

Subgerencia Ambiental, Investigación y Desarrollo

Subgerencia Sistemas Periféricos



INSTITUTO COSTARRICENSE DE  
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

# Visita técnica a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Managua y Granada, Nicaragua

Fecha de entrega: 16 de enero de 2023

Elaborado por: Participantes de la Visita Técnica	Revisado y aprobado por: Suelen Ramírez Mejías
--	---

**AUTORIZACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS PARA PUBLICACIÓN EN EL  
CATÁLOGO DE ACCESO PÚBLICO EN LÍNEA (OPAC) y REPOSITORIO DIGITAL  
DEL CEDI**

Se autoriza al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio digital y Catálogo en línea (OPAC) del presente documento de interés bibliográfico.

<b>Nombre y apellidos de cada autor (a)</b>	<b>N° de cédula de identidad</b>	<b>Correo electrónico o teléfono institucional</b>	<b>Firma</b>
Randall Hernández Mora	109220528	<a href="mailto:randallh@aya.go.cr">randallh@aya.go.cr</a>	
Karla Ordóñez Sequeira	110810406	<a href="mailto:kordonez@aya.go.cr">kordonez@aya.go.cr</a>	
Rodolfo Araya Álvarez	110480955	<a href="mailto:rodaraya@aya.go.cr">rodaraya@aya.go.cr</a>	
Marisol Estrada Rey	111140040	<a href="mailto:mestrada@aya.go.cr">mestrada@aya.go.cr</a>	
Álvaro Antonio Arias Ramírez	603230877	<a href="mailto:aarias@aya.go.cr">aarias@aya.go.cr</a>	
Viviana Valverde Marín	113040697	<a href="mailto:vvalverde@aya.go.cr">vvalverde@aya.go.cr</a>	
Lucía Yglesias González	205880165	<a href="mailto:lyglesias@aya.go.cr">lyglesias@aya.go.cr</a>	
Suelen Ramírez Mejías	111980728	<a href="mailto:suramirez@aya.go.cr">suramirez@aya.go.cr</a>	
Jose Bolaños Warner	110350315	<a href="mailto:jobolanos@aya.go.cr">jobolanos@aya.go.cr</a>	
Jerry Briceño Montiel	604070632	<a href="mailto:jbriceno@aya.go.cr">jbriceno@aya.go.cr</a>	



## RESUMEN EJECUTIVO

Se ha desarrollado una visita a Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Granada y Managua, Nicaragua. Lo anterior con la finalidad de realizar una transferencia de conocimientos con relación a las bases de diseño, operación, mantenimiento, monitoreo y control existente en estos sistemas, y que han logrado ser exitosos, implementando mejoras tecnológicas y que, además, permiten la aplicación de elementos de economía circular, mediante el reúso y aprovechamiento de subproductos del tratamiento de las aguas residuales.

El presente informe detalla los aspectos de esta visita y los elementos principales que generan aportes a las labores institucionales.



## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO .....	3
TABLA DE CONTENIDOS .....	4
TABLA DE CUADROS .....	5
TABLA DE FIGURAS .....	5
Nomenclatura .....	7
Introducción .....	8
Antecedentes .....	8
Justificación.....	8
Objetivos .....	9
Objetivo General.....	9
Objetivos específicos .....	9
Alcance .....	9
Limitaciones .....	10
Metodología .....	11
Marco metodológico .....	11
Conformación del equipo.....	11
Actividades realizadas.....	12
Resultados .....	12
Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Managua.....	12
Pretratamiento .....	13
Sedimentación primaria .....	13
Filtros percoladores .....	13
Sedimentación secundaria.....	14
Sistema de gestión de lodos .....	15
Espesado.....	15
Digestión anaeróbica .....	16
Deshidratado .....	17
Secado solar.....	17
Control y monitoreo.....	18
Contrato de operación y Mantenimiento con la Empresa Biwater .....	19
Acerca de los contratos FIDIC.....	19
Acerca del Modelo de la PTAR de Managua.....	20
Protección de instalaciones – dique.....	22



Mejoramiento ambiental y Puerto Salvador Allende .....	22
Planta de tratamiento de aguas residuales de Granada .....	23
Pretratamiento .....	23
Reactor UASB .....	24
Lagunas facultativas .....	26
Lagunas de maduración.....	28
Sistema de gestión de lodos .....	29
Reúso de aguas residuales tratadas .....	29
Jurisprudencia e impacto ambiental.....	31
Estaciones de bombeo.....	31
Modelo de operación y mantenimiento.....	31
Conclusiones .....	33
Sobre el Contrato. ....	33
Sobre la Operación de los Sistemas Visitados. ....	33
Sobre el Diseño de los Sistemas Visitados.....	33
Sobre el aprovechamiento de los recursos.....	34
Recomendaciones .....	34
Explorar opciones de contratación diferentes .....	34
Posibilidades de Reúso de Recursos .....	34
Impacto en la sociedad.....	35
Referencias bibliográficas .....	36

## TABLA DE CUADROS

Cuadro 1. Equipo de trabajo .....	11
Cuadro 2. Parámetros operativos de la PTAR de Managua .....	12
Cuadro 3. Inversión del Programa de Mantenimiento Ambiental de Nicaragua .....	20

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Filtro Percolador.....	14
Figura 2: Espesador a gravedad, PTAR Managua, Nicaragua .....	15
Figura 3: Equipo de espesamiento mecánico.....	16
Figura 4. Digestores anaeróbicos .....	17
Figura 5. Paneles de control, estación elevadora.....	18
Figura 6. Control lógico programable – pretratamiento.....	19



Figura 5: Impacto del Proyecto en el Malecón de Managua, Puerto Salvador Allende y el Lago Xolotlán Managua, Nicaragua .....	23
Figura 6: Desarenadores de la PTAR de Granada, Nicaragua .....	24
Figura 7: Reactor UASB de la PTAR de Granada, Nicaragua .....	25
Figura 8: Tuberías de distribución de aguas y recolección de gas del UASB, PTAR Granada, Nicaragua .....	26
Figura 9: Laguna facultativa .....	27
Figura 10: Laguna de maduración en Granada y su efluente .....	28
Figura 11: Lechos de secado de lodo digerido .....	29
Figura 12. Efluente Lagunas .....	30
Figura 13: Caja de salida de efluente.....	30



## Nomenclatura

Símbolo	Descripción
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
mg	Miligramos
mL	Mililitros
N <sub>T</sub>	nitrógeno
NH <sub>3</sub>	Amoniacó
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amonio
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
P <sub>T</sub>	Fósforo
pH	Potencial Hidrógeno
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SAAM	Sustancias Activas al Azul de Metileno
SST	Sólidos Suspendidos Totales
UEN	Unidad Estratégica de Negocios



## Introducción

El adecuado tratamiento y disposición o reúso de las aguas residuales, es uno de los aspectos más importantes en los que debe invertir un país para garantizar la salud de sus habitantes y del medio ambiente. En Costa Rica como en muchos países en vías de desarrollo, el servicio de abastecimiento de agua para consumo humano ha sido una prioridad durante mucho tiempo; sin embargo, las inversiones en saneamiento no se han venido realizando de igual manera. Desde hace algunos años, el AyA ha venido trabajando fuertemente en este tema, con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas y reducir el impacto que estas aguas generan en el medio ambiente.

