

# Estudio de la cobertura de tratamiento de las aguas y lodos residuales en la provincia de Santiago, República Dominicana

Vladimir A. Rodríguez-Núñez, M.Sc.<sup>1</sup> , Francisco Orgaz-Agüera, Ph.D.<sup>2</sup> ,  
Atuey de J. Martínez-Durán, M.Sc.<sup>3</sup> , Cándida María Domínguez-Valerio, Ph.D.<sup>4</sup> 

<sup>1,3</sup>Universidad Tecnológica de Santiago, UTESA, República Dominicana, sostenibilidad@utesa.edu, atueymartinez@hotmail.com

<sup>2,4</sup>Universidad Tecnológica de Santiago, UTESA, República Dominicana, franorgaz@utesa.edu, candidadominguez1@docente.utesa.edu

*Resumen: Este estudio analiza el tratamiento de aguas y lodos residuales en la provincia de Santiago, República Dominicana, con énfasis en la cobertura y eficiencia de los servicios de saneamiento. Se enfoca en las interacciones entre los sectores de agua, saneamiento y residuos sólidos, y su impacto en la salud pública y el medio ambiente. La metodología incluye análisis de datos de la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN) sobre los sistemas de tratamiento y los efluentes. Los resultados revelan una cobertura deficiente del alcantarillado sanitario (65%) y una baja proporción de aguas residuales tratadas (20%). Esto se debe a la falta de inversión en infraestructura y mantenimiento, así como a la ineficacia de las plantas existentes.*

*Las concentraciones de contaminantes en los efluentes a menudo exceden los estándares ambientales. Además, se identifica la necesidad de un plan maestro de alcantarillado y la gestión adecuada de lodos residuales. Las conclusiones sugieren una mayor inversión en infraestructura y mantenimiento, desarrollo de normativas para el manejo de lodos y promoción de la reutilización del agua tratada, con el objetivo de mejorar la salud pública y proteger el medio ambiente.*

*Palabras clave: tratamiento de aguas, lodos, saneamiento, residuos sólidos, República Dominicana.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

# Study on the treatment coverage of wastewater and sewage sludge in the province of Santiago, Dominican Republic

Vladimir A. Rodríguez-Núñez, M.Sc.<sup>1</sup> , Francisco Orgaz-Agüera, Ph.D.<sup>2</sup> ,  
Atuey de J. Martínez-Durán, M.Sc.<sup>3</sup> , Cándida María Domínguez-Valerio, Ph.D.<sup>4</sup> 

<sup>1,3</sup>Universidad Tecnológica de Santiago, UTESA, República Dominicana, sostenibilidad@utesa.edu, atueymartinez@hotmail.com

<sup>2,4</sup>Universidad Tecnológica de Santiago, UTESA, República Dominicana, franorgaz@utesa.edu, candidadominguez1@docente.utesa.edu

*Abstract: This study analyzes the treatment of wastewater and sewage sludge in Santiago, Dominican Republic, with an emphasis on the coverage and efficiency of sanitation services. It focuses on the interactions between the water, sanitation, and solid waste sectors, and their impact on public health and the environment. The methodology includes data analysis from the Santiago Aqueduct and Sewerage Corporation (CORAASAN) on treatment systems and effluents. The results reveal poor coverage of sanitary sewerage (65%) and a low proportion of treated wastewater (20%). This is due to lack of investment in infrastructure and maintenance, as well as inefficiency of existing plants.*

*Contaminant concentrations in effluents often exceed environmental standards. Additionally, the need for a master sewerage plan and proper management of sewage sludge is identified. The conclusions suggest increased investment in infrastructure and maintenance, development of regulations for sludge management, and promotion of treated water reuse, aiming to improve public health and protect the environment.*

*Keywords: water treatment, sludge, sanitation, solid waste, Dominican Republic.*

## I. INTRODUCCIÓN

El agua, el saneamiento y la gestión de residuos sólidos están interconectados y son fundamentales para la prestación de servicios básicos en todo el mundo [1]. Estos servicios son esenciales no solo para la protección de la salud pública y ambiental, sino también para el desarrollo económico, especialmente en contextos de bajos ingresos donde la exposición a la contaminación ambiental y enfermedades es una causa importante de morbilidad y mortalidad [2]. De esta forma, existen numerosos paralelismos entre los sectores de agua, saneamiento y residuos sólidos, desde los mecanismos de prestación de servicios hasta las necesidades y preferencias de los usuarios finales, y donde se destacan interacciones físicas claras a lo largo de las cadenas de servicios, que van desde la fuente hasta la disposición. Así, y aunque en muchos países de bajos y medianos ingresos las interacciones actuales generan resultados negativos, como la contaminación cruzada y el tratamiento incompleto, existe un gran potencial para fomentar interacciones más positivas en apoyo de cadenas de valor basadas en la economía circular [2]. La eliminación de numerosos contaminantes producidos por la agricultura, la industria y los hogares es importante para la protección de los ecosistemas naturales y la salud humana [3]. Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) emplean una serie de procesos mecánicos y biológicos que convierten el agua contaminada en un estado suficientemente limpio mediante una serie de pasos que eliminan diferentes tipos de contaminantes orgánicos e inorgánicos [4]. Según Begmatov et al. [3], el tratamiento de aguas residuales en grandes instalaciones se realiza en tres etapas. La primera etapa incluye métodos físicos de purificación del agua, la segunda etapa incluye un tratamiento químico y/o biológico en biorreactores con lodos activados, suspendidos o adheridos; y, la tercera etapa, es el tratamiento final del agua y su desinfección.

Santiago de los Caballeros (República Dominicana), como muchas regiones a nivel mundial, enfrenta un desafío complejo para garantizar una cobertura de tratamiento integral tanto para el agua como para los lodos residuales. La rápida urbanización, la expansión industrial y el crecimiento demográfico de la provincia han intensificado significativamente las demandas sobre sus sistemas de gestión de agua y residuos [5]. Así, las enfermedades transmitidas por el agua y la degradación ambiental son consecuencias potenciales de una cobertura de tratamiento inadecuada [6], lo que representa una amenaza directa al bienestar de la población y al equilibrio ecológico de la región.

De esta manera, el objetivo de esta investigación es analizar el estado actual del tratamiento de aguas y lodos residuales en Santiago. Los resultados serán valiosos para formular estrategias públicas destinadas al fomento del desarrollo sostenible. El estudio sobre la cobertura de tratamiento de aguas residuales en la provincia de Santiago tiene como finalidad abordar el vacío de investigación existente en la comprensión

de la efectividad del tratamiento de aguas residuales en la región.

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La literatura sobre el tratamiento de agua y lodos residuales cubre una amplia gama de temas, incluida la reutilización beneficiosa de los lodos, los métodos de tratamiento y los posibles impactos ambientales. Así, la falta de saneamiento adecuado para los seres humanos es un problema que afecta, al menos, a 4500 millones de personas [7]. Cada año, a nivel global, se producen millones de toneladas de desechos sólidos a través de los procesos de tratamiento de agua [8]. Este volumen de lodos crece paralelamente al aumento en la demanda de agua, y se estima que diariamente se generan aproximadamente 10,000 toneladas de residuos secos provenientes del tratamiento de agua en todo el mundo, representando esto un desafío ambiental y económico significativo para las autoridades de agua a nivel mundial [9]. Incluso en países con una alta cobertura de instalaciones de saneamiento modernas, el diseño deficiente y la falta de compromiso para mantener la infraestructura conducen a una contaminación masiva, a través de la descarga en aguas superficiales y subterráneas [10].

