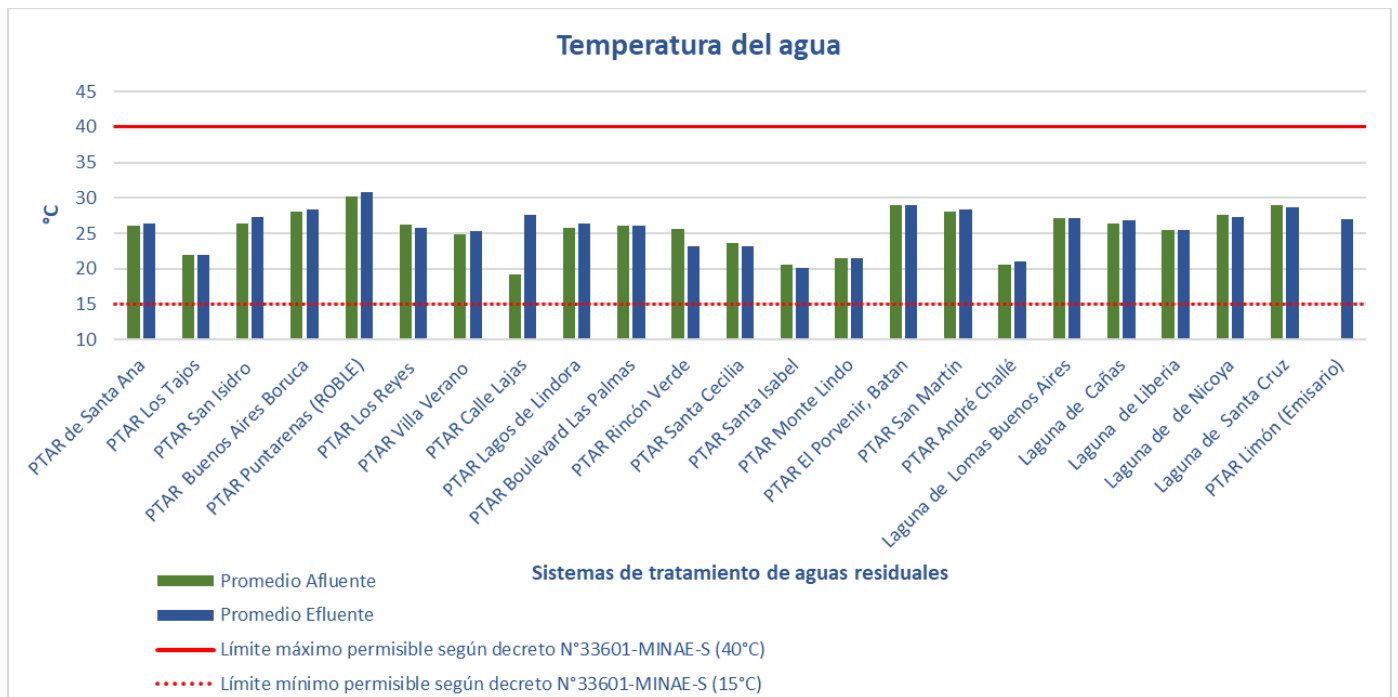


Figura 10. Promedios de los valores de Temperatura de los afluentes y efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

4.1.6. Sólidos Sedimentables

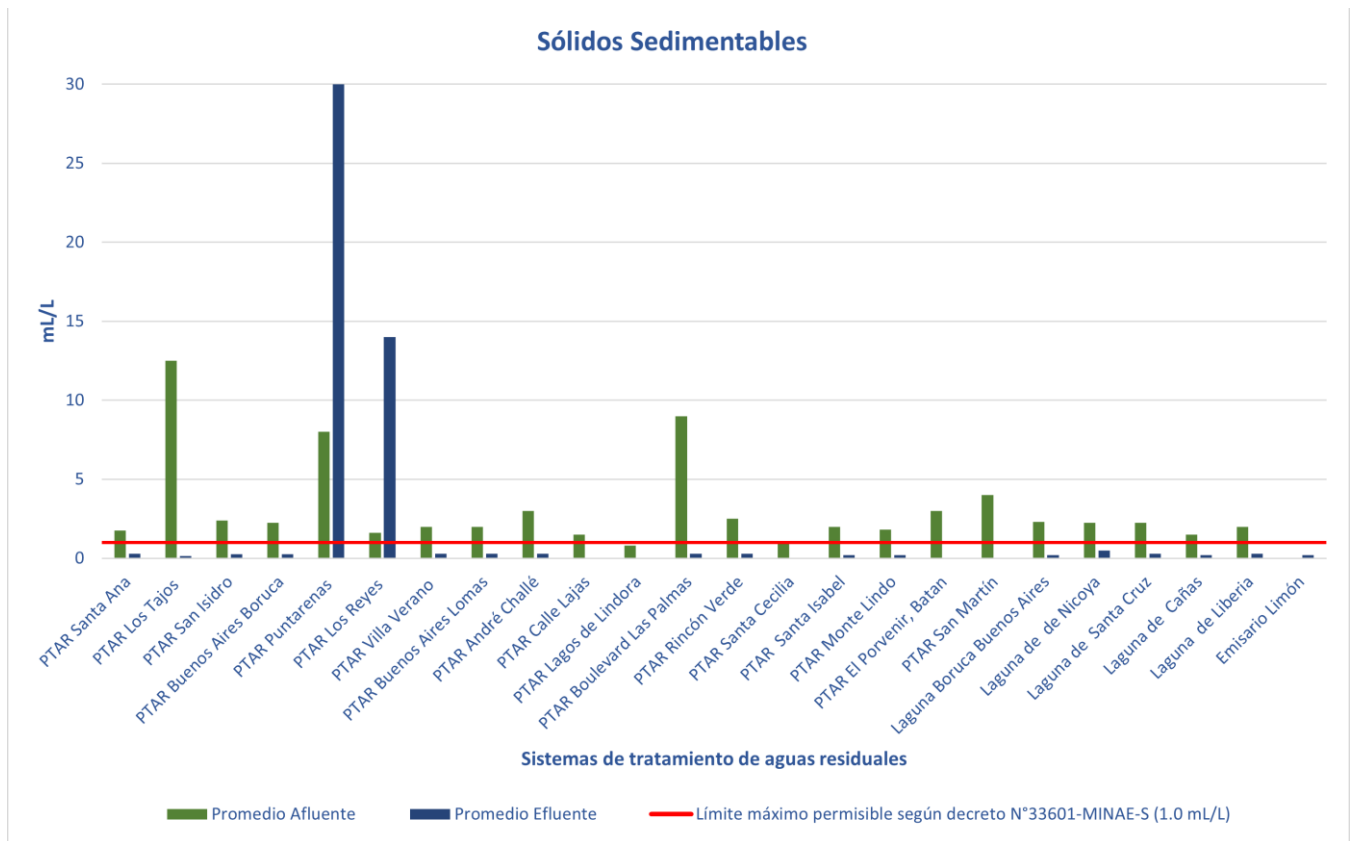


Figura 11. Promedios de los valores de Sólidos Sedimentables de los afluentes y efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

4.1.6. Sustancias Activas al Azul de metileno (SAAM)

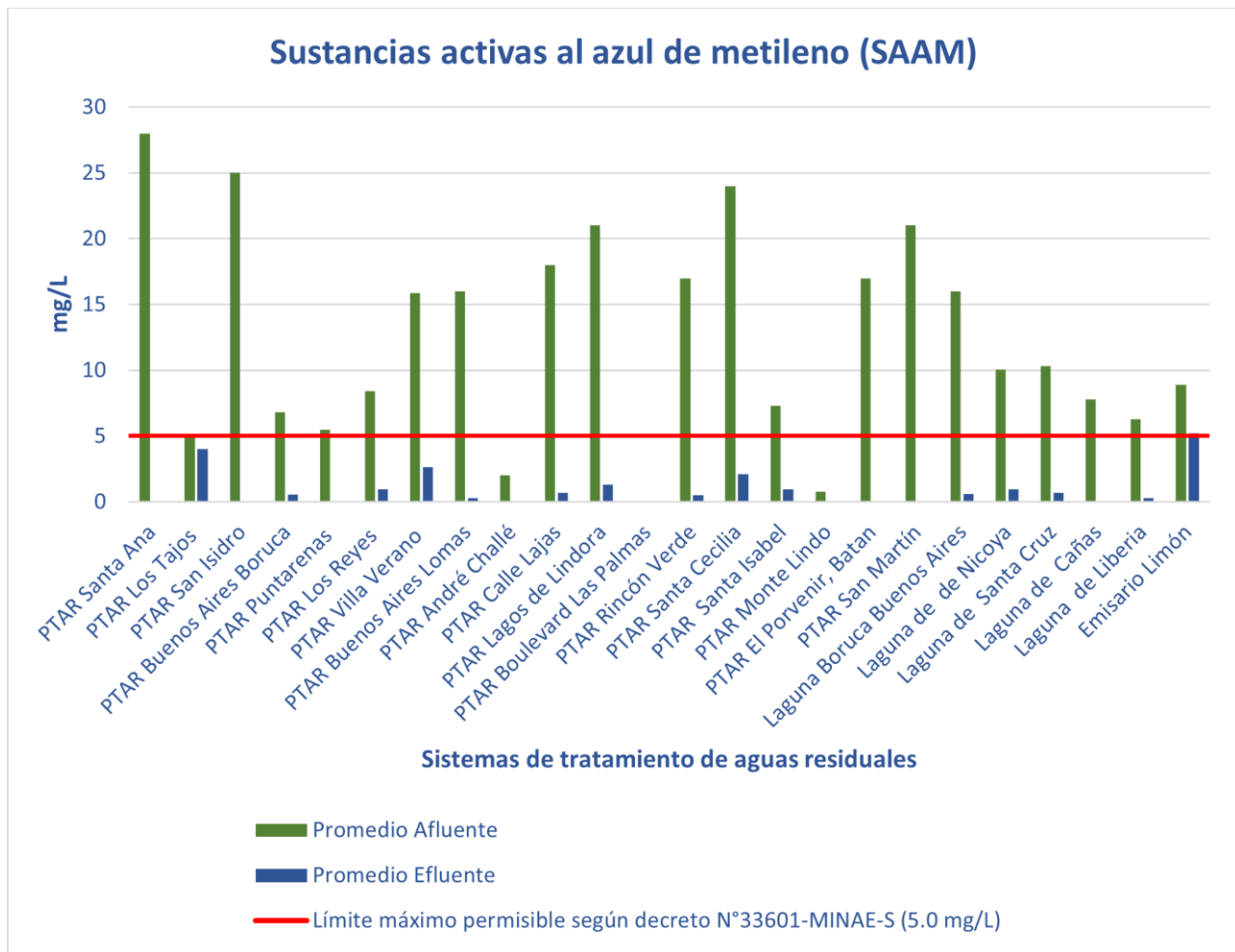


Figura 12. Promedios de los valores de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) de los afluentes y efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

4.1.6. Coliformes Fecales

Cuadro 3. Promedios de los valores de Coliformes Fecales.

PTAR	Promedio Coliformes Fecales Entrada NMP/100 mL	Promedio Coliformes Fecales Salida NMP/100 mL	Porcentaje de Remoción
PTAR Calle Lajas	$7,9 \times 10^7$	$1,3 \times 10^6$	98
Epa	$4,2 \times 10^8$	$1,2 \times 10^8$	70
Laguna Cañas	$3,4 \times 10^8$	$8,2 \times 10^5$	100
Laguna Liberia	$1,2 \times 10^8$	$9,1 \times 10^5$	100
Laguna Nicoya	$3,7 \times 10^8$	$3,0 \times 10^6$	99
Laguna Santa Cruz	$2,1 \times 10^8$	$2,3 \times 10^6$	99
Laguna Pérez Zeledón	$4,2 \times 10^8$	$3,3 \times 10^6$	99
Laguna Lomas Buenos Aires	$3,9 \times 10^8$	$1,7 \times 10^6$	100
PTAR Lagos De Lindora	$1,8 \times 10^8$	$1,3 \times 10^4$	100
PTAR Santa Isabel	$2,3 \times 10^7$	$7,9 \times 10^5$	97
PTAR El Roble	$1,2 \times 10^8$	$1,7 \times 10^7$	85
PTAR Los Tajos	$8,9 \times 10^7$	$5,3 \times 10^7$	41
PTAR Monte Lindo	$3,3 \times 10^7$	$2,3 \times 10^5$	93
PTAR André Chale	$1,3 \times 10^7$	$4,9 \times 10^4$	100
PTAR Bosques	$1,6 \times 10^8$	$1,5 \times 10^5$	100
PTAR Los Reyes	$7,9 \times 10^7$	$7,8 \times 10^7$	1
PTAR Rincón Verde	$1,3 \times 10^7$	$4,9 \times 10^5$	96
PTAR Santa Cecilia	$4,6 \times 10^8$	$4,1 \times 10^7$	91
PTAR Boruca Buenos Aires	$1,8 \times 10^8$	$2,4 \times 10^6$	99
PTAR Las Palmas	$2,5 \times 10^8$	$2,0 \times 10^5$	100
PTAR Villa Verano	$1,2 \times 10^8$	$4,2 \times 10^6$	97

4.2. Resultados de evaluación de calidad de PTARs en proceso de recepción por el AyA y estudio en la red de alcantarillado de Golfito.

En las figuras 13 a la 20 se presentan los resultados obtenidos para cada sistema de tratamiento que se encuentran en evaluación para proceso de recepción según se establece en el Acuerdo de Junta Directiva N°2017-066 “Reglamento de aprobación y recepción de sistemas de saneamiento por parte del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados”:

“...el AyA en ejercicio de sus potestades realizará un muestreo y análisis de calidad de aguas residuales por medio del Laboratorio Nacional de Aguas, con la finalidad de verificar el cumplimiento en cuanto a la calidad de los parámetros fisicoquímicos, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales vigente. Este resultado será prevalente para la determinación de la calidad del vertido del sistema y formará parte del informe de idoneidad técnica.”

En los gráficos se muestra el valor obtenido el valor promedio obtenido de las campañas de muestreo los muestreos realizados durante el año o el valor del único muestreo realizado, para cada uno de los parámetros obligatorios y Coliformes fecales establecidos en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales Decreto N° 33601-MINAE. Para todos los sistemas de tratamiento en estudio se presenta la comparación de los valores obtenidos para los afluentes y los efluentes con el fin de evaluar el adecuado funcionamiento de cada uno de los sistemas.