Actualmente, la UEN de Programación y Control, se encuentra en la fase de formulación y diseño de varios sistemas de saneamiento, enfocados en atender las necesidades de recolección y tratamiento de las aguas residuales de distintas comunidades en todo el país. El Banco de Desarrollo Alemán KfW, está financiando proyectos de este tipo para las ciudades de Golfito, Jacó, Quepos, Palmares, Puntarenas, Tamarindo, El Coco y Sardinal. El desarrollo de este tipo de proyectos requiere de la generación de capacidades en el recurso humano de AyA; no solamente en temas de diseño, sino también en el de investigación, construcción, operación y mantenimiento.

En Nicaragua, específicamente en Managua y Granada (pero también en otras localidades), KfW financió el desarrollo de sistemas de recolección, tratamiento, disposición y reúso de diferentes subproductos del proceso de tratamiento. Las tecnologías y procesos implementados en estos lugares han sido exitosos y actualmente son innovadores con respecto a los sistemas que opera AyA. Dada la necesidad de atender futuras iniciativas con respecto a este tema, resulta fundamental conocer las bases de diseño, operación, mantenimiento, monitoreo y control existente en estos sistemas, y que han logrado ser exitosos, implementando mejoras tecnológicas y que, además, permiten la aplicación de elementos de economía circular, mediante el reúso y aprovechamiento de subproductos del tratamiento de las aguas residuales.

## Antecedentes

En el año 2016, un grupo de funcionarios de AyA visitaron Nicaragua con el fin de conocer las PTAR de Managua y Granada. La anterior experiencia permitió conocer algunos aspectos sobre la implementación de este tipo de tecnología para el tratamiento de las aguas residuales. Adicionalmente, se fortalecieron los enlaces de cooperación con la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL).

## Justificación

El desarrollo de proyectos de saneamiento en Costa Rica requiere del fortalecimiento de capacidades de los funcionarios de AyA. Lo anterior, implica el conocer las experiencias de otros operadores que cuenten con sistemas innovadores de tratamiento y recolección de aguas





residuales, bajo condiciones similares a las de nuestro país. Al contar Nicaragua con aprendizajes positivos en el desarrollo e implementación de sistemas de este tipo y con el apoyo del Banco de Desarrollo Alemán KfW, se promueve la visita de funcionarios de AyA a las PTAR de Managua y Granada.

## Objetivos

### Objetivo General

Fomentar el intercambio de experiencias en temas de investigación, formulación, diseño, operación, mantenimiento, supervisión y control de sistemas de tratamiento de aguas residuales ordinarias, entre funcionarios de AyA, ENACAL y Biwater (operador).

### Objetivos específicos

- Conocer sobre lecciones aprendidas de aspectos técnicos a nivel de diseño y operación de los diferentes sistemas que cuentan con elementos similares en cuanto a tecnologías de tratamiento que serán implementadas en proyectos futuros de saneamiento, por ejemplo, filtros percoladores y UASB. Aprender de la experiencia adquirida por los funcionarios de ENACAL sobre la implementación de los sistemas de saneamiento para las ciudades de Managua y Granada.
- Conocer las eficiencias de los distintos procesos de tratamiento, indicadores cualitativos y cuantitativos, así como de los procesos de innovación tecnológica implementados en cada proyecto.
- Visitar estaciones de bombeo de aguas residuales, para conocer sobre el control, monitoreo y calibración de los equipos electromecánicos.
- Conocer sobre el control y seguimiento establecido por la empresa ENACAL al contrato de gestión del operador privado.
- Conocer la estructura organizacional de ENACAL; específicamente sobre temas de sostenibilidad financiera y economía circular.

### Alcance

Con la participación de AyA en el intercambio mencionado se espera:

- Conocer sobre aspectos técnicos de diseño, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales implementados en las ciudades de Managua y Granada. Los mismos, contienen procesos y operaciones que serán las mismas en algunos de los sistemas que implementará el AyA.



- Identificar los parámetros de monitoreo y control necesarios para el correcto funcionamiento de los sistemas de tratamiento. Lo anterior, con el fin de optimizar los procesos.
- Incorporar a las actividades de investigación, formulación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de saneamiento que desarrolla el AyA, los conocimientos adquiridos en la visita técnica realizada.

### **Limitaciones**

Las principales limitaciones que se contemplan en esta gira técnica son:

- La conceptualización de gran número de actividades en pocos días. Esto afecta en la profundidad con la que se abarcan los temas de la visita debido a la gran cantidad de temas, consultas y visitas a realizar.



## Metodología

### Marco metodológico

El conocimiento adquirido se desarrolla a partir del intercambio de experiencias entre funcionarios de AyA, ENACAL y Biwater, mediante la gira técnica realizada el 5 de diciembre en la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de la Ciudad de Managua y el 6 de diciembre en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Granada. Se aprovecha para realizar no solamente una visita a las plantas, sino también el Malecón Salvador Allende, donde se evidencia el impacto positivo de la zona turística como consecuencia del adecuado tratamiento de las aguas residuales, y la visita a varias estaciones de bombeo de la PTAR de Granada.

En ambas visitas, antes de recorrer las instalaciones de las plantas de tratamiento, se discuten algunos temas de planeamiento, construcción, operación y mantenimiento, a partir de las presentaciones desarrolladas por ENACAL, así como de la empresa Biwater. En estas presentaciones se conoce la trayectoria del proyecto de Managua que busca dar solución a la problemática de contaminación del Lago Xolotlán y de todo el proceso de tratamiento del agua residual y los subproductos generados, así mismo los alcances del proyecto, diseño, operación y mantenimiento de cada unidad; mientras que en Granada se abarca principalmente la operación, actividades de control y mantenimiento de la red de saneamiento y de la tecnología UASB.

El equipo del AyA involucra miembros de diferentes dependencias de la institución, con el fin de generar participación y conocimiento técnico en las áreas de diseño, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Esto permite profundizar con cada tema de interés tanto en las presentaciones como en el recorrido en cada proceso del tratamiento de las aguas residuales.

