Universidad Nacional de Ingeniería

Área del Conocimiento de Agricultura

EVALUACIÓN TECNOLÓGICA DE LA PLANTA DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE ESTELÍ PARA EL PERÍODO ABRIL – MAYO, 2023

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Químico

Elaborado por:

Br. SOFÍA BELÉN TRIMINIO GÓMEZ
2017-1297U

Tutor:

PhD. Ing. INDIANA AUXILIADORA GARCÍA GRANADOS

Agosto, 2025
Managua, Nicaragua

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada a *María Lorenza Gómez* y *María del Carmen Zavala*. Dondequiera que estén, fue su amor y sus oraciones entregadas a Dios lo que me permitió llegar hasta aquí.

Y a mi pequeña *Pucca.* Gracias por esperarme cada viernes con felicidad durante cinco años y no irte hasta verme regresar a casa.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios, creador de todo lo existente y dador de dones, por haberme permitido culminar mis estudios y este último paso para poder recibirme como ingeniera química. Cada paso y cada aliento se lo debo a Él.

Agradezco a mis padres, *Víctor y Socorro*, por haberme apoyado en las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida, guiándome con amor y valores durante cada etapa vivida y cada día construyendo, mediante su sacrificio, el camino que he recorrido hasta hoy. A mis *hermanos y familia*, quienes me impulsaron y fueron los primeros que creyeron en mí, llenándome de valor y coraje en cada obstáculo presentado.

Así mismo, agradezco a *Ricardo Rivera*, por ser mi compañero de aventuras durante todo este proceso y haberme brindado su amor y paciencia desde mis inicios como universitaria. También agradezco a la *familia Obregón Córdoba*, por haberme acogido como una hija y cobijado por tantos años.

Por otro lado, agradezco a todo el equipo de *ENACAL-Estelí* y al personal encargado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Estelí. Por haberme tratado como una más de ellos y haberme enseñado todo lo que tenían a su disposición, ayudándome en las tareas que no podía sola y apoyándome en cada duda o limitación que pudiese haber tenido.

A *mis amigos*, quienes fueron una brújula al llegar a un lugar desconocido como lo es la universidad, y haber hecho de ella un hogar. Y, por último, agradezco a mi tutora, PhD. *Ing. Indiana García*, por mostrarme con su ejemplo, paciencia y constancia, la búsqueda del mejor resultado y enseñarme la importancia de la dedicación; y a mi amiga, *Ing. Yalena Navarro*, por guiarme y adentrarme al mundo de la ingeniería ambiental.

A todos y cada uno, gracias.

LISTA DE ABREVIATURAS

BCIE: Banco Centroamericano de Integración Económica
DBO: Demanda Biológica de Oxígeno
DBOC: Demanda Biológica de Oxígeno Carbónica
DBON: Demanda Biológica de Oxígeno Nitrogenada
DQO: Demanda Química de Oxígeno
ENACAL: Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados
LP: Laguna Primaria
LS: Laguna Secundaria
PISASH: Programa Integral Sectorial de Agua y Saneamiento Humano
PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RAA: Reactor Anaeróbico Abierto
RAS: Red de Alcantarillado Sanitario
STAR: Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales
SSED: Sólidos Sedimentables
SST: Sólidos Suspendidos Totales
TRH: Tiempo de Retención Hidráulica
TRS: Tiempo de Retención de Sólidos
UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket o bien en español RAFA que significa Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente

RESUMEN

Este trabajo presenta la evaluación tecnológica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la ciudad de Estelí, Nicaragua, durante el período junio-agosto de 2023. La investigación tiene como objetivo principal analizar la eficiencia operativa y de remoción de contaminantes del sistema, comparando los resultados con los parámetros establecidos en los Artículos 24 y 26 del Decreto 21-2017, que regula los vertidos de aguas residuales en el país.

Se monitorearon los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales, tanto del afluente como del efluente, para determinar la eficiencia de remoción de contaminantes como la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO), entre otros parámetros. También se evaluaron las condiciones hidráulicas y el mantenimiento de las unidades de tratamiento.

Los resultados mostraron que la planta cumple con los parámetros establecidos en el artículo 26 del decreto estudiado, sin embargo, se supera los límites permitidos por el artículo 24, incumpliendo con el decreto regulador. Por otro lado, la planta logró una eficiencia del 80% en la remoción de DBO y un 50% en DQO. Estos valores indican una capacidad moderada de tratamiento, con margen de mejora en la eliminación de los parámetros anteriormente mencionados.

A nivel operativo, se identificaron problemas relacionados con el mantenimiento de las unidades, como obstrucciones en las tuberías internas, que afectan la eficiencia del tratamiento y el rendimiento del sistema en general. Estos fallos en el mantenimiento provocan un aumento en el nivel del agua en las unidades de tratamiento, lo que disminuye la capacidad de procesamiento y compromete la calidad del efluente final.

En conclusión, aunque la planta cumple con los valores de los parámetros normados en el Arto. 26 del decreto evaluado, no logra cumplir en los valores indicados en el Arto. 24. Por otro lado, en parámetros como DQO Y DBO, si bien cumple con lo propuesto por el Arto. 26 del decreto evaluado, sus porcentajes de remoción se encuentran por debajo de lo reportado en la literatura. Es por esto por lo que es necesario mejorar el mantenimiento regular de las unidades de la PTAR, ya que ello garantizará una mejor remoción en los parámetros que actualmente el sistema no logra cumplir o bien mejorar aún más en los que ya cumple.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA i
AGRADECIMIENTOS Ii
LISTA DE ABREVIATURAS Iii
RESUMEN iv
I. INTRODUCCIÓN 1
II. OBJETIVOS 3
2.1. Objetivo General 3
2.2. Objetivos Específicos 3
III. MARCO TEÓRICO 4
3.1. Aguas Residuales 4
3.1.1. Tipos de aguas residuales 5
3.1.2. Características biológicas de las aguas residuales 5
3.1.3. Características fisicoquímicas de las aguas residuales 8
3.2. Características Hidráulicas de las Aguas Residuales 15
3.3. Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales 16
3.3.1. Niveles de tratamiento de aguas residuales 16
3.3.2. Métodos de tratamiento de aguas residuales 17
3.3.3. Manejo de residuos sólidos y lodos 42
3.4. Legislación para el Vertido de las Aguas Residuales Tratadas en un Cuerpo Receptor 44
IV. IDENTIFICACIÓN DEL ENTORNO DE TRABAJO 46
4.1. Etapas de Tratamiento de PTAR-Estelí 47
4.1.1. Pretratamiento 47
4.1.2. Tratamiento primario 52
4.1.3. Tratamiento secundario 54
V. METODOLOGÍA 56
5.1. Eficiencia de Remoción del Sistema de Tratamiento de las Aguas Residuales de Estelí 56
5.1.1. Muestreo de aguas residuales de la PTAR-Estelí 56
5.2. Condiciones Hidráulicas de la PTAR 60

5.3. Operación y Mantenimiento del Proceso de la PTAR Evaluada 61

VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 62

6.1. Eficiencia de Remoción de Contaminantes 62

6.1.1. Cumplimiento de parámetros de vertido con la legislación 62

6.1.2. Resultados pruebas fisicoquímicas aplicadas a cada unidad depuradora dentro de la planta 71

6.2. Condiciones Hidráulicas de la PTAR 78

6.2.1. Cargas contaminantes y porcentajes de remoción en la PTAR-Estelí 82

6.3. Operación y Mantenimiento de la PTAR 86

6.3.1. Operación 86

6.3.2. Mantenimiento 88

VII. CONCLUSIONES 96

VIII. RECOMENDACIONES 97

IX. REFERENCIAS 98

ANEXOS 101

ÍNDICE DE FÍGURAS

Número	Nombre	Página
1	Ejemplo de rejilla utilizada en plantas de tratamiento de aguas residuales.	19
2	Clasificación general de los tipos de tamices utilizados en el tratamiento de aguas residuales.	20
3	Criba de alambre en cuña estática.	22
4	Tambor rotatorio.	22
5	Criba de banda.	22
6	Rejilla escalonada.	23
7	Vista interior reactor UASB.	33
8	Comparación de sustratos y productos en los sistemas aerobios y anaerobios.	34
9	Diagrama simplificado del proceso de degradación de la materia orgánica en una laguna.	39
10	Mapa delimitado de la ciudad de Estelí con ubicación de la planta de aguas residuales y su vista aérea.	46
11	Diagrama de tecnologías usadas en la planta con referencia a un módulo	48
12	Estructura interna de un reactor anaerobio abierto (RAA).	52
13	Ubicación de puntos de muestreos siguiendo línea de agua de un módulo respectivo.	57
14	Comparación de datos históricos del comportamiento de la DBO en la entrada y salida de la PTAR de Estelí.	67
15	Comparación de datos históricos del comportamiento de la DQO en la entrada y salida de la PTAR de Estelí.	67
16	Comparación de datos históricos del comportamiento de los SST en la entrada y salida de la PTAR de Estelí.	68
17	Comparación de datos históricos del comportamiento de los sólidos sedimentables a la entrada y salida de la PTAR de Estelí.	68
18	Comparación de datos históricos del comportamiento de aceites y grasas en la entrada y salida de la PTAR de Estelí.	69
19	Comparación de datos históricos del comportamiento del nitrógeno total en la entrada y salida de la PTAR de Estelí.	69

20	Comparación de datos históricos del comportamiento del fósforo total en la entrada y salida de la PTAR de Estelí.	70
21	Comparación de datos históricos del comportamiento de coliformes termotolerantes en la entrada y salida de la PTAR de Estelí.	70
22	Comparación de resultados de medición con molinete y medición con canaleta Parshall.	80
23	Comparación de Cargas Superficiales Aplicadas (CSA) a cada unidad de tratamiento.	86
24	Elaboración de herramientas de trabajo.	87
25	Presencia de ganado dentro de la PTAR.	88
26	Restos plásticos no retenidos por rejillas grandes ni por máquina de tamizaje que se acumulan a las orillas de las lagunas de la PTAR.	89

ÍNDICE DE TABLAS

Número	Nombre	Páginas
1	Clasificación de microorganismos comúnmente encontrados en aguas residuales.	6
2	Organismos específicos que han sido empleados como indicadores de la contaminación humana.	7
3	Rangos recomendables para remoción biológica de nitrógeno.	13
4	Composición del agua residual doméstica cruda.	14
5	Niveles de tratamiento de aguas residuales.	17
6	Procesos unitarios físicos típicos usados para tratamiento de aguas residuales.	18
7	Descripción de dispositivos de cribado utilizados en el tratamiento de aguas residuales.	20
8	Información típica de diseño para rejilla de barras de limpieza manual y mecánica.	21
9	Dispositivos de mallas finas utilizados en pretratamiento de aguas residuales.	22
10	Porcentajes típicos de remoción en cribado fino utilizado en aguas residuales.	23
11	Tipos de fenómenos gravitacionales utilizados en el tratamiento de aguas residuales.	24
12	Información para el diseño de desarenadores de flujo horizontal	25
13	Dispositivos utilizados en mezcla continua-rápida y mezcla continua en aguas residuales.	26
14	Aplicaciones de los procesos unitarios químicos en el tratamiento de aguas residuales.	27
15	Principales procesos de tratamiento biológicos utilizados para el tratamiento de aguas residuales.	30
16	Características y porcentajes de remoción de cada modificación de lodos activados.	32
17	Tiempos de retención hidráulicos aplicados a diferentes rangos de temperatura.	34
18	Eficiencia de lagunas anaeróbicas en función del período de retención para T > 20ºC.	36

Número	Nombre	Páginas
19	Relación entre la temperatura, período de retención y eficiencia en lagunas anaeróbicas.	36
20	Clasificación de lagunas de estabilización.	40
21	Eficiencia de remoción de los diferentes procesos de tratamiento.	40
22	Combinaciones de diferentes tecnologías de depuración.	41
23	Fuentes de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales.	43
24	Decreto 21-2017, Arto. 24, límite permisible de coliformes temotolerantes.	45
25	Decreto 21-2017, Arto. 26, rangos y valores máximos permisibles para los vertidos de las aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamiento del alcantarillado sanitario.	45
26	Características principales de las unidades que conforman el pretratamiento.	49
27	Características de unidad medidora de caudal.	50
28	Unidad de medición de caudal canaleta Parshall y sus conversiones.	50
29	Protocolo de operación y mantenimiento del área de pretratamiento.	51
30	Características de reactor anaerobio abierto como tratamiento primario.	53
31	Protocolo de operación y mantenimiento para los reactores anaerobios abiertos.	53
32	Caracterización de unidades que conforman el tratamiento secundario.	54
33	Protocolo de operación y mantenimiento para el tratamiento secundario.	55
34	Descripción de puntos de muestreo en PTAR-Estelí.	57
35	Cuantificación de muestras por ubicación y muestreo.	58
36	Definición de parámetros fisicoquímicos a realizar y sus métodos de medición.	58
37	Definición de pruebas fisicoquímicas según el punto de muestreo propuesto.	59

Número	Nombre	Páginas
38	Definición de fecha de toma de mediciones.	60
39	Puntos de medición de caudales.	60
40	Comparación de resultados de muestreos 1 y 2 con parámetros normados de los Arto. 24 y 26 del Decreto 21-2017.	62
41	Recuento histórico de resultados fisicoquímicos de la entrada y salida de PTAR-Estelí.	65
42	Porcentajes de remoción de toda la PTAR para diferentes épocas y años.	66
43	Resultados de pruebas fisicoquímicas realizadas en el segundo muestreo a tratamiento primario y secundario de PTAR-Estelí.	74
44	Comparación de porcentaje de remoción obtenidos en el RAA con los porcentajes de remoción de la literatura.	77
45	Comparación resultados de porcentaje de remoción en laguna primaria.	77
46	Comparación resultados de porcentaje de remoción en laguna secundaria	78
47	Comparación de métodos de medición de caudal en PTAR-Estelí mediante medición de caudal de entrada realizada el 12 de junio de 2023.	79
48	Datos de medición de caudales de entrada y salida de la planta.	80
49	Capacidad hidráulica de tratamiento primario y secundario.	81
50	Comparación tiempo de remoción teórico y evaluado.	82
51	Carga contaminante y su porcentaje de remoción según unidad de tratamiento.	84
52	Carga superficial aplicada según unidad de tratamiento.	85
53	Operaciones de mantenimiento para el pretratamiento y su frecuencia de realización.	90
54	Operaciones de mantenimiento para el tratamiento primario y su frecuencia de realización.	92
55	Operaciones de mantenimiento para el tratamiento secundario y su frecuencia de realización.	93
56	Otros elementos de la planta y su condición actual.	95

I. INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, el manejo de las aguas residuales ha sido un problema importante por resolver, evolucionando con los años las técnicas y maniobras para conseguir depurar el agua y reducir todos los riesgos que conllevan éstas, como la propagación de enfermedades y la extinción de las fuentes hídricas existentes, afectando la calidad de vida de cada ser viviente.