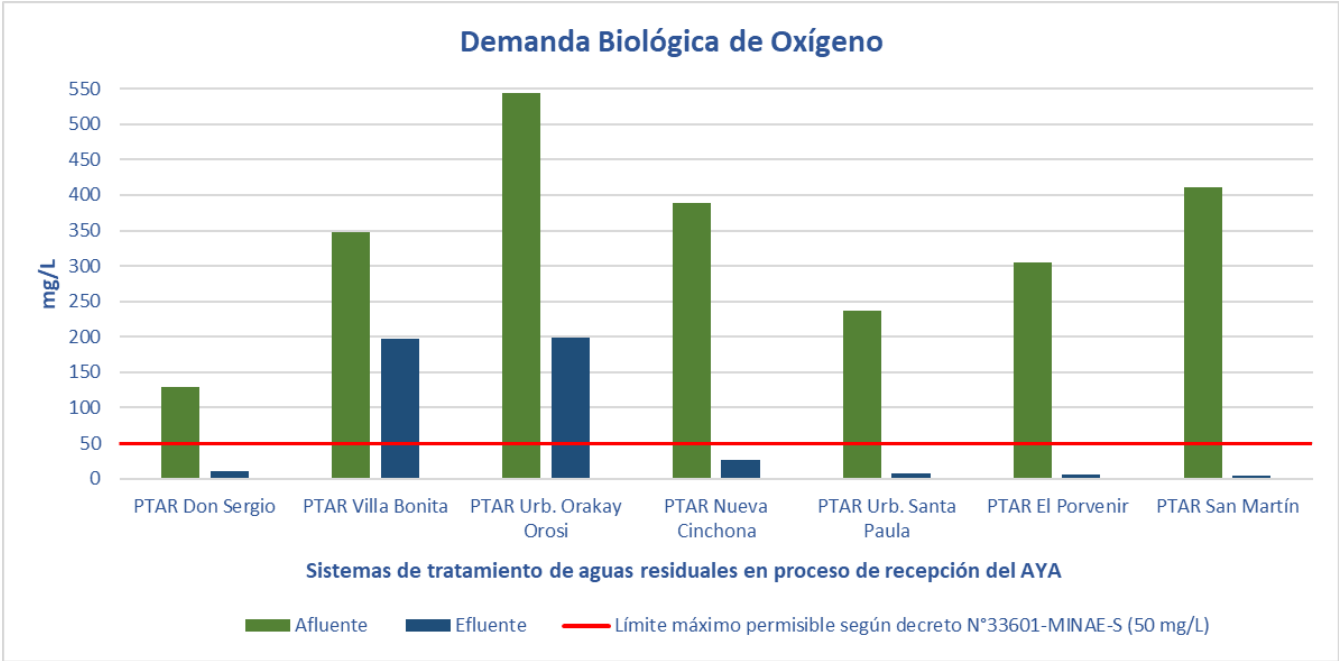


Figura 13. Promedios de los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno

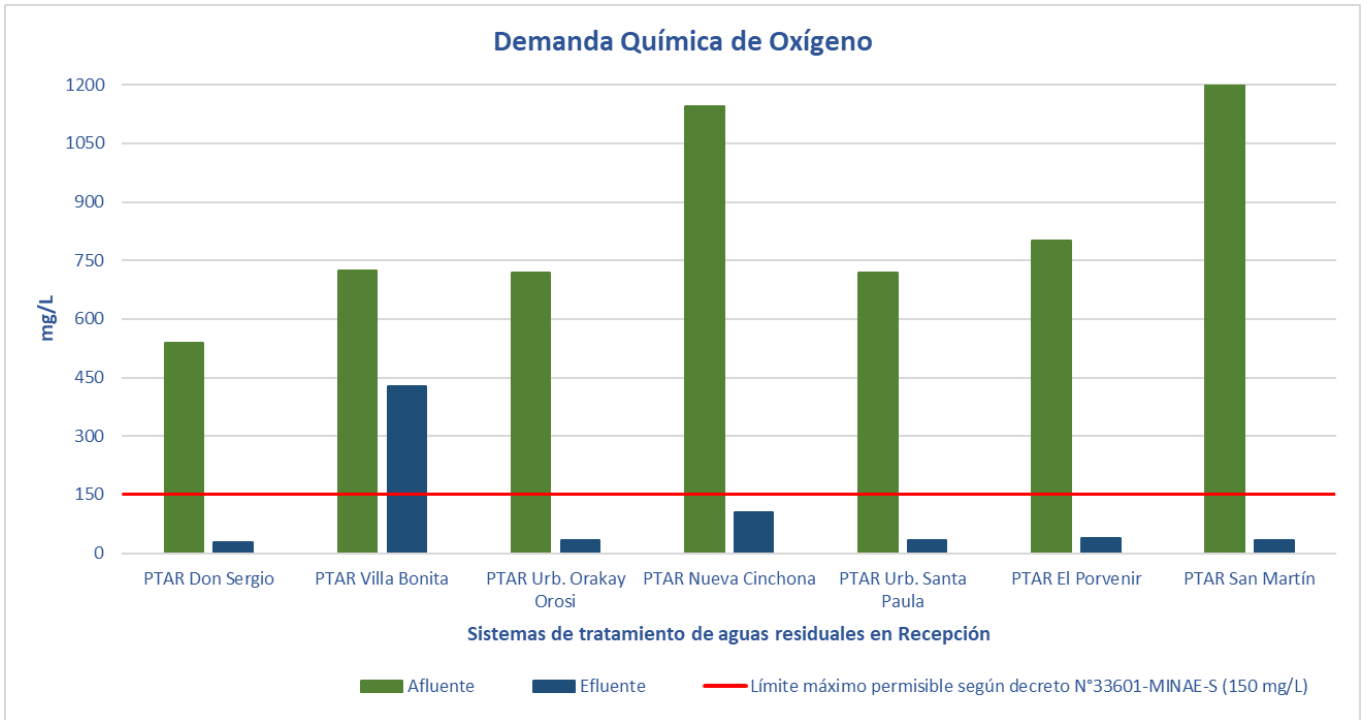


Figura 14. Promedios de los valores de Demanda Química de Oxígeno.