### Conformación del equipo

El equipo de trabajo que participó de la visita técnica mencionada y en la realización de este informe, se presenta en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Equipo de trabajo**

Nombre	Área funcional donde labora
Suelen Ramírez Mejías	UEN Programación y Control
Viviana Valverde Marín	UEN Programación y Control
Álvaro Arias Ramírez	UEN Programación y Control
Randall Hernández Mora	UEN Programación y Control
Marisol Estrada Rey	UEN Administración de Proyectos
José Bolaños Warner	UEN Administración de Proyectos



Nombre	Área funcional donde labora
Karla Ordoñez Sequeira	Región Pacífico Central
Jerry Briceño Montiel	Región Pacífico Central
Lucía Yglesias González	Subgerencia Sistemas Periféricos
Rodolfo Araya Álvarez	UEN Investigación y Desarrollo

Referencia: *Elaboración propia.*

## Actividades realizadas

Las actividades realizadas como parte del proceso de intercambio de experiencias fueron:

1. Visita a PTAR de Managua donde se conocieron los procesos y operaciones de pretratamiento, sedimentación primaria, filtros percoladores, sedimentación secundaria, espesado de lodos, digestión anaeróbica, deshidratado y secado de lodos. Adicionalmente, se conoció el proceso de secado térmico y empaque de lodo seco, el cual se comercializa como acondicionador de suelos.
2. Visita a malecón Salvador Allende, donde se conoció el impacto positivo generado por la depuración de las aguas residuales previo a su vertido en el lago Xolotlán.
3. Visita a la PTAR de Granada, donde se conocieron los procesos de pretratamiento, UASB, lagunas de estabilización, lagunas de maduración, reúso de aguas residuales tratadas y deshidratado de lodos.
4. Visita a estaciones de bombeo en Granada.

## Resultados

### Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Managua

Actualmente, la PTAR está diseñada para tratar las aguas residuales de una población equivalente de 1 089 531 habitantes; un caudal mínimo de 1 168 L/s, un caudal medio de 2 113 L/s y un caudal máximo de 3 441 L/s. Con respecto a los parámetros operacionales, en el cuadro 2 se presenta un detalle de estos y los límites máximos permisibles (LMP) según la legislación vigente en Nicaragua para el vertido de aguas residuales a un cuerpo receptor.

**Cuadro 2. Parámetros operativos de la PTAR de Managua**

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente	LMP
pH		7.320	7.700	6 – 9
DBO <sub>5,20</sub>	mg/L	287	39	90
DQO	mg/L	518	85	180



Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente	LMP
SST	mg/L	225	30	80
SS <sub>30</sub>	mL/L	4.71	0.37	1
N <sub>T</sub>	mg/L	32.51	20.00	NA
P <sub>T</sub>	mg/L	4.25	1.83	NA
A&G	mg/L	35.45	1.00	10
SAAM	mg/L	7.40	1.42	3
CTT	NMP/100 mL	5.66E+07	4.00E+05	5.00E+05

Referencia: Biwater (2022)

Esta planta está compuesta por los procesos que se detallan en los siguientes apartados.

## Pretratamiento

El agua residual ingresa por un canal principal donde luego una estructura de repartición de caudales lo divide en 5 flujos iguales. Para la remoción de sólidos de gran tamaño se utilizan rejas mecanizadas con tamaño de paso de 6 mm. Posteriormente, el agua pasa al proceso de desarenado/desengrasado en donde las partículas más pesadas sedimentan al fondo del canal y mediante el uso de difusores de aire, las grasas y aceites flotan y son removidas de la superficie del agua.

## Sedimentación primaria

Se emplean 9 sedimentadores equipados con lamelas para acelerar el proceso de decantación. Los sólidos que sedimentan forman una especie de lodo en el fondo de las estructuras, y son retirados mediante un sistema de rascadores mecánicos y enviados al sistema de gestión de lodos. El agua clarificada continúa su proceso de tratamiento hacia los filtros percoladores.

## Filtros percoladores

La PTAR cuenta con 6 filtros percoladores que funcionan en paralelo. El agua es bombeada de los sedimentadores primarios hacia estos filtros; y distribuida sobre su superficie mediante unos brazos que giran de forma continua mientras dejan caer el agua de manera uniforme. Estos últimos trabajan de forma mecánica. Dentro de la estructura, existe un medio filtrante con una alta área superficial específica ( $m^2$  expuestos/ $m^3$  de volumen), plástico y configurado de forma ordenada. En la parte baja de los filtros unas aberturas permiten el ingreso de aire, el cual viaja en sentido opuesto al flujo de agua debido a un gradiente en la temperatura.

El medio filtrante sirve como estructura para el desarrollo de una biopelícula. El tratamiento del agua ocurre mientras el líquido fluye sobre esta biopelícula. Los substratos solubles y el



oxígeno disuelto se difunden dentro de la biopelícula para soportar el crecimiento de la biomasa. Las sustancias coloidales y particuladas son removidas por adherencia en la biopelícula. Los sólidos efluentes que se despegan del soporte de la biopelícula son removidos en un sedimentador secundario. En la figura 1 se observa el filtro percolador #4 de la PTAR.



**Figura 1: Filtro Percolador**

Referencia: Yglesias, L (2022)

### **Sedimentación secundaria**

En esta etapa, los microorganismos que se han despegado del medio de soporte de los filtros percoladores o de la biopelícula y sólidos que se encuentran en suspensión decantan en estas estructuras. En esta operación, se utilizan lamelas, al igual que en los sedimentadores primarios, con el fin de acelerar el proceso de decantación. El sobrenadante, siendo un agua residual tratada, es enviado al lago Xolotlán. Los sólidos que se acumulan en estos decantadores son enviados al sistema de gestión de lodos.



## Sistema de gestión de lodos

Tiene como finalidad tratar los lodos generados en los sedimentadores primarios y secundarios. En la PTAR de Managua, los biosólidos generados al final del proceso de tratamiento, son comercializados como acondicionadores de suelos.

### Espesado

En la PTAR de Managua, el proceso de lodos comienza con los espesadores. Los lodos purgados de los sedimentadores primarios y secundarios son mezclados con el fin de homogenizarlos, seguidamente pasan al sistema de espesadores.

La finalidad de los espesadores es eliminar una parte del líquido suelto que conforma el lodo, con el fin de aumentar el porcentaje de materia seca dentro de este y disminuir el volumen del lodo, de tal manera que las estructuras posteriores sean de menor tamaño y la cantidad de sólido a disponer al final del proceso sea mucho menor.

La PTAR de Managua contaba originalmente con espesadores a gravedad, sin embargo, se agregaron espesadores mecánicos que permiten aumentar la capacidad de lodo a espesar.

A continuación, se muestran el espesador a gravedad y el equipo de espesamiento mecánico y una muestra de cómo sale el lodo una vez que ha pasado por el equipo mecánico.



**Figura 2: Espesador a gravedad, PTAR Managua, Nicaragua**

*Referencia: Bolaños, J (2022)*



**Figura 3: Equipo de espesamiento mecánico**

*Referencia: Bolaños, J (2022)*

## Digestión anaeróbica

El lodo espesado, es transportado hacia 4 digestores anaeróbicos, los cuales se encuentran herméticamente sellados y en donde permanecerá aproximadamente 21 días. Estas estructuras cuentan con mezcladores internos mecánicos que, permiten obtener un reactor de mezcla completa. En la figura 4 se muestran los digestores mencionados y una lanza donde se quema el biogás producido.