Es por su gran importancia que el correcto manejo y saneamiento de estas aguas ha sido considerado por la Organización de las Naciones Unidas a nivel mundial como un "objetivo imprescindible para el desarrollo humano sostenible*",* siendo este el objetivo número seis de su programa propuesto para alcanzar la sostenibilidad en la humanidad (Sistema de las Naciones Unidas Nicaragua, 2018).

Nicaragua no ha sido la excepción en el trabajo de este objetivo. La cobertura de agua potable y saneamiento del país ha venido avanzando con su desarrollo, logrando mejoras en alcantarillado sanitario público en las áreas urbanas, e implementando tecnologías alternativas para saneamiento en zonas rurales, así como garantizando el agua potable en ambos sectores de la población. Según datos brindados por el Gobierno de Nicaragua en el año 2021, el país contaba con una cobertura total de alcantarillado sanitario del 54% en la zona urbana, y una cobertura en saneamiento del 50% en el área rural para el año 2020.

El casco urbano de la ciudad de Estelí cuenta con un sistema de alcantarillado de aguas residuales, que posee una cobertura del 78% de la población de la ciudad (Aproximadamente 105,000 habitantes), beneficiando 74 barrios hasta enero del año 2024 según datos brindados por ENACAL-Estelí. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR-Estelí) recibe las aguas de este sistema y su efluente es descargado en la Quebrada "La Limonosa", desembocando en el Río Estelí.

El presente trabajo tuvo como propósito la evaluación de la PTAR de Estelí, para determinar su calidad de vertido con respecto a los Artos. 24 y 26 del Decreto 21-2017 titulado "Reglamento en el que se Establecen las Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales", y así mismo la evaluación de sus condiciones hidráulicas y el correcto mantenimiento de la planta.

Los objetivos que se expondrán a continuación se lograron mediante la caracterización fisicoquímica tanto del afluente como del efluente ya tratado para determinar el porcentaje de remoción de carga contaminante, en conjunto con la

determinación de las condiciones hidráulicas para verificar el funcionamiento hidrodinámico de la planta y, la revisión operacional y de mantenimiento a cada una de las tecnologías existentes en el sistema.

Las mayores dificultades reportadas en el estudio fueron desfase de tiempo por problemas económicos y técnicos con la empresa ENACAL, lo que llevó a una realización de la metodología semanas más tarde, siendo el tiempo de estudio de la funcionalidad de la planta los meses de junio a agosto del año 2023.

II. OBJETIVOS

En este acápite se presentan los objetivos que se implementaron para efectuar este trabajo monográfico.

2.1. Objetivo General

Evaluar la planta de tratamiento de las aguas residuales de la Ciudad de Estelí a través del monitoreo de la operación, el mantenimiento y de la calidad de los vertidos de las etapas que conforman el sistema de tratamiento para la determinación del cumplimiento con la legislación nacional para la reducción del impacto ambiental en el cuerpo receptor.

2.2. Objetivos Específicos

- Estimar la eficiencia de remoción de la carga contaminante del sistema según los Artos. 24 y 26 del Decreto 21-2017 mediante la medición de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las diferentes etapas que conforman el tren de tratamiento.
- Determinar las condiciones hidráulicas en las unidades de tratamiento para la verificación del correcto funcionamiento hidrodinámico de la PTAR.
- Diagnosticar la actual operación y mantenimiento de la PTAR que permita el conocimiento de su eficiencia a través de la comparación de los resultados obtenidos con las eficiencias de remoción y el comportamiento hidrodinámico.

III. MARCO TEÓRICO

En el presente acápite se describe los conceptos de calidad de aguas residuales, legislación nacional, criterios de diseño de las diferentes unidades que conforman la planta de tratamiento de las aguas residuales de la Ciudad de Estelí que permitieron enriquecer la discusión de resultados al contrastar los hallazgos de la evaluación realizada con los conceptos teóricos.

3.1. Aguas Residuales

Riffat & Husnain (2022) expresan que el término aguas residuales incluye los desechos líquidos y los desechos transportados en el agua provenientes de los hogares, los establecimientos comerciales y las industrias, así como las aguas pluviales y otras escorrentías superficiales. De igual manera, afirma que las aguas residuales pueden contener altas concentraciones de contaminantes orgánicos e inorgánicos, microorganismos patógenos y productos químicos tóxicos.

La evacuación inmediata del agua residual de sus fuentes de generación, seguida de su tratamiento y eliminación, es necesaria en toda sociedad industrializada. Esto es debido a que la acumulación y estancamiento de ésta, y su descomposición puede conducir a la generación de gases indeseables, así como propagación de numerosos microrganismos patógenos y causantes de enfermedades.

A nivel mundial, se desconoce la cantidad total de aguas residuales desechadas al medioambiente sin ser previamente tratadas y las cifras son meramente estimadas o especuladas. El último estudio realizado en el año 2020 por Jones et. al, titulado "*Estimaciones cuadriculadas y a nivel de país de la producción, recolección, tratamiento y reutilización de aguas residuales",* afirma que, de toda el agua residual producida a nivel mundial, el 63% es colectada y el 52% es tratada, por lo que probablemente es un 48% de agua sin tratar la que se libera en las fuentes hídricas.

Las aguas residuales urbanas en su mayoría son trasladadas a las plantas de tratamiento mediante el alcantarillado sanitario, diseñado según las necesidades de la población. En el área rural, se utilizan tecnologías alternativas que permitan eliminar la carga contaminante de ellas y puedan ser luego liberadas al ambiente tales como letrinas, fosas sépticas y plantas de tratamiento de lodo comunales.

3.1.1. Tipos de aguas residuales

Según Metcalf & Eddy (2014) las fuentes de las aguas residuales son las siguientes:

- Aguas Residuales Domésticas: Provenientes de las actividades domésticas cotidianas. Se caracterizan por contener excretas humanas, residuos de detergentes, jabones, y residuos sólidos y orgánicos.
- Aguas Residuales Municipales: Provenientes de las actividades realizadas en las diferentes zonas de la ciudad, abarcando todo tipo de actividades comerciales, laborales y de dominio público y privado, como hospitales, clínicas, restaurantes, etc.
- Aguas Residuales Industriales: Provenientes de las actividades industriales de la ciudad. Su composición depende del tipo de industria y, en su mayoría, cada empresa posee su propio tren de tratamiento para depurar estas aguas o bien reducir la carga contaminante antes de ser descargadas al alcantarillado público.

3.1.2. Características biológicas de las aguas residuales

Las aguas residuales contienen una amplia variedad de microorganismos, algunos de los cuales son patógenos, mientras que otros son de vital importancia en la degradación de la materia orgánica. Las bacterias, protozoos y otros microorganismos juegan un papel activo en la conversión de materia orgánica biodegradable, convirtiéndola en productos finales más simples que resultan en la estabilización de los desechos. Este es un proceso continuo que ocurre en arroyos y ríos como un proceso de purificación natural.

Los aspectos biológicos de las aguas residuales refieren a microrganismos presentes en ellas, definidos en diferentes grupos como lo son bacterias, virus, hongos, protozoos, plantas y animales. En la siguiente tabla (Tabla 1) se expone un breve resumen de los organismos que se puede encontrar a las aguas residuales.

Tabla 1.

Clasificación de microorganismos comúnmente encontrados en aguas residuales.

Organismo	Concentración en Aguas Residuales Crudas (NMP/100mL)	Dosis Infecciosa, Numero de Organismos
Bacterias		
• Bacteroides	10^{7}–10^{10}	
• Coliformes Total	10^{7}–10^{9}	
• Coliformes Termotolerantes	10^{6}–10^{8}	10^{6}-10^{10}
• Coliformes *E coli.*	10^{5}–10^{7}	
• *Clostridium Perfringens*	10^{3}–10^{5}	1-10^{10}
• Enterococos	10^{4}–10^{5}	
• Estreptococos Termotolerantes	10^{4}–10^{7}	
• *Pseudomonas Aeruginosa*	10^{3}–10^{6}	
• Shigella	10^{0}–10^{3}	10-20
• Salmonella	10^{2}–10^{4}	
Protozoos		
• *Ooquistes Cryptosporidium parvum*	10^{1}–10^{3}	1-10
• *Quistes de Entamoeba histolytica*	10^{-1}–10^{1}	10-20
• *Quistes de Giardia lamblia*	10^{3}–10^{4}	≤ 20
Helmintos		
• Huevos	10^{1}–10^{3}	
• *Ascaris Lumbricoides*	10^{-2}–10^{0}	1-10
Virus		
• Virus Entérico	10^{3}–10^{4}	1-10
• Colifagos	10^{3}–10^{4}	

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2014).

Los organismos patógenos son agentes infecciosos que pueden provocar enfermedades a su huésped. Éstos se presentan en las aguas residuales en cantidades muy pequeñas y pueden provenir de desechos humanos u otro animal que esté infectado o sea portador de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos patógenos presentes en las aguas residuales son las bacterias, los virus, los protozoos y el grupo de los helmintos. En la práctica, estos organismos son muy difíciles de detectar de forma aisladas, por lo que se ha definido un solo grupo llamado “coliformes” que los engloba a todos.

Por ello, se considera que la presencia de coliformes puede ser un indicador de la posible presencia de organismos patógenos y que su ausencia indica aguas libres de posibles organismos transmisores de enfermedades. En los análisis de

microorganismos, se ha definido los indicadores usados para su detección y que son expuestos en la tabla 2.

Tabla 2.

Organismos específicos que han sido empleados como indicadores de la contaminación humana.

Organismo Indicador	Características
Bacterias Coliformes	Especies de organismos que pueden fermentar lactosa con generación de gases. Este grupo incluye cuatro géneros de la familia *Enterobacteriácea: Escherichia, Klebisella, Citrobactor y Enterobacter.*
Bacterias Coliformes Termotolerantes	Se estableció este grupo en función de la capacidad de generar gas (o colonias) a una temperatura de incubación elevada (44,5°C durante 24 horas). Generalmente originarias de intestinos de animales de sangre caliente.
Klebisella	La *Klebisella* termotolerante también se incluye en el grupo de coliformes termotolerantes.
Escherichia Coli	El *E. coli* es parte de la población bacteriana y es el género de coliformes más representativos de las fuentes de contaminación fecal.
Estreptococos Termotolerantes	Este grupo se ha empleado, junto con los coliformes termotolerantes, para determinar las fuentes de contaminación fecal reciente (humana o de animal).
Enterococos	Los enterococos suelen estar presentes en número inferior al de los otros indicadores; no obstante, sobreviven mejor en agua salada.
Clostridium Perfringens	Es una bacteria persistente anaerobia formadora de esporas, y sus características la convierten en un indicador útil en los casos que se realiza la desinfección del agua.
P. aeruginosa y A. hydrophila	Estos organismos pueden estar presentes en grandes cantidades en el agua residual. Ambos se pueden considerar como organismos acuáticos y se pueden encontrar en el agua en ausencia de fuentes de contaminación fecal inmediata.

Fuente: (Metcalf & Eddy, Inc., 1995).

Para el caso de desinfección de efluentes de aguas residuales, los indicadores más utilizados son los de coliformes totales y coliformes termotolerantes.

3.1.3. Características fisicoquímicas de las aguas residuales

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental de cara al proyecto y explotación de las infraestructuras tanto de recogida como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, así como para la gestión de la calidad medioambiental (Metcalf & Eddy, Inc., 1995).

Aspectos físicos

Referidos a los aspectos perceptibles por los sentidos, como el olor, el color, turbidez, temperatura, densidad y el más importante de todos, los sólidos, que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta.

- **Color**

Davis (2020) refiere que el material orgánico disuelto de la vegetación en descomposición y cierta materia inorgánica causan color en el agua. Ocasionalmente, la proliferación excesiva de algas o el crecimiento de microorganismos acuáticos también pueden impartir color. A menudo, el color del agua no es el color verdadero sino el color aparente que resulta de una suspensión coloidal.