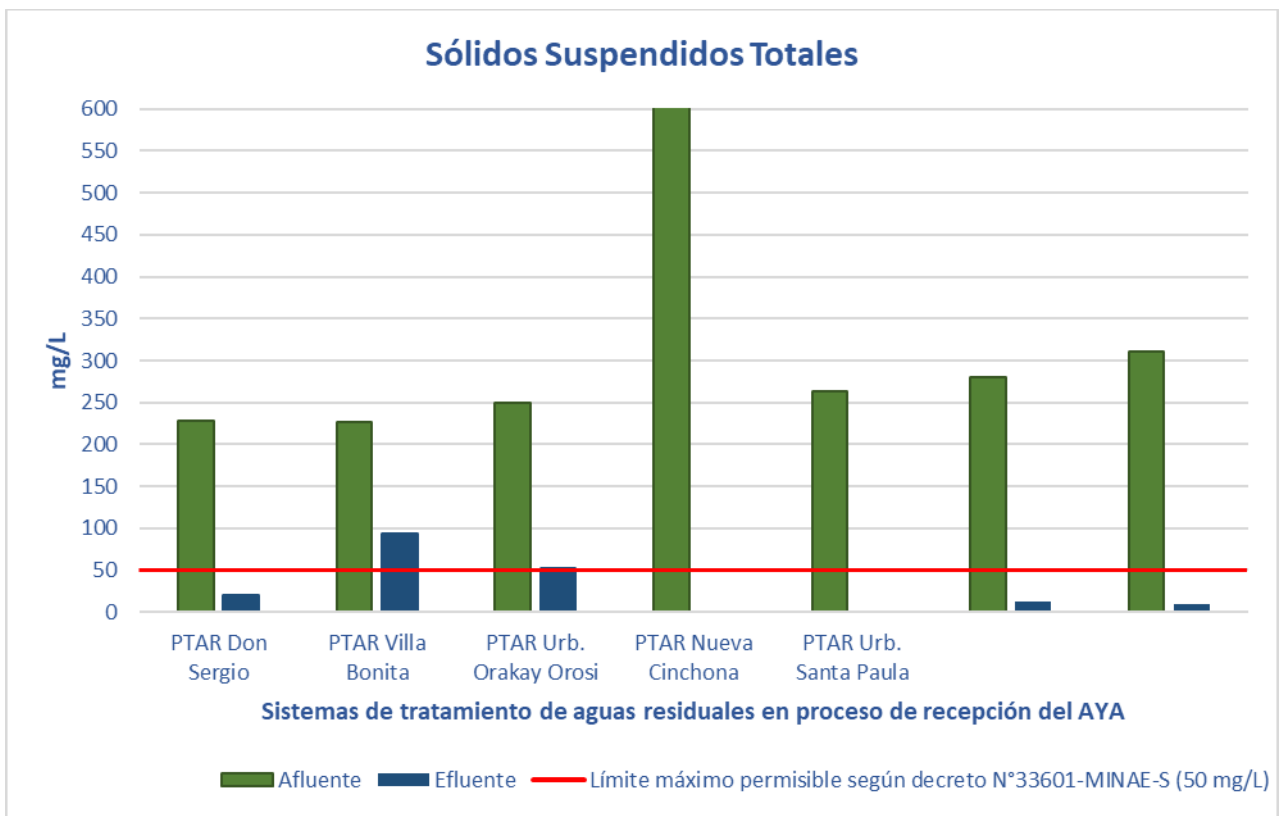


Figura 15. Promedios de los valores de Sólidos Suspendidos

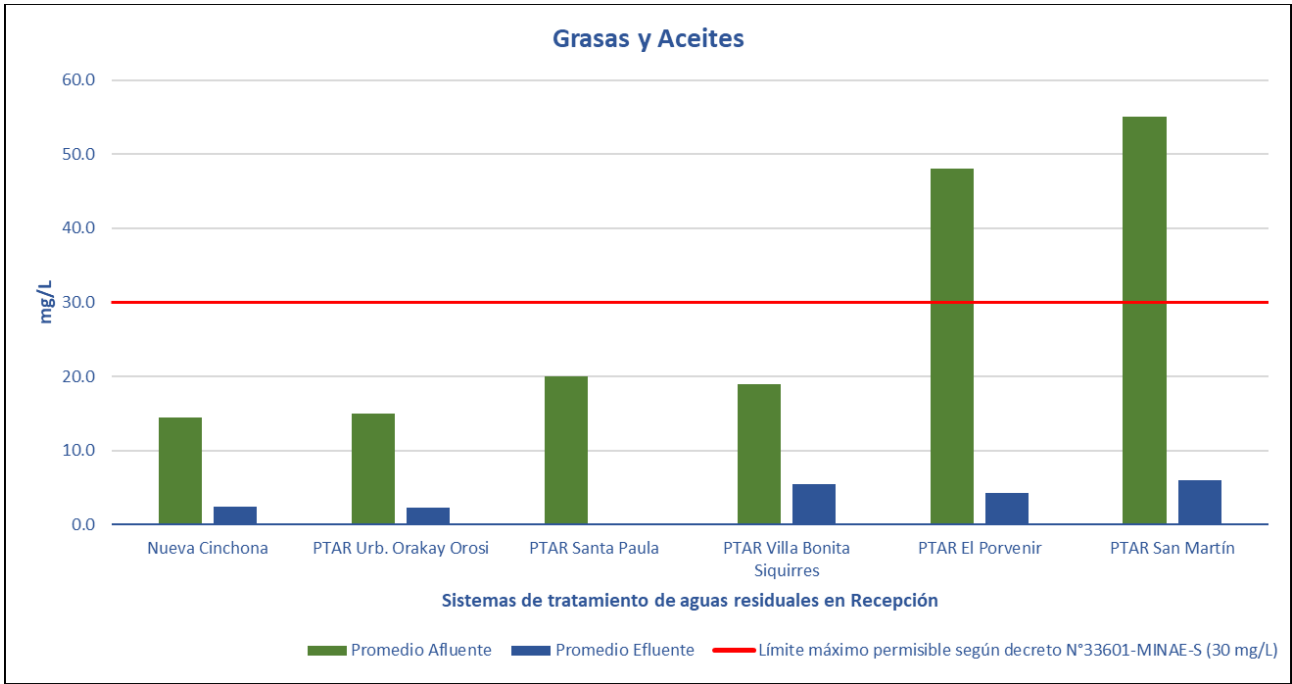


Figura 16. Promedios de los valores de Grasas y Aceites

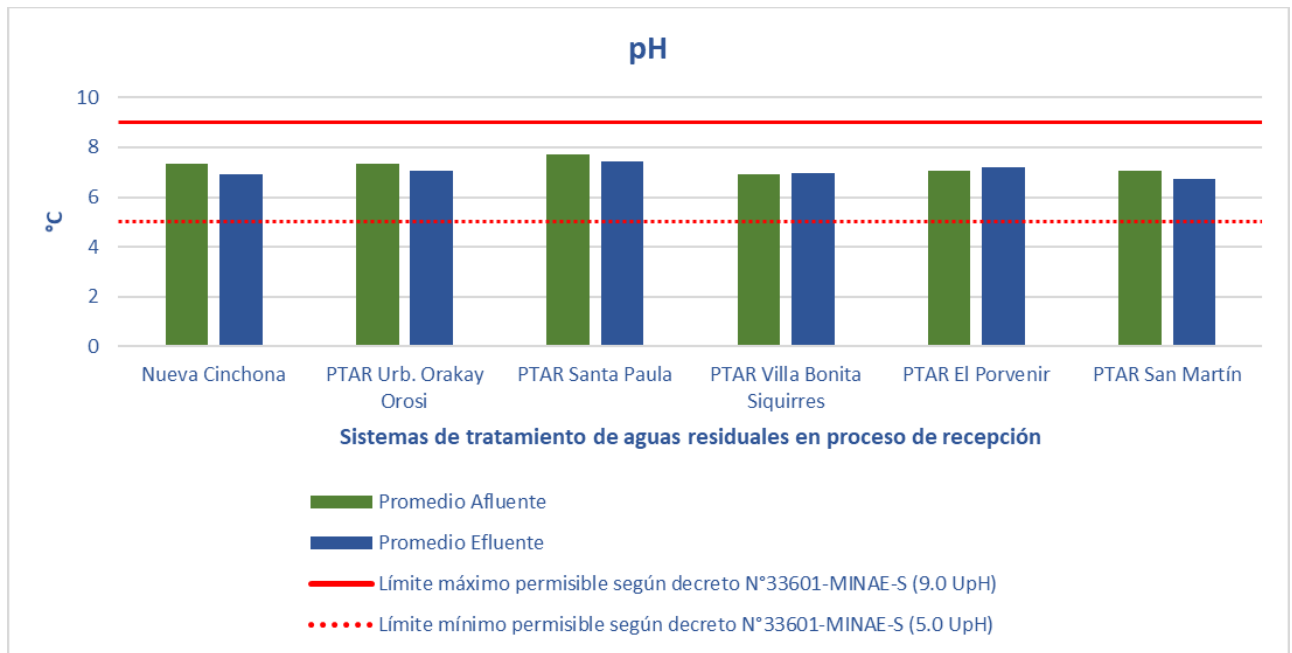


Figura 17. Promedios de los valores de pH

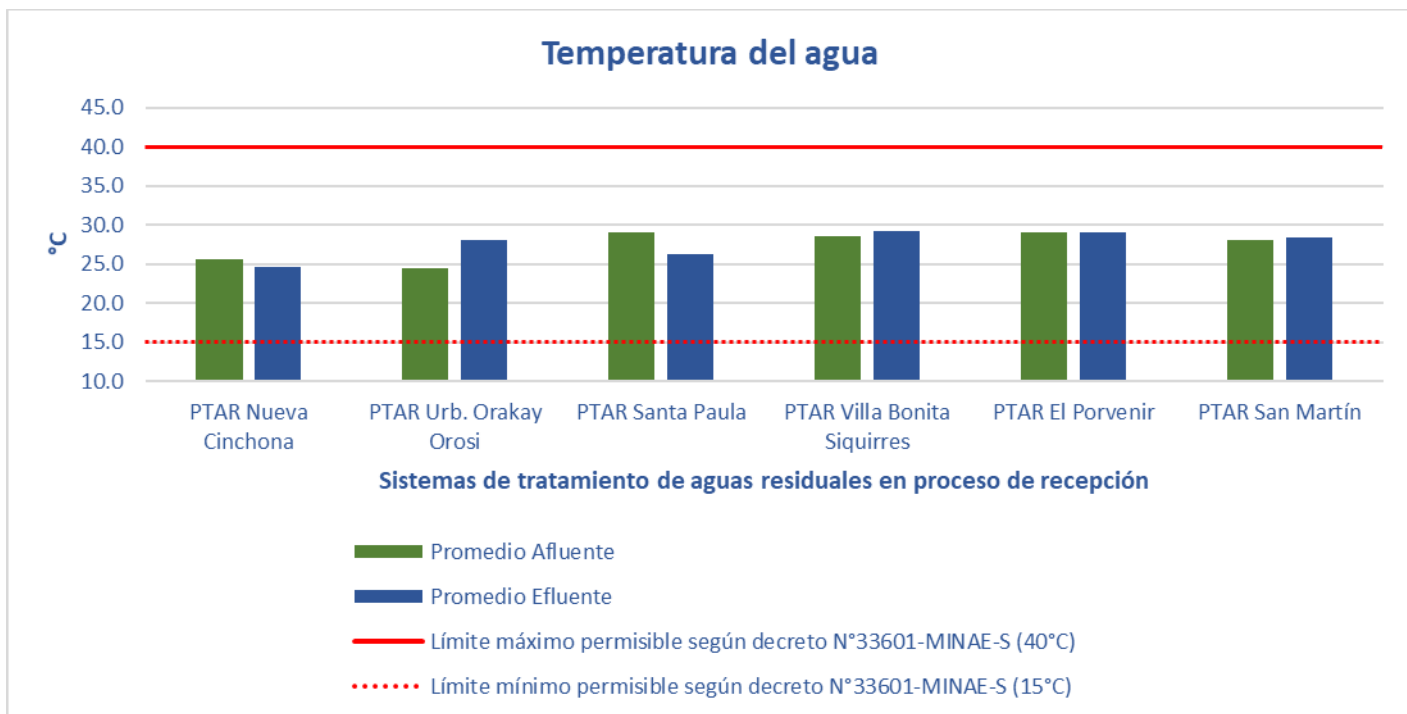


Figura 18. Promedios de los valores de Temperatura

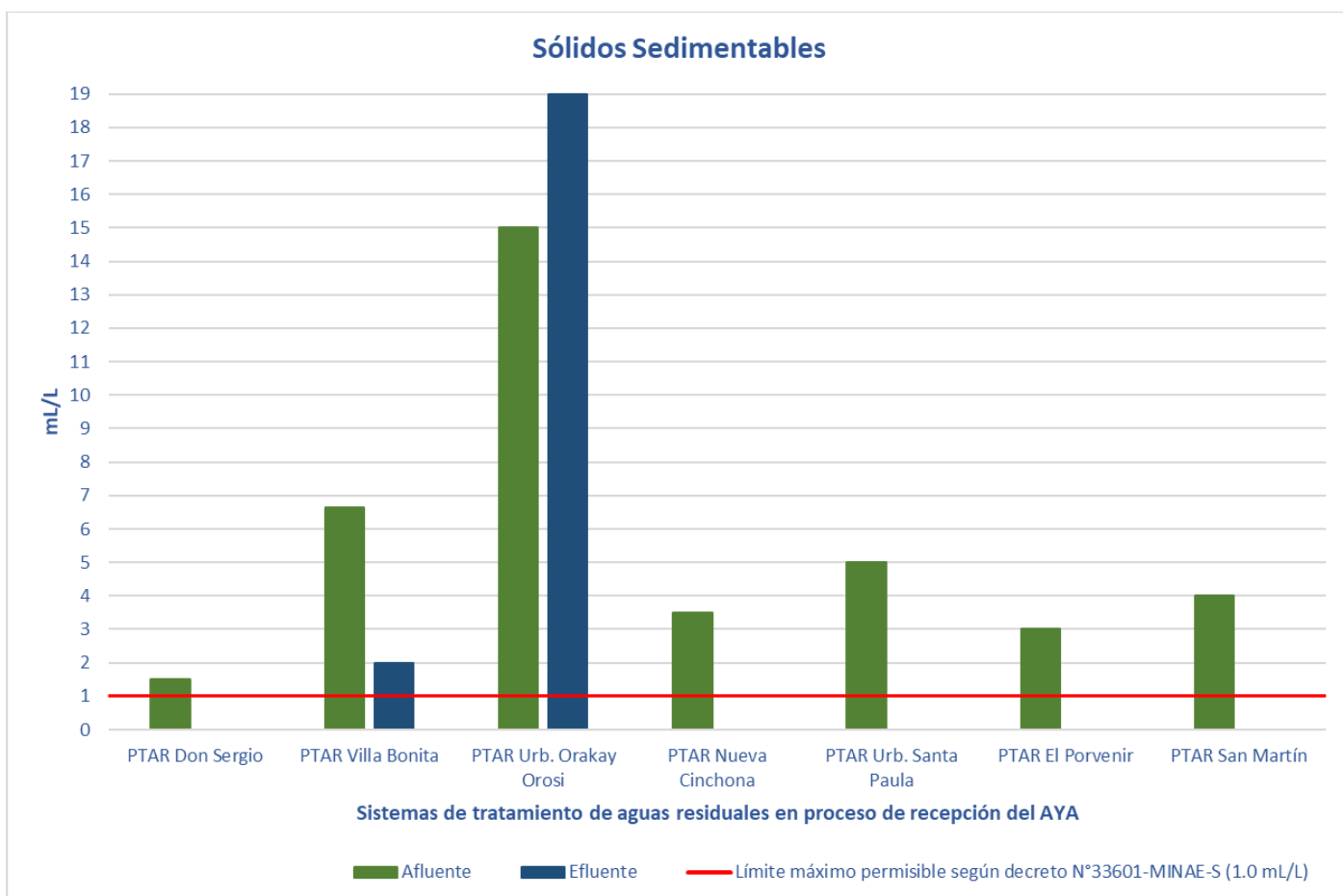


Figura 19. Promedios de los valores de Sólidos Sedimentables

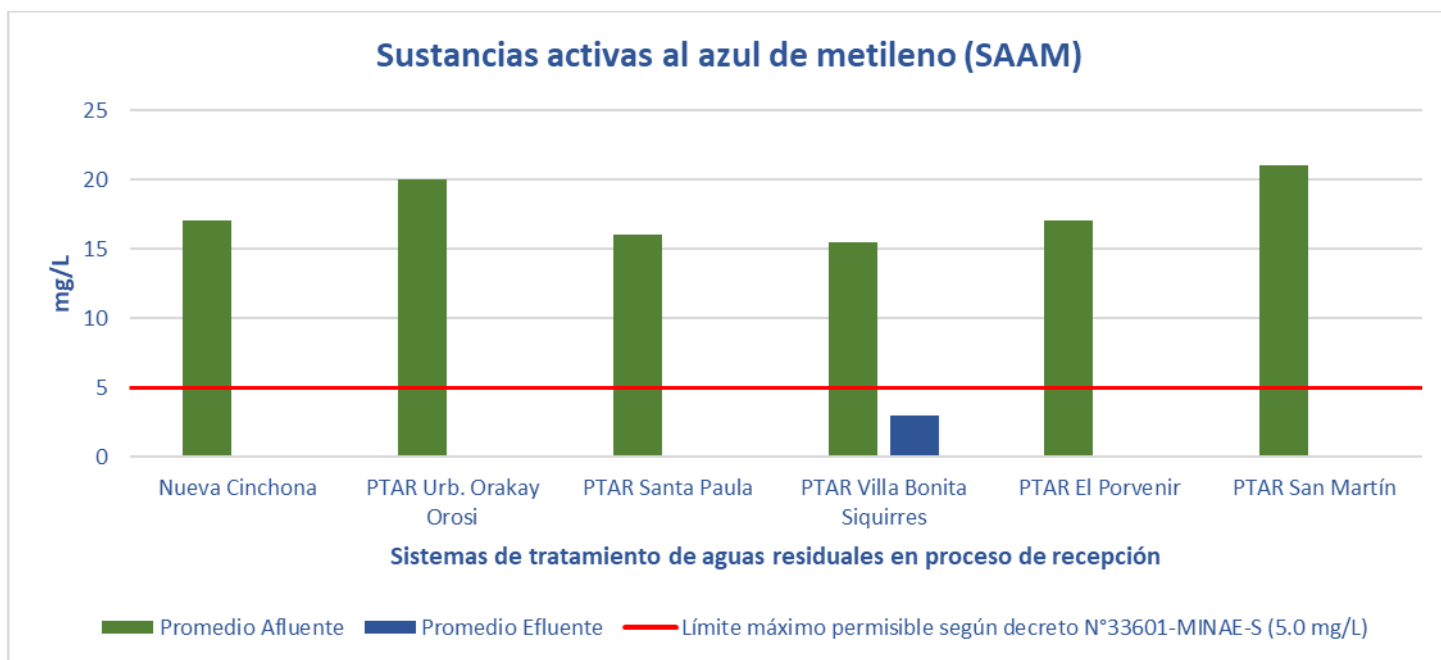


Figura 20. Promedios de los valores de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)

Cuadro 4. Promedios de los valores de Coliformes fecales para los sistemas de tratamiento de aguas residuales en proceso de recepción.

PTAR	Promedio Coliformes Fecales Entrada NMP/100 mL	Promedio Coliformes Fecales Salida NMP/100 mL	Porcentaje de Remoción
PTAR Villa Bonita	$3,6 \times 10^7$	$7,7 \times 10^6$	79
PTAR Orokay	$7,0 \times 10^6$	$4,9 \times 10^5$	93
PTAR Santa Paula	$1,2 \times 10^7$	$4,0 \times 10^5$	67
PTAR Nueva Cinchona	$1,3 \times 10^7$	$2,3 \times 10^6$	82
PTAR Don Sergio	$2,3 \times 10^8$	$7,9 \times 10^5$	100

4.2.1. Estudio de la Red de alcantarillado de Golfito

En el siguiente apartado se muestran los resultados obtenidos de la caracterización de las aguas residuales de la red de alcantarillado y descargas en Golfito, para el proyecto de Diseño de la PTAR de Golfito, con el objetivo de dar un insumo al Proyecto de Saneamiento de Golfito.

Se realizó un total de 3 muestreos en pozos de registros de la red de alcantarillado y en puntos de descarga de las aguas residuales durante los meses de Junio, Julio y Setiembre del

2020, en 4 sitios de muestreos de los cuales 2 fueron en pozos de registro (INVU Km 3 y Frente a Servicentro Pacífico Sur) y 2 en sitios de descargas (Bella Vista y Km 1). Se realizaron muestreo compuesto de 2 horas (25/06/2020), 12 horas (25/07/2020) y de 5 horas (22/09/2020) para dar resultados más representativos. A continuación, se muestran los principales resultados.

Cuadro 5. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales de la red de alcantarillado y descargas en Golfito.