Zhou y Haynes [11] analizaron la eliminación de metales pesados de soluciones acuosas utilizando lodos de tratamiento de agua derivados de alumbre, destacando el potencial de utilizar lodos en la remediación ambiental. De manera similar, Odimegwu et al. [12] revisaron diversas aplicaciones beneficiosas de los lodos de alumbre, como en materiales de construcción, hormigón, geotecnia, agricultura y alfarería, enfatizando el potencial de su eliminación sostenible. Frías et al. [13] brindaron información sobre el uso de lodos de papel como fuente de materiales cementosos, lo que indica el potencial de alternativas ambientalmente racionales. Además, Schmit et al. [14] realizaron una revisión exhaustiva de los procesos de cultivo aeróbico en suspensión, incluidos los lodos activados, proporcionando información valiosa sobre los métodos de tratamiento de aguas residuales.

Además, Zhao et al. [15] presentaron una demostración piloto a escala de campo de un novedoso sistema de humedal artificial basado en lodos de alumbre para mejorar el tratamiento de aguas residuales, destacando el potencial de enfoques de tratamiento innovadores. Por su parte, Johnson y Affam [16] revisaron los métodos de tratamiento y eliminación de lodos de petróleo, enfatizando la importancia de reducir la producción de lodos y explorar técnicas de recuperación de petróleo. Además, Lee et al. [17] revisaron la utilización del vermicompostaje para la gestión de lodos industriales, indicando el potencial de prácticas sostenibles de gestión de residuos.

La literatura también aborda los desafíos asociados con la eliminación y el tratamiento de lodos. En este sentido, Kriipsalu et al. [18] realizaron la caracterización de lodos oleosos de una planta de tratamiento de aguas residuales y sus implicaciones

para el tratamiento, destacando la necesidad de una eliminación adecuada debido a la presencia de sustancias peligrosas.

#### A. Área de estudio

La provincia Santiago forma parte de la región Cibao Norte de la República Dominicana y cuenta con una superficie de 2,806.29 km<sup>2</sup>. Limita al norte con la provincia Puerto Plata, al este con las provincias Espaillat y La Vega, al sur con la provincia San Juan y al oeste con las provincias Santiago Rodríguez y Valverde. Está conformada por 10 municipios y 16 distritos municipales. Según las estimaciones y proyecciones de población sub-nacionales 2000-2030, realizada por la Oficina Nacional de Estadística de la República Dominicana, la población de la provincia de Santiago para el 2020 oscila alrededor del 1,045,169 habitantes.

Las coordenadas geográficas del área estudiada son 19° 25' latitud norte y los 70° 50' longitud oeste. La capital de la provincia es la ciudad de Santiago de los Caballeros, la segunda mayor urbe de la República Dominicana y más importante centro económico y metropolitano de la región norte.

La principal fuente para el abastecimiento de agua del área metropolitana de Santiago es el río Yaque del Norte, cuya longitud es de 296 km, de los cuales el 3.5% (10.5 km) de su longitud total se encuentra dentro de la ciudad de Santiago de los Caballeros. En este tramo del río, se localizan un conjunto de ocho afluentes que desembocan en el mismo y que configuran el sistema hidrográfico de la ciudad [19]. Debido al rápido crecimiento de la población, en gran parte sin una planificación y ordenamiento adecuado, y de las áreas urbanas de la provincia, combinado con un sistema de recolección y tratamiento de las aguas residuales deficiente y de limitada cobertura, el volumen de aguas servidas sin recibir ningún tipo de tratamiento que son descargadas a los cuerpos hídricos es cada vez mayor, deteriorando así, constantemente, la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

La Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN) fue creada mediante la ley 582 del año 1977 y modificada por la ley. 328-98 de fecha 11 de agosto de 1998, para gestionar la administración, operación y mantenimiento de los acueductos y los alcantarillados sanitarios de todos los municipios que integran la provincia de Santiago.

En la provincia de Santiago, de los diez municipios que la conforman, solo el área urbana de los municipios de Santiago de los Caballeros y Tamboril cuenta con sistemas de alcantarillado sanitario. Una importante proporción del sistema de alcantarillado sanitario de Santiago fue construida en la década de 1970 y gradualmente ha continuado extendiéndose hasta alcanzar en el año 2020 una longitud estimada de alcantarillas de 1,100 km, con una cobertura del servicio de recolección de aguas residuales correspondiente al 65% de la población de la provincia. El material de las alcantarillas instaladas es principalmente, de concreto simple, concreto reforzado, polietileno y policloruro de vinilo (PVC), en

diámetros que van desde 8 pulgadas (200 mm) hasta 70 pulgadas (1,750 mm).

Según la CORAASAN, en el año 2020 el sistema de alcantarillado sanitario incluía seis estaciones de bombeo, con una capacidad instalada de 30,542 m<sup>3</sup>/día, de la cual el 84 % permanecía ociosa, bombeando tan solo un caudal de 4,880 m<sup>3</sup>/día. Aunque, en conformidad con lo dispuesto por la normativa, el sistema de alcantarillado sanitario de la provincia Santiago ha sido diseñado y construido considerando la conducción por separado de las aguas residuales y las aguas de lluvia, existe infiltración y penetración de estas en el sistema de alcantarillado sanitario proveniente de los techos de las edificaciones, y de múltiples interconexiones, en adición a la infiltración propia del agua freática que eventualmente ocurre en algunas zonas. En la provincia Santiago, las plantas de tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico alcanzan 11 sistemas de depuración en servicio u operación, con capacidad instalada de 137,226.80 m<sup>3</sup>/día, las cuales son operadas por el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales de la CORAASAN.

Las características de las plantas de tratamiento de aguas residuales referidas se muestran en la tabla 1, incluyendo el nombre del cuerpo receptor de los efluentes.

Tabla 1 Características de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la provincia Santiago, República Dominicana

Nro.	PTAR	Ubicación	Estado de operación	Tecnología de tratamiento	Población de diseño (hab.)	Capacidad nominal (m <sup>3</sup> /día)	Cuerpo receptor
1	Rafey	Calle Principal, s/n, Rafey.	Bueno.	Lodos Activados Con Aireación Extendida	351,197	105,148.80	Río Yaque del Norte.
2	Cienfuegos	Carretera Brisas del canal, s/n, Barrio La Gloria, Cienfuegos.	Bueno.		35,640	10,800.00	Río Yaque del Norte.
3	Tamboril	Calle Real, El maguito, s/n, Tamboril.	Bueno.		50,380	7,344.00	Arroyo Nigua.
4	El Embrujo	Calle 20, s/n, urb. El Embrujo III.	Regular.	Lodos Activados	P < 10,000	6,912.00	Arroyo Pontezuela.
5	La Lotería	Av. Arroyo Nibaje, s/n, urb. La Lotería.	Regular.	Tanque Imhoff	P < 10,000	3,456.00	Arroyo Nibajito.
6	Thomen	Avenida Hispanoamericana s/n, urb. Thomen.	Regular.	Tanque Imhoff	5,702	1,728.00	Cañada El Bambú
7	Villa Progreso, La herradura	Calle Principal, s/n, Villa Progreso, La Herradura.	Bueno.	Filtro Anaeróbico	2,851	864.00	Arroyo El Naranjo.
8	Villa Progreso, Villa González	Calle Principal, s/n, Villa Progreso, Villa González.	Bueno.	Filtro Anaeróbico	2,851	864.00	Río Quinigua.
9	Los Salados	Calle 38, s/n, urb. Las Antillas.	Fuera de servicio.	Lodos Activados	49,896	15,120.00	Río Jacagua.