El color, así mismo, ayuda a conocer su edad; las aguas recientes suelen ser un tono gris verdoso, pero este a medida que se va agotando el oxígeno se va oscureciendo hasta tornarse casi negro o un verde oscuro por la presencia de algas microbianas.

- **Olor**

“El olor puede ser causados por materias extrañas como compuestos orgánicos, sales inorgánicas o gases disueltos” (Davis, 2020).

Metcalf y Eddy, Inc. (2014) afirman que, normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. Por ejemplo, el más común es el producido por el sulfuro de hidrógeno (“olor a huevo”), producto de la reducción de sulfatos en sulfitos por la acción microbiana anaeróbica. Por otro lado, las aguas residuales industriales pueden tener compuestos olorosos derivados de sus procesos, tales como las que contienen plaguicidas.

- **Sólidos**

En las aguas residuales, es necesario conocer el tipo de sólidos existentes en ellas para así poder definir el tratamiento indicado y poder eliminarlos. Las siguientes definiciones expuestas son proporcionadas por Baird, Rice, & Posavec, 2017.

- Sólidos Totales: Es la suma de los sólidos en suspensión, sólidos disueltos y sólidos coloidales en agua.
- Sólidos Volátiles: Es la cantidad de materia, capaz de volatilizarse por el efecto de la calcinación a 550°C en un tiempo de 15 a 20 minutos.
- Sólidos Sedimentables: Son los materiales que se depositan en el fondo de un recipiente debido a la operación de sedimentación.
- Sólidos Suspendidos: Son los sólidos dispersos en agua y cuyo tamaño de particular es mayor de 100 nm.
- Sólidos Disueltos: Son las sustancias orgánicas e inorgánicas solubles presentes en agua.

Los resultados de las pruebas de estos parámetros tienen por finalidad evaluar el potencial de reutilización de un agua residual y determinar el tipo de operaciones y procesos más adecuados para su tratamiento.

- **Temperatura**

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto para el desarrollo de la vida acuática como las reacciones químicas y velocidades de reacción. El aumento en las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura combinado con la reducción del oxígeno presente en las aguas superficiales es causa frecuente de agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto de los meses de verano (Metcalf & Eddy, 2014).

Las temperaturas óptimas para la actividad bacteriana están en el rango de 25°C a 35°C. La digestión aeróbica y la nitrificación se detienen cuando la temperatura aumenta a 50°C. Cuando la temperatura desciende a unos 15°C, las bacterias productoras de metano se vuelven bastante inactivas, y a unos 5°C, las bacterias nitrificantes autótrofas prácticamente dejan de funcionar.

Aspectos químicos

- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)**

"*La DBO se define como la cantidad de oxígeno utilizada por una población mixta de microorganismos durante la oxidación aeróbica de materia orgánica a una temperatura controlada de 20°C durante un tiempo específico*" (Riffat y Husnain, 2022).

Por otro lado, Mihelcic & Zimmerman (2012) expresan que la DBO es la cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos para oxidar materia orgánica de tipo carbónica y nitrogenada, por lo cual pueden obtener dos DBO según el tipo de materia oxidada: Demanda Biológica de Oxígeno Carbonacea (DBOC) y Demanda Biológica de Oxígeno Nitrogenada (DBON).

En el proceso de la DBOC la materia orgánica oxidada es de origen carbónico. Los organismos quimioheterótrofos son los que utilizan la materia orgánica -$C(H_2O)$- como fuente de carbono y de energía y, bajo condiciones aerobias, para obtener tal energía consumen oxígeno:

$$C(H_2O) + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + \Delta \quad (1)$$

La DBON está definida como la cantidad de materia inorgánica nitrogenada que es oxidada. Los quimioautótrofos son los organismos que utilizan CO_2 como fuente de carbono y de energía, y por lo general consumen oxígeno al obtener esa energía. Un ejemplo de quimioautotrofismo es la nitrificación, la conversión microbiana del amoniaco en nitrato (en la que el ion del bicarbonato contribuye con el CO_2):

$$NH_4^+ + 2HCO_3^- + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + 2CO_2 + 3H_2O + \Delta \quad (2)$$

Las pruebas de demanda biológica de oxígeno (DBO) se utilizan para determinar los requisitos relativos de oxígeno de las aguas residuales, los efluentes y las aguas contaminadas; su aplicación más amplia es en la medición de las cargas de desechos a las plantas de tratamiento y en la evaluación de la eficiencia de eliminación de DBO de éstas (Baird et al., 2017).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

"*Cantidad de oxidante químico, expresado en equivalente de oxígeno, que se requiere para oxidar por completo una fuente de materia orgánica. La DQO y la demanda teórica de oxígeno deberían ser casi iguales*" (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

Baird, Rice y Posavec (2017) expone que la cantidad de oxidante consumido se expresa en términos de su equivalencia de oxígeno. Debido a sus propiedades químicas únicas, el ion dicromato es el oxidante mayormente especificado en los métodos de análisis; y se reduce al ion crómico en estas pruebas.

La medición de DBO es de vital importancia debido a que los resultados de la prueba se utilizan para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente; para determinar el tamaño de las instalaciones de tratamiento de residuos; para medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento y, para determinar el cumplimiento de los permisos de descarga de aguas residuales.

Comparar los resultados de la DBO y de la DQO ayuda a identificar si existen condiciones tóxicas en un caudal de aguas negras o indicar la presencia de desperdicios que sean biológicamente resistentes (refractarios). Por ejemplo, una proporción DBO_5/DQO que se aproxime a 1 puede indicar un material altamente biodegradable, mientras que una proporción que se acerque a 0 indica un material difícilmente biodegradable.

- **Demanda Teórica de Oxígeno (DTO)**

La información expuesta a continuación es extraída del libro *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, sustentabilidad, diseño,* escrito por Mihelcic, J., y Zimmerman, J. (2012).

"*Cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos para oxidar materia orgánica carbónica y/o nitrogenada, suponiendo que toda la materia orgánica es susceptible de una descomposición microbiana, por ejemplo, que es biodegradable.*" La demanda teórica de oxígeno, dada en mgO_2/L, se calcula a partir de la estequiometría de las reacciones de oxidación anteriormente expuestas que están implicadas.

- **Oxígeno Disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto consiste en la cantidad total de oxígeno presente en el agua residual. Este es un requisito clave para la integración de los organismos que se encuentran asociados en un ecosistema diverso y en equilibrio. "*A menudo, los desechos domésticos e industriales contienen altos niveles de DBO, que, si se descargaran sin haber sido tratados, agotarían las reservas de oxígeno y reducirían la diversidad de la vida acuática de forma grave"* (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

- **Fósforo**

El fósforo es uno de los nutrientes que contribuyen en mayor grado a la eutrofización de lagos y aguas naturales. Su presencia causa muchos problemas en la calidad del agua incluyendo aumentos en los costes de purificación, la disminución del valor de recreación y de conservación del lagunaje, pérdida de las poblaciones naturales y un posible efecto mortal de las toxinas en las aguas potables.

Las aguas residuales urbanas suelen contener de 5 a 20 mg/L de fósforo total, del cual el 1-5 mg/L es orgánico y el resto es inorgánico (Metcalf & Eddy, Inc., 1995). La contribución individual tiende a aumentar ya que el fósforo es uno de los principales constituyentes de los detergentes sintéticos.

La condición adecuada, para que un agua residual pueda depurarse, es que la cantidad de nutrientes sea suficiente, pudiéndose estimar su contenido por la relación (Muñoz y otros, 2004):

$$\frac{DBO_5(ppm)}{P_{total}(ppm)} = \frac{100}{1} \qquad (3)$$

- **Nitrógeno**

De igual manera que el fósforo, el nitrógeno forma parte de los nutrientes esenciales para el desarrollo de la vida acuática, sin embargo, un alto contenido de éste puede provocar la aparición de algas las cuales agotan el oxígeno disuelto en el agua, reducen la biodiversidad en la vida acuática y eutrofización (Garcia I. , 2021). La condición adecuada, para que un agua residual pueda depurarse, es que la cantidad de nutrientes sea suficiente, pudiéndose estimar su contenido por la relación (Muñoz y otros, 2004):

$$\frac{DBO_5(ppm)}{N_{total}(ppm)} = \frac{100}{5} \qquad (4)$$

En la tabla 3 se muestran valores recomendables para los parámetros más importantes involucrado en la remoción de nitrógeno.

Tabla 3.
Rangos recomendables para remoción biológica de nitrógeno.

Parámetro	Rango Recomendado
pH	7-9 para nitrificación; para desnitrificación 6,5-7,5
Alcalinidad	≥ 200 mg/L de $CaCO_3$
Temperatura	Alrededor de 25°C
Concentración de Oxígeno Disuelto	Para nitrificación ≥ 2,0 mg/L; para desnitrificación bajos niveles
Relación C/N	Para nitrificación ≤ 3; para desnitrificación valores entre 2 y 3, entre 3 y 6

Fuente: (Calvachi & Ortiz, 2013).

- **Grasas y Aceites**

"Forman parte de la materia orgánica constituyente de las aguas residuales junto a las proteínas y los carbohidratos mayormente. El término grasa, de uso extendido, engloba las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales" (Metcalf & Eddy, 2014)

- **pH**

(Orozco, 2014) menciona que:

El pH es una medida relativa de la acidez o alcalinidad del agua. La acidez natural es producida principalmente por el CO_2 y ocurre cuando el pH está entre 8,5 y 4,5.

El rango de concentración adecuado para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico (normalmente de 6 a 9). Las aguas residuales con una concentración extrema de iones de hidrógeno son difíciles de tratar por medios biológicos y, si la concentración no se modifica antes de la descarga, el efluente de aguas residuales puede alterar la concentración en las aguas receptoras naturales. En el caso de los efluentes tratados que se descargan al medio ambiente, el rango de pH permitido suele variar de 6,5 a 8,5.

- **Alcalinidad**

Definida por Mihelcic & Zimmerman (2012) como la medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos. En la mayoría de las aguas naturales cercana a un pH entre 6 a 8, la concentración del bicarbonato (HCO_3^-) es significativamente mayor que la del carbonato (CO_3^{2-}) o del hidroxilo (OH^-); por lo tanto, la alcalinidad total puede ser aproximada por la concentración de bicarbonato.

Las aguas residuales son normalmente alcalinas, y reciben su alcalinidad del suministro de agua, el agua subterránea y los materiales añadidos durante el uso doméstico. La concentración de alcalinidad en las aguas residuales es importante cuando se va a utilizar un tratamiento químico y biológico, en la eliminación biológica de nutrientes y cuando se va a eliminar el amoníaco mediante extracción por aire. (Metcalf & Eddy, 2014).

La tabla 4 muestra la composición típica de aguas residuales domésticas, y sus rangos en cada característica mostrada.

Tabla 4.
Composición del agua residual doméstica cruda.

Contaminantes	Concentración		
	Unidad	Intervalo	Valor Usual
Sólidos Crudos	mg/L	350-1200	700
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L	280-850	500
Sólidos Suspendidos totales (SST)	mg/L	100-350	210
Solidos Sedimentables (SS)	mL/L	5-20	10
DBO_5, 20°C	mg/L	110-400	210
Carbono Orgánico Total	mg/L	80-290	160
DQO	mg/L	250-1000	500
Nitrógeno Total (N)	mg/L	20-85	35
Nitrógeno Orgánico	mg/L	8-35	13
Fósforo Total (P)	mg/L	4-15	7
Cloruros	mg/L	30-100	50
Sulfatos	mg/L	20-50	30
Grasas y Aceites	mg/L	50-150	90
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	mg/L	≤100 a≥ 400	100-400
Coliformes Totales	NMP/100 mL	10^6-10^9	10^7-10^8
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10^3-10^7	10^4-10^5
Ooquistes de *Cryptosporidium*	NMP/100 mL	10^{-1}-10^2	10^{-1}-10^2
Quistes de *Giardia Lamblia*	NMP/100 mL	10^{-1}-10^3	10^{-1}-10^2

Fuente: Adaptado de (Crites y Tchobanoglous, 2000).

3.2. Características Hidráulicas de las Aguas Residuales

El previo conocimiento de las características hidráulicas, es decir, la cantidad de aguas y contaminantes que se estarán suministrando a la planta para ser tratadas, es de vital importancia en su diseño y funcionamiento.

Caudal de Aguas Residuales

Por definición, caudal es la cantidad de agua que recorre o es suministrada mediante un canal abierto, colector o una tubería de impulsión en un determinado tiempo. En aguas residuales, es la cantidad de agua residual contaminada que entra al sistema de tratamiento o unidad depuradora por unidad de tiempo. Sus unidades se reflejan en unidades volumétricas sobre unidades de tiempo (m^3/h, m^3/d, m^3/min, L/h, L/s, L/min).

Permite saber cuánta agua será la que deberá ser tratada y diseñar en base a ella, así como determinar problemas de funcionamiento en caso de que haya una sobreproducción o una baja producción de aguas residuales en el tratamiento referido.