La digestión anaeróbica es un proceso que tiene como finalidad la estabilización de los lodos, en donde se genera la descomposición de la materia orgánica y la reducción de la materia inorgánica (principalmente los sulfatos) en la ausencia del oxígeno molecular. Existen, tres tipos de reacciones químicas y bioquímicas que ocurren en la digestión anaeróbica: hidrólisis, fermentación (acidogénesis – formación de compuestos orgánicos solubles y ácidos orgánicos de cadena corta) y metanogénesis; en esta última se da la conversión de ácidos orgánicos a metano y dióxido de carbono. Algunos de los parámetros más importantes para este tipo de procesos son: el tiempo de retención de sólidos, el tiempo de retención hidráulico, la temperatura, la alcalinidad, el pH, la presencia de sustancias inhibitorias, y la disponibilidad de nutrientes y trazas de metales.

En la PTAR de Managua, los digestores anaeróbicos no se calientan de manera externa; lo anterior, pues la temperatura del agua es muy favorable para estos procesos. El biogás generado es transportado mediante tuberías, a un sistema donde se quema. Para un futuro cercano, ENACAL se encuentran trabajando en una iniciativa para el aprovechamiento de este biogás,





donde se podría generar energía eléctrica para abastecer la PTAR o ser utilizado para aumentar la temperatura de trabajo de los digestores.



**Figura 4. Digestores anaeróbicos**

*Referencia: Arias, A (2022)*

## **Deshidratado**

Una vez que el lodo es estabilizado, es enviado a una prensa que reduce a un 80% su humedad, y se crea una especie de “pastel de lodo” que puede ser utilizado como fertilizante. Para facilitar su uso el Gobierno de Nicaragua comisionó a la empresa Biwater la construcción de una planta solar de secado de lodo más grande del mundo, que permitirá reducir el nivel de agua a más del 40% lo que facilitará de gran manera el transporte de este producto.

Posterior al proceso de deshidratación, pasa al proceso de secado solar.

## **Secado solar**

El proceso de secado solar se realiza mediante naves de secado solar con techo transparente que permite el ingreso de radiación solar. Las dimensiones de estas naves en planta son de 12m de ancho por 120 m de largo. Estas naves cuentan con una ubicación que favorece la circulación de aire de forma natural y además cuenta con un sistema de ventilación forzada que mantiene las condiciones ideales para la deshidratación aun en ausencia de viento.

Esta parte del proceso cuenta con monitoreo de variables climatológicas como velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar y precipitación, entre otras.



El contenido de materia seca del lodo al entrar en este proceso es de alrededor del 80% y se logra un contenido de materia seca a la salida de este del 93-94%. Esta condición en época de verano se logra en aproximadamente 14 días. El volumen total de biosólidos producidos por año es de aproximadamente 10830 m<sup>3</sup>. Actualmente se comercializa el 7% de estos biosólidos como abono y el resto se envía al relleno sanitario.

Todos los sistemas electromecánicos están conectados al SCADA de la PTAR.

## Control y monitoreo

Dentro del apoyo que ha recibido el país y específicamente ENACAL por parte de la cooperación alemana, se encuentra el desarrollo de sistemas de gestión integral de infraestructura, específicamente para el tema de aguas residuales se ha implementado el sistema SIGIL, en el cual se puede monitorear las plantas de tratamiento de aguas residuales.

La PTAR de Managua cuenta con un sistema de monitoreo y control de parámetros electromecánicos tipo SCADA, cuya información se documenta además en formularios manuales para el seguimiento y la toma de decisiones en casos inmediatos.

Los equipos instalados cuentan con una tecnología tal que les permite conectarse directamente a sistemas de control lógico programable (PLC) mediante los cuales se programa el funcionamiento de cada una de las etapas de tratamiento. Además, cuentan con variadores de frecuencia y arrancadores suaves en los diferentes equipos de bombeo, con lo cual aseguran la durabilidad de los equipos y optimización en su funcionamiento, así como el ahorro energético.



**Figura 5. Paneles de control, estación elevadora**

*Referencia: Ordoñez, K (2022)*



**Figura 6. Control lógico programable – pretratamiento**

*Referencia: Ordóñez, K (2022)*

## **Contrato de operación y Mantenimiento con la Empresa Biwater**

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Managua, licitó mediante la metodología FIDIC, para un contrato EPC, con el uso del libro plata, en dos líneas:

- Lote 1, Diseño, Construcción, equipamiento y Puesta en marcha.
- Lote 2, Operación y Mantenimiento.

Ambos lotes ganados por Biwater.

## **Acerca de los contratos FIDIC**

Los contratos FIDIC son la forma estándar de contratos de construcción internacional más popular en el mundo, la Fédération Internationale Des Ingénieurs-Conseils, más comúnmente conocida como FIDIC, fue fundada en el año 1913 en Bélgica. Hoy en día, la FIDIC es el organismo internacional de representación mundial más grande del mundo, formada por asociaciones nacionales de consultores ingenieros, procedentes de más de 100 países. FIDIC ha desarrollado términos normalizados para diferentes tipos de contratos los cuales son trabajados mediante libros de contratación nombrados por colores:

- Libro Rojo, Construcción
- Libro Amarillo, Diseño y Construcción o contrato de Planta Diseño y Construcción.
- Libro Plata para proyectos EPC (Engineering, Procurement and Construction, qué significa “Ingeniería, Compras y Construcción”) / Llave en mano (“Turnkey”) donde la mayoría de los riesgos se asignan al contratista. El contratista lleva a cabo el diseño y el pago generalmente es al tanto alzado.



- Libro Blanco, Acuerdo de Servicios Modelo de Cliente / Consultor.
- Libro Verde, que es un contrato de corta duración destinado a proyectos relativamente pequeños de naturaleza repetitiva.
- Libro Oro. Para contratos de diseño típico y un tipo de construcción donde se ha agregado un período de operación y mantenimiento.
- Libro Azul, es una forma de contrato para dragado, trabajos de recuperación y construcción auxiliar con una gran variedad de arreglos administrativos.

### Acerca del Modelo de la PTAR de Managua.

Debido a los indicadores que se presentaban en los cuales se podía ver que la inversión en infraestructura en saneamiento por parte del Gobierno de Nicaragua era deficiente, así como la gran contaminación en el lago Xolotlán, se gestó así el Plan Maestro de Saneamiento de Managua en 1995, que considero una solución efectiva para las aguas servidas crudas que contaminan el lago; este proyecto se denominó “Programa de Saneamiento Ambiental del Lago y Ciudad de Managua”.