10	Rincón de Oro	Parque Ecológico, Sector Rafey.	Bueno.	Humedal Sub Superficial	600	50.00	Río Yaque del Norte.
11	Nueva Luz	Parque Ecológico, Sector Rafey.	Bueno.		260	30.00	Río Yaque del Norte.
12	Valle Encantado	Parque Ecológico, Sector Bella Vista.	Bueno.		260	30.00	Río Yaque del Norte.

Fuente: Información aportada por el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales CORAASAN.

### III. METODOLOGÍA

El departamento de control de calidad de las aguas residuales de la CORAASAN, es el encargado de implementar las técnicas analíticas requeridas para conocer las características físicas, químicas y biológicas de los influentes, efluentes y de los procesos llevados a cabo en los sistemas de depuración de aguas residuales. En la tabla 2 se muestran los parámetros y métodos analíticos que utilizan.

Tabla 2 Parámetros y método analítico empleado en las plantas de tratamiento de aguas residuales de la CORAASAN

Parámetro	Símbolo	Unidad	Método analítico
Oxígeno Disuelto	OD	% sat.	SM-4500-O-G
Temperatura		° C	SM-2550-B
Potencial de Hidrógeno	pH	-	SM-4500-H+.B
Turbidez		NTU	SM-2130-B
Color		U. Pt-Co	SM-2120-C
Conductividad		mmhos/cm	SM-2510-B
Sólidos totales disueltos	TDS	mg/l	SM-2540-C
Dureza		mg/l CaCO <sub>3</sub>	SM-2340-C
Alcalinidad		mg/l CaCO <sub>3</sub>	SM-2320-B
Sólidos Suspendidos	SS	mg/l	SM-2540-B
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	SM-5220-B
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/l	SM-5210-B
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	HACH-8039
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	HACH-8507
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	HACH-8038
Nitrógeno Total	N	mg/l	HACH-10072

Fósforo Total	P	mg/l	HACH-10210
Ortofosfatos	P-PO <sub>4</sub>	mg/l	HACH-8048
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	HACH-8113
Coliformes totales	C.T	NMP/100ml	SM-9221-B
Coliformes fecales		NMP/100ml	SM-9221-E

Fuente: elaboración propia.

Los efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales están regulados por la Norma Dominicana Ambiental sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras.

Para este estudio, se han obtenido los datos desde la CORAASAN, con la finalidad de determinar el volumen de las aguas residuales tratadas en las plantas de tratamiento de la CORAASAN en el periodo 2007-2020; las concentraciones promedio de los efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la CORAASAN para el año 2020; el volumen de las aguas residuales generadas y tratadas en la provincia Santiago en el periodo 2007-2020; el volumen lodos residuales deshidratados procedentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la CORAASAN; las concentraciones de metales pesados, agentes patógenos y parásitos en lodos deshidratados; y las estimaciones del volumen de lodo fecal producido por la población de la provincia Santiago que no tiene acceso al sistema de alcantarillado sanitario. Para obtener esta información, uno de los investigadores de este trabajo realizó varias visitas a la CORAASAN y realizó diferentes entrevistas para la obtención de los datos. Estas informaciones fueron complementadas con la entrega de datos desde las CORAASAN a los investigadores.

### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago, CORAASAN, estima que el 65% de la población de la provincia de Santiago tiene acceso a la red de alcantarillado sanitario, concentrándose la mayor parte de esta en la ciudad de Santiago de los Caballeros. Una proporción importante de las redes sanitarias no descargan en las plantas de tratamiento, ni tampoco en colectores primarios. En el año 2020, la CORAASAN tenía identificado unos 111 puntos de descarga de aguas residuales sin tratar, vertidas al medio ambiente a través de las estructuras de drenajes pluviales o directamente en los arroyos, ríos o en el subsuelo.

La Dirección Comercial de la CORAASAN, en el año 2020 tenía registrado un total de 207,527 acometidas esparcidas en seis (6) distritos de alcantarillado, de las cuales 120,160 corresponden a propiedades domésticas, 10,401 a comerciales,

318 a gubernamentales, 163 a industriales, 354 a sociales y unas 76,131 no definidas.

En el distrito de alcantarillado Rafey, se identificaron 123,231 propiedades, de las cuales el 62.2% (76,753) poseen una acometida sanitaria conectada a una red de alcantarillado que conduce a una planta de tratamiento de aguas residuales, un 36.4 % (44,807) están empalmadas a una red de alcantarillado sanitario, que descarga directamente en un cuerpo hídrico las aguas residuales sin tratamiento, y un 1.4 % (1,671) no posee conexión al alcantarillado sanitario.

Con relación al distrito de alcantarillado Cienfuegos, se identificaron 26,621 propiedades, de las cuales el 91.5% (24,353) poseen una acometida sanitaria conectada a una red de alcantarillado, que conduce a una planta de tratamiento de aguas residuales, un 0.5 % (149) están empalmadas a una red de alcantarillado sanitario, que descarga directamente en un cuerpo hídrico las aguas residuales sin tratamiento, y un 8.0 % (2,119) no posee conexión al alcantarillado sanitario.

Para el distrito de alcantarillado Los Salados, se identificaron 18,059 propiedades, de las cuales el 2.8% (506) poseen una acometida sanitaria conectada a una red de alcantarillado, que conduce a una planta de tratamiento de aguas residuales, un 86.6 % (15,638) están empalmadas a una red de alcantarillado sanitario que descarga directamente en un cuerpo hídrico las aguas residuales sin tratamiento, y un 10.6 % (1,915) no posee conexión al alcantarillado sanitario.

En el distrito de alcantarillado Embrujos, se identificaron 8,544 propiedades, de las cuales el 12.4% (1,056) poseen una acometida sanitaria conectada a una red de alcantarillado, que conduce a una planta de tratamiento de aguas residuales, un 86.9 % (7,426) están empalmadas a una red de alcantarillado sanitario, que descarga directamente en un cuerpo hídrico las aguas residuales sin tratamiento, y un 0.7 % (62) no posee conexión al alcantarillado sanitario.

Con relación al distrito de alcantarillado Zona Sur, se identificaron 16,921 propiedades, de las cuales 5 poseen una acometida sanitaria conectada a una red de alcantarillado, que conduce a una planta de tratamiento de aguas residuales, un 95.8 % (16,209) están empalmadas a una red de alcantarillado sanitario que descarga directamente en un cuerpo hídrico las aguas residuales sin tratamiento, y un 4.2 % (707) no posee conexión al alcantarillado sanitario.