Carga Contaminante (CC)

Medida que representa la masa de contaminante por unidad de tiempo que es vertida por una corriente residual, representada por la letra “CC”, se expresa comúnmente en T/año, T/d ó Kg/d. Esta depende mucho de la concentración del contaminante estudiado, es decir, existe una carga contaminante para los sólidos totales, los sólidos suspendidos, los AGV, etc. Se determina mediante la siguiente fórmula:

$$CC\ (masa/tiempo) = Concentración\ C\ \left(\frac{masa}{volumen}\right) \times Caudal\ Q\ \left(\frac{volumen}{tiempo}\right) \qquad (5)$$

Tiempo de Retención Hidráulica (TRH o τ)

Es el tiempo que una unidad de fluido permanece en un recipiente, es decir, el tiempo que el líquido que entra en el recipiente tarda en salir del mismo. Se calcula dividiendo el volumen total de la unidad entre el caudal suministrado a ésta, dando como resultado valores con unidades de tiempo.

$$Tiempo\ de\ Retención\ Hidráulica\ \tau = \frac{Volumen}{Caudal\ Q} = \left(\frac{volumen}{\frac{volumen}{tiempo}}\right) = tiempo \quad (6)$$

Tiempo de Retención de Sólidos (θ)

El tiempo de retención celular, es el peso de sólidos en suspensión en el sistema dividido por el peso total de sólidos que abandonan el sistema en la unidad de tiempo (normalmente por día). La edad del lodo se refiere al tiempo promedio que un microorganismo pasa en el proceso del tratamiento secundario antes de ser expelido o desechado del sistema (Mihelcic y Zimmerman, 2012). Está dada por la siguiente ecuación.

$$Tiempo\ de\ Retención\ de\ Sólidos\ \theta_c = \frac{Masa\ de\ sólidos\ en\ el\ reactor}{Masa\ de\ sólidos\ desechados\ por\ día} \quad (7)$$

3.3. Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Las aguas residuales varían en cantidad, composición y fuerza, dependiendo de las fuentes que reciba. Las aguas municipales, comúnmente se ven conformadas por aguas domésticas, aguas industriales, y a veces aguas pluviales (en caso de no existir separación de agua pluvial y agua residual).

Un sistema de tratamiento de aguas residuales se diseña con el objetivo de reducir o eliminar estos contaminantes, tales como microorganismos patógenos, grasas y aceites, y demás carga orgánica e inorgánica que pudiese existir dentro del afluente. Los diseños dependen del tipo de contaminante que resida, y la eficiencia alcanzada en la remoción, haciendo común realizar el tratamiento en más de una etapa para lograr una mayor limpieza.

En el caso de las industrias, éstas pueden elegir tratar sus desechos en sitio, siguiendo los lineamientos específicos para el mejor tratamiento y aprovechamiento del efluente tratado; o bien, pueden elegir enviar sus residuos por alcantarillas hacia una PTAR municipal después de proporcionar pretratamiento para proteger la operación de la planta (Mihelcic & Zimmerman, 2012).

3.3.1. Niveles de tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales constan de niveles o etapas que garantizan una correcta depuración del afluente. Estas etapas se conocen como tratamiento primario, secundario, terciario y avanzado que agrupan diferentes

operaciones unitarias físicas, químicas o biológicas. La tabla 5 es un resumen de la conceptualización de estos niveles.

Tabla 5.
Niveles de tratamiento de aguas residuales.

Nivel de Tratamiento	Descripción
Pretratamiento o Tratamiento Preliminar	Eliminación de componentes de aguas residuales, como trapos, palos, partículas flotantes, arena y grasa que pueden causar problemas de mantenimiento u operativos con las operaciones de tratamiento, los procesos y los sistemas auxiliares.
Primario	Eliminación de una parte de los sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas residuales. Para un tratamiento más avanzado, a veces se añaden productos químicos.
Secundario	Eliminación de materia orgánica biodegradable (en solución o suspensión) y sólidos suspendidos, así como eliminación de nutrientes (nitrógeno, fósforo o ambos).
Terciario	Eliminación de sólidos suspendidos residuales (después del tratamiento secundario), generalmente mediante filtros de medio granular, filtros de tela o micropantallas. La desinfección también suele ser parte del tratamiento terciario.
Avanzado	Eliminación de materiales disueltos y suspendidos que quedan después del tratamiento biológico normal cuando se requiere para diversas aplicaciones de reutilización de agua.

Fuente: Adaptado de (Metcalf & Eddy, 2014).

3.3.2. Métodos de tratamiento de aguas residuales

Los componentes que se encuentran en las aguas residuales se eliminan por medios físicos, químicos y biológicos. Los métodos individuales suelen clasificarse como procesos unitarios físicos, químicos y biológicos. Estos procesos se dan en diversas combinaciones en los sistemas de tratamiento, para lograr un porcentaje de remoción adecuado a las aguas a tratar. La siguiente clasificación es definida por Metcalf & Eddy en su libro *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento y Reutilización de Residuos* publicado en el año 2014.

Métodos físicos

Los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas se conocen como procesos unitarios físicos. A continuación, se presentará una tabla resumen (tabla 6) con procesos unitarios físicos típicos en tratamiento de

aguas residuales y su función; posterior a ello, se describirán a profundidad algunos de ellos.

Tabla 6.

Procesos unitarios físicos típicos usados para tratamiento de aguas residuales.

Operación	Aplicación	Dispositivo
Cribado Grueso	Eliminación de sólidos gruesos como palos, trapos y otros desechos en aguas residuales sin tratar mediante intercepción (filtración superficial).	Cribado de barras
Cribado Fino	Eliminación de partículas pequeñas.	Cribado fino
Cribado Micro	Eliminación de sólidos finos, materia flotante y algas.	Microcribado
Trituración	Molienda en corriente de sólidos gruesos para reducir el tamaño.	Trituradora
Mezclado	Mezcla de productos químicos con aguas residuales y para homogeneizar y mantener sólidos en suspensión.	Mezclador rápido
Floculación	Promueve la agregación de partículas pequeñas en partículas más grandes para mejorar su eliminación por sedimentación por gravedad.	Floculador
Sedimentación	Eliminación de sólidos sedimentables.	Clarificador primario Clarificador de alta velocidad
	Espesamiento de sólidos y biosólidos.	Espesador por gravedad
	Sedimentación Acelerada: Eliminación de arena.	Cámara de desarenadores
	Sedimentación Acelerada: Eliminación de arena y sólidos gruesos.	Separador de vórtice
Flotación	Eliminación de sólidos suspendidos finamente divididos y partículas con densidades cercanas a la del agua; también espesa los biosólidos. Eliminación de aceite y grasa.	Flotación por aire disuelto (DAF) Flotación por aire inducido
Filtración	Eliminación de sólidos en suspensión.	Filtros de profundidad Filtros de Superficie
	Filtración por membrana: Eliminación de sólidos en suspensión y coloidales y materia orgánica e inorgánica disuelta.	Ósmosis inversa y otros sistemas de membrana

Fuente: Adaptado de (Metcalf & Eddy, 2014).

- **Cribado**

Un cribado, o rejilla, es un dispositivo con aberturas, generalmente de tamaño uniforme, que se utiliza para retener sólidos de gran tamaño que se encuentran en las aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento o en sistemas combinados de recolección de aguas residuales sujetos a desbordes, especialmente de aguas pluviales.

Figura 1.
Ejemplo de rejilla utilizada en plantas de tratamiento de aguas residuales.

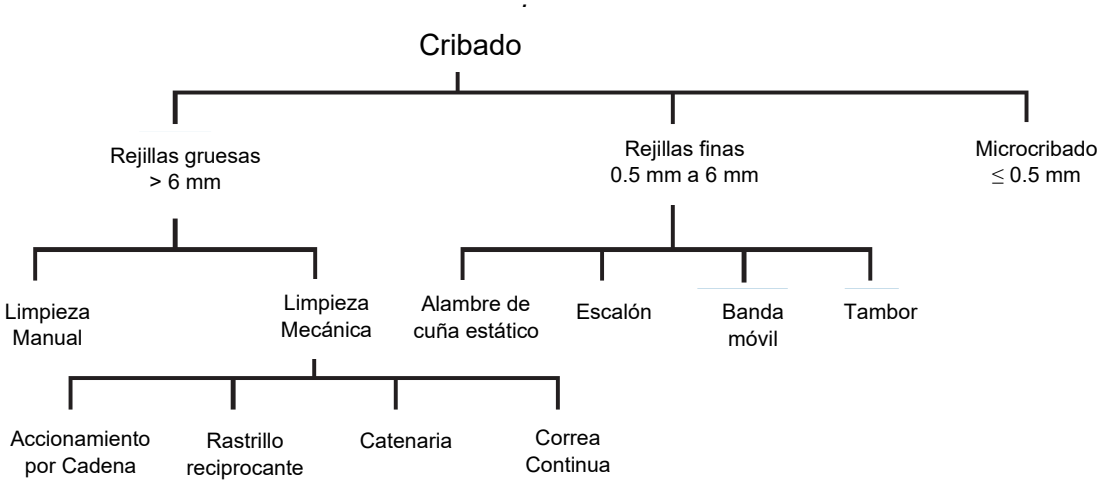


Fuente: (SYNERTECH Water Resource, 2024).

El cribado se clasifica con base al tipo de rejilla a utilizar como se observa en la figura 2, que muestra también algunos dispositivos utilizados en ese tipo de cribado. En el caso de la figura 1, la rejilla es una rejilla manual para cribado grueso, utilizada para recolección de desechos sólidos grandes como palos, botellas, hojas, plásticos, y demás objetos que puedan encontrarse arrastrados por el flujo de agua. Se limpia mediante un rastrillo diseñado con base a la separación de sus dientes.

Figura 2.

Clasificación general de los tipos de tamices utilizados en el tratamiento de aguas residuales.



Fuente: (Metcalf & Eddy, 2014)

La tabla 7 muestra diferentes dispositivos de cribado y sus características, así como el nivel de tratamiento en el que usualmente se utilizan.

Tabla 7.

Descripción de dispositivos de cribado utilizados en el tratamiento de aguas residuales.

Tipo de Dispositivo de Cribado	Superficie de Cribado			Medio de Cribado	Aplicación
	Clasificación por Tamaño	Rango de Tamaño			
		Pulgadas	mm		
Inclinado (fijo)	Medio	0,01-0,1	0,25-2,5	Tamiz de malla de acero inoxidable	Tratamiento Primario
Tambor (Rotativo)	Grueso	0,1-0,2	2,5-5,0	Tamiz de malla de acero inoxidable	Pretratamiento
	Medio	0,0,-0,1	0,25-2,5		Tratamiento Primario
	Fino	0,00024-0,0014	0,006-0,035	Telas de malla de acero inoxidable y poliéster	Eliminación de sólidos suspendidos secundarios residuales

Tipo de Dispositivo de Cribado	Clasificación por Tamaño	Superficie de Cribado Rango de Tamaño Pulgadas	mm	Medio de Cribado	Aplicación
Horizontal Reciprocante	Medio	0,06-0,17	1,6-4,0	Barras de acero inoxidable	Desbordes de alcantarillado combinados/aguas pluviales
Tangencial	Fino	0,0475	1,2	Malla de acero inoxidable	Desborde de alcantarillados combinados

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2014).

Para el cribado grueso y medio se utilizan en su mayoría dispositivos fijos como son las rejillas de barras. La tabla 8 muestra valores típicos de diseño para rejillas de barras según su tipo de limpieza.

Tabla 8.

Información típica de diseño para rejilla de barras de limpieza manual y mecánica.

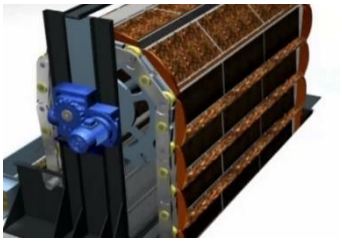
Parámetro		Unidades Inglesas			Unidades del SI		
		UM	Método de Limpieza		UM	Método de Limpieza	
			Manual	Mecánico		Manual	Mecánico
Tamaño de la Barra	Ancho	Pulg.	0,2-0,6	0,2-0,6	mm	5-15	5-15
	Prof.	Pulg.	1,0-1,5	1,0-1,5	mm	25-38	25-38
Espacio Libre entre Barras		Pulg.	1,0-2,0	0,6-3,0	mm	25-50	15-75
Inclinación con la Vertical		°	30-45	0-30	°	30-45	0-30
Velocidad de Aproximación	Máx.	ft/s	1,0-2,0	2,0-3,25	m/s	0,3-0,6	0,6-1,0
	Mín.	ft/s		1,0-1,6	m/s		0,3-0,5
Pérdidas Admisibles		Pulg.	6	6-24	mm	150	150-600

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2014).

Por otro lado, las aplicaciones de las mallas finas abarcan un amplio espectro e incluyen el tratamiento preliminar (después de las mallas de barras gruesas), el tratamiento primario (como sustituto de los clarificadores primarios) y el tratamiento de desbordes de alcantarillado combinados. Las mallas finas también se pueden utilizar para eliminar sólidos del efluente primario que podrían causar problemas de obstrucción en los filtros percoladores o las membranas de los biorreactores de membrana. También se pueden utilizar para eliminar sólidos de las corrientes de flujo de lodos antes de un tratamiento adicional de los lodos (biosólidos).

Las mallas finas que se utilizan para el tratamiento preliminar son mallas de alambre estático (fijas), mallas de tambor rotatorio, mallas de cinta transportadora y mallas de tipo escalonado. Normalmente, las aberturas varían de 0,2 a 6,0 mm (0,01 a 0,25 pulgadas). Sus características son reflejadas en la tabla 9.

Tabla 9.
Dispositivos de mallas finas utilizados en pretratamiento de aguas residuales.