Este programa fue financiado mediante:

### Cuadro 3. Inversión del Programa de Mantenimiento Ambiental de Nicaragua

Fuente de financiamiento	Monto (US\$)
Contrato de préstamo BID 978 y 1060/SF-NI	30 millones
Contrato de préstamo y Aporte Financiero KfW No. 1999 66 706	32 millones
Convenio de préstamo NDF No 154	10.5 millones
Aporte del Gobierno Centra de Nicaragua	7.5 millones
Aporte ENACAL	5.1 millones
<b>Total</b>	<b>85.1 millones</b>

Referencia: Enacal (2022)

Definido este financiamiento, se procedió con las acciones para la licitación correspondiente para la EPC, de la Planta de Tratamiento de Managua. Antes de la publicación de la licitación, se realizaron estudios de la cooperación alemana para definir el modelo de tratamiento así como encausar los impactos positivos y convenientes (dimensiones de salud, saneamiento, turismo, etc.); así como cuáles eran los usos a brindar a los subproductos del tratamiento, estos estudios dieron pie a modificaciones en los decretos y leyes de la república de Nicaragua para facilitar las labores en la etapa tanto de construcción como de operación y Mantenimiento. Así mismo estos estudios, que se llevaron a cabo en conjunto con ENACAL, permitieron también definir el modelo de pago (remuneración) que se fijó en los términos cartelarios.



Dado que el pliego cartelario abría la posibilidad de un diseño alterno, el contratista presentó un diseño alternativo, el cual fue aceptado, lo que permitió un mejor uso del espacio. El objeto del contrato de O&M, es que todo el personal técnico y operadores de Biwater, pasara a ENACAL, por lo que el personal clave que se identificó fueron los mandos medios de ENACAL, que Biwater está capacitando en este momento.

Una vez iniciada la fase de puesta en marcha y el primer periodo del contrato de O&M el contrato establecía que se contaría con personal de ENACAL de manera pasiva para la transferencia tecnología mediante el modelo *Know How*. Al darse una prórroga del contrato, se determinó que la acción más viable era pasar de un modelo pasivo a uno activo por parte de ENACAL, por lo cual, durante las siguientes prórrogas, el rol activo de operadores en estaciones de bombeo y sistemas conexos (Granada) el personal que lo opera es de ENACAL, bajo una subordinación al personal de Biwater. Esta subordinación es bajo orden expresa del presidente ejecutivo de ENACAL. La Planta de Managua se mantiene en operación exclusiva por el personal de Biwater.

Según la información proporcionada por ENACAL se decidieron realizar las subsiguientes prórrogas debido a que Biwater está presentando un servicio con respaldo de casa matriz fuerte, además de la agilidad con la cual se mueve la empresa con respecto a las compras y temas administrativos. Esto ha permitido desarrollar modelos exitosos de mantenimiento preventivo mayor y menor, tanto para las Estaciones de Bombeo como para las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales a su cargo. Este contrato fue supervisado tanto en el lote 1 como en parte de la ejecución del lote 2 por una empresa consultora que fungió como contraparte del cliente del ente financiador, esta empresa fue Fichtner Water and Transportation, como resultado de esta inspección, se pudo asegurar la calidad deseada y mejoras en los trabajos a ejecutar.

Asi mismo para el tema del aseguramiento, Biwater ha tenido que mantener una garantía sobre los trabajos, la operación y mantenimiento, así como una póliza de seguros sobre la Planta y sus sistemas conexos, dichas garantías y seguros ascienden a más de 2.5 millones de dólares. Debido a que el contrato es bajo normas FIDIC (Libro Plata, para una EPC), mientras se mantengan fondos por parte del KfW y/o un ente de financiamiento multilateral, es posible realizar ampliaciones del contrato, de manera casi indefinida, en este momento, si bien ya ENACAL financia el pago de la O&M en gran medida, aún cuentan con una contra partida multilateral lo que ha favorecido para poder realizar las ampliaciones del contrato más allá de lo que la ley de Contratación de Nicaragua permite, al ser normas de organismos multilaterales.

Por parte de Biwater, se han percibido los siguientes resultados después de 12 años de ejecución del contrato:

- Cumplimiento con el decreto 77-2003 de Descargas al lago Xolotlán, DBO 35 mg/l, límite de descarga de 90 mg/l
- Manejo responsable de los desechos orgánicos e inorgánicos



- Producción de Biogás y Futura Autarquía Energética con el funcionamiento de biogás (7.6 MWh/año)
- Producción de 10.000 m<sup>3</sup>/año de Biosólidos con valores >90% ST y cumpliendo con la NTON 0114-14; 7% de la producción anual se comercializa
- Bajo costo de O&M (<0.035 US\$/m<sup>3</sup>) y bajo consumo energético (0.1 Kwh/m<sup>3</sup>) durante los 12 años
- Manejo eficiente de la O&M con personal de Biwater 100% nicaragüense con soporte de casa matriz Inglaterra
- Presencia de 3 ingenieros de ENACAL dentro de la O&M, bajo el Esquema de transferencia Know How
- Mecanismo de pago por servicios de O&M establecidos en el contrato, funcionando de manera adecuada
- 10 inspecciones Anuales realizadas con resultados satisfactorios
- Excelente relación ENACAL – Biwater por el cumplimiento contractual
- Ampliación del Contrato de O&M basado en los buenos resultados en las inspecciones

### **Protección de instalaciones – dique**

Dado que el Lago Xolotlán presenta periódicamente niveles de agua elevados en época lluviosa que ponen en riesgo de inundación el terreno de la PTAR, fue construido alrededor de las instalaciones un dique de protección. Esto es una obra importante de considerar debido a la vulnerabilidad del sitio y como medida de adaptación enfocada al cambio climático.

### **Mejoramiento ambiental y Puerto Salvador Allende**

Como resultado de la puesta en marcha del “Programa de Saneamiento Ambiental del Lago y Ciudad de Managua”, uno de los resultados positivos más visibles para el público en general es el desarrollo del Puerto Salvador Allende. Previo al desarrollo de esta iniciativa, el área conocida anteriormente como “el malecón” era realmente una zona problemática de la ciudad de Managua. Esta, no sólo era de poco agrado visual y por ende turístico, sino que además de ser una zona con población de estrato socio económico reducido, se prestaba para actividades criminales y, por tanto, en general, era “peligroso” especialmente en horas altas de la tarde y noche.