Para el distrito de alcantarillado Tamboril, se identificaron 14,151 propiedades, las cuales poseen una acometida sanitaria conectada a una red de alcantarillado que conduce a una planta de tratamiento de aguas residuales. En la tabla 3 y 4, se muestra el volumen (en metros cúbicos por año) de las aguas residuales tratadas en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARS) de la CORAASAN, en el periodo 2007-2020.

Tabla 3 Volumen de aguas residuales tratadas en las plantas de tratamiento de la CORAASAN, en el periodo 2007-2020

AÑO	PTAR Rafey	PTAR Cienfuegos	PTAR Tamboril	PTAR El Embrujos	PTAR La Lotería	PTAR Thomén
2007	14,798,007.00	2,732,824.00	1,599,998.00	321,391.00	1,892,160.00	277,517.00
2008	14,234,089.00	1,714,196.00	764,950.00	1,054,623.12	1,781,098.00	341,894.00
2009	18,670,463.00	2,017,074.00	835,025.64	1,071,529.27	1,550,634.00	264,727.74
2010	16,733,329.00	2,079,926.00	811,267.05	502,468.06	861,464.00	192,110.00
2011	15,478,309.00	2,013,394.20	549,836.06	499,472.88	702,336.00	172,487.00
2012	14,492,611.00	1,745,623.00	888,670.04	881,438.02	695,323.00	155,332.94
2013	13,225,534.00	1,063,038.00	739,812.67	700,559.03	836,231.00	125,806.95
2014	14,716,031.00	1,156,851.56	747,735.28	1,143,485.61	1,282,920.00	164,824.29
2015	14,857,581.00	1,250,075.64	540,993.80	1,245,622.57	1,271,229.00	186,207.13
2016	14,617,448.00	1,311,265.00	535,539.95	635,682.20	1,257,962.00	192,179.45
2017	15,120,472.00	1,124,742.96	932,915.20	300,737.78	1,160,773.00	179,813.49
2018	16,462,672.43	1,334,127.30	1,029,346.51	760,152.42	1,552,399.77	152,258.21
2019	14,335,965.13	872,500.69	725,975.99	666,142.02	1,545,944.71	119,432.11
2020	12,233,909.00	1,413,701.24	751,135.16	2,264,668.36	1,567,686.94	126,137.14

Fuente: Información aportada por el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales CORAASAN.

Tabla 4 Volumen de aguas residuales tratadas en las plantas de tratamiento de la CORAASAN, en el periodo 2007-2020

AÑO	PTAR La Herradura	PTAR Villa González	PTAR Rincón de Oro	PTAR Nueva Luz	PTAR Valle encantado	PTAR Los Salados
2007	-	-	-	-	-	33,280.00
2008	-	-	-	-	-	0
2009	-	-	-	-	-	0
2010	73,996.00	-	-	-	-	0
2011	72,808.80	-	-	-	-	0
2012	73,047.74	-	-	-	-	0
2013	38,568.00	-	-	-	-	0
2014	210,816.00	-	-	-	-	0
2015	40,608.00	157,680.00	-	-	-	0
2016	184,600.00	158,248.00	-	-	-	0
2017	289,440.00	121,392.00	-	-	-	0
2018	288,576.00	236,736.00	-	-	-	0
2019	283,046.40	288,576.00	7,750.00	7,750.00	7,750.00	0
2020	188,490.40	316,224.00	18,300.00	18,300.00	18,300.00	0

Fuente: Información aportada por el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales CORAASAN.

La capacidad instalada en la CORAASAN, en el año 2020, para el tratamiento de las aguas residuales asciende a unos 137,226.80 m<sup>3</sup>/día (50,087,782.00 m<sup>3</sup>/año), sin embargo, el volumen de aguas residuales recolectado por los sistemas de alcantarillado sanitario y tratado en las depuradoras para dicho año, apenas representó un 38% de la capacidad total instalada de tratamiento.

Las tres principales plantas de depuración de aguas residuales son las que muestran tener las mayores capacidades ociosas: Rafey 68%, Cienfuegos 64% y Tamboril 72%.

La principal planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Santiago de los Caballeros es la depuradora Rafey, con una capacidad instalada de 1,217 l/s y un sistema de tratamiento de lodos activados con aireación extendida. Tras la última rehabilitación fue puesta en operación el 2 de mayo del año 2006. El influente es impulsado al sistema de tratamiento por medio de cuatro bombas tipo tornillo de Arquímedes. La depuradora consta de las siguientes fases de tratamiento: pre tratamiento con cribado fino de 3 mm de apertura, seguido de canal para el retiro de arena, aireado y de grasas; tratamiento secundario por medio de reactor de lodos activados con aireación extendida, que incluye dos tanques con procesos de nitrificación y desnitrificación, siendo uno para la aireación de la recirculación de los lodos activados concentrados en los decantadores secundarios y el otro para el flujo principal de tratamiento; decantadores secundarios y desinfección final con uso de cloración. El lodo en exceso de los tanques de procesos es enviado a una unidad de deshidratación, compuesta por tres filtros banda, alimentados por bombas de lodos y unidades dosificadoras de polímeros.

El segundo sistema de depuración con mayor capacidad instalada de la CORAASAN es la PTAR Cienfuegos, la cual fue rehabilitada y puesta en funcionamiento en octubre del año 2005, para tratar un caudal de 125 l/s. Esta planta, dispone de un sistema de pre tratamiento, en donde se eliminan las arenas y las grasas, luego las aguas residuales fluyen por una canaleta que las conduce hacia unos tanques, donde se lleva a cabo el proceso de aireación extendida, incluyendo dos cámaras de aireación y dos cámaras de sedimentación de flujo alternado. Finalmente, las aguas fluyen a un tanque de contacto con cloro para ser desinfectadas y los lodos resultantes del proceso son enviados hacia un filtro banda o en su defecto, en caso de que este no se encuentre en funcionamiento, hacia unos lechos de secado existentes, para su correspondiente proceso de deshidratación.

La planta de tratamiento de aguas residuales Tamboril es actualmente la principal unidad de tratamiento del municipio Tamboril. Posee un sistema de lodos activados con aireación extendida, con capacidad instalada, según su manual de operaciones, de 85 l/s. La depuradora cuenta con un tratamiento preliminar con cribado fino de 6 mm de apertura, seguido de un canal de retirada de arena con descarga hidráulica, un reactor de lodos activados con aireación por aire difuso, incluyendo dos cámaras de aireación y dos cámaras de sedimentación de flujo alternado, y desinfección final mediante la aplicación de cloración. El lodo en exceso del proceso de lodos activados se envía a una unidad de deshidratación, con un filtro banda, con capacidad de tratamiento de 60 m<sup>3</sup>/h, alimentado por bombas de lodos y unidades dosificadoras de polímeros o en su defecto hacia unas unidades de lechos de secado para su deshidratación.

La última rehabilitación de la infraestructura y de equipamientos de la planta fue realizada por un grupo de ingenieros de la compañía AARSLEFF y puesta en marcha en diciembre del año 2005.