Tipo de Dispositivo	Características	Imagen Referencia
Mallas de Alambre en Cuña Estáticas	Aberturas libres de 0,2 a 1,2 mm (0,01 a 0,06 pulgadas). Diseñado para caudales de aproximadamente 400 a 1200 L/m^2-min (10 a 30 gal/ft^2-min). Pérdidas de carga varían de 1,2 a 2 m (4 a 7 pies). Consiste en pequeñas barras de acero inoxidable en forma de cuña con la parte plana de la cuña orientada hacia el flujo.	**Figura 3.** *Criba de alambre en cuña estática.* 
Mallas de Alambre en Cuña de Tambor	El medio de cribado o de filtrado se monta sobre un cilindro que gira en un canal de flujo. Los residuos se acumulan en la superficie interna. Características de diseño mostradas en Tabla 3.5.	**Figura 4.** *Tambor rotatorio.* 
Cribas de Banda Móvil	Se utilizan para el cribado fino de aguas residuales de entrada en obras de cabecera o para efluentes secundarios antes de los sistemas de membrana terciarios. A medida que la banda de paneles de la pantalla gira, los desechos recolectados en el interior de la pantalla se elevan por encima del nivel de la cubierta mediante elevadores.	**Figura 5.** Criba de Banda 

Tipo de Dispositivo	Características	Imagen Referencia
Rejilla Escalonada	Consta de dos conjuntos de placas verticales delgadas en forma de escalones, una fija y otra móvil. Rangos normales de aberturas entre las placas de la pantalla son de 3 a 6 mm (0,12 o 0,24 pulgadas). Utilizada también para la eliminación de sólidos de lodos sépticos, lodos primarios o biosólidos digeridos.	**Figura 6.** Banda Escalonada 

Fuente: Adaptado de (Metcalf & Eddy, 2014).

Pese que el cribado se utiliza mayormente en pretratamiento y se encarga de reducción de partículas sólidas que puedan presentar problemas y obstrucciones a lo largo del tratamiento, por lo que por lo general su porcentaje de remoción de DBO y sólidos se considera despreciable, en el tamizado fino se obtienen ciertos porcentajes de remoción de éstos que se ven reflejados en la tabla 10.

Tabla 10

Porcentajes típicos de remoción en cribado fino utilizado en aguas residuales.

Tipo de Criba	Tamaño de Orificio		Porcentaje de Remoción	
	Pulgadas	mm	DBO	SST
Parabólico Fijo	0,0625	1,6	5-20	5-30
Tambor Rotatorio	0,01	0,25	25-50	25-45

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2014).

- **Sedimentación**

Sedimentación o bien llamada separación por gravedad. El objetivo del tratamiento por sedimentación es eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y el material flotante que se encuentra en las aguas residuales y, de esta manera, reducir el contenido de sólidos suspendidos. La sedimentación primaria es típicamente el primer paso en el procesamiento posterior de las aguas residuales después de la eliminación de sólidos gruesos y arena.

Su función es separar por decantación o sedimentación las partículas suspendidas en el agua cruda después de la captación con el fin de evitar el

taponamiento y/o deterioro de las tuberías, válvulas y accesorios de las siguientes fases de depuración de aguas. Gracias a la acción de la fuerza que ejerce la gravedad a la masa de las partículas de arena que se encuentran contenidas en el agua cruda y a la baja velocidad horizontal de las mismas, estas partículas se precipitan y depositan al fondo de la unidad, separándose del agua cruda. La tabla 11 muestra los tipos de sedimentación según el comportamiento de sus partículas.

Tabla 11.

Tipos de fenómenos gravitacionales utilizados en el tratamiento de aguas residuales.

Tipo de Sedimentación	Características de los Sólidos en Suspensión	Descripción del Proceso	Ejemplos
Sedimentación de Partículas Discretas	Partículas discretas y aislada en soluciones diluidas.	No hay interacción entre las partículas y entre las partículas y el resto del fluido.	Movimiento de sedimentación de partículas en desarenadores o presedimentadores.
Sedimentación Floculenta	Partículas aglomerables en soluciones relativamente diluidas.	Las partículas se aglomeran agrupándose en partículas de mayor tamaño.	Sedimentación de flóculos en decantadores horizontales o de placas.
Sedimentación Retardada	Soluciones de concentración intermedia.	Las partículas interfieren entre sí en su descenso manteniendo posiciones estables.	Deposición de lodos en decantadores de flujo ascendente.
Sedimentación Compresión	Soluciones de alta concentración.	Se forma una estructura entre las partículas que va modificándose lentamente con el tiempo.	Compactación de depósito de lodos.

Fuente: Adaptada de (Metcalf & Eddy, 2014).

En el caso preciso de los desarenadores, *García, (2010*,) en su conferencia titulada Tratamientos Preliminares: Físicos, define a estos equipos como tanques de flujo continuo utilizados para separar arenas, y otros sólidos discretos de

densidad superior a la del líquido cloacal. Estos tanques deben ser diseñados de tal manera que se separen las arenas del líquido residual, pero sin remover los sólidos orgánicos que están suspendidos en el agua. El parámetro principal para el diseño de los tanques desarenadores es la velocidad horizontal del flujo a través de la unidad que debe estar entre 0,15 y 0,3 m/s, independientemente de las variaciones de gastos, para garantizar su funcionamiento adecuado.

La Autoridad Nacional del Agua, ANA, (anteriormente INAA), propone en el documento "Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales" los siguientes parámetros para el diseño de un desarenador de flujo horizontal reflejados en la tabla 12.

Tabla 12.
Información para el diseño de desarenadores de flujo horizontal.

Parámetro	Valores	
	Intervalos	Típicos
Tiempo de Retención, s	45 - 90	60
Velocidad Horizontal, m/s	0,24 – 0,40	0,30
Velocidad de Sedimentación para la eliminación de:		
Malla 65, m/min(1)	0,95-1,25	1,15
Malla 106, m/min(1)	0,60-0,90	0,75
Relación Largo:Ancho	2,5:1-5:1	
Relación Ancho:Profundidad	1:1-5:1	
Cargas Superficial, m^3/m^2-d	700-1600	
Incremento de Longitud por Turbulencia en la Entrada y Salida	2 hm-0,5 L	

Hm = Profundidad máxima del desarenador
L = Longitud teórica del desarenador
(1) = Si el peso específico de la arena es substancialmente menor que 2.65, deben usarse velocidades inferiores.
Fuente: (Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), 2016).

- **Mezclado**

La mezcla es una operación unitaria importante en muchas fases del tratamiento de aguas residuales, que incluye:

- Mezcla completa de una sustancia con otra
- Combinación de líquidos miscibles
- Floculación de partículas de aguas residuales
- Mezcla continua de suspensiones líquidas
- Transferencia de calor

La mayoría de las operaciones de mezcla en aguas residuales se pueden clasificar como continuas-rápidas (menos de 30 s) o continuas (es decir, en curso). La tabla 13 es una tabla resumen de dispositivos utilizados en mezcla continua-rápida y continua.

El *mezclado continuo-rápido* es utilizado para la mezcla de sustancias. Las principales aplicaciones incluyen mezclado de químicos con aguas residuales, mezclado de líquidos inmiscibles, y adición de químicos a lodos y biosólidos para mejorar sus características para la eliminación de agua.

Por otra parte, el *mezclado continuo* se usa cuando el contenido de un reactor o un tanque deben ser mantenidos en suspensión, como en los tanques de ecualización, lagunas aireadas, procesos de tratamiento biológicos de crecimiento suspendido y digestores aeróbicos. Dos aplicaciones muy importantes incluyen la floculación y el mantenimiento de material en suspensión.

Tabla 13.
Dispositivos utilizados en mezcla continua-rápida y mezcla continua en aguas residuales.

Dispositivo de Mezclado	Tiempo Común de Mezclado, s	Aplicación/Observaciones
Dispositivos de Mezcla y Combinación		
Mezcladores Estáticos en Línea	≤ 1	Se utilizan para productos químicos que requieren una mezcla instantánea, como alumbre (Al^{3+}), cloruro férrico (Fe^{3+}), polímero catiónico, cloro (Cl_2).
Mezcladores en Línea	≤ 1	
Mezclador de Inducción de Alta Velocidad	≤ 1	
Chorros de Agua Presurizados	≤ 1	Se utilizan en la práctica de tratamiento de agua y para aplicaciones de agua recuperada.
Mezcladores de Turbina	2-20	Se utilizan en reactores de retromezcla para mezclar alumbre en aplicaciones de flóculos de barrido. El tiempo real depende de la configuración del recipiente en el que se realiza la mezcla. Mezcla de productos químicos en tanques de alimentación de solución.
Bombas	≤ 1	Los productos químicos por mezclar se introducen en la entrada de succión de la bomba.

Dispositivo de Mezclado	Tiempo Común de Mezclado, s	Aplicación/Observaciones
Otros Dispositivos de Mezcla Hidráulicos	1-10	Saltos hidráulicos, vertederos, canales Parshall, etc.
Mezcla Continua		
Aireadores Mecánicos	Continuos	Se utilizan para proporcionar oxígeno y mantener los sólidos suspendidos del licor mixto en suspensión en procesos de tratamiento biológico de crecimiento suspendido.
Mezcladores Hiperboloides	Continuos	Se utilizan para mantener los sólidos suspendidos del licor mixto en suspensión en procesos de tratamiento biológico de crecimiento suspendido
Mezclador Neumático	Continuos	Se utiliza para proporcionar oxígeno y mantener los sólidos suspendidos del licor mixto en suspensión en procesos de tratamiento biológico de crecimiento suspendido

Fuente: Adaptado de (Metcalf & Eddy, 2014).

Métodos químicos

Los métodos de tratamiento en los que la eliminación de componentes se produce mediante la adición de productos químicos o mediante otras reacciones químicas se conocen como procesos unitarios químicos.

La precipitación, la transferencia de gases, la adsorción y la desinfección son los ejemplos más comunes utilizados en el tratamiento de aguas residuales. La tabla 14 es una tabla resumen de métodos químicos utilizados en el tratamiento de aguas residuales.

Tabla 14.
Aplicaciones de los procesos unitarios químicos en el tratamiento de aguas residuales.

Proceso	Aplicación
Procesos Avanzados de Oxidación	Eliminación de compuestos orgánicos refractarios.
Coagulación Química	Desestabilización química de partículas en aguas residuales para provocar su agregación durante la floculación pericinética y ortocinética.

Proceso	Aplicación
Desinfección Química	Desinfección con cloro, compuestos de cloro, bromo y ozono. Control del crecimiento de biopelículas en alcantarillas. Control de olores.
Neutralización Química	Control del pH.
Oxidación Química	Eliminación de DBO, grasa, etc. Eliminación de amonio. Destrucción de microorganismos. Control de olores en alcantarillas, estaciones de bombeo y plantas de tratamiento. Eliminación de compuestos orgánicos resistentes.
Precipitación Química	Eliminación mejorada de sólidos suspendidos totales y DBO en instalaciones de sedimentación primaria (tratamiento primario mejorado químicamente, TPMQ). Eliminación de fósforo. Eliminación de amonio. Eliminación de metales pesados. Tratamiento fisicoquímico. Control de corrosión en alcantarillas por H_2S.
Control de Incrustaciones Químicas	Control de incrustaciones por carbonato de calcio y compuestos relacionados.
Estabilización Química	Estabilización de efluentes tratados.
Intercambio Iónico	Eliminación de amonio (NH_4^{+1}), metales pesados, sólidos disueltos totales. Eliminación de compuestos orgánicos.

Fuente: Adaptado de (Metcalf & Eddy, 2014).

Métodos biológicos

La siguiente información es planteada por Metcalf y Eddy en la quinta edición de su libro "*Ingeniería de tratamiento de aguas residuales y recuperación de recursos",* publicado en el año 2014.

Los métodos de tratamiento en los que la eliminación de componentes se produce mediante la actividad biológica se conocen como procesos unitarios biológicos. El tratamiento biológico se utiliza principalmente para eliminar las sustancias orgánicas biodegradables coloidales o disueltas que se encuentran en las aguas residuales. Básicamente, estas sustancias se convierten en gases que pueden

escapar a la atmósfera, o bien tejido celular biológico que se puede eliminar mediante sedimentación u otro proceso de separación de sólidos.

El tratamiento biológico también se utiliza para eliminar el nitrógeno y el fósforo de las aguas residuales. Con un control ambiental adecuado, las aguas residuales se pueden tratar biológicamente en la mayoría de los casos.

Los principales procesos biológicos utilizados para el tratamiento de aguas residuales se pueden dividir en dos categorías principales:

- ***procesos de crecimiento suspendido***, los microorganismos responsables del tratamiento se mantienen en suspensión líquida mediante métodos de mezcla adecuados. Muchos procesos de crecimiento suspendido utilizados en el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales para la biodegradación de sustancias orgánicas se realizan con oxígeno disuelto (aeróbico) o con utilización de nitrato/nitrito (anóxico), pero existen aplicaciones en las que se utilizan reactores anaeróbicos (sin presencia de oxígeno) de crecimiento suspendido. El proceso más común utilizado para el tratamiento de aguas residuales municipales es el de lodos activados.

- En los ***procesos de crecimiento adherido***, los microorganismos responsables de la conversión de materia orgánica o nutrientes se adhieren a un material de relleno inerte. El material orgánico y los nutrientes se eliminan de las aguas residuales que fluyen más allá del crecimiento adherido, también conocido como biopelícula. Los materiales de relleno utilizados en los procesos de crecimiento adherido incluyen roca, grava, escoria, arena, secuoya y una amplia gama de plásticos y otros materiales sintéticos. Los procesos de crecimiento adherido también pueden operar como procesos aeróbicos o anaeróbicos.

Por otro lado, los tratamientos biológicos también se clasifican según el tipo de microorganismos usados en ellos y las condiciones del medio en el que habite el microorganismo. Estos son tratamiento aeróbico, anóxico y anaeróbico. Así mismo existen tecnologías que presentan combinaciones entre ellos.