Sitio de Muestreo /Fecha de muestreo	25/06/2020 Muestreo compuesto 2 horas	25/07/2020 Muestreo compuesto 12 horas	22/09/2020 Muestreo compuesto 5 horas
Descarga Bella Vista	DBO (mg/L): 110 DQO (mg/L): 384 SST (mg/L): 40 SSS (mL/L): 0,1 GyA (mg/L): 2,2 SAAM (mg/L): 10 pH: 7,42 Temperatur °C: 28,3 Fósforo Total (mg/L): 3,04 Nitrógeno amoniacal (mg/L): 6,23 C. Fecales (NMP/100 mL): 23,000,000 Conductividad: (µS/cm): 678 Amonio (mg/L): 7,62 Nitrógeno Kjedadhl (mg/L): 13,15 SDT (mg/L): 340 STT (mg/L): 380	DBO (mg/L): 54 DQO (mg/L): 87 SST (mg/L): 56 SSS (mL/L): 0,3 GyA (mg/L): 9,4 SAAM (mg/L): 3,1 pH: 7,02 Temperatura °C: 24,1 Fósforo Total (mg/L): 2,54 Nitrógeno amoniacal (mg/L): 16,29 C. Fecales (NMP/100 mL): 79,000,000 Conductividad: (µS/cm): 565 Amonio (mg/L): 21,15 Nitrógeno Kjedadhl (mg/L): 23,21 SDT (mg/L): 312 STT (mg/L): 368	DBO (mg/L): 60 DQO (mg/L): 108 SST (mg/L): 46 SSS (mL/L): ND GyA (mg/L): 4,1 SAAM (mg/L): 1,1 pH: 7,31 Temperatura °C: 28,3 Fósforo Total (mg/L): 3,33 Nitrógeno amoniacal (mg/L): 36,43 C. Fecales (NMP/100 mL): 240,000,000 Conductividad: (µS/cm): 670 Amonio (mg/L): 46,91 SDT (mg/L): 278 STT (mg/L): 324
Frente a Servicentro Pacífico Sur	DBO (mg/L): 90 DQO (mg/L): 390 SST (mg/L): 68 SSS (mL/L): 0,3 GyA (mg/L): 0,6 SAAM (mg/L): 9,0 pH: 7,36	DBO (mg/L): 12 DQO (mg/L): 19 SST (mg/L): 14 SSS (mL/L): ND GyA (mg/L): 7,8 SAAM (mg/L): D pH: 6,58	DBO (mg/L): 18 DQO (mg/L): 26 SST (mg/L): 14 SSS (mL/L): 0 GyA (mg/L): 4,1 SAAM (mg/L): 0,71 pH: 6,97

Sitio de Muestreo /Fecha de muestreo	25/06/2020 Muestreo compuesto 2 horas	25/07/2020 Muestreo compuesto 12 horas	22/09/2020 Muestreo compuesto 5 horas
Frente a Servicentro Pacífico Sur	Temperatura °C: 28,4 Fósforo Total (mg/L): 2,31 Nitrógeno amoniacal (mg/L): 2,78 C. Fecales (NMP/100 mL): 49,000,000 Conductividad: (µS/cm): 709 Amonio (mg/L): 3,47 Nitrógeno Kjedadhl (mg/L): 6,23 SDT (mg/L): 402 STT (mg/L): 470	Temperatura °C: 23,8 Fósforo Total (mg/L): ND Nitrógeno amoniacal (mg/L): 0,49 C. Fecales (NMP/100 mL): 230,000 Conductividad: (µS/cm): 171 Amonio (mg/L): 0,65 Nitrógeno Kjedadhl (mg/L): 1,36 SDT (mg/L): 128 STT (mg/L): 142	Temperatura °C: 27 Fósforo Total (mg/L): 0,83 Nitrógeno amoniacal (mg/L): 1,63 C. Fecales (NMP/100 mL): 130,000,000 Conductividad: (µS/cm): 235 Amonio (mg/L): 2,1 SDT (mg/L): 170 STT (mg/L): 184
INVU Km 3	DBO (mg/L): 169 DQO (mg/L): 456 SST (mg/L): 168 SSS (mL/L): 1,5 GyA (mg/L): 2,8 SAAM (mg/L): 7,1 pH: 8,04 Temp °C: 30,5 Fósforo Total (mg/L): 5,2 Nitrógeno amoniacal (mg/L): 9,70 C. Fecales (NMP/100 mL): 33,000,000 Conductividad: (µS/cm): 595 Amonio (mg/L): 12,48 Nitrógeno Kjedadhl (mg/L): 21,48 SDT (mg/L): 286 STT (mg/L): 454	DBO (mg/L): 9 DQO (mg/L): 14 SST (mg/L): 12 SSS (mL/L): ND GyA (mg/L): 9 SAAM (mg/L): D pH: 7,14 Temperatura °C: 24,3 Fósforo Total (mg/L): ND Nitrógeno amoniacal (mg/L): 0,81 C. Fecales (NMP/100 mL): 1,300,000 Conductividad: (µS/cm): 300 Amonio (mg/L): 1,05 Nitrógeno Kjedadhl (mg/L): 1,93 SDT (mg/L): 216 STT (mg/L): 228	DBO (mg/L): 9 DQO (mg/L): 19 SST (mg/L): 12 SSS (mL/L): ND GyA (mg/L): 2,4 SAAM (mg/L): 1,2 pH: 6,75 Temperatura °C: 26,9 Fósforo Total (mg/L): 0,59 Nitrógeno amoniacal (mg/L): 1,63 C. Fecales (NMP/100 mL): 240,000,000 Conductividad: (µS/cm): 288 Amonio (mg/L): 2,1 SDT (mg/L): 170 STT (mg/L): 182

Sitio de Muestreo /Fecha de muestreo	25/06/2020 Muestreo compuesto 2 horas	25/07/2020 Muestreo compuesto 12 horas	22/09/2020 Muestreo compuesto 5 horas
Descarga Km 1	DBO (mg/L): 168 DQO (mg/L): 452 SST (mg/L): 164 SSS (mL/L): 5 GyA (mg/L): 5,4 SAAM (mg/L): 9,7 pH: 7,87 Temperatura °C: 28,1 Fósforo Total (mg/L): 5,48 Nitrógeno amoniacal (mg/L): 9,00 C. Fecales (NMP/100 mL): 33,000,000 Conductividad: (µS/cm): 868 Amonio (mg/L): 11,78 Nitrógeno Kjedadhl (mg/L): 20,09 SDT (mg/L): 454 STT (mg/L): 164	DBO (mg/L): 53 DQO (mg/L): 86 SST (mg/L): 52 SSS (mL/L): ND GyA (mg/L): 10,8 SAAM (mg/L): 6,60 pH: 6,5 Temperatura °C: 25,0 Fósforo Total (mg/L): 2,48 Nitrógeno amoniacal (mg/L): 8,65 C. Fecales (NMP/100 mL): 49,000,000 Conductividad: (µS/cm): 635 Amonio (mg/L): 11,1 Nitrógeno Kjedadhl (mg/L): 16,29 SDT (mg/L): 450 STT (mg/L): 502	DBO (mg/L): 92 DQO (mg/L): 175 SST (mg/L): 40 SSS (mL/L): ND GyA (mg/L): 5,4 SAAM (mg/L): 7,23 pH: 7,2 Temperatura °C: 28,0 Fósforo Total (mg/L): 3,48 Nitrógeno amoniacal (mg/L): 19,42 C. Fecales (NMP/100 mL): 130,000,000 Conductividad: (µS/cm): 600 Amonio (mg/L): 25,0 SDT (mg/L): 342 STT (mg/L): 382

4.3. Resultados de la Evaluación de los lodos generados en los sistemas de tratamiento en proceso de recepción, administrados y operados por el AyA.

En las siguientes figuras de la 21 a la 23 se presentan los resultados de las muestras de lodos obtenidos para cada sistema de tratamiento administrado y operado por el AyA, graficados con el valor obtenido de la campaña de muestreo, para cada uno de los parámetros obligatorios y Coliformes fecales establecidos en el Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos Decreto N°39316-S.

Es importante resaltar que el Reglamento N°39316-S establece valores máximos y mínimos según el tipo de biosólido y la disposición final del mismo, por lo que en cada gráfico se indica los límites establecidos para cada tipo de biosólido y disposición final. Es importante destacar que para biosólidos especiales (lodos de la PTAR Los Tajos) los límites establecidos en la normativa para huevecillos de helmintos y coliformes fecales no le aplican, sin embargo, como insumo para los operadores de este sistema de tratamiento se les determina y se muestran en los resultados.



Figura 21. Promedios de los valores de pH en lodos deshidratados para los sistemas de tratamiento administrados por AyA.

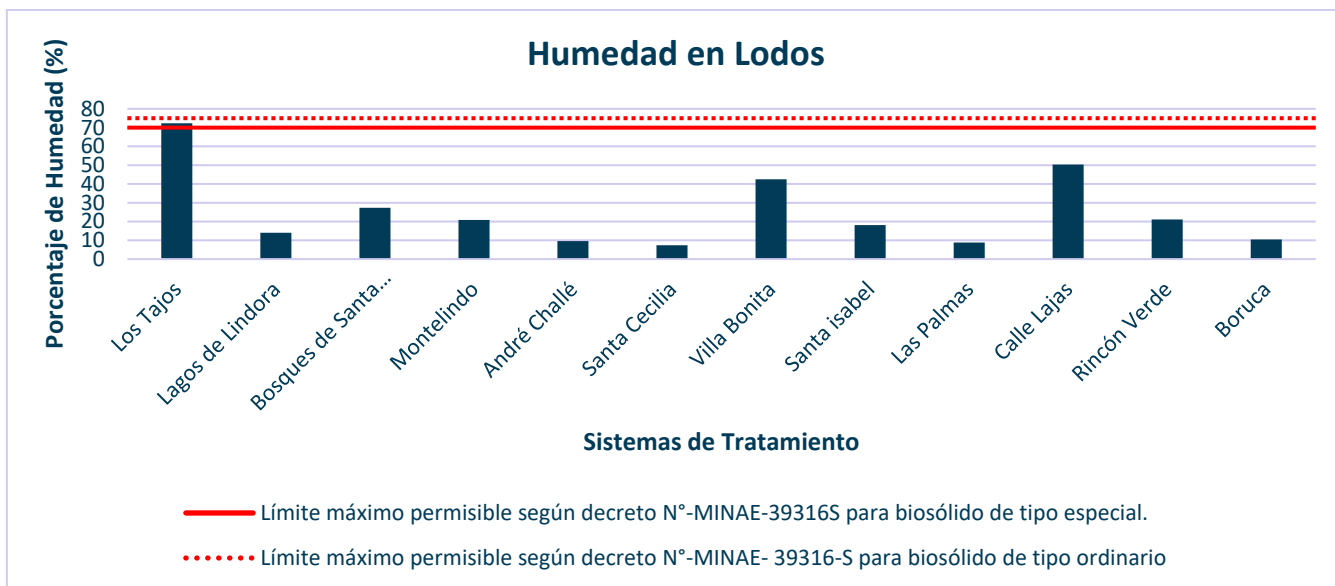


Figura 22. Promedios de los valores de Humedad en lodos deshidratados para los sistemas de tratamiento administrados por AyA.

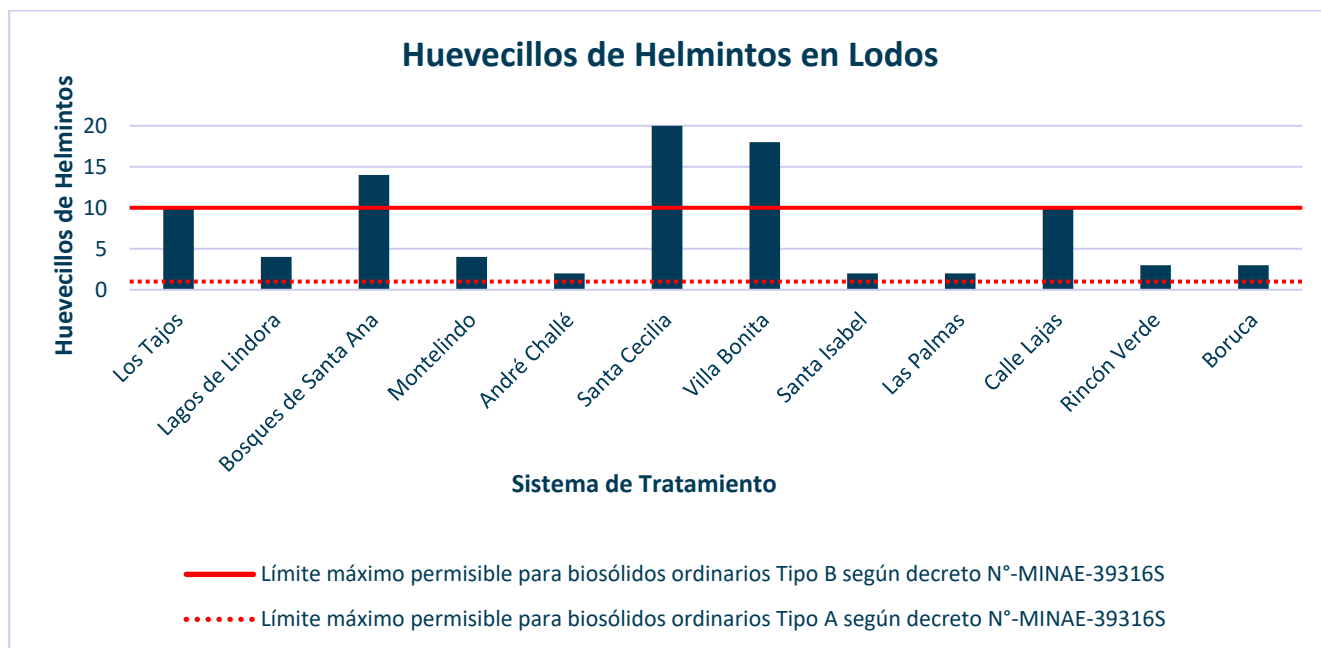


Figura 23. Promedios de los valores de Huevecillos de helmintos en lodos deshidratados para los sistemas de tratamiento administrados por AyA.

Cuadro 6. Promedios de los valores de Coliformes fecales en lodos deshidratados para los sistemas de tratamiento administrados por AyA.

Sistema de Tratamiento	Promedio de Coliformes Fecales en Lodos
PTAR Los Tajos	3,6 x 10 ⁴ UFC/g
PTAR Lagos de Lindora	1,2 x 10 ⁵ UFC/g
PTAR Bosques de Santa Ana	4,1 x 10 ⁴ UFC/g
PTAR Monte Lindo	6,3 x 10 ⁴ UFC/g
PTAR André Challé	8,8 x 10 ⁵ UFC/g
PTAR Santa Cecilia	5,4 x 10 ⁵ UFC/g
PTAR Villa Bonita	8,7 x 10 ⁵ UFC/g
PTAR Santa Isabel	3,7 x 10 ⁴ UFC/g
PTAR Las Palmas	2,2 x 10 ⁴ UFC/g
PTAR Calle Lajas	6,3 x 10 ⁶ UFC/g
PTAR Rincón Verde	8,9 x 10 ³ UFC/g
PTAR Boruca	2,2 x 10 ⁵ UFC/g

4.4. Resultados de la evaluación de aguas superficiales (cuenca 24, cuerpos receptores y estrategia ríos limpios)

La Estrategia Nacional para la Recuperación de Cuencas Urbanas 2020-2030, Ríos Limpios ha permitido realizar muestreos en la parte alta tanto del Río Torres como del Río María Aguilar y en sus partes media-baja, obteniendo resultados de la calidad de estos ríos de una manera integral para buscar soluciones para la recuperación de estos. Tanto el Río Torres como el Río María Aguilar tienden a presentar una degradación de la calidad conforme avanza cuenca abajo tanto biológicamente como microbiológicamente. Demostrando la alta contaminación que existe en nuestros ríos urbanos.