El sistema de tratamiento de aguas residuales El Embrujo, posee una capacidad instalada de 80 l/s. Esta depuradora utiliza, para el tratamiento de las aguas, los procesos de lodos activados convencionales. Consta de un pre-tratamiento con cribado grueso y desarenado, luego el agua fluye a un reactor de lodos activados y posteriormente a un decantador secundario, cuyos lodos concentrados son recirculados al tanque de proceso. Esta PTAR no cuenta con una unidad para la desinfección del efluente, ni tampoco para la deshidratación de los lodos.

En relación a las depuradoras de Thomen y de La Lotería, ambas ostentan un sistema de tratamiento de tanques Imhoff, que dispone de doble cámara, el sedimentador ubicado en la parte superior del tanque, tiene como misión la de remover los sólidos sedimentables y flotantes. Por su parte, el digestor ocupa la parte inferior del tanque Imhoff y su función es la estabilización anaeróbica de los lodos sedimentados. El material sedimentable va depositándose en el fondo del sedimentador desde donde pasa a través de su abertura inferior hacia el digestor anaeróbico, donde se producirá su estabilización o mineralización. Los lodos mineralizados de la PTAR Thomen son dispuestos en lechos de secado, sin embargo, en el caso de la PTAR La Lotería esta no dispone de facilidades para el manejo de los lodos en exceso. Estos sistemas de tratamiento actualmente no cuentan con unidades para la desinfección del efluente.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales de Villa Progreso en Villa González y de Villa Progreso La Herradura, ambos con capacidades nominales de 10 litros por segundo, utilizan la digestión anaerobia para el tratamiento de las aguas residuales, mediante la fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. Estos sistemas de tratamiento en la actualidad no cuentan con unidades para la desinfección del efluente.

En relación a los sistemas de tratamiento de aguas residuales Rincón de Oro, Nueva Luz y Valle Encantado son humedales de flujo subsuperficial, donde los procesos físicos, químicos y biológicos se llevan a cabo por las especies vegetales y microorganismos, ya que son capaces de depurar el agua eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo y, en algunos casos, productos químicos tóxicos.

En la tabla 5 y 6, se muestran las concentraciones promedio de los efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Los cuadros en color rojo indican valores superiores a los límites máximos de descarga de agua residual municipal en aguas superficiales establecidos en la Norma Dominicana

Ambiental sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras.

Tabla 5. Concentraciones promedio de los efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la CORAASAN, año 2020.

PTAR	pH	NA	DBO <sub>5</sub>	NA	DQO	NA	SS	NA	N-NH <sub>4</sub>	NA
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Rafey	7.3	6-8.5	4.6	35	12.7	130	15.7	35	1.2	10
Cienfuegos	7.3	6-8.5	5.4	35	14.7	130	16.3	40	4.3	10
Tamboril	7.6	6-8.5	11.6	35	35.8	130	21	40	13.5	10
El Embrujo	7.4	6-8.5	15.6	45	33.4	150	27.4	45		-
La Lotería	7.2	6-8.5	64.3	45	171	150	18.3	45		-
Thomen	7.2	6-8.5	58.8	45	147.3	150	21.1	45		-
Villa Progreso, La herradura	7.7	6-8.5	28.5	50	79.6	160	20.5	50		-
Villa Progreso, Villa González	7.7	6-8.5	93	50	262.7	160	19.1	50		-
Rincón de Oro	7.1	6-8.5	31.9	50	62.1	160	14	50		-
Nueva Luz	7.2	6-8.5	8	50	19.4	160	11.6	50		-
Valle Encantado	7.3	6-8.5	98.9	50	329.1	160	149.9	50		-

NA: Norma Dominicana Ambiental sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras. Fuente: Información aportada por el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales CORAASAN.

Tabla 6. Concentraciones promedio de los efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la CORAASAN, año 2020.

PTAR	N-(NH <sub>4</sub> -NO <sub>3</sub> )	NA	P-PO <sub>4</sub>	NA	CL. Residual	NA	C.T	NA
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100ml	NMP/100ml
Rafey	3.5	18	2.9	3	0	0.05	731,839	1,000
Cienfuegos	7.6	18	3.6	2	0	0.05	2,333,051	1,000
Tamboril	12.8	18	7.6	2	0	0.05	15,613,751	1,000
El Embrujo		-			0	0.05	5,850,542	1,000
La Lotería		-			0	0.05	22,830,000	1,000
Thomen		-			0	0.05	46,190,000	1,000
Villa Progreso, La herradura		-			0	0.05	6,979,182	1,000
Villa Progreso, Villa González		-			0	0.05	78,037,500	1,000
Rincón de Oro		-			0	0.05	2,748,011	1,000

Nueva Luz		-		0	0.05	2,202,222	1,000
Valle Encantado		-		0	0.05	23,795,556	1,000

NA: Norma Dominicana Ambiental sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costera. Fuente: Información aportada por el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales CORAASAN.

En el año 2020, las concentraciones de oxígeno disuelto en los efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la CORAASAN fueron las siguientes: Rafey (5.8 mg/l), Cienfuegos (5.2 mg/l), Tamboril (5.8 mg/l), El Embrujo (4.6 mg/l), La Lotería (0.8 mg/l), Thomen (0.8 mg/l), Villa Progreso La herradura (2.8 mg/l), y Villa Progreso en Villa González (0.2 mg/l). El departamento de control de calidad de las aguas residuales de la CORAASAN no realizó monitoreo del parámetro de oxígeno disuelto en las depuradoras de Rincón de Oro, Nueva Luz y Valle Encantado.

Los valores registrados sobre la calidad de los efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la CORAASAN, evidencian que:

- Las concentraciones de potencial de hidrógeno (pH), en el agua de salida de las depuradoras están acorde con los valores límites establecidos en la Norma Dominicana Ambiental sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras. Los niveles registrados se consideran normales para un agua natural y no suponen ningún problema para la vida acuática.
- La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del agua, establecen el consumo de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica. Los niveles de la DBO<sub>5</sub> y la DQO en la salida de las plantas de tratamiento de aguas residuales Thomen, La Lotería, Villa Progreso Villa González, y Valle Encantado, superan los valores límites máximos establecidos por la norma dominicana. Es importante resaltar que elevadas concentraciones en el agua de la Demanda Biológica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno, ocasionan un alto consumo del oxígeno disuelto disponible en los cuerpos hídricos, que incluso puede ocasionar la muerte de los peces.
- Con relación a los valores de sólidos suspendidos (SS), se evidencia incumplimiento de la Norma Dominicana Ambiental sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras, en el sistema de tratamiento de aguas residuales Valle Encantado. La importancia del monitoreo de los sólidos en suspensión es que estos pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango, además de que disminuyen el paso de la luz a través del agua, evitando así la actividad fotosintética importante para la producción de oxígeno.
- El conocimiento del contenido de nitrógeno en sus variadas formas resulta de gran interés para la protección de los diferentes usos del agua y junto al fósforo para el control de crecimiento excesivo de plantas acuáticas en los cuerpos



hídricos receptores. Los niveles de nitrógeno en su forma de amonio (NH<sub>4</sub>), y de fósforo en su variante de ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub>), correspondiente al efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales Tamboril superan los límites máximos permisibles de descarga. Este exceso implica una alteración perjudicial de las condiciones naturales del arroyo Nigua, debido a que una proporción importante del oxígeno disuelto del agua será consumido en los procesos de oxidación del nitrógeno, en adición al de la materia orgánica. Las concentraciones de ortofosfatos observadas en las depuradoras Cienfuegos y Tamboril podrían afectar la calidad de agua de los cuerpos receptores, debido a que favorecen una secuencia de fenómenos relacionados con la eutrofización.