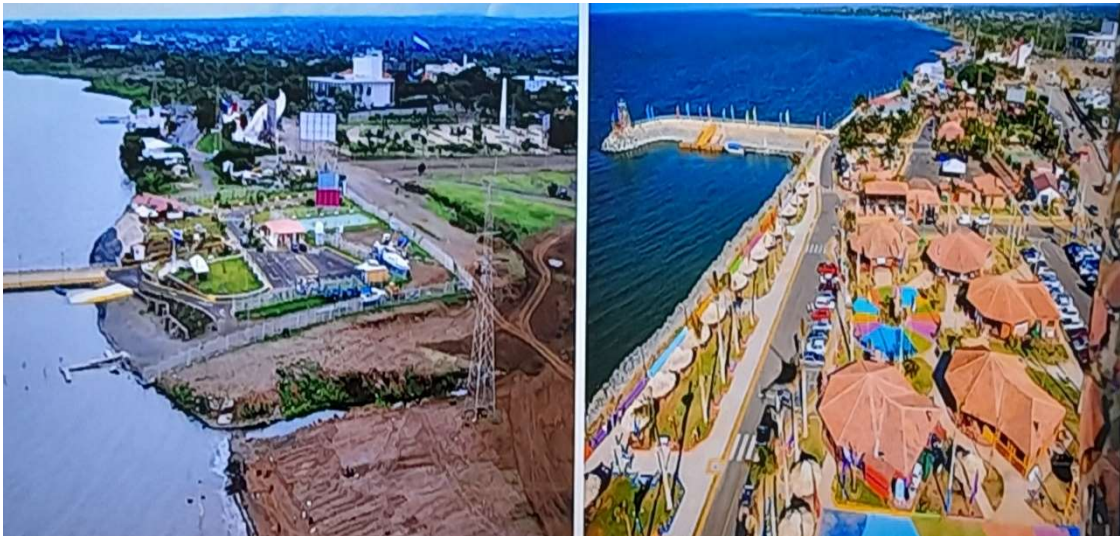
En comparación con las calidades del agua del lago Xolotlán antes del desarrollo del proyecto, se ha presentado una considerable mejoría tanto en los parámetros bioquímicos como en su aspecto visual y la presencia de olores, sin embargo, aún no se ha alcanzado los niveles aceptados para que sea considerado como agua apta para contacto humano (no es adecuada



como balneario ni para actividades deportivas en donde el ser humano entre en contacto directo con las aguas).

La creación del Puerto Salvador Allende incluye un sin número de áreas recreativas, que incluye restaurantes, zonas para conciertos, bares, picnic, juegos infantiles, y otras actividades al aire libre para el disfrute de toda la familia. Cabe mencionar que todas estas actividades están desarrolladas en forma tal que puedan satisfacer las necesidades de distintos estratos socioeconómicos.

En la figura 7 se puede observar una vista aérea del antes y después del sitio supra mencionado.



**Figura 5: Impacto del Proyecto en el Malecón de Managua, Puerto Salvador Allende y el Lago Xolotlán Managua, Nicaragua**

*Referencia: Enacal 2022*

## **Planta de tratamiento de aguas residuales de Granada**

### **Pretratamiento**

El sistema de pretratamiento inicia con un cribado consiste en tamices verticales de 6mm seguidos de tamices rotatorios de 2 mm de separación, ubicados en la entrada del efluente.

Posteriormente el efluente cribado ingresa a dos desarenadores rectangulares que cuentan con sistema automático de extracción de arenas. El sistema cuenta con bypass de emergencia en la entrada de la PTAR que permite desviar el caudal hacia el cuerpo receptor que es un humedal natural. Esta estructura solo funciona en caso de emergencia.



**Figura 6: Desarenadores de la PTAR de Granada, Nicaragua**

*Referencia: Hernández, R. (2022)*

## Reactor UASB

Después del pretratamiento, la línea de aguas de la PTAR continúa con los reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB). La PTAR de Granada cuenta con dos UASB que trabajan en paralelo, además estos tanques se encuentran enterrados en el terreno y no cuentan con cobertura superior, lo que permite observar las tuberías de entrada de distribución del caudal, así como el efluente del UASB en la zona de sedimentación del reactor, la parte superior de la campana de división trifásica y las tuberías de recolección del biogás.

El agua del pretratamiento se divide en dos con el fin de distribuir equitativamente el agua entre los dos UASB. En cada reactor el agua de entrada cae a un canal el cual alimenta a las tuberías de distribución. Estas tuberías de distribución consisten en tuberías de 150mm de hierro





negro las cuales transportan las aguas a distintos puntos dentro del reactor del UASB y la liberan a una distancia de 20cm con respecto al fondo para que asciendan en el reactor y se dé el tratamiento.

Los lodos por purgar en el reactor se envían a los lechos de secado para su deshidratación. De acuerdo con los operadores de la PTAR de Granada, estos lodos se purgan de los reactores del UASB de dos a tres veces al año. Primeramente, se realiza un perfil de lodos dentro el reactor y sabiendo la altura del lodo dentro del reactor, se decide si se requiere la purga.

Esta tecnología es utilizada en países con temperaturas altas como es el caso de Nicaragua, debido a que no requiere que se caliente de previo el reactor. También cuenta con las ventajas que ocupa poco equipamiento, por lo tanto, poco consumo de energía y finalmente produce biogás, el cual se puede utilizar para cogenerar energía. En el caso de la PTAR de Granada este biogás es actualmente quemado en una antorcha de llama cerrada y no es reutilizado. A continuación, se presenta una imagen de los UASB de la PTAR de Granada.



**Figura 7: Reactor UASB de la PTAR de Granada, Nicaragua**

*Referencia: Arias, A (2022)*



**Figura 8: Tuberías de distribución de aguas y recolección de gas del UASB, PTAR Granada, Nicaragua**

*Referencia: Arias, A (2022)*

### **Lagunas facultativas**

Las aguas residuales efluentes de los reactores UASB son enviadas a un sistema lagunar compuesto por dos lagunas facultativas que trabajan en serie. En estos sistemas, la DBO soluble y particulada fina se estabiliza de forma aeróbica por bacterias que crecen dispersas en el medio; mientras que la DBO en suspensión tiende a decantar al fondo de la laguna, donde es estabilizada de forma anaeróbica por otro grupo de microorganismos. El oxígeno requerido por los microorganismos aerobios es suministrado por microalgas que realizan fotosíntesis y viven en las capas superficiales de las lagunas. En la siguiente figura se muestra una fotografía de una de las lagunas facultativas.

**Figura 9: Laguna facultativa**

*Referencia: Araya, R (2022)*

Los operadores de la PTAR mantienen un monitoreo frecuente de todo el sistema de tratamiento. Entre las determinaciones que realizan, se encuentra la medición de la altura de lodos en el fondo de las lagunas; es decir, realizan una especie de batimetría con el uso de muestreadores de lodo. El perfil de estos lodos, lo realizan dos veces al año. Cuando la altura de los lodos es superior a los 30 cm, se procede con su extracción y envío a lechos de secado. Para realizar esta operación, se utiliza una balsa que cuenta con un sistema de bombeo (una draga) para sacar el lodo del fondo de las lagunas y enviarlos a los lechos. La balsa es controlada mediante un sistema remoto, desde la orilla de las lagunas.

La limpieza del fondo de las lagunas se realiza una vez al año y tarda entre 1 a 2 meses para cada una. La concentración de Sólidos Suspendidos Totales en el fondo de las estructuras puede llegar a ser de hasta 8%. Se trata de realizar esta labor en la época seca, con el fin de que el secado de lodos sea más rápido; pues los lechos de secado no están techados.