El Laboratorio de Aguas Residuales participa con esta estrategia dentro de la Comisión de Calidad de Agua, y coordina los muestreos de aguas superficiales para los Ríos Torres y María Aguilar. Actualmente se han realizado tres campañas de muestreo y en cada una se muestrean seis puntos de cada uno de los ríos.

Cuadro 7. Resultados Primer Muestreo Estrategia Ríos Limpios. Fecha: 09 de Marzo 2020

Punto de Muestreo	Parámetro										Puntaje y Clasificación Índice Holandés	Puntaje y Clasificación Índice BMWP-CR
	Alcalinidad mg/L	Amonio mg/L	Coliformes fecales NMP/100 mL	DBO Total mg/L	E. coli NMP/100 mL	Fosforo Total mg/L	Nitrógeno amoniacal mg/L	Oxígeno Disuelto mg/L	pH	Turbiedad UTN		
Punto A- Río María Aguilar. Finca Hospital Psiquiátrico.	52	N.D.	3300	9,5	790	N.D.	N.D.	5,0	7,80	16	8. Clase 3	N.A
Punto B-Río María Aguilar. Puente Bosques y Fresales	78	0,45	1 300 000	9,2	330 000	N.D.	0,34	4,1	7,91	49	8. Clase 3	38. Clase 3
Punto C-Río María Aguilar. La Periférica Curridabat	92	0,63	330 000	22	230 000	N.D.	0,48	2,0	7,98	28	11. Clase 4	26. Clase 4
Punto D-Río María Aguilar. Barrio Cuba Prog. Ambiental	154	26	3 300 000	14	2 300 000	N.D.	20	2,5	7,70	46	13. Clase 5	10. Clase 5
Punto E. Río María Aguilar. Puente Calle Morenos	146	32	790 000	30	330 000	N.D.	25	1,4	7,89	38	15. Clase 5	5. Clase 5
Punto F-Río María Aguilar. Puente Circunvalación	157	31	130 000	28	49 000	N.D.	24	1,3	7,74	29	15. Clase 5	5. Clase 5
Punto A-Río Torres. Puente Calle Azahar	58	N.D.	79 000	13	49 000	N.D.	N.D.	2,1	7,95	32	10. Clase 4	79. Clase 2
Punto B-Río Torres. Puente Colegio de Biólogos	67	0,44	23 000	38	23 000	N.D.	0.34	7,7	8,07	30	7. Clase 3	49. Clase 3
Punto C-Río Torres. Polideportivo Aranjuez	113	5,0	170 000	29	130 000	N.D.	4	1,3	7,89	22	14. Clase 5	16. Clase 4
Punto D-Río Torres. Puente San José Palacio	120	6,0	79 000	23	49 000	N.D.	4,0	1,9	7,95	14	13. Clase 5	8. Clase 5
Punto E-Río Torres. Aguas Arriba de Los Tajos	156	19	1 100 000	35	490 000	N.D.	15	1,8	7,49	20	14. Clase 5	5. Clase 5
Punto F-Río Torres. Aguas Abajo de Los Tajos	164	24	3 300 000	55	2 300 000	N.D.	19	0,78	7,74	79	15. Clase 5	5. Clase 5

Cuadro 8. Resultados Segundo Muestreo Estrategia Ríos Limpios. Fecha: 22 de Junio 2020

Punto de Muestreo	Parámetro									Puntaje y Clasificación Índice Holandés
	Alcalinidad mg/L	Amonio mg/L	Coliformes fecales NMP/100 mL	DBO Total mg/L	Fosforo Total mg/L	Nitrógeno amoniacal mg/L	Oxígeno Disuelto mg/L	pH	Turbiedad UTN	
Punto A- Río María Aguilar. Finca Hospital Psiquiátrico.	68	ND	13	ND	ND	ND	5.43	6.92	3.0	5. Clase 2
Punto B-Río María Aguilar. Puente Bosques y Fresales	59	0.16	790,000	ND	ND	0.12	7.00	7.75	6	3. Clase 1
Punto C-Río María Aguilar. La Periférica Curridabat	66	0.26	330,000	4.00	0.15	0.20	7.74	7.83	13	5. Clase 2
Punto D-Río María Aguilar. Barrio Cuba Prog. Ambiental	77	3.55	490,000	13	0.6	2.76	6.53	7.89	23	10. Clase 4
Punto E. Río María Aguilar. Puente Calle Morenos	146	4.69	490,000	24	0.54	3.63	6.3	7.89	40	10. Clase 4
Punto F-Río María Aguilar. Puente Circunvalación	157	2.25	7,900,000	9	0.36	1.78	7.47	7.3	30	8. Clase 3
Punto A-Río Torres. Puente Calle Azahar	47	ND	79,000	5.0	0.52	ND	7.4	7.25	33	5. Clase 2
Punto B-Río Torres. Puente Colegio de Biólogos	57	0.31	230,000	3.0	0.15	0.24	7.7	7.89	23	3. Clase 1
Punto C-Río Torres. Polideportivo Aranjuez	64	1.24	230,000	8	0.29	0.94	7.37	7.85	35	6. Clase 2
Punto D-Río Torres. Puente San José Palacio	80	2.73	330,000	12	0.47	2.12	7.37	7.77	20	9. Clase 3
Punto E-Río Torres. Aguas Arriba de Los Tajos	156	0.6	2,300,000	6	0.47	0.47	7.77	6.78	19	4. Clase 2
Punto F-Río Torres. Aguas Abajo de Los Tajos	164	6.16	7,900,000	14	0.94	4.77	7.37	7.18	79	9. Clase 3

Cuadro 9. Resultados Tercer Muestreo Estrategia Ríos Limpios. Fecha: 15 y 18 de Septiembre 2020

Punto de Muestreo	Parámetro									Puntaje y Clasificación Índice Holandés	BMW- CR
	Alcalinidad mg/L	Amonio mg/L	Coliformes fecales NMP/100 mL	DBO Total mg/L	Fosforo Total mg/L	Nitrógeno amoniacal mg/L	Oxígeno Disuelto mg/L	pH	Turbiedad UTN		
Punto A- Río María Aguilar. Finca Hospital Psiquiátrico.	57	ND	2,000	ND	ND	ND	3.46	6.91	2.0	Clase 2	Clase 3
Punto B-Río María Aguilar. Puente Bosques y Fresales	57	ND	2,000	3.00	0.42	ND	7.47	9.15	8	Clase 2	Clase 4
Punto C-Río María Aguilar. La Periférica Curridabat	63	<LD	490,000	4.00	0.31	<LD	7.54	8.14	9	Clase 2	Clase 4
Punto D-Río María Aguilar. Barrio Cuba Prog. Ambiental	84	3.52	28,000,000	15	0.43	2.73	5.85	7.74	14	Clase 4	Clase 4
Punto E. Río María Aguilar. Puente Calle Morenos	77	3.87	2,300,000	23	0.22	2.99	6.63	7.3	38	Clase 4	Clase 5
Punto F-Río María Aguilar. Puente Circunvalación	50	ND	490,000	9	0.29	ND	8.5	7.6	30	Clase 2	Clase 5
Punto A-Río Torres. Puente Calle Azahar	41	ND	6,800	4.0	<LD	ND	7.54	7.85	27	Clase 2	Clase 4
Punto B-Río Torres. Puente Colegio de Biólogos	49	ND	230,000	3.0	0.57	ND	5.11	7.68	92	Clase 1	Clase 4
Punto C-Río Torres. Polideportivo Aranjuez	64	0.23	17,000,000	13	0.88	0.17	4.9	7.34	32	Clase 3	Clase 4
Punto D-Río Torres. Puente San José Palacio	71	0.33	22,000,000	9	0.42	0.26	4.56	7.57	53	Clase 3	Clase 4
Punto E-Río Torres. Aguas Arriba de Los Tajos	59	0.46	490,000	11	0.41	0.35	8.78	7.25	20	Clase 3	Clase 5
Punto F-Río Torres. Aguas Abajo de Los Tajos	92	9.14	4,900,000	23	0.79	7.06	8.00	7.39	80	Clase 4	Clase 5

En el siguiente link se muestra una capa denominada cuenca 24: (<https://geouna.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=ee3d02ead672494f9ef4037b5d6da454>), en esta se observa el resultado de la calidad del agua de la cuenca 24- Virilla-Tárcoles durante el 2020, según el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N.º 33903-MINAE-SMINAE-S, en cuatro campañas de muestreo realizadas el 16/03/2020, 22/06/2020, 15/09/2020 y 07/12/2020, con el aporte de la UEN Gestión Ambiental Área Funcional de Estudios Básicos que realizan las determinaciones de caudal en cada punto de muestreo y conjunto con la Unidad Programa de Agua Potable y Saneamiento (PAPS).

En el mapa se puede observar que cada punto de muestreo muestra la coloración según la codificación por colores del Sistema Holandés de clasificación de la calidad del agua de la caracterización de las 10 estaciones de monitoreo de los ríos metropolitanos según el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N° 33903-MINAE-S. La coloración de los sitios de muestreo mostrada corresponde al último muestreo realizado el 07/12/2020, en esta campaña de muestreo se evidencia que predominó el código de color amarillo que representa contaminación moderada en un 50 % de los puntos de muestreo, el 30 % fue código de color verde que se refiere a contaminación incipiente, un punto con categoría azul (Relleno de la Carpio) que refiera a un río sin contaminación y el punto de muestreo de aguas abajo del vertido de la PTAR Los Tajos color anaranjado contaminación severa.

Los monitoreos realizados en la época seca, muestran el mismo comportamiento anual un alto grado de contaminación de los ríos, para un código de color Rojo que corresponde a una Contaminación Severa en el 80% de los puntos de muestreo, en tanto que en la época lluviosa se ve una ligera mejoría en la calidad de las aguas de los mismos, lo cual nos permite ver la realidad y percatarnos de que dicha mejoría obedece a la dilución propia de la época lluviosa. Es evidente que la contaminación de los ríos monitoreados es permanente y que se requiere tomar medidas que permitan revertir el deterioro de la calidad de sus aguas.

En el caso específico del Río Torres, monitoreado luego de la descarga de la PTAR Los Tajos, al contar con tratamiento primario en la línea de aguas, es clara la contaminación de este aún en época lluviosa, lo cual sugiere que existe una necesidad imperante de completar

la construcción de la PTAR Los Tajos y de esta forma mejorar la calidad de las aguas vertidas al cauce del Río Torres.

4.5. Detección de Material Genético del SARS-CoV-2 en Aguas Residuales en sistemas de tratamiento administrados por el AyA

Como parte de los esfuerzos realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas para mejorar la respuesta del país contra la pandemia por COVID-19, se estableció un sistema de monitoreo de SARS-CoV-2 en aguas residuales del país, como una herramienta temprana de la detección de brotes por COVID-19. Al igual que se evidenció con virus como SARS y MERS, distintos hallazgos indican que porcentajes variados de los pacientes enfermos con COVID-19 (desde un 20% hasta un 80%) excretan partículas de SARS-CoV-2 en sus heces durante el periodo de la enfermedad (Chen, et al., 2020; Wang, et al., 2020).

El siguiente cuadro resume los resultados obtenidos en las muestras recolectadas en sistemas de tratamiento de aguas residuales administrados por AyA en la provincia de Alajuela:

Cuadro 10. Resumen de determinaciones de SARS-CoV-2 en sistemas de tratamiento de aguas residuales, Alajuela, Costa Rica.

Provincia	Cantón	Distrito	Sistema	Número de muestras recolectadas	Detectados	No detectados	Sin analizar
Alajuela	Alajuela	La Guácima	PTAR Hacienda Los Reyes	7	0	1	6
Alajuela	Alajuela	El Coyol	PTAR Villa Verano	3	0	1	2

Durante el monitoreo, no fue posible detectar la presencia de SARS-CoV-2 en alguna de las muestras. Es importante recalcar que únicamente se han analizado 2 de 10 muestras recolectadas. Las 8 muestras restante se concentraron mediante filtración por membranas, las cuales se almacenaron a -80 °C para su posterior análisis.

Por otra parte, el siguiente cuadro resume las determinaciones de SARS-CoV-2 realizadas en muestras provenientes de sistemas de tratamiento de Guanacaste:

Cuadro 11. Resumen de determinaciones de SARS-CoV-2 en sistemas de tratamiento de aguas residuales, Guanacaste, Costa Rica.

Provincia	Cantón	Distrito	Sistema	Número de muestras recolectadas	Detectados	No detectados	Sin analizar
Guanacaste	Cañas	Cañas	Laguna de estabilización de Cañas	8	0	2	6
Guanacaste	Liberia	Liberia	Laguna de estabilización de Liberia	10	0	2	8
Guanacaste	Nicoya	Nicoya	Laguna de estabilización de Nicoya	6	1	1	4
Guanacaste	Santa Cruz	Santa Cruz	Laguna de estabilización de Santa Cruz	6	0	2	4

En este caso, fue posible detectar la presencia de material genético del SARS-CoV-2 en muestras de la laguna de estabilización de Nicoya. Dicha determinación se realizó en una muestra de la entrada de la laguna de estabilización, recolectada el 21 de julio de 2020. En dicha fecha, se reportaban 34 casos activos en dicho cantón guanacasteco.

Por otra parte, el siguiente cuadro resume la cantidad de muestras recolectadas y los resultados obtenidos en los análisis realizados en sistemas de tratamiento ubicados en la provincia de Heredia:

Cuadro 12. Resumen de determinaciones de SARS-CoV-2 en sistemas de tratamiento de aguas residuales, Heredia, Costa Rica.