- Las concentraciones de coliformes totales en los efluentes de todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la CORAASAN, superan el límite máximo de 1,000 NMP/100 ml establecido en la Norma Dominicana Ambiental sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras. Lo cierto es que desde el punto de vista microbiológico el riesgo de usar directamente del efluente de las depuradoras es extremadamente alto, constituyéndose en una fuente de infección para la salud humana. Los valores observados son un indicador de contaminación fecal y constituyen un riesgo importante por la posibilidad de estar presentes organismos peligrosos para la salud de las personas.
- La norma ambiental dominicana establece que una concentración de oxígeno disuelto en el agua superior a 5 mg/l es suficiente para la vida acuática. Sin embargo, con excepción de las depuradoras Rafey, Cienfuegos y Tamboril, las concentraciones en el efluente de la mayoría de las restantes plantas de tratamiento de aguas residuales están muy por debajo del valor normativo requerido.

Es importante que las autoridades locales implementen regulaciones y normativas que exijan el tratamiento de las aguas residuales de manera adecuada. Esto puede incluir la implementación de multas o sanciones para aquellos que no cumplan con los estándares establecidos.

En la tabla 7, se muestra el porcentaje de las aguas residuales que reciben tratamiento en la provincia de Santiago por año.

Tabla 7 Volumen de aguas residuales generadas y tratadas en la provincia Santiago, periodo 2007-2020

Año	Volumen de generación de aguas residuales (m <sup>3</sup> /año)	Volumen de aguas residuales tratadas (m <sup>3</sup> /año)	Porcentaje tratamiento (%)
2007	96,401,250.00	21,655,177.00	22
2008	89,229,375.00	19,890,850.12	22
2009	95,788,125.00	24,409,453.65	25
2010	98,576,015.81	21,254,560.11	22

2011	88,996,955.81	19,488,643.94	22
2012	92,103,050.01	18,932,045.74	21
2013	94,586,175.64	16,729,549.65	18
2014	93,460,813.48	19,422,663.74	21
2015	94,596,712.43	19,549,997.14	21
2016	89,140,070.08	18,892,924.60	21
2017	95,894,590.01	19,230,286.43	20
2018	89,101,962.14	21,816,268.64	24
2019	94,339,024.65	18,860,833.06	20
2020	92,550,507.37	18,916,852.24	20

Fuente: Información aportada por el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales CORAASAN

El bajo porcentaje de tratamiento de las aguas residuales en la provincia de Santiago representa un grave problema ambiental que puede tener consecuencias negativas tanto para la salud humana como para el ecosistema en general.

Es importante que la comunidad, las autoridades locales y otras partes interesadas trabajen en conjunto para abordar este problema y garantizar un tratamiento adecuado de las aguas residuales en la ciudad. El tratamiento de aguas residuales es esencial para proteger el medio ambiente, preservar la salud pública y garantizar la disponibilidad de agua limpia para las generaciones futuras.

La información presentada por la CORAASAN en las tablas 5, 6 y 7, nos indican:

- 1) Que es necesario verificar las fuentes utilizadas para determinar el volumen de aguas residuales generadas cada año en la provincia Santiago, pues siendo el volumen de generación de aguas residuales proporcional al incremento (o decremento) poblacional (doméstico e industrial) no se dispone de una explicación que justifique el hecho de que los volúmenes generados hayan permanecido estables e inclusive hayan disminuido a través de los años.
- 2) Que el nivel de inversión realizado para el tratamiento de las aguas residuales en la provincia Santiago ha sido muy bajo y, además, no se evidencia que se haya ampliado desde al año 2007. Es fundamental invertir en la construcción y mejora de colectores y plantas de tratamiento de aguas residuales. Estas instalaciones deben ser capaces de manejar la carga de aguas residuales de la ciudad de manera efectiva y cumplir con los estándares de calidad establecidos.
- 3) Falta de conciencia y educación ambiental, si la población no está consciente de la importancia de tratar adecuadamente las aguas residuales y los efectos negativos de su descarga sin tratar, es probable que no se tomen medidas para implementar y mantener sistemas de tratamiento adecuados. En este sentido,

las políticas públicas de educación pueden ser una buena alternativa para impulsar acciones de sostenibilidad [20], [21]. El tratamiento de aproximadamente el 21% de las aguas residuales generadas en la provincia de Santiago produce en promedio unos 5,418.09 metros cúbicos de lodos deshidratados cada año. En la tabla 8, se muestra el volumen de lodos residuales deshidratados procedentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en metros cúbicos por año (m³/año). El manejo, transporte y disposición final de estos lodos implica la erogación de cuantiosos recursos económicos para la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago.

Tabla 8. Volumen de lodos residuales deshidratados procedentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en metros cúbicos por año (m³/año).

AÑO	PTAR Rafey	PTAR Cienfuegos	PTAR Tamboril	PTAR El Embrujo	PTAR La Lotería	PTAR Thomén
2007	2,005.00	289	576	0	0	20
2008	1,076.00	356	349	0	0	20
2009	3,871.00	602.5	258	65	0	25
2010	5,174.00	248	194	130	0	25
2011	9,357.00	432	440	0	0	30
2012	8,490.00	275	1319	0	34	29
2013	4,365.00	131	260	131	32	3
2014	5,275.00	228	1151	128	35	30
2015	4,843.00	261	766	0	36	36
2016	5,073.00	154	175.75	0	30	30
2017	2,631.00	995.01	113.73	0	0	35
2018	3,943.00	965.5	94.75	0	0	35
2019	4,014.00	580.64	114.13	0	0	95
2020	2,275.00	751.04	148.73	0	0	180

Fuente: Información aportada por el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales CORAASAN

En República Dominicana, la gestión, almacenamiento, transporte y disposición final de los lodos provenientes del tratamiento de las aguas residuales no está reglamentada de manera específica en la normativa vigente. No obstante, existe una gran oportunidad de utilización de los mismos, al convertirlos en biosólidos para su aprovechamiento en cultivos agrícolas, forestales o para la recuperación de suelos.

La forma en que se disponen actualmente los lodos residuales producidos en las depuradoras de aguas residuales de la CORAASAN impacta de manera negativa en el entorno ambiental donde se depositan, por lo que se hace necesario implementar las estrategias que permitan optimizar su producción y aprovechamiento, así como también las metodologías de aplicación apropiadas para fines agrícolas, forestales o para la recuperación de suelos. En este sentido, es conveniente convertir los lodos deshidratados en biosólidos,

con un nivel de bioseguridad tal que permitan su manejo, comercialización y uso de manera segura en la agricultura.