## Lagunas de maduración

Las lagunas de maduración son por lo general un proceso sucesorio de una laguna facultativa, ya sea primaria o secundaria. El objetivo principal de estas lagunas es la remoción de patógenos, nitrificación del nitrógeno amoniacal y eliminación de algunos nutrientes, con lo cual es posible además disminuir la cantidad de algas y clarificación del efluente, así como la consecución de un efluente bien oxigenado.

Son generalmente lagunas de poca profundidad (alrededor de un metro) para permitir la penetración de la luz solar. Su funcionamiento es básicamente bajo condiciones aeróbicas en toda su profundidad para permitir una simbiosis entre las algas y bacterias.

En el caso particular de Granada, estas lagunas, las cuales fueron adicionadas recientemente, permiten mejorar la calidad del efluente ya que el mismo es destinado en su mayor parte a riego de campos de cultivo.



**Figura 10: Laguna de maduración en Granada y su efluente**

*Referencia: Estrada, M (2022)*



## Sistema de gestión de lodos

El sistema de gestión de lodos provenientes de los UASB, que son lodos digeridos anaeróbicamente, son extraídos de los UASB por las tuberías de descarte a un cárcamo de bombeo y de ahí son bombeados a los lechos de secado. Una vez secos se retiran y son dispuesto en relleno sanitario.



**Figura 11: Lechos de secado de lodo digerido**

*Referencia: Hernández, R. (2022)*

## Reúso de aguas residuales tratadas

El efluente de esta planta es por gravedad, cuenta con dos salidas o vertidos, uno de cada una de las lagunas de maduración. La infraestructura de salida de cada una de las lagunas corresponde a una caja de concreto, en la cual se ubica además un vertedero de excedencias en el caso de que se requiera realizar algún mantenimiento a la tubería de conducción del efluente.

Originalmente se planteó que el efluente de la totalidad de la planta se descargara en un cuerpo de agua cercano, sin embargo, para ello se requería cruzar un terreno que se utiliza en agricultura. Por lo que se realizó un acercamiento con el dueño para proponer la posibilidad de reutilizar el efluente de una de las lagunas en fertiirrigación en su propiedad y de esta manera no se requería generar una afectación en el terreno y en cambio se estaría beneficiando la producción de los cultivos en el mismo. Se reutiliza únicamente el caudal de salida de una de las lagunas por un tema de niveles, ya que el nivel de salida del efluente de una de las lagunas



es más bajo que el de la otra laguna, por lo cual no es posible reusarlo, aunque el propietario desde un inicio se encontraba anuente a utilizar la totalidad del caudal.



**Figura 12. Efluente Lagunas**  
*Referencia: Ordóñez, K (2022)*



**Figura 13: Caja de salida de efluente**  
*Referencia: Ordóñez, K (2022)*



## Jurisprudencia e impacto ambiental

Los criterios técnicos para la formulación de los proyectos de saneamiento están relacionados con la gobernanza de cada país. En el caso de Costa Rica, existe una vasta normativa legal-ambiental que busca proteger nuestros ecosistemas.

La PTAR de Granada en Nicaragua, cuenta con sistemas lagunares cuyo efluente en dispuesto en un humedal, a pesar de las posibles restricciones a nivel de normativa que se presentan. Sin embargo, esta condición ha sido permitida con la finalidad de viabilizar el proyecto y brindar opciones seguras de recolección y tratamiento, entendiendo que el mantener la disposición de las aguas residuales crudas sin control genera una afectación mayor al ambiente y la salud.

Dadas las condiciones de algunas zonas en nuestro país, se cuenta con restricciones ambientales que impiden escenarios similares al de Nicaragua, a pesar de no contar con alternativas técnicamente viables. Por esta razón, es necesario implementar análisis integrales y valorar el impacto de las restricciones jurídicas que impiden una adecuada implementación de los sistemas, buscando siempre el bien mayor e instaurando los mecanismos necesarios para garantizar la protección del ambiente.

## Estaciones de bombeo

El sistema de recolección del Alcantarillado de Granada cuenta con una serie de estaciones de bombeo prevista para trasegar las aguas recolectadas a lo largo de la cuenca y hasta la PTAR de Granada.

Durante la gira técnica se visitaron las EBAS – Granada – Villa Sandino, misma que se encuentra en un terreno (no en vía pública) y cuenta con desarenador, un cárcamo de bombeo, un centro de control de motores y un generador.

Además, se visitó la Estación de Bombeo Centro Histórico que también se encuentra en un terreno y cuenta con un canal de entrada, un sistema de remoción de sólidos, un cárcamo de bombeo, caseta de vigilancia, centro de control de motores y un generador. El sistema de bombeo es 2 + 1, lo que implica que se tienen 3 sistemas de motor bomba de los cuales se opera regularmente con 2 de ellos y uno permanece en redundancia.

## Modelo de operación y mantenimiento

Cuentan con un modelo con el objetivo de Planificar, coordinar y supervisar la operatividad y funcionamiento de las Estaciones de Bombeo, Sistemas conexos de Managua, Plantas de Tratamiento y Estaciones de Bombeo de Ciudad Sandino y Granada, garantizando un óptimo funcionamiento.



#### Funciones de Control:

- Planificación de roll de trabajos.
- Coordinación y seguimiento de muestreo.
- Supervisiones continuas a la operación.
- Control y revisión de datos operativos.

#### Control y seguimiento

- Seguimiento a necesidades de Laboratorio.
- Seguimiento a Protocolos de O&M.
- Inversiones en mantenimiento de infraestructuras.
- Control de consumo de energía, combustibles y suministro de EPP.

#### Mantenimiento de PTAR, EBARS y CS.

- Mantenimiento de válvulas vortex, de aire y vaciado.
- Limpieza de cárcamos de bombeo y equipos.
- Limpieza de unidades de tratamiento con equipo succionador.
- Velar por el funcionamiento óptimo de todos los equipos

#### Mantenimiento de redes:

Para el Sistema de Alcantarillado Sanitario de Granada, cuentan con un esquema completo de las redes sanitarias.

Realizan programas de promoción social, visitando a las comunidades, verificando y controlando el uso de las redes.

Realizan un control de seguimiento de redes, donde: realizan limpieza y mantenimiento de la red, limpieza y mantenimiento de las Estaciones de Re-Bombeo y seguimiento y monitoreo a vertidos industriales.

Tienen identificados los puntos críticos en zonas de mayores incidencias en invierno y verano.

Realizan muestreos en las descargas puntuales con cisternas.





## Conclusiones

### Sobre el Contrato.

El desarrollo de un contrato EPC, bajo las normas FIDIC, en el ejercicio visitado ha probado tener una serie de bondades más allá de una buena transferencia tecnológica, y el establecimiento de programas de mantenimiento correctivo y preventivo exitoso.