- Tratamiento Aeróbico: Los procesos aerobios se basan en la eliminación de los contaminantes orgánicos por su transformación en biomasa bacteriana con la ayuda de oxígeno (que actuará como aceptor de electrones en el proceso de oxidación), CO_2 y H_2O. En ellos el aire siempre está presente en sus condiciones y parámetros de funcionamiento.

- Tratamientos Anóxicos: Los sistemas anóxicos son aquellos en los que el aceptor final de electrones no es el oxígeno, ni tampoco la materia orgánica. Cuando se producen las llamadas condiciones anóxicas suelen ser los nitratos o los sulfatos, entre otros, los aceptores finales. La aplicación de este tipo de metabolismo permite una eliminación biológica del nitrógeno del agua residual (desnitrificación).
- Tratamiento Anaerobio: Los sistemas de tratamiento anaerobios se basan en un proceso biológico el cual es operado y controlado bajo condiciones anóxicas (sin aire) en el que se transforma de manera efectiva la DQO, DBO y SSV en una pequeña cantidad de biomasa y en biogás (producción de energía).

La tabla 15 presenta un resumen de los principales métodos biológicos utilizados en el tratamiento de aguas residuales y su uso.

Tabla 15.
Principales procesos de tratamiento biológico utilizados para el tratamiento de aguas residuales.

Tipo	Nombre Común	Uso
Procesos Aeróbicos		
Crecimiento Suspendido	Procesos de lodos activados	Eliminación de DBO carbonosa, nitrificación.
	Lagunas aireadas	Eliminación de DBO carbonosa, nitrificación.
	Digestión aeróbica	Estabilización, eliminación de DBO carbonosa.
	Biorreactor de membrana	Eliminación de DBO carbonosa, nitrificación.
	Proceso de nitrificación	Nitrificación.
Crecimiento Adherido	Filtros biológicos aireados Biorreactor de lecho móvil Reactores de lecho empacado Contactores biológicos rotativos Filtros percoladores	Eliminación de DBO carbonosa, nitrificación.
Procesos Híbridos	Filtro percolador/lodos activados Lodos activados de película fija integrada (IFAS)	Eliminación de DBO carbonosa, nitrificación.
Procesos Anaeróbicos		
	Procesos de contacto anaeróbico	Eliminación de DBO carbonosa.

Tipo	Nombre Común	Uso
Crecimiento Suspendido	Digestión anaeróbica	Estabilización, destrucción de sólidos, eliminación de patógenos.
	Proceso Anammox	Desnitrificación, eliminación de amoníaco.
Crecimiento Adherido	Lecho anaeróbico empacado y fluidizado	Eliminación de DBO carbonosa, estabilización de desechos, desnitrificación.
Manto de Lodos	Manto de lodos anaeróbicos de flujo ascendente	Eliminación de DBO carbonosa, especialmente desechos de alta resistencia.
Híbrido	Manto de lodos de flujo ascendente/crecimiento adherido	Eliminación de DBO carbonosa.
Procesos de Lagunaje		
Lagunas Aeróbicas	Lagunas aeróbicas	Remoción de DBO carbonosa, nitrificación.
Lagunas de Maduración (Terciarias)	Lagunas de maduración (terciarias)	Remoción de DBO carbonosa, nitrificación.
Lagunas Facultativas	Lagunas facultativas	Remoción de DBO carbonosa.
Lagunas Anaeróbicas	Lagunas anaeróbicas	Remoción de DBO carbonosa (estabilización de residuos).

Adaptado de: (Metcalf & Eddy, 2014).

A continuación, se describirán a profundidad algunos de los procesos mencionados anteriormente en la tabla 15.

- **Lodos Activados**

(Metcalf & Eddy, 2014) lo definen de la siguiente manera:

El proceso básico de tratamiento con lodos activados consta de tres componentes básicos: un reactor en el que los microorganismos responsables del tratamiento se mantienen en suspensión y se airean; una unidad de separación de líquidos y sólidos, normalmente en un tanque de sedimentación; y un sistema de reciclado para devolver los sólidos extraídos de la unidad de separación de líquidos y sólidos al reactor.

El proceso de lodos activados y sus varias modificaciones pueden ser empleados para conseguir varios grados de remoción de sólidos suspendidos y reducción de

la Demanda Bioquímica de Oxígeno de cinco días (DBO_5). La selección del proceso más adecuado depende del tamaño de la planta propuesta, los tipos de aguas residuales por tratar, el grado anticipado de operación y mantenimiento, y los costos de operación. En la mayoría de los casos, el proceso de lodos activados se emplea junto con procesos físicos y químicos que se utilizan para el tratamiento preliminar y primario de las aguas residuales y el tratamiento posterior, que incluye la desinfección y, posiblemente, la filtración. La tabla 16 muestra características y porcentajes típicos en lodos activados.

Tabla 16.

Características y porcentajes de remoción de cada modificación de lodos activados.

Modificación al Proceso	Modelo de Flujo	Sistemas de Aireación	Eficiencia en Remoción de DBO, (%)
Convencional	Flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	85-95
Completamente Mezclado	Flujo continuo reactor agitado	Aire difuso, aireadores mecánicos	85-95
Aireación Escalonada	Flujo pistón	Aire difuso	85-95
Aireación Modificada	Flujo pistón	Aire difuso	60-75
Estabilización por Contacto	Flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	80-90
Aireación Extendida	Flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	75-95
Aireación de Alta Tasa	Flujo continuo reactor agitado	Aireadores mecánicos	85-95
Oxígeno Puro	Flujo continuo reactores en serie agitados	Aireadores, mecánicos	85-95
Zanja de Oxidación	Flujo pistón	Aireador mecánico (tipo eje horizontal)	75-95
Reactor SBR	Flujo intermitente reactor agitado	Aire difuso	85-95

Fuente: (Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), 2016).

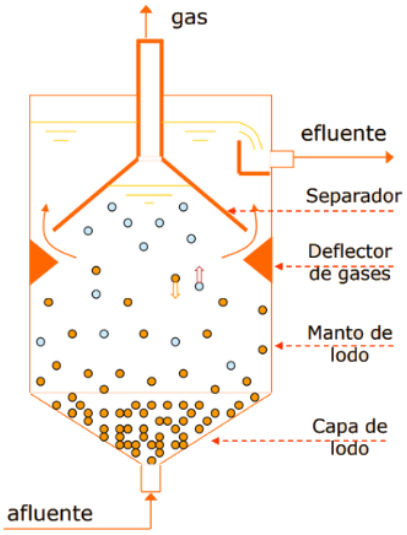
- **Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (UASB, RAFA, DAFA)**

(Bardales, 2014) caracteriza a los reactores UASB de la siguiente manera:

- No posee material inerte como soporte para la biomasa.
- La inmovilización de los microorganismos ocurre por auto adensamiento (formación de flóculos o gránulos densos suspendidos, que se disponen en capas de lodo a partir del fondo del reactor).
- El flujo es ascendente y pasa a través del lecho de lodo denso.
- La estabilización de la materia orgánica ocurre en todas las zonas del reactor.
- En la parte superior se ubica un sedimentador para evitar la salida de partículas de lodo con el efluente.
- Debajo del sedimentador existe un dispositivo de separación de los gases.

La figura 7 refleja el interior típico de un reactor UASB

Figura 7.
Vista interior reactor UASB.



Fuente: (Bardales, 2014).

Su tiempo de retención hidráulica se encuentra definido con la ecuación 6 anteriormente mencionada. La tabla 17 muestra los rangos de TRH con base a la temperatura presente en el reactor. Por otro lado, pueden esperarse rendimientos de entre 50%-70% para remoción de DQO (Garcia, 2021).

Tabla 17.

Tiempos de retención hidráulicos aplicados a diferentes rangos de temperatura.

Rangos de Temperatura °C	Valores de TRH (h)		
	Promedio Diario	Máximo Durante 4-6 horas	Pico Aceptable Durante 2-6 horas
16-19	> 10-14	> 7-9	> 3-5
22-26	> 7-9	> 5-7	> ±3
> 26	> 6	> 4	> 2,5

Fuente: (Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), 2016).

- **Lagunas Anaeróbicas**

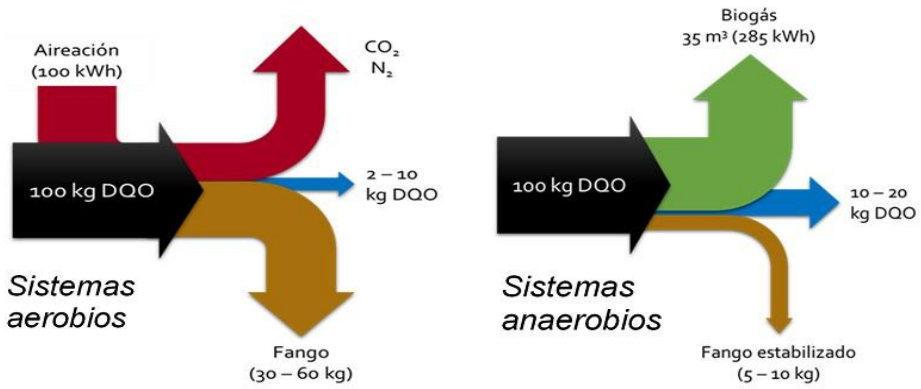
Las lagunas anaerobias, usualmente combinadas con las lagunas facultativas (sistema australiano), constituyen una excelente alternativa para el tratamiento de aguas negras en países tropicales. Sus principales características son las siguientes:

- Debido a los grandes volúmenes y las elevadas profundidades, no hay necesidad de la remoción sistemática de lodos.
- Debido a las grandes áreas, las lagunas generalmente son descubiertas, habiendo la posibilidad de emanación de malos olores y de proliferación de insectos.

En la siguiente figura (fig. 8) se puede observar la diferencia más significativa entre los sistemas anaeróbicos y los aeróbicos, y es su baja producción de lodos y su poco requerimiento energético debido a la nula aireación.

Figura 8.

Comparación de sustratos y productos en los sistemas aerobios y anaerobios.



Fuente: (Blog del Agua, 2021)

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) (2016) refiere que debido a las altas cargas que soporta este tipo de unidad de tratamiento y a las eficiencias reducidas, se hace necesario el tratamiento posterior, generalmente por unidades de laguna facultativas en serie, para alcanzar el grado de tratamiento requerido. Usualmente se utiliza la serie anaeróbica, facultativa y de maduración, la cual se encarga también de la necesidad de una reducción apreciable de bacterias cuando hay poca área. Esta misma propone los siguientes criterios de diseño:

- Para que se presenten condiciones de funcionamiento anaeróbicas, la carga orgánica superficial debe de estar muy por encima de 1000 kg DBO_5/ha-d.
- La carga orgánica volumétrica máxima, para temperaturas mayores de 20ºC, es de 300 g DBO_5/m^3-d; si se determina que el factor de olores no es de consideración, se puede incrementar a 400 g DBO_5/m^3-d. Para temperaturas menores de 20º C, la carga volumétrica máxima es de 200 g DBO_5/m^3-d.
- Los tiempos de retención hidráulica a usarse estarán en función de la temperatura del agua y de la eficiencia de remoción requerida.
- Su profundidad debe de estar entre 2,5 y 5,0 m.

Al ser un proceso anaerobio, su control de parámetros es mucho más estricto, destacando los siguientes según Acosta & Abreu, 2005:

- Temperatura: No ocurrencia de variaciones bruscas de temperatura. Se encuentra un óptimo de funcionamiento alrededor de los 35°C.
- Acidez: Determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, habiéndose encontrado que el valor óptimo de pH oscila entre 6,6 y 7,6, que se logra a través de parámetros de proceso o de la adición de nutrientes.
- Contenido en sólidos: Se suele operar en mejores condiciones con menos de un 10% de sólidos, lo que explica que la biomasa más adecuada sea la de alto contenido en humedad.
- Nutrientes: Para el crecimiento y la actividad de las bacterias, éstas tienen que disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales.
- Existencia de cantidades de N y P en el residuo, compatibles con la cantidad de carbono.

Existe una amplia diversidad de criterios acerca de cuál es la relación óptima que debe existir entre la materia orgánica a degradar (carbono) y la cantidad de los principales macronutrientes en un proceso anaerobio, dependiendo ésta en gran medida del tipo de sustancias de que esté compuesta esta agua residual. Como regla general, se plantea que debe ser cercana a 100:1,75:0,25 en base a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Acosta & Abreu, 2005).

Las tablas 18 y 19 muestran diferentes porcentajes de remoción de DBO según características específicas.

Tabla 18.

Eficiencia de lagunas anaeróbicas en función del período de retención para T > 20ºC.

Período de Retención, (d)	Reducción de DBO_5 (%)
1,0	50
2,5	60
5,0	70

Fuente: (Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), 2016).

Tabla 19.

Relación entre la temperatura, período de retención y eficiencia en lagunas anaeróbicas.

Temperatura, (ºC)	Período de Retención, (d)	Remoción de DBO_5, (%)
10-15	4-5	30-40
15-20	2-3	40-50
20-25	1-2	50-60
25-30	1-2	60-70

Fuente: (Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), 2016).

- **Lagunas Facultativas**

Las lagunas no son más que excavaciones realizadas en un terreno para el tratamiento de aguas residuales Son estructuras diseñadas para detener dichas aguas un período apreciado de tiempo, donde se realizan y se controlan los procesos naturales de degradación de la materia orgánica biodegradable.