En un proyecto de investigación titulado “Modelo de tratamiento para potenciar las características nutricionales de los biosólidos producidos en la Planta de Tratamiento de Agua Residuales Rafey y análisis de potencial de comercialización en la República Dominicana”, FONDOCYT 2018-2019-2B2-025, financiado por el Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología, se realizaron caracterizaciones a los lodos deshidratados en la depuradora Rafey, encontrando concentraciones de metales pesados, agentes patógenos y parásitos superiores a los límites máximo permisibles por las regulaciones de países como Estados Unidos, Colombia y México (tabla 9).

Tabla 9 Concentraciones de metales pesados, agentes patógenos y parásitos en lodos deshidratados, PTAR Rafey

Parámetro	Unidad	Lodos deshidratados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Rafey				Estados Unidos <sup>1</sup>
		29/7/2021	31/8/2021	12/10/2021	29/10/2021	40 CFR Part 503, EPA, Table 3, Section 503.13 <sup>2</sup>
						Límites permisibles
Arsénico (As)	mg/kg de biosólido (base seca)	<0.01	0.6	0.61	1.23	41
Cadmio (Cd)		98.7	119	122	122	39
Cobre (Cu)		197.4	119.6	122	24.5	1,500.00
Cromo (Cr)		74.3	143.5	74	147	1,200.00
Mercurio (Hg)		<0.01	0.47	0.49	0.49	17
Molibdeno (Mb)		24.68	36.5	24.7	25.3	-
Níquel (Ni)		27.15	21.5	19.6	41.7	420
Plomo (Pb)		<0.01	2.39	4.89	19.6	300
Selenio (Se)		123.4	71.8	73	196	36
Zinc (Zn)		24.7	47.8	73.3	<24.50	2,800.00

Fuente: elaboración propia/40 CFR Parte 503, standards for the use or disposal of sewage sludge, United States Environmental Protection Agency, United States, Feb. 19, 1993.1 /As a result of the February 25, 1994, Amendment to the rule, the limits for molybdenum were deleted from the Part 503 rule pending EPA reconsideration

La principal preocupación con los agentes patógenos y parásitos en los lodos deshidratados es su capacidad para sobrevivir y persistir en el medio ambiente y potencialmente infectar a las personas o propagarse a través de los cultivos o el agua. La presencia de metales pesados en los lodos deshidratados puede ser el resultado de diversas fuentes, como la descarga de industrias que utilizan metales pesados en sus procesos de producción, o la deposición de metales contenidos en las aguas residuales. Comparando los niveles de metales pesados observados en la depuradora de aguas residuales Rafey

con las normas de otros países para el uso o disposición de lodos de depuradora, se evidencian concentraciones de varios metales pesados superiores a los límites máximos permisibles. El principal riesgo asociado con los metales pesados en los lodos deshidratados es su liberación al medio ambiente. Si los lodos se disponen en vertederos o se aplican en tierras de cultivo sin un tratamiento adecuado, los metales pesados pueden filtrarse hacia el suelo y el agua subterránea, contaminando los recursos naturales y representando un peligro para los ecosistemas y la salud humana.

Otro desafío a tomar en consideración en la provincia de Santiago es el relacionado al uso de tanques sépticos para el tratamiento de las aguas residuales, ya que sigue siendo una solución de alcantarillado ampliamente utilizada en la mayoría de los municipios. Con el uso de las fosas sépticas, es necesario dar un destino adecuado al lodo generado, ya que este tipo de solución exige la eliminación del lodo cada vez que el tanque se llena. Las estimaciones del volumen de lodo fecal producido por la población de la provincia Santiago que no tiene acceso al sistema de alcantarillado sanitario, considerando el uso de tanques sépticos fueron para el 2007 (108,943.41 m<sup>3</sup>), 2008 (109,730.07 m<sup>3</sup>), 2009 (110,457.98 m<sup>3</sup>), 2010 (111,161.62 m<sup>3</sup>), 2011 (112,117.64 m<sup>3</sup>), 2012 (113,065.96 m<sup>3</sup>), 2013 (114,047.50 m<sup>3</sup>), 2014 (114,971.78 m<sup>3</sup>), 2015 (115,872.72 m<sup>3</sup>), 2016 (116,745.27 m<sup>3</sup>), 2017 (117,609.77 m<sup>3</sup>), 2018 (118,507.15 m<sup>3</sup>), 2019 (119,349.11 m<sup>3</sup>), 2020 (120,168.31 m<sup>3</sup>).

Es importante que la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago y/o las empresas privadas prestadoras del servicio de limpieza de tanques sépticos, dispongan de estructuras para recibir, tratar y disponer adecuadamente el lodo producido en dichos tanques, utilizados para tratar aguas residuales de origen doméstico.

El volumen de lodo fecal producido por habitante depende principalmente del tiempo de digestión al que fue sometido el lodo y la concentración de sólidos resultante del proceso de su densificación en la fosa. En condiciones de funcionamiento normales, el tiempo de retención del lodo es del orden de varios meses, lo que da como resultado que la mayor parte del lodo de la fosa está bien estabilizado.

La determinación del volumen promedio de lodo fecal a ser producido por una población puede hacerse mediante un balance de masa para los sólidos producidos por habitante. A los fines de las estimaciones realizadas por este estudio, se adoptó un valor de 0.9 l/hab.día, aunque en la práctica los valores pueden variar ampliamente por municipios en la provincia de Santiago.

En el caso de los tanques sépticos, el lodo se acumula gradualmente en el fondo del tanque a medida que se descomponen los sólidos presentes en las aguas residuales. Para mantener el funcionamiento efectivo del sistema, es necesario vaciar periódicamente el tanque para eliminar el exceso de lodo. Es crucial que la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago, junto con las empresas privadas encargadas de la

limpieza de los tanques sépticos, cuenten con infraestructuras adecuadas para recibir, tratar y disponer correctamente el lodo generado. Esto implica implementar prácticas de gestión de lodos que sean seguras y respetuosas con el medio ambiente.

El tratamiento adecuado del lodo generado por los tanques sépticos puede incluir procesos como la separación de líquidos y sólidos, la deshidratación, el compostaje o la digestión anaeróbica. Estas técnicas ayudan a reducir el volumen del lodo, estabilizar los residuos y minimizar los impactos negativos en el medio ambiente.

## V. CONCLUSIONES

Los datos e informaciones presentadas en este estudio, relativos a la cobertura del tratamiento de las aguas y lodos residuales en la provincia de Santiago, nos indican lo siguiente:

1) Que existe y ha existido a lo largo de los años un bajo nivel de inversión en cuanto a la ampliación y construcción de sistemas de recolección y tratamiento de las aguas residuales, pues los primeros tienen una cobertura de un 65 % y los segundos tienen apenas una cobertura del 20% de las aguas residuales generadas.

2) Que es necesario realizar un mayor nivel de inversión en el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales existentes, para eficientizar los mismos y puedan cumplir plenamente con la normativa vigente.