Provincia	Cantón	Distrito	Sistema	Número de muestras recolectadas	Detectados	No detectados	Sin analizar
Heredia	Sarapiquí	Sarapiquí	PTAR Nueva Cinchona	3	0	2	1
Heredia	San Pablo	Heredia	PTAR Residencial Rincón Verde	10	1	1	8
Heredia	Sarapiquí	Horquetas	PTAR Urbanización don Sergio	2	0	1	1

Heredia	San Rafael	San Rafael	PTAR Urbanización Santa Isabel	2	0	0	2
Heredia	Barva	San Pablo	PTAR Urbanización San Paula	2	0	1	1

Fue posible evidenciar niveles detectables de SARS-CoV-2 en 1 muestra analizada en el residencial Rincón Verde, en San Pablo de Heredia. El resultado obtenido coincidió con lo reportado por la vigilancia epidemiológica tradicional. Al momento del muestreo, el distrito de San Pablo reportaba 96 casos activos por COVID-19, en su momento los resultados obtenidos en las aguas residuales sugirieron una circulación activa del virus en la zona de San Pablo de Heredia, específicamente en la población del residencial Rincón Verde. No obstante, no ha sido posible analizar la gran mayoría de las muestras recolectadas debido a la escasez de reactivos y personal para llevar a cabo tales labores de laboratorio.

El cuadro 13. muestra un resumen de la vigilancia ambiental de SARS-CoV-2 llevada a cabo en la provincia de Limón:

Cuadro 13. Resumen de determinaciones de SARS-CoV-2 en sistemas de tratamiento de aguas residuales, Limón, Costa Rica.

Provincia	Cantón	Distrito	Sistema	Número de muestras recolectadas	Detectados	No detectados	Sin analizar
Limón	Pococí	Guápiles	PTAR Urbanización don Edwin	2	0	1	1
Limón	Limón	Limón	Estación de preacondicionamiento (EPA) del emisario submarino de Limón	11	2	5	4
Limón	Matina	Batán	PTAR Urbanización El Porvenir	1	0	0	1
Limón	Siquirres	Siquirres	PTAR Urbanización San Martín	1	0	0	1
Limón	Siquirres	Alegría	PTAR Urbanización Villa Bonita	2	0	0	2

Durante 2 muestreos realizados en junio y julio, fue posible detectar material genético de SARS-CoV-2 en la entrada de la estación de preacondicionamiento del emisario submarino en Limón. Estos resultados sugirieron una circulación activa del virus en la población conectada al

alcantarillado en el cantón central de Limón. Al igual que lo discutido anteriormente, la mayoría de las muestras no han podido analizarle por falta de insumos.

A continuación, se muestra un resumen de los análisis realizados en la zona de Puntarenas:

Cuadro 14. Resumen de determinaciones de SARS-CoV-2 en sistemas de tratamiento de aguas residuales, Puntarenas, Costa Rica.

Provincia	Cantón	Distrito	Sistema	Número de muestras recolectadas	Detectados	No detectados	Sin analizar
Puntarenas	Puntarenas	El Roble	PTAR El Roble	23	1	7	15
Puntarenas	Buenos Aires	Buenos Aires	Laguna de estabilización Lomas de Buenos Aires	4	1	0	3
Puntarenas	Buenos Aires	Buenos Aires	PTAR Urbanización Boruca	4	1	1	2

De acuerdo con el Cuadro 14, es posible evidenciar que durante 2020 se detectaron trazas del virus SARS-CoV-2 en muestras recolectadas en las PTAR El Roble y Boruca, además de la laguna de estabilización de Lomas de Buenos Aires. Todavía están pendientes de analizar los efluentes de dichos sistemas de tratamiento, lo que podría brindar más información acerca de la susceptibilidad del SARS-CoV-2 al tratamiento común aplicado en aguas residuales en Costa Rica.

Por último, se muestran en el cuadro 15 las determinaciones realizadas en diferentes sistemas de tratamiento ubicados en la provincia de San José:

Cuadro 15. Resumen de determinaciones de SARS-CoV-2 en sistemas de tratamiento de aguas residuales, San José, Costa Rica.

Provincia	Cantón	Distrito	Sistema	Número de muestras recolectadas	Detectados	No detectados	Sin analizar
San José	Moravia	La Trinidad	PTAR André Challé	18	2	3	13
San José	Santa Ana	Pozos	PTAR Bosques de Santa Ana	6	0	0	6
San José	Escazú	San Antonio	PTAR Calle Lajas	4	0	3	1

Provincia	Cantón	Distrito	Sistema	Número de muestras recolectadas	Detectados	No detectados	Sin analizar
San José	Moravia	San Vicente	PTAR Urbanización Monte Lindo	2	0	0	0
San José	Mora	Ciudad Colón	PTAR Boulevard Las Palmas	6	0	2	4
San José	Escazú	Lindora	PTAR Lagos de Lindora	7	0	2	5
San José	Pérez Zeledón	San Isidro del General	Laguna de estabilización de Pérez Zeledón	8	0	3	5
San José	Goicoechea	Ipís	Punto de alcantarilla en Ipís	1	1	0	0
San José	Desamparados	Los Guido	Punto de alcantarilla en Los Guido	1	0	1	0
San José	Goicoechea	Purral	Punto de alcantarilla en Purral	1	0	1	0
San José	Desamparados	Los Guido	Punto de alcantarilla en San Miguel	1	0	1	0
San José	Escazú	San Rafael	Subcolector Residencial Pinar del Río	1	0	1	0
San José	Escazú	San Rafael	Subcolector Trejos Montealegre	1	0	1	0
San José	San José	La Uruca	Colector María Aguilar	5	1	2	2
San José	San José	La Uruca	Colector Rivera	5	0	3	2
San José	San José	La Uruca	Colector Torres	5	0	3	2
San José	San José	La Uruca	PTAR Los Tajos	106	15	44	47
San José	Puriscal	Santiago	PTAR Santa Cecilia	8	2	1	5

De acuerdo con los datos obtenidos durante 2020, las detecciones de material genético de SARS-CoV-2 fueron más frecuentes en la provincia de San José que en las demás provincias del país. Este hecho se debe a dos factores: periodicidad del muestreo y comportamiento de la pandemia. Debido a la logística y a la factibilidad de muestrear en menos tiempo, los sistemas de recolección y tratamiento de la GAM han sido monitoreados con mayor frecuencia,

especialmente la PTAR Los Tajos. Además, muchos de los clústeres de casos por COVID-19 se han ubicado dentro de la GAM. Es importante recalcar que muchas muestras siguen sin poder analizarse debido a la escasez de reactivos, por lo que a futuro se espera obtener resultados que permitan un mayor análisis retrospectivo. La siguiente figura resume los resultados obtenidos del total de muestras analizadas por SARS-CoV-2 provenientes de sistemas de tratamiento de AyA:

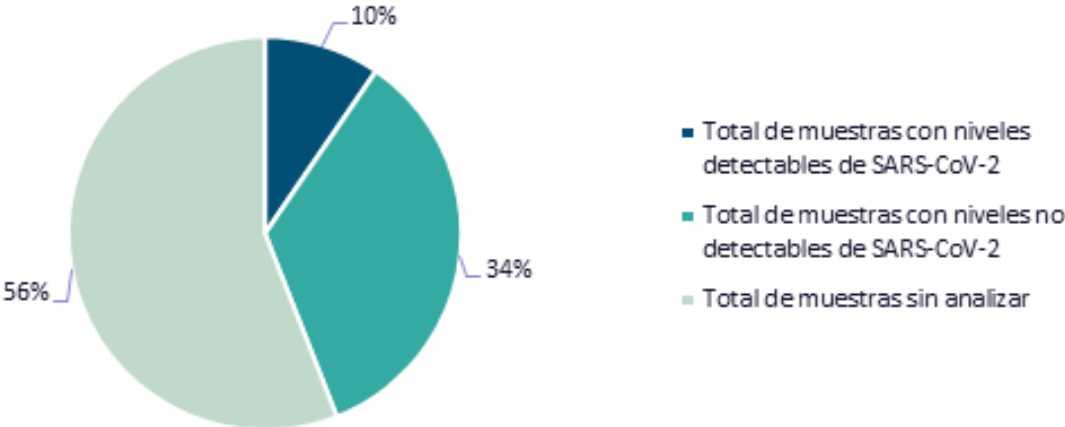


Figura 24. Resumen general de las determinaciones de SARS-CoV-2 en 293 muestras recolectadas en sistemas de recolección, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de AyA, de mayo de 2020 a enero de 2021, Costa Rica.

5. Proyectos

5.1. Evaluación y propuesta de humedal piloto del sistema de tratamiento de residuos líquidos en el LNA

El presente trabajo se realizó en conjunto con los estudiantes Maria Paula Obando Víquez y Domingo Rolando Cordero Salmerón, estudiantes de la carrera de Ingeniería en Bioprocesos de la Escuela de Química, Universidad Nacional y el Laboratorio de Aguas Residuales del LNA.

El LNA se encarga de llevar a cabo el análisis de aguas provenientes de diversas zonas y diferentes actividades productivas; como resultado de la realización de los diferentes análisis de las muestras de estudio, se generan residuos líquidos (químicos y biológicos) que requieren de un tratamiento adecuado antes de su disposición final; por ello, en un primer acercamiento a desarrollar un sistema de tratamiento de desechos líquidos para el LNA el Lic. José Miguel Ramirez Corrales desarrolló para el laboratorio una modalidad de dos sistemas integrados para el tratamiento de líquidos biológicos y químicos tóxicos que se muestra en la figura 25 (AyA, S.f.). El sistema se encarga del tratamiento de los desechos generados en los laboratorios de análisis químicos y microbiológicos del área de aguas residuales del LNA y del Laboratorio de la PTAR Los Tajos. Y para el año 2021 se pretende incluir los residuos de las otras áreas del LNA, con el fin de continuar con el proceso de investigación de evaluación del sistema de tratamiento.



Figura 25. Sistema de Tratamiento de desechos líquidos del Laboratorio Nacional de Aguas

Objetivos del proyecto

Objetivo General:

Desarrollar una propuesta de mejora con el fin de optimizar el sistema de tratamiento de desechos líquidos del LNA por medio del monitoreo del sistema actual y posterior diseño de un humedal artificial piloto para el sistema.

Objetivo Específicos:

- Determinar la disposición adecuada de los residuos líquidos provenientes del área de agua potable y aguas residuales del LNA para poder gestionarlos en el módulo de tratamiento para la optimización del mismo.
- Indicar recomendaciones de mejora en el sistema actual mediante la realización de análisis físico-químicos y microbiológicos, para optimizar su funcionamiento,
- Diseñar e implementar un sistema piloto de humedal artificial con el fin de mejorar la calidad del efluente final del módulo del sistema.

Principales productos

1. Diagrama de Flujo y esquemas del sistema de tratamiento de residuos líquidos especiales del Laboratorio Nacional de Aguas.

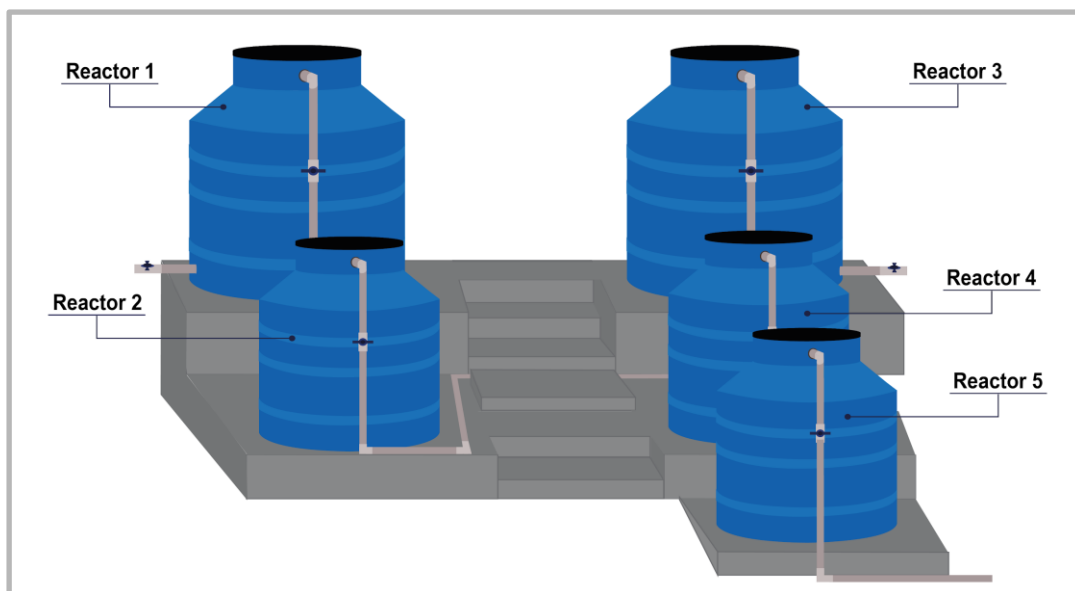


Figura 26. Esquema del sistema de tratamiento de residuos líquidos especiales del Laboratorio Nacional de Aguas del AyA (Cordero; Obando, 2020)

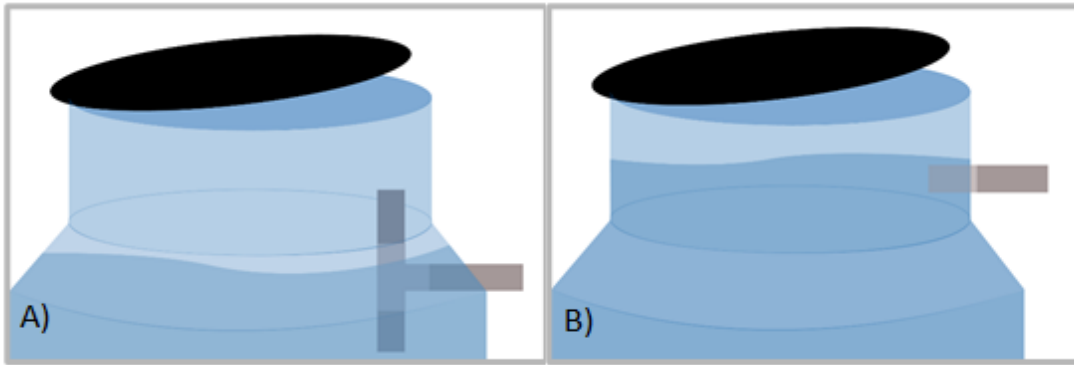


Figura 27. Estructuras internas del dispositivo de salida utilizado en los Reactores: A) 1 y 3 del sistema de tratamiento de desechos líquidos especiales del LNA del AyA. Fuente. B). 2, 4 y 5 del sistema de tratamiento de desechos líquidos especiales del LNA del AyA. (Cordero; Obando, 2020).