Estas lagunas poseen una zona aeróbica superior y una anaeróbica inferior. En la práctica, el oxígeno se mantiene en la capa superior por la presencia de algas, el intercambio superficial de oxígeno o por aireadores artificiales (mecánicos) (Vázquez, 2016).

La Autoridad Nacional de Agua (ANA) (2016) define los siguientes parámetros a considerar a la hora del diseño de estas lagunas:

- El tiempo de retención hidráulico para lagunas facultativas deberá estar dentro de un rango de 5 a 30 días.

- Para evitar el crecimiento de plantas acuáticas con raíces en el fondo, la profundidad de las lagunas deberá estar por encima de 1,20 m. La profundidad varía entre 1,50 y 2,50 m siendo la profundidad mínima recomendada igual a 1,50 m.

Son muchos los factores que afectan la funcionalidad de las lagunas, sea aerobia, anaerobia, facultativa y de maduración. Dentro de los más destacables están los siguientes:

- Calidad del agua a tratar: El agua a tratar define el diseño de la laguna y sus parámetros según su carga orgánica contaminante.

- Intensidad de la luz solar: La luz solar constituye una fuente de energía para algunos de los procesos biológicos de la laguna y determina su estructura térmica. La cantidad de luz se mide como la cantidad de energía que incide en el área donde se lleva a cabo la fotosíntesis.

- Viento: El viento interviene en el proceso de autodepuración en las lagunas al provocar una mezcla y generar corrientes verticales del agua. Así, el oxígeno disuelto presente en la superficie es llevado a las capas más profundas. También la dispersión del agua residual y de los microorganismos en toda la laguna ocurre por el mismo efecto.

- Nubosidad: "*La nubosidad se refiere a la cantidad de nubes presentes en el cielo en un momento y lugar determinado. Esta puede variar desde un cielo despejado hasta completamente nublado, influyendo en aspectos climáticos y meteorológicos*." (Studysmarter, s.f.)

- Precipitación pluvial: Precipitación es cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre (sea lluvia, nieve o granizo). Por precipitación pluvial refiere por lluvias.

- Infiltración y evaporación: La infiltración y evaporación disminuyen el volumen de agua contenida en una laguna. Ambos factores están íntimamente ligados con las condiciones climáticas y geológicas locales, en especial con la temperatura, el viento, la humedad del aire y el tipo de suelo.

- Temperatura: La temperatura del líquido en la laguna es probablemente uno de los parámetros importantes en la operación de esta y, por lo general, se

encuentra dos o tres grados arriba de la temperatura ambiente. La producción óptima de oxígeno se obtiene a los 20°C, los valores límites son 4°C y 35°C.

- Material disuelto y suspendido: Los compuestos se pueden encontrar en forma disuelta o suspendida. Las bacterias incorporan las sustancias orgánicas disueltas en sus cuerpos que posteriormente liberan al morir. El material suspendido tiende a sedimentar generando una acumulación en el fondo el cual, con los movimientos del agua pueden suspenderse y descomponerse biológicamente al mezclarse.

- Dióxido de carbono y pH: Durante las primeras horas del día, los valores de pH son bajos (menores de 7) debido al exceso de CO_2 producido por la respiración bacteriana aerobia durante la noche; de las 14:00 a 16:00 horas, el pH se eleva ya que las algas se encuentran en plena actividad fotosintética. Durante la noche el pH vuelve a declinar porque las algas dejan de consumir CO_2 y porque continúa la producción de CO_2 por la respiración de las bacterias.

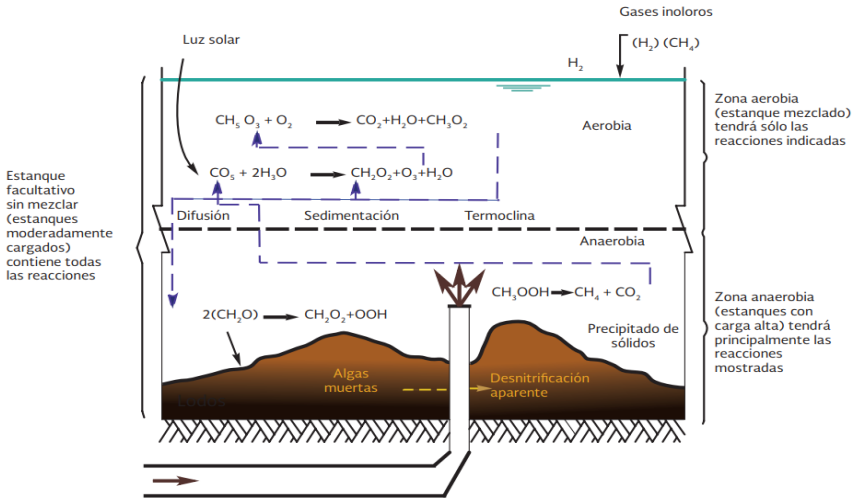
- Fósforo: El fósforo está presente como ion fosfato o en complejos orgánicos. Algunos fosfatos son altamente solubles en agua, en particular cuando el oxígeno está presente. El fósforo es un nutriente limitante y su adición ayuda a mejorar los problemas ocasionados por una baja biodegradación.

- Nitrógeno: El nitrógeno está presente como $N\text{-}N_2$, $N\text{-}NO_2^-$, $N\text{-}NO_3^-$, $N\text{-}NH_4^+$ y en diversas formas orgánicas. Proviene de la precipitación, del suelo y del agua residual misma, pero su disponibilidad está regulada por los procesos biológicos. Varios tipos de bacterias y algas azul verdes fijan el N_2 en forma orgánica, incorporándolo en el ciclo de nutrientes. El nitrógeno debe estar disponible en relación con la materia orgánica para no volverse un limitante del crecimiento.

En la figura 9 se presentan las reacciones y procesos producidos en una laguna de estabilización facultativa.

Figura 9.

Diagrama simplificado del proceso de degradación de la materia orgánica en una laguna.



Fuente: (Comisión Nacional del Agua, México, 2014).

- **Lagunas de Maduración**

Las lagunas de maduración se caracterizan como lagunas aeróbicas, donde se mantiene un ambiente aeróbico en todo su estrato. El propósito principal de las lagunas de maduración es proveer un período de retención hidráulica adicional para la remoción de los patógenos; también el de mejorar la calidad del efluente en términos de DBO.

Además de la desinfección, la laguna de maduración tiene también otras funciones. Entre las principales son:

- Conversión del nitrógeno amoniacal
- Eliminación de nutrientes
- Clarificación del efluente
- Consecución de un efluente bien oxigenado

A continuación, la tabla 20 es una tabla resumen de clasificación de todos los tipos de sistemas de laguna en base a su carga orgánica y su profundidad.

Tabla 20.

Clasificación de lagunas de estabilización.

Tipo	Carga Superficial (Kg DBO_5/ha-d)	Profundidad (m)
Como Lagunas Primarias		
a) Aerobia	< 100	< 1,5
b) Facultativa	200 – 1 000	1,3
c) Anaerobia	> 1 500	> 2,5
Como Lagunas Secundarias		
a) Aerobia	< 200	< 2,0
b) Facultativa	300 – 1 200	1,5 – 3,0
c) Anaerobia	> 1 800	> 2,5
Como Lagunas de Maduración		
a) Aerobias	< 300	< 2,0
b) Facultativas	400 - 800	1,5 – 2,5

Fuente: (Asamblea Nacional de Nicaragua, 1998).

- **Diferentes combinaciones de tecnologías de tratamiento**

Para que una planta de tratamiento de aguas residuales pueda lograr su objetivo principal de depurar estas aguas, debe de estar compuestas por varias tecnologías que, en base al propósito de cada una de ellas, le ayude alcanzar el valor adecuado según cada parámetro de calidad del agua. Las siguientes tablas (tablas 21 y 22) reflejan los porcentajes de remoción alcanzadas por distintas tecnologías según el parámetro a evaluar, y las distintas combinaciones de estas tecnologías para alcanzar el mejor porcentaje de remoción de carga orgánica.

Tabla 21.

Eficiencia de remoción de los diferentes procesos de tratamientos.

Tratamiento	Porcentaje de Remoción (%)					
	DBO_5	DQO	SS	Coliformes Termotolerantes	P	N
Tratamiento Preliminar Pretratamiento	15-30	10-20	15-30	10-25		
Decantación Primaria	25-40		50-70	25-75		0-10
Efluente Primario + Cloración				99		
Fosas Sépticas o Tanques Imhoff	40-60	40-70	37-85	10-90	0-10	3-5

Tratamiento	Porcentaje de Remoción (%)					
	DBO_5	DQO	SS	Coliformes Termotolerantes	P	N
Lodos Activados (Aireación Prolongada)	75-95	70-90	83-99	90	40-70	40-60
Lodos Activados (Convencional)	85-95		85-92	90-98	40-70	40-60
Lechos Bacterianos	80-90	70-92	90-99			
Efluentes Secundario + cloración				98-99		
Lagunas Aerobias	70-95	40-70	70-90	99-99.99	40-60	55-85
Lagunas Facultativas	70-85	40-70	50-90	99-99.99		
Lagunas Anaerobias	40-80	40-60	60-80	40-60		
Humedales de Flujo Superficial Libre (Lagunas con Macrófitos)	70-90	40-80	60-80	90-98	40-70	40-60
Humedal Subsuperficial	70-95	70-90	90-99	70-90	85-91	90-96
Biodiscos	70-97		75-97	75-97	85-91	90-96
Filtro Verde (Irrigación)	90-99	90-95	95-100	95-100	85-90	90-96
Filtro Verde (Escorrentía)	92-96	60-70	95	95	85-91	90-96
Infiltración - Percolación	80-99	70-80	95	95	25-40	30-95

Fuente: (Asamblea Nacional de Nicaragua, 2006).

Tabla 22.

Combinaciones de diferentes tecnologías de depuración.

Sistemas de Tratamientos para Aguas Residuales Domésticas	Sistemas de Tratamientos para Aguas Residuales de Tipo Industrial
a. Tanque Séptico + Campo de Absorción	a. Pretratamiento + Tanque Séptico + Filtro Anaerobio (FAFA) + Campo de Absorción
b. Tanque Séptico + Filtro Anaerobio + Campo de Absorción	b. Pretratamiento + Tanque Séptico + Biofiltro
c. Pretratamiento + Tanque Séptico + Biofiltro	c. Pretratamiento + Tanque Imhoff + Biofiltro
d. Pretratamiento + Tanque Imhoff + Biofiltro	d. Pretratamiento + UASB + Filtro Percolador
e. Pretratamiento + USASB + Filtro Percolador	e. Pretratamiento + UASB + Biofiltro

Sistemas de Tratamientos para Aguas Residuales Domésticas	Sistemas de Tratamientos para Aguas Residuales de Tipo Industrial
f. Pretratamiento + USASB + Laguna Aeróbicas g. Pretratamiento + UASB + Biofiltro h. Pretratamiento + Lodos Activados + Filtro de Grava i. Pretratamiento + Lodos Activados + Desinfección j. Pretratamiento + Lodos Activados + Biofiltro k. Pretratamiento + Lodos Activados + Lagunas Aerobias l. Pretratamiento + Lagunas Aerobias + Laguna Facultativa + Laguna de Maduración ó Pretratamiento + 2 facultativa en serie y una laguna de maduración m. Pretratamiento + Lagunas Facultativa + Lagunas Aerobias (Secundaria) + Laguna de Maduración n. Pretratamiento + Lagunas Facultativa + Lagunas Aerobias con Plantas Macrófitos o. Pretratamiento + Laguna anaerobia + Biofiltro	f. Pretratamiento + Lodos Activados g. Pretratamiento + Tratamiento Químico (Floculación – Precipitación) + Aireación + Lechos Filtrantes h. Pretratamiento + Lagunas Aerobias + Laguna Facultativa y/o Laguna aerobia i. Pretratamiento + Laguna Facultativa + Lagunas Aerobia con Plantas Macrófitos j. Pretratamiento + Digestor Anaerobio (Biodigestor) + Biofiltro

Fuente: (Asamblea Nacional de Nicaragua, 2006).

3.3.3. Manejo de residuos sólidos y lodos

Los componentes que se eliminan y/o producen en las plantas de tratamiento de aguas residuales incluyen residuos de desecho, arena, espuma, lodos y biosólidos. Los lodos y biosólidos (antes denominados colectivamente lodos) resultantes de los procesos de tratamiento de aguas residuales suelen presentarse en forma de líquido o líquido semisólido, que normalmente contiene entre un 0,25 y un 12% de sólidos en peso, según las operaciones y los procesos utilizados.

Fuentes generadoras de lodo y residuos sólidos

Las fuentes de lodos en una planta de tratamiento varían según el tipo de planta y su método de operación. Las principales fuentes de lodos y los tipos generados se indican en la tabla 23.

Tabla 23.

Fuentes de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales.

Operación o Proceso Unitario	Tipos de Residuo	Observaciones
Preaireación	Lodo de arena y espuma	En algunas plantas, no se proporcionan instalaciones de eliminación de espuma en los tanques de preaireación. Si los tanques de preaireación no están precedidos por instalaciones de eliminación de arena, la deposición de arena puede ocurrir en los tanques de preaireación.
Sedimentación Primaria	Lodo primario y espuma	Las cantidades de lodo y espuma dependen de la naturaleza del sistema de recolección y de si se descargan desechos industriales al sistema.
Tratamiento Biológico	Lodo secundario y espuma	Los sólidos suspendidos se producen por la conversión biológica de DBO. Puede requerirse alguna forma de espesamiento para concentrar la corriente de lodos residuales del tratamiento biológico.
Cribado	Residuos sólidos	Conformados por botellas, latas, bolsas, desechos orgánicos de tamaño considerable, y demás sólidos retenidos por las barras o mallas de cribado.
Desarenador	Residuos sólidos y arena	Conformado por la arena y demás partículas de tamaño considerable no retenidas por las barras de cribado.