3) Que es necesario realizar proporcionalmente un mayor nivel de inversión en la construcción de colectores principales o primarios para coleccionar y conducir hasta los sistemas de tratamiento las aguas residuales descargadas por la población en las redes de tuberías secundarias, que tienen como destinos colectores pluviales y/o los cauces superficiales, en virtud de que algunas de las plantas principales existentes, sobre todo la de Rafey, tienen capacidad para recibir y tratar dichas aguas.

4) Que se requiere elaborar un plan maestro de alcantarillado sanitario para toda la provincia, que indique con una estimación razonablemente precisa la inversión requerida para satisfacer plenamente la cobertura de recolección y tratamiento de las aguas residuales, así como un plan de inversión factible presente y futuro, priorizando los aspectos medioambientales y de salud de la población.

5) Que se requiere elaborar un plan maestro de alcantarillado pluvial para toda la provincia, que indique con una estimación razonablemente precisa la inversión requerida para satisfacer plenamente la cobertura de recolección y disposición de las aguas de lluvia, así como un plan de inversión factible presente y futuro, priorizando los aspectos medioambientales, de seguridad y de salud de la población, y que permita separar la conducción y destino simultáneas de las aguas pluviales de las aguas residuales.

6) Que es necesario que el estado dominicano, a través de los organismos e instituciones gubernamentales (las corporaciones de acueductos y alcantarillados sanitarios, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura,

Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología, Ministerio de Economía Planificación y Desarrollo, los ayuntamientos municipales, Ministerio de Salud Pública, entre otros) desarrolle un plan a corto, mediano y largo plazo, así como las normativas para el tratamiento, manejo, y aprovechamiento de los lodos residuales generados en los sistemas de tratamiento de aguas residuales existentes y futuros. 7) Se requiere promover la reutilización del agua tratada para usos no potables, como riego de áreas verdes o procesos industriales, puede reducir la carga sobre los recursos hídricos y aumentar la eficiencia del sistema de tratamiento.

## REFERENCIAS

- [1] H. B. Sharma, K. R. Vanapalli, B. Samal, V. R. S. Cheela, B. K. Dubey, and J. Bhattacharya, "Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery," *Sci. Total Environ.*, vol. 800, p. 149605, December 2021.
- [2] A. S. Narayan, et al., "Advancements in and integration of water, sanitation, and solid waste for low- and middle-income countries," *Annu. Rev. Environ. Resour.*, vol. 46, no. 1, pp. 193-219, October 2021.
- [3] S. Begmatov, et al., "The structure of microbial communities of activated sludge of large-scale wastewater treatment plants in the city of Moscow," *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, p. 3458, March 2022.
- [4] H. Ahkola, et al., "A preliminary study on the ecotoxic potency of wastewater treatment plant sludge combining passive sampling and bioassays," *Sci. Total Environ.*, vol. 758, p. 143700, March 2021.
- [5] V. A. R. Núñez and F. Orgaz-Agüera, "Carga contaminante de la ciudad de Santiago de los Caballeros (República Dominicana) al Río Yaque del Norte. Un estudio longitudinal," in *Proc. 21th LACCEI Int. Multi-Conf. Eng. Educ. Technol.*, Buenos Aires 2023.
- [6] M. Fida, P. Li, Y. Wang, S. M. K. Alam, and A. Nsabimana, "Water contamination and human health risks in pakistan: A review," *Exposure Health*, vol. 15, no. 3, pp. 619-639, October 2022.
- [7] Bill and Melinda Gates Foundation, 2020.
- [8] M. D. Nguyen, M. Thomas, A. Surapaneni, E. M. Moon, and N. A. Milne, "Beneficial reuse of water treatment sludge in the context of circular economy," *Environ. Technol. Innov.*, vol. 28, p. 102651, November 2022.
- [9] A. O. Babatunde and Y. Q. Zhao, "Constructive approaches toward water treatment works sludge management: An international review of beneficial reuses," *Crit. Rev. Environmental Sci. Technol.*, vol. 37, no. 2, pp. 129-164, January 2007.
- [10] S. L. Wear, V. Acuña, R. McDonald, and C. Font, "Sewage pollution, declining ecosystem health, and cross-sector collaboration," *Biol. Conservation*, vol. 255, p. 109010, March 2021.
- [11] Y. F. Zhou and R. J. Haynes, "Removal of Pb(II), Cr(III) and Cr(VI) from aqueous solutions using alum-derived water treatment sludge," *Water Air Soil Pollut.*, vol. 215, no. 1-4, pp. 631-643, June 2010.
- [12] T. C. Odimegwu, I. Zakaria, M. M. Abood, C. B. K. Nketsiah, and M. Ahmad, "Review on different beneficial ways of applying alum sludge in a sustainable disposal manner," *Civil Eng. J.*, vol. 4, no. 9, pp. 2230-2241, September 2018.
- [13] M. Frías, O. Rodríguez, and M. I. S. de Rojas, "Paper sludge, an environmentally sound alternative source of MK-based cementitious materials. A review," *Construction Building Mater.*, vol. 74, pp. 37-48, January 2015.
- [14] C. G. Schmit, K. Jahan, K. H. Schmit, E. Debik, and V. Mahendraker, "Activated sludge and other aerobic suspended culture processes," *Water Environ. Res.*, vol. 81, no. 10, pp. 1127-1193, September 2009.
- [15] Y. Q. Zhao, A. O. Babatunde, Y. S. Hu, J. L. G. Kumar, and X. H. Zhao, "Pilot field-scale demonstration of a novel alum sludge-based constructed wetland system for enhanced wastewater treatment," *Process Biochemistry*, vol. 46, no. 1, pp. 278-283, January 2011.
- [16] O. A. Johnson and A. C. Affam, "Petroleum sludge treatment and disposal: A review," *Environmental Eng. Res.*, vol. 24, no. 2, pp. 191-201, October 2018.
- [17] L. H. Lee, et al., "Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting: A mini-review," *J. Chem. Technol. Biotechnology*, vol. 93, no. 4, pp. 925-935, January 2018.
- [18] M. Kriipsalu, M. Marques, and A. Maastik, "Characterization of oily sludge from a wastewater treatment plant flocculation-flotation unit in a petroleum refinery and its treatment implications," *J. Mater. Cycle Waste Manage.*, vol. 10, no. 1, pp. 79-86, March 2008.
- [19] Consejo Para el Desarrollo Estratégico de Santiago Inc (CDES), *Plan Cuenca Santiago, Santiago de Los Caballeros: Consejo de Gestión de Cuenca y CDES*, 2014.
- [20] A. Lendínez-Turón, C. M. Domínguez-Valerio, F. Orgaz-Agüera, and S. Moral-Cuadra, "Public administration education towards Sustainable Development Goals: Psychometric analysis of a scale," *Int. J. Sustainability Higher Educ.*, vol. 24, no. 6, pp. 1177-1196, January 2023.
- [21] N. D. J. Colón-Flores, M. R. Vargas-Martínez, J. C. Tavarez-De Henríquez, and C. M. Domínguez-Valerio, "Environmental, social and economic attitudes and sustainable knowledge on the sustainable behaviour of engineering students: An analysis based on attitudes towards teachers," *Sustainability*, vol. 15, no. 18, p. 13537, September 2023.