SISTEMA DE TRATAMIENTO MODULAR PARA DESECHOS LÍQUIDOS DE LABORATORIO

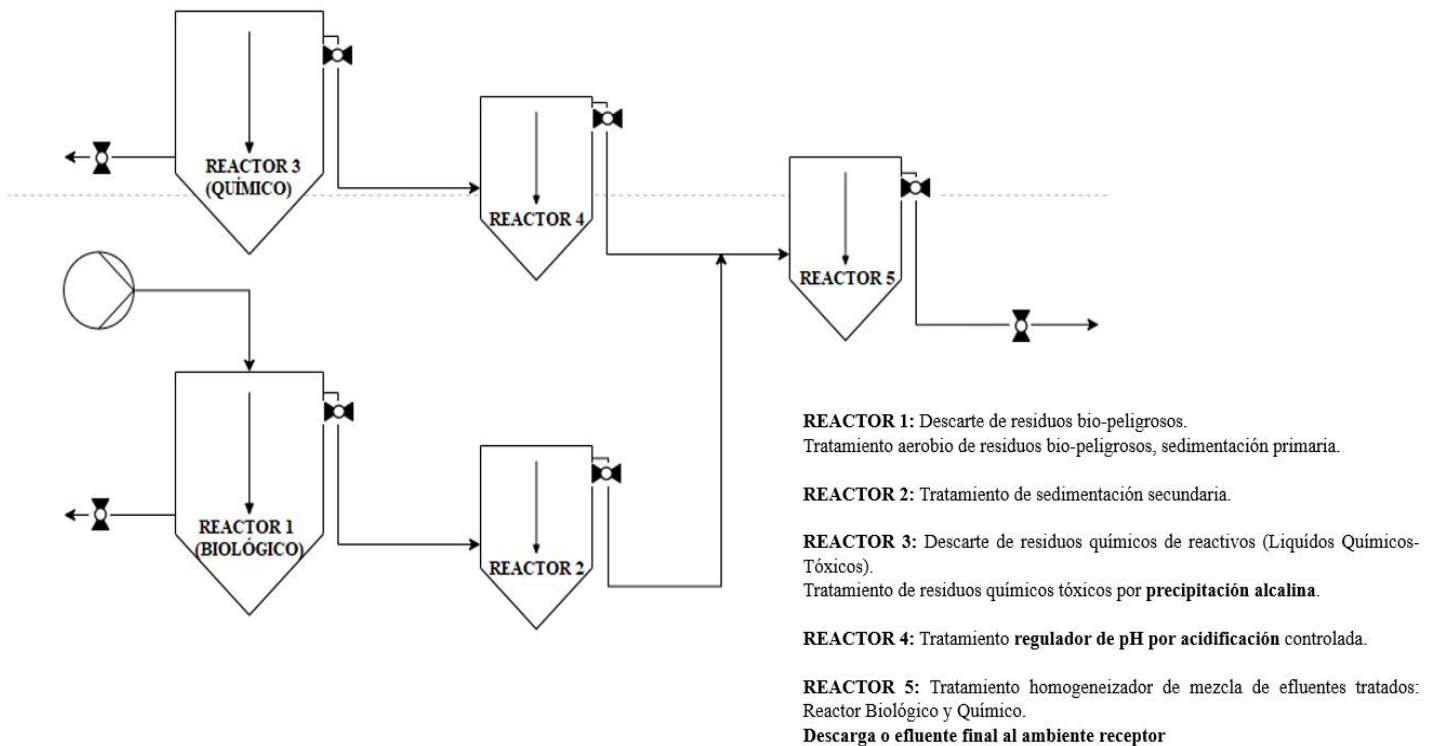


Figura 28. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de desechos líquidos del LNA. (Cordero; Obando, 2020)

2. Evaluación de la calidad del efluente

Tras realizar el análisis cinético de la remoción de DBO utilizando un modelo de primer orden (Rabat, 2016) y tomando el volumen de residuos a tratar, se estimó el tiempo de retención óptimo; adicionalmente se generó una hoja de cálculo. Al establecer las proporciones 50:50, 25:75 y 80:20 (Componente Biológico: Componente químico), se logró determinar que la proporción óptima que genera un efluente adecuado para la legislación es el 80:20.

3. Diseño y Construcción del Humedal Piloto

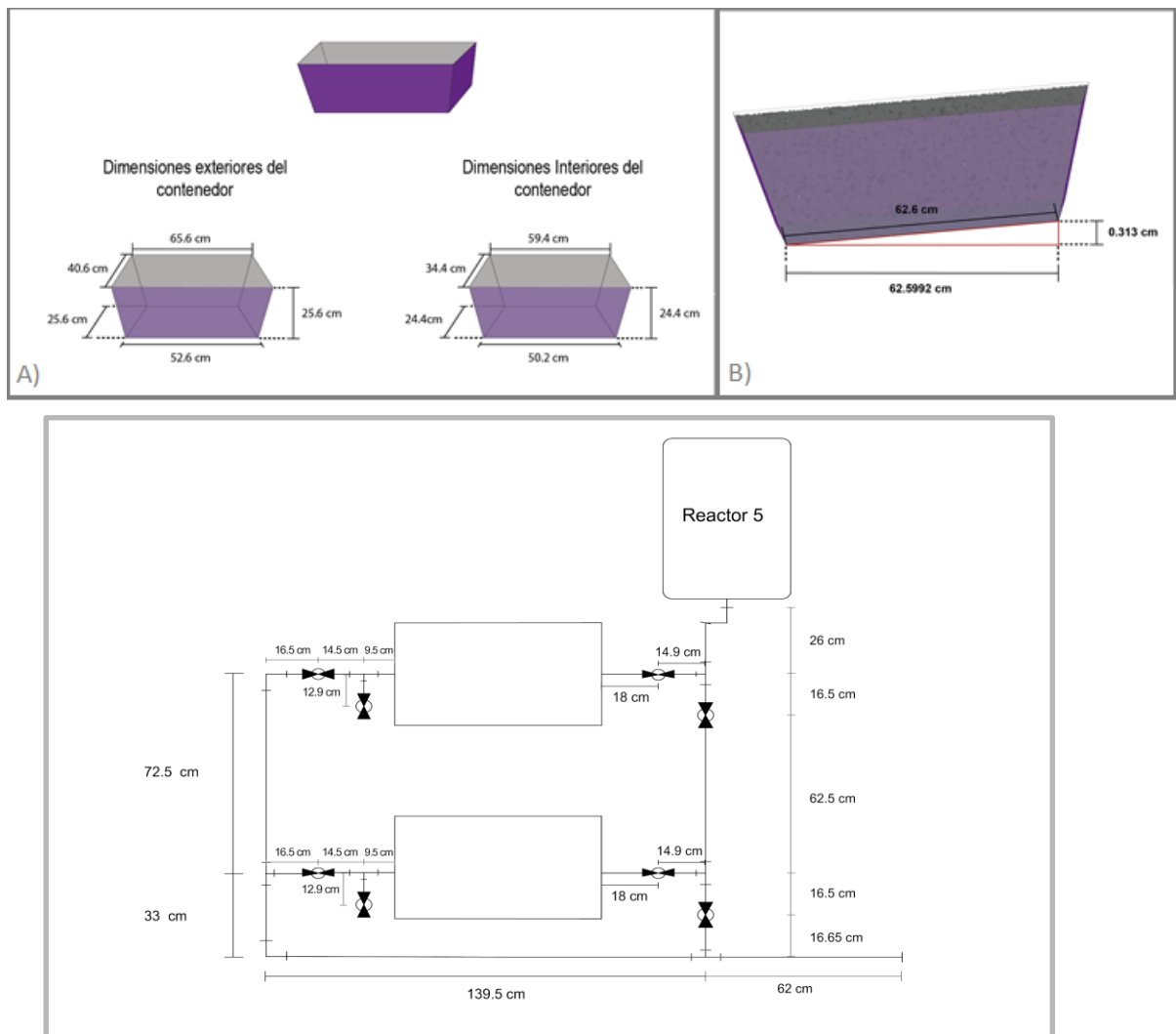


Figura 29. Plano del módulo de humedales artificiales a implementar en el Sistema de tratamiento de desechos líquidos especiales del LNA. (Cordero; Obando, 2020).

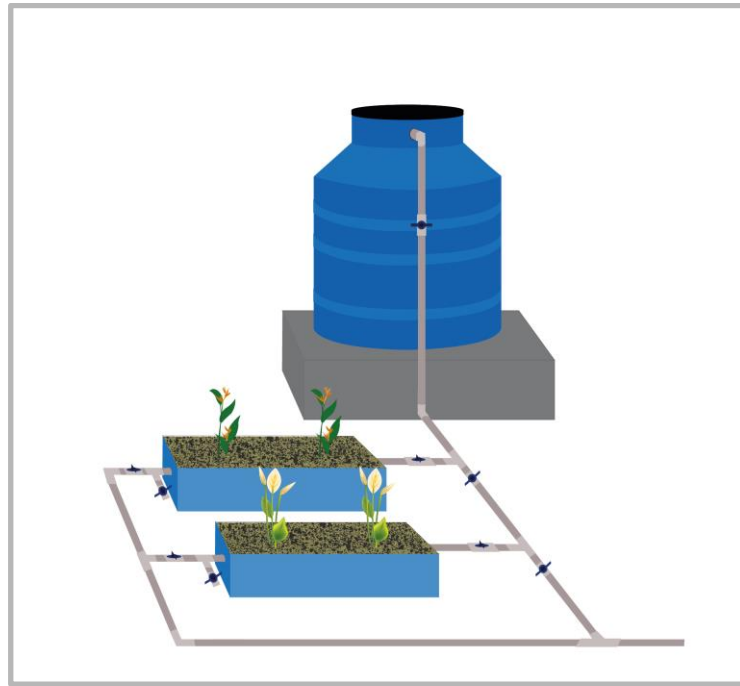


Figura 30. Diagrama del sistema de tratamiento de desechos químicos con la adaptación del sistema piloto de humedales artificiales (Cordero; Obando, 2020).



Figura 31. Resultado de la implementación del sistema piloto de humedales artificiales al sistema actual de tratamiento de desechos líquidos (Cordero; Obando, 2020).

Avances y proyecciones futuras

1. Evaluación del funcionamiento del humedal a escala piloto.
2. Implementación a escala de operación del humedal en el 2022.
3. Trámites ante el MINSA para obtención de permiso como sistema de tratamiento de residuos líquidos del LNA.

5.2. Propuesta y Ejecución de la Gestión de residuos químicos generados en el LNA y el LPT

El presente trabajo se realizó en conjunto con Alexandra Mujica Lermo, estudiante de la carrera de Química Industrial de la Escuela de Química, Universidad Nacional, el Laboratorio Nacional de Aguas y el Laboratorio de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos.

Objetivos del proyecto

Establecer pautas y procedimientos para la manipulación, el almacenamiento y el transporte adecuado de sustancias químicas, tanto reactivos como residuos, garantizando un ambiente de trabajo seguro para el personal de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos y de los laboratorios.

Principales productos con Imágenes

Para la realización de este trabajo, se le proporcionó a la estudiante el listado de sustancias químicas presentes en la PTAR Los Tajos y se le definió el modelo de sistema de clasificación deseado, el cuál modificó para adaptarlo a las necesidades de la PTAR, obteniendo así el siguiente diagrama. El color de cada clasificación es distinto, con el fin de ayudar al usuario a identificar fácilmente el recipiente requerido.

Es importante indicar que, a pesar de que los residuos biológicos de muestras de aguas residuales, al igual que los residuos inorgánicos, con o sin metales pesados, serán tratados por el sistema del LNA, y los residuos orgánicos serán recolectados por MADISA para su coprocesamiento; se establecen un total de 6 categorías de residuos, las cuales aseguran que no se presentarán mezclas de sustancias que podrían producir reacciones químicas indeseables.

Quirós (2018), estableció un orden particular en las clasificaciones según la peligrosidad de los residuos, esto en caso de presentarse una mezcla de sustancias donde se encuentren presentes componentes de dos o más clases de residuos. Por ejemplo, si se tiene un residuo que contiene metales pesados y tiene un pH menor que 7, significa que se tienen las clasificaciones #1 (metales pesados) y #4 (ácidos inorgánicos). Ahora bien, se debe seleccionar

un recipiente para almacenar el residuo, el cual debe ser siempre el de menor numeración, ya que es considerado como el de mayor peligrosidad.

GUÍA DE SEGREGACIÓN DE RESIDUOS QUÍMICOS INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

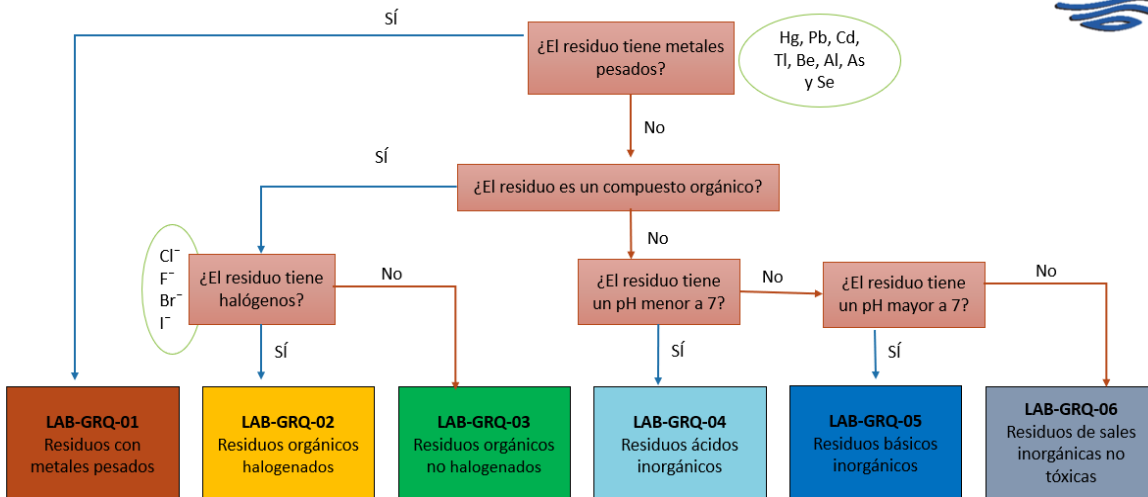


Figura 31. Diagrama para la segregación de los residuos químicos. Fuente: Adaptado de José Fabio Quirós, 2018.