Fuente: Adaptado de (Metcalf & Eddy, 2014).

En el caso de los residuos obtenidos del proceso de cribado y sedimentado, los métodos de eliminación de estos son los siguientes, donde el primer método de eliminación es el más utilizado:

1. Transporte a zonas de eliminación (vertederos), incluida la disposición conjunta con los residuos sólidos municipales.
2. Eliminación mediante enterramiento en el sitio de la planta (solo en instalaciones pequeñas).
3. Incineración, ya sea sola o en combinación con lodos y arena (solo en instalaciones grandes)
4. Descarga en trituradoras o maceradores, donde se muelen y se devuelven a las aguas residuales.

Para la eliminación de lodos, en caso de no ser tratados para su aprovechamiento o su posterior desecho, se secan al aire libre y se proceden a desechar a una unidad llamada laguna de secado de lodos, la cual es previamente acondicionada para recibirlos y así enterrarlos. Por otro lado, las alternativas para el tratamiento de lodos son las siguientes:

1. Espesamiento: Reducir el volumen de lodos a ser manejado en las subsecuentes unidades de procesamiento de lodos (digestores, equipos de deshidratación) y para reducir los costos de construcción y operación de los procesos posteriores. Es un proceso para reducir agua e incrementar el contenido de sólidos.
2. Estabilización: El propósito de la estabilización de lodos es reducir los patógenos, eliminar materiales que causen olores e inhibir, reducir y eliminar compuestos potenciales para ocasionar putrefacción.
3. Acondicionamiento: Los lodos concentrados mecánicamente y estabilizados biológica o químicamente requieren de acondicionamiento. El acondicionamiento de lodos puede involucrar el tratamiento físico o químico para mejorar la remoción de agua El acondicionamiento es realizada antes de eliminar el agua de los lodos.
4. Deshidratadores: Tal y como su nombre lo expresa, se encarga de eliminar el porcentaje hídrico remanente de los lodos para su mejor manejo.

3.4. Legislación para el Vertido de las Aguas Residuales Tratadas en un Cuerpo Receptor

Se han definido parámetros evaluativos, según la fuente de origen de las aguas residuales, al momento de liberar el efluente tratado al cuerpo hídrico más cercano. En el caso de Nicaragua, el vertido está regulado por el **Decreto Ejecutivo N° 21-2017** ***"Reglamento en el que se Establecen las Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales"***, el cual tiene por objeto establecer las disposiciones en materia de regulación del vertido de aguas residuales, mediante el establecimiento de límites o rangos máximos permisibles de vertidos, todo de conformidad al mandato de la ***Ley No. 217, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales y su Reglamento.***

Para la PTAR de Estelí, el Capítulo V titulado "*De los Vertidos Provenientes de Sistemas de Tratamiento a Cuerpos Receptores*" y sus Artos. 24 y 26 son los que se encargan de normarla y son con los que en su efluente final deben de ser comparados, ya que indicará la eficiencia de trabajo de la planta al cumplir con los requisitos expuestos en el decreto. Ambos articulos. exponen lo siguiente:

- *Artículo 24. Límite Permisible de Coliformes Termotolerantes*. El límite máximo permisible de Coliformes Termotolerantes se regirá por medio del principio de gradualidad, con el objetivo de lograr la aplicación de la mejor tecnología de practica disponible, para responder de manera progresiva a la disminución de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales, siempre y cuando el vertido no se deposite a cuerpos de agua donde se afecte la salud humana (manteniendo los rangos establecidos por el Ministerio de Salud). Se establecen los siguientes límites y periodos de tiempo en la tabla 24:

Tabla 24.

Decreto 21 - 2017, Arto. 24. Límite permisible de coliformes termotolerantes.

Período de Tiempo	2017-2022	2023-2026	2027-2029
Coliformes Termotolerantes	1×10^5	1×10^4	1×10^3

Fuente: (Asamblea Nacional de Nicaragua, 2017).

- *Artículo 26.* Los vertidos de las aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamiento a los cuerpos receptores deberán cumplir los rangos y valores máximos permisibles siguientes (tabla 25):

Tabla 25.

Decreto 21-2017, Arto. 26. Rangos y valores máximos permisibles para los vertidos de las aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamiento de tipo doméstico.

Parámetro	**Rangos y Valores Máximos Permisibles**
pH	6-9
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	80
Sólidos Sedimentables (mg/L)	1
Materia Flotante	Ausente
Aceites y Grasas Totales (mg/L)	15
DBO_5 (mg/L)	110
DQO (mg/L)	220
Nitrógeno Total (mg/L)	30
Fósforo Total (mg/L)	10

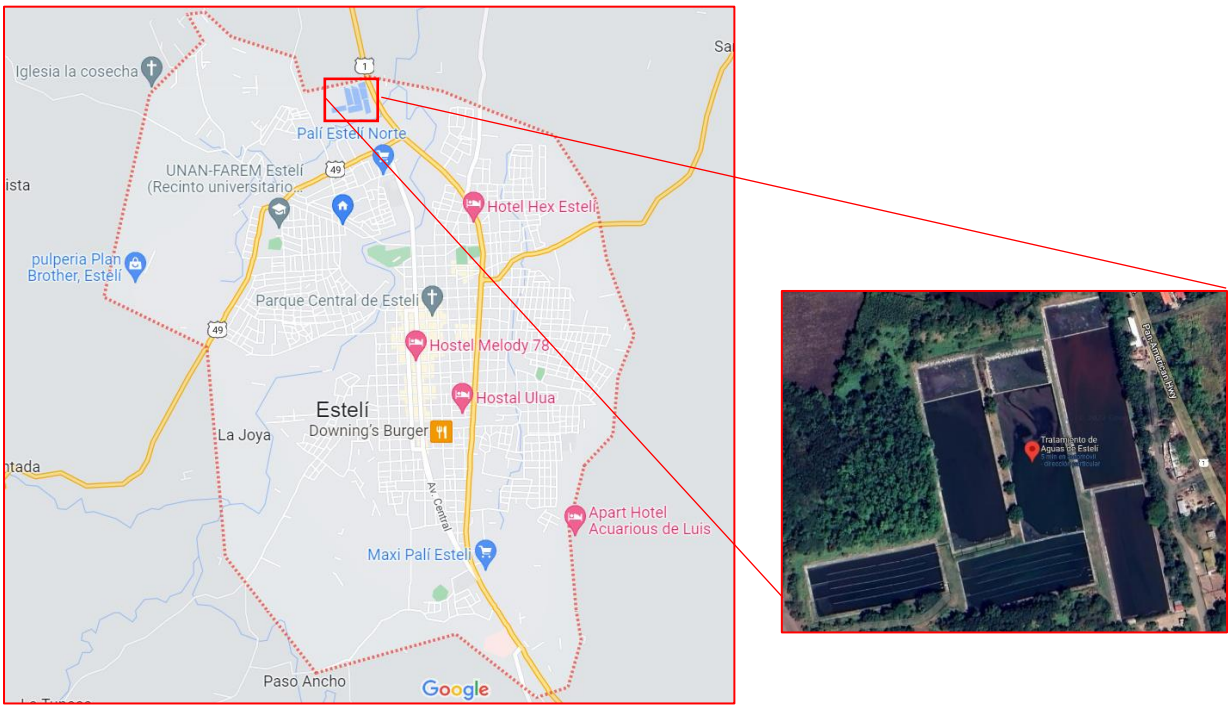
Fuente: (Asamblea Nacional de Nicaragua, 2017).

IV. IDENTIFICACIÓN DEL ENTORNO DE TRABAJO

El municipio de Estelí, ubicado en el departamento de Estelí, se encuentra en la zona norte del país, con un área superficial de 795,7 Km^2 y una población urbana estimada de 110 468 habitantes (SILAIS Estelí, 2022). Cuenta con una situación meteorológica similar a la del resto del país, donde sólo se presentan dos estaciones a lo largo del año que son invierno y verano. Por su elevación con respecto al nivel del mar (800 msnm) posee un clima fresco y agradable.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Estelí se encuentra en la salida norte de la ciudad, al lado de la Carretera Panamericana. En la figura 10 se visualiza su posición en el mapa con respecto a la ciudad y su vista aérea. Debido al crecimiento poblacional, cuenta con muchas viviendas a sus alrededores; a sus afueras se presenta un depósito de compra/venta de chatarra, un almacenamiento de verduras como tomates y cebollas y un negocio de vehículos de segunda mano.

Figura 10.
Mapa delimitado de la ciudad de Estelí con ubicación de la planta de aguas residuales y su vista aérea.



Fuente: Google Maps.

La PTAR de Estelí-recibe las aguas residuales de 61 barrios del casco urbano (aproximadamente 24 805 usuarios conectados a la Red de Alcantarillado Sanitario (RAS) según datos de ENACAL de febrero del año 2023. Su sistema de depuración ha pasado por varias modificaciones desde su creación, siendo el actual conformado por un pretratamiento seguido de tres módulos: A, B y C; cada uno diseñado para operar en paralelo, con las mismas configuraciones. Todos los módulos cuentan con una salida independiente de su efluente tratado y se unen en un solo vertido el cual es depositado en la Quebrada La Limonosa, que desemboca en el Río Estelí.

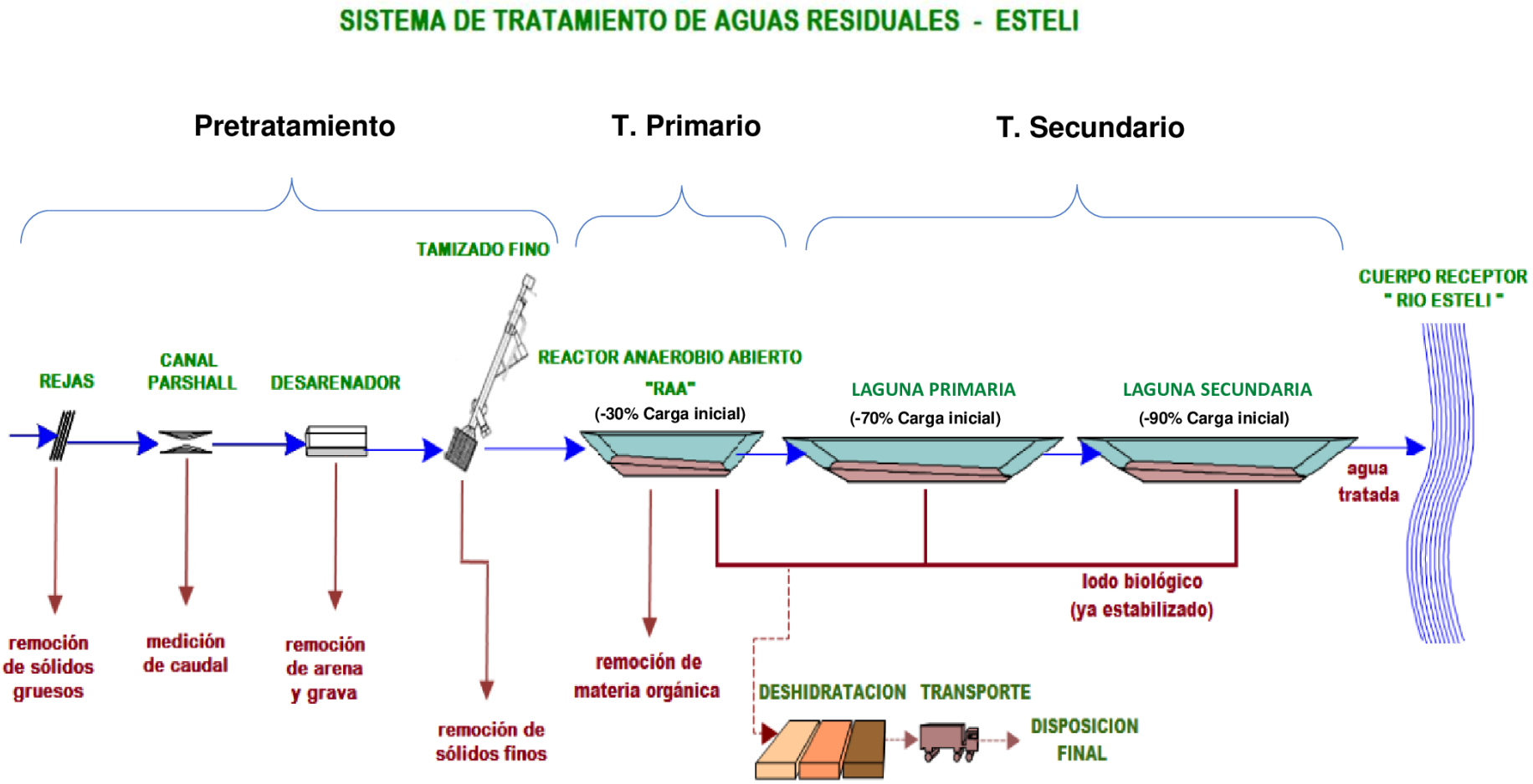
Los lodos producidos en el desarenador y las lagunas son depositados en lagunas de secado en la parte posterior de la planta destinada para cada uno