Se ha podido desarrollar entre ENACAL y Biwater, debido a la buena relación entre contratista y administrador del contrato, una sinergia que ha permitido potenciar la operación general del sistema.

Si bien la normativa de Nicaragua ha permitido mucha de esta interacción y propiciado la sinergia entre empresas, y teniendo en cuenta los riesgos que un contrato EPC tienen, el modelo presenta ventajas que superan a primera vista los riesgos presentados, por lo que pueden vislumbrarse que al implementar su uso en el país se podría contar con las bondades y avances que un contrato de este tipo presenta.

### Sobre la Operación de los Sistemas Visitados.

Según las experiencias transmitidas por parte del operador de cada uno de los sistemas, se muestran los beneficios de contar con el equipamiento y personal capacitado para asegurar el funcionamiento óptimo de los sistemas.

La empresa que opera actualmente ambas plantas de tratamiento cuenta con la cantidad del personal requerido y capacitado en las actividades que desempeñan, equipos que reciben el mantenimiento preventivo y correctivo necesario. Además, cuentan con facilidades para la sustitución de sus equipos e invierten efectivamente los recursos en la actualización de cada una de las etapas de sus sistemas, según la misma operación del sistema lo va requiriendo.

La inversión en sistemas SCADA que permiten el monitoreo de parámetros, programación de la operación y análisis de datos colabora en la toma de decisiones tanto en el funcionamiento normal del sistema como en la planificación de crecimiento y mejoras futuras.

### Sobre el Diseño de los Sistemas Visitados

Se han visto las bondades de los sistemas de tratamiento anaeróbicos como los UASB, que, al operar dentro de sus rangos de diseño, y siendo adecuadamente monitoreados y operados, generan pocas cantidades de lodo y el mismo reactor UASB puede incluso funcionar como digestor de lodos. Dichos sistemas incluso soportan bien los picos de variación horaria en el caudal de entrada del sistema de la ciudad actualmente; sin embargo, siempre se considera una ventaja el contar con tanques de homogenización ya que permiten modular mejor el crecimiento futuro de las plantas.



## Sobre el aprovechamiento de los recursos

Los dos sistemas de tratamiento de aguas residuales visitados buscan aprovechar al máximo los subproductos obtenidos durante los procesos. En el caso específico de la PTAR de Managua, parte de los lodos estabilizados, deshidratados y secos son empacados en sacos y se comercializan como acondicionadores de suelos. Con el paso del tiempo, cada vez más de este subproducto se ha logrado vender, lo que ayuda a ser más viable el tratamiento de estas aguas y produce un impacto positivo al emplearse en los suelos y utilizar menos abonos químicos en los cultivos. Actualmente, se encuentran valorando opciones para aprovechamiento del biogás que se genera en los biodigestores, con el fin de poder utilizarlo para calentar este proceso y/o para producir electricidad.

En la PTAR de Granada, una parte del agua residual tratada se utiliza para riego de una finca aledaña. Esto permite al operador reducir algunas de sus labores y al dueño de los terrenos contar con agua y cierta cantidad de nutrientes durante todo el año.

## Recomendaciones

### Explorar opciones de contratación diferentes

En los últimos años el AyA ha visto la necesidad de invertir en saneamiento, presentándose actualmente proyectos como Zonas Prioritarias I y II, así como una cartera aun mayor por desarrollar. Tomando en cuenta la experiencia exitosa del país vecino, es de merecer realizar los estudios correspondientes, para instaurar en próximos financiamientos el modelo EPC en para los proyectos de saneamiento a ejecutarse.

Dadas las bondades de un contrato EPC, su uso es atractivo, por lo cual es recomendable que se analice todas sus dimensiones por medio de una comisión técnico legal, con base al planteamiento del libro Plata de FIDIC, por lo que se recomienda capacitar tanto a personal legal, de proveeduría y técnico en este tipo de contratos, siendo lo correcto, contratar los 3 módulos prácticos de negocios FIDIC (Business Practice modules, Beginer, Intermediate and Advance).

## Posibilidades de Reúso de Recursos

Actualmente la institución ha formado una Comisión de Economía Circular para analizar la posibilidad del reúso de los recursos que se generan en las diferentes plantas de tratamiento que operan actualmente o que estarán operando en un futuro cercano. Considerando las posibilidades que existen para generar valor a los “residuos” que se producen (lodos, agua tratada y biogás) se pueden utilizar las experiencias de países con características similares a las nuestras para ampliar la visión en el tema de reúso.

Esto genera la necesidad de ampliar la capacidad actual de la institución para poder abarcar otros ámbitos de acción que le permitan el aprovechamiento de dichos recursos y de esta manera



beneficiar a la comunidad, el ambiente y a la vez optimizar la gestión de los recursos que administra.

La importancia de fomentar el reúso de los subproductos de las PTAR también va de la mano con los impactos que el cambio climático ha tenido en el país y por ende en los proyectos de saneamiento. Debido a los cambios en los regímenes de lluvia, cada vez existen más cuerpos de agua intermitentes lo cual dificulta la selección del punto de vertido y encarece los proyectos al requerir transportar el agua tratada hacia lugares lejanos para su disposición. Con la posibilidad del reúso de los subproductos como el agua tratada, se permite la viabilidad de muchos proyectos al poder dar otra opción para la disposición del agua, se ahorra en el costo del proyecto y se impulsa el use de agua tratada y no de agua potable para distintas actividades como lo pueden ser el riego.

### **Impacto en la sociedad**

El saneamiento como tal representa un impacto sumamente positivo en cualquier comunidad en que se implemente, reduciendo enormemente la incidencia de enfermedades y en general mejorando la calidad de vida de sus habitantes. Adicionalmente, al contar con una adecuada disposición de desechos se genera una rehabilitación de los cuerpos de agua superficiales que anteriormente absorbían el vertido crudo de aguas residuales, impactando nuevamente en forma positiva a la sociedad en general y a la fauna tanto de los cuerpos de agua propiamente como circundante.

En el caso particular del Lago Xolotlán, además de todas estas bondades, se logró cambiar la cara de un sector de la ciudad que se encontraba en condiciones precarias y convertirlo en un sitio realmente agradable para el disfrute y recreación de todas las personas. Esto constituye una importante lección en cuanto a lo que se podría intentar implementar en zonas aledañas a los sitios de vertido en Costa Rica, en donde al igual que en otras partes del mundo, se han convertido en zonas problemáticas.



## Referencias bibliográficas

- Aceris Law, Contratos FIDIC: Descripción general de la FIDIC Suite. Acerislaw Recuperado el 16 de diciembre de 2022 de <https://www.acerislaw.com/contratos-fidic-descripcion-general-de-la-fidic-suite/>
- FIDIC, Publications, FIDIC, Recuperado el 16 de diciembre de 2022 de <https://fidic.org/bookshop>.