Posteriormente se procedió a diseñar las etiquetas que se colocarían en los recipientes utilizados en la acumulación y almacenamiento de los residuos químicos, las mismas siguen el código de colores del diagrama anterior (ver figura 32).

LAB-GRQ-02					
 	<table border="1"> <tr> <td style="width: 15%;">Clasificación</td> <td>RESIDUOS ORGÁNICOS HALOGENADOS</td> </tr> <tr> <td>Descripción</td> <td> <p>Descripción: Aquellos residuos orgánicos o mezclas de residuos orgánicos que contienen más del 2 % de algún halógeno (Cl⁻, F⁻, Br⁻, I⁻).</p> <p>Toxicidad: Estos residuos son tóxicos para la salud y, en algunos casos son cancerígenos.</p> <p>Incompatibilidad: No mezclar con materiales ácidos.</p> <p>Consideraciones especiales: Son volátiles e inflamables. Al mezclar disolventes se debe considerar la miscibilidad de estos para evitar la separación de fases que pueden llegar a complicar tratamientos posteriores.</p> </td> </tr> </table>	Clasificación	RESIDUOS ORGÁNICOS HALOGENADOS	Descripción	<p>Descripción: Aquellos residuos orgánicos o mezclas de residuos orgánicos que contienen más del 2 % de algún halógeno (Cl⁻, F⁻, Br⁻, I⁻).</p> <p>Toxicidad: Estos residuos son tóxicos para la salud y, en algunos casos son cancerígenos.</p> <p>Incompatibilidad: No mezclar con materiales ácidos.</p> <p>Consideraciones especiales: Son volátiles e inflamables. Al mezclar disolventes se debe considerar la miscibilidad de estos para evitar la separación de fases que pueden llegar a complicar tratamientos posteriores.</p>
Clasificación	RESIDUOS ORGÁNICOS HALOGENADOS				
Descripción	<p>Descripción: Aquellos residuos orgánicos o mezclas de residuos orgánicos que contienen más del 2 % de algún halógeno (Cl⁻, F⁻, Br⁻, I⁻).</p> <p>Toxicidad: Estos residuos son tóxicos para la salud y, en algunos casos son cancerígenos.</p> <p>Incompatibilidad: No mezclar con materiales ácidos.</p> <p>Consideraciones especiales: Son volátiles e inflamables. Al mezclar disolventes se debe considerar la miscibilidad de estos para evitar la separación de fases que pueden llegar a complicar tratamientos posteriores.</p>				

LAB-GRQ-03					
 	<table border="1"> <tr> <td style="width: 15%;">Clasificación</td> <td>RESIDUOS ORGÁNICOS NO HALOGENADOS</td> </tr> <tr> <td>Descripción</td> <td> <p>Descripción: Aquellos residuos orgánicos o mezclas de residuos orgánicos que contienen menos del 2 % de algún halógeno (Cl⁻, F⁻, Br⁻, I⁻).</p> <p>Toxicidad: Estos residuos son tóxicos para la salud y, en algunos casos son cancerígenos.</p> <p>Incompatibilidad: No mezclar con materiales ácidos.</p> <p>Consideraciones especiales: Son volátiles e inflamables. Al mezclar disolventes se debe considerar la miscibilidad de estos para evitar la separación de fases que pueden llegar a complicar tratamientos posteriores.</p> </td> </tr> </table>	Clasificación	RESIDUOS ORGÁNICOS NO HALOGENADOS	Descripción	<p>Descripción: Aquellos residuos orgánicos o mezclas de residuos orgánicos que contienen menos del 2 % de algún halógeno (Cl⁻, F⁻, Br⁻, I⁻).</p> <p>Toxicidad: Estos residuos son tóxicos para la salud y, en algunos casos son cancerígenos.</p> <p>Incompatibilidad: No mezclar con materiales ácidos.</p> <p>Consideraciones especiales: Son volátiles e inflamables. Al mezclar disolventes se debe considerar la miscibilidad de estos para evitar la separación de fases que pueden llegar a complicar tratamientos posteriores.</p>
Clasificación	RESIDUOS ORGÁNICOS NO HALOGENADOS				
Descripción	<p>Descripción: Aquellos residuos orgánicos o mezclas de residuos orgánicos que contienen menos del 2 % de algún halógeno (Cl⁻, F⁻, Br⁻, I⁻).</p> <p>Toxicidad: Estos residuos son tóxicos para la salud y, en algunos casos son cancerígenos.</p> <p>Incompatibilidad: No mezclar con materiales ácidos.</p> <p>Consideraciones especiales: Son volátiles e inflamables. Al mezclar disolventes se debe considerar la miscibilidad de estos para evitar la separación de fases que pueden llegar a complicar tratamientos posteriores.</p>				

Figura 32. Etiquetas diseñadas para la rotulación de los recipientes utilizados en la acumulación y almacenamiento de residuos químicos.

Avances y proyecciones futuras

Gracias a un esfuerzo en conjunto con el Área de Aguas Residuales, la Planta Depuradora de Los Tajos y el Comité del Programa de Gestión Ambiental Institucional (PGAI) del LNA, se desarrolló un proyecto para gestionar los residuos químicos que se generan en las distintas áreas del LNA.

El proyecto fue presentado a los coordinadores de las distintas áreas del LNA el 20 de enero del presente año, donde se acordó que mediante un formulario se recopilaría la información necesaria para definir los tipos de residuos químicos que se generan en sus instancias y de esta forma proceder con la compra de recipientes de seguridad de polietileno de alta densidad con capacidad aproximada de 2 galones, para almacenar los distintos tipos de residuos químicos.

El inventario de la generación de residuos se llevará mediante el uso de formularios específicos para cada área, donde se incluirá la clasificación del residuo y la cantidad descartada. El propósito es llevar un control estricto sobre los residuos generados, almacenados, tratados y dispuestos, asumiendo así un compromiso ambiental a través de la gestión de los residuos peligrosos.

5.3. Sistema de Información Geográfica con los resultados de calidad de las PTAR.

En conjunto con el Laboratorio de Hidrología Ambiental de la Universidad Nacional en coordinación con la MSc. Alicia Fonseca Picado, el geógrafo MSc. Luis Eduardo Quesada Hernández y Nicole Vargas Alvarado, estudiante de la carrera de Biología de la Universidad Nacional, se establece la creación de un sistema de información geográfica que permita observar en línea los resultados de calidad para los parámetros analizados por el Laboratorio Nacional de Aguas en cada una de las PTAR, Ríos y Aguas de mar.

Principales productos

Generación de un Geovisor en línea que se podrá acceder ingresado en el siguiente link (<https://geouna.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=ee3d02ead672494f9ef4037b5d6da454>) Dicho visor tendrá la información de cada Sistema de Tratamiento de Aguas

Residuales, como su ubicación y los resultados de calidad analizados por el Laboratorio Nacional de Aguas, los cuales se podrán exportar a Excel para los estudios correspondientes.

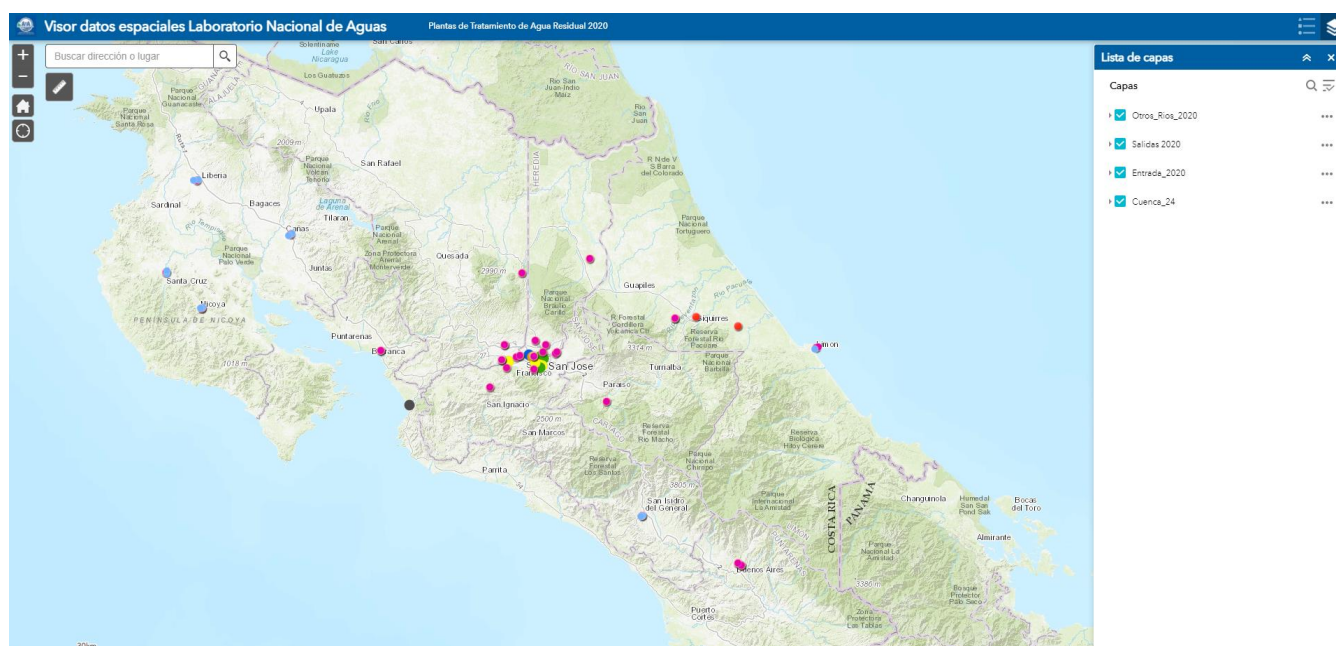


Figura 33. Pantalla del Geovisor de los resultados generados en el el Laboratorio de Aguas Residuales del Laboratorio Nacional de Aguas.

Avances y proyecciones futuras

Se propone mantener el proyecto en conjunto con el Laboratorio de Hidrología Ambiental de la Universidad Nacional, que nos permita mantener la información actualizada anualmente en el Geovisor, para que pueda ser consultada por los operados de los sistemas de tratamiento y los que se encuentran desarrollando proyectos de saneamiento.

6. Conclusiones y Recomendaciones

Los resultados de este Informe Anual son un aporte a la parte operativa para ser utilizados como insumo en la toma de decisiones, el mantenimiento y la mejora continua de los diferentes Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, así como para priorizar las mejoras y realizar proyectos de inversión que mejoren los sistemas que lo necesiten

En algunos casos se reflejan altos porcentajes de remoción de Coliformes Fecales en los sistemas de tratamiento, sin embargo, esto no descarta el hecho de que se está vertiendo de

una alta carga de estos en los cuerpos receptores, que incluso sobrepasan por mucho los límites máximos permitidos establecidos en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N°33903-MINAE-S.

Los resultados obtenidos de la caracterización de los ríos metropolitanos muestran el alto grado de contaminación de sus aguas. Es necesario tomar las acciones pertinentes, que permitan revertir el estado de contaminación que se ha provocado en los mismos.

Fue posible realizar la detección de SARS-CoV-2 en sistemas de tratamiento de aguas residuales localizados en diferentes localidades del país.

Establecer un programa robusto de monitoreo de SARS-CoV-2 requiere de un flujo continuo de reactivos, personal capacitado, además de una interpretación y comunicación oportuna de los datos.

La investigación en el campo de las Aguas Residuales es actualmente uno de los campos más importantes, y permite al Laboratorio Nacional de Aguas incorporar estudiantes de grado y postgrado a que realicen sus proyectos de graduación, dejando insumos al laboratorio que serán de gran importancia para el trabajo de rutina, así como para investigaciones futuras.

Es recomendable ampliar el Área de Aguas Residuales del LNA para incrementar el apoyo en operación y diseño de proyectos de saneamiento, brindando mayor cantidad de servicios de análisis físicoquímicos, biológicos y microbiológicos para el estudio y la ejecución de estos proyectos.

El AyA debe continuar en el camino del desarrollo de los proyectos de saneamiento en forma y tiempo oportuno, reconociendo que el “camino al progreso no es ni rápido, ni fácil” Marie Curie, pero se debe trabajar de forma continua en la búsqueda del avance del saneamiento concluyendo los proyectos actuales (PTAR Los Tajos) y ejecutando los futuros (Golfito, Quepos, Palmares y Jacó) permitiendo avanzar en el reconocimiento de que el tratamiento de las aguas residuales con tecnologías adecuadas para nuestro país, también es de vital importancia como el agua de consumo humano.

7. Bibliografía

- Ahmed, W., Bertsch, P. M., Bivins, A., Bibby, K., Farkas, K., Gathercole, A., ... & Kitajima, M. (2020). Comparison of virus concentration methods for the RT-qPCR-based recovery of murine hepatitis virus, a surrogate for SARS-CoV-2 from untreated wastewater. *Science of The Total Environment*, 739, 139960.
- APHA, AWWA and WEF. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 23th Edition-2017.
- Chen, N., Zhou, M., Dong, X., Qu, J., Gong, F., Han, F., & Yu, T. (2020). Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. *The Lancet*, 395(10223), 507-513.
- Decreto N° 26066-S. Designación de Laboratorio Central de AyA como Laboratorio Nacional de Aguas
- Decreto N°33601-MINAE. Reglamento de Vertidos y Reuso de Aguas Residuales.
- Decreto N°39316-S. Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos.
- Decreto N°33903-MINAE-S. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales.
- Ley Constitutiva N° 2726 de AyA.
- Quiros, F. 2008. Diseño de una didáctica ambiental para las prácticas de laboratorio que permita la segregación permanente de los desechos químicos por parte de docentes y estudiantes del curso de laboratorio de química general, de la carrera de química industrial, de la Universidad Nacional, Sede Interuniversitaria de Alajuela. trabajo final de graduación para optar por el grado de licenciatura en docencia. Universidad Estatal a Distancia UNED, Costa Rica.
- Symonds, E. M., Young, S., Verbyla, M. E., McQuaig-Ulrich, S. M., Ross, E., Jimenez, J. A., & Breitbart, M. (2017). Microbial source tracking in shellfish harvesting waters in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Water research*, 111, 177-184.
- Wang, D., Hu, B., Hu, C., Zhu, F., Liu, X., Zhang, J., & Zhao, Y. (2020). Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus–infected pneumonia in Wuhan, China. *Jama*, 1061-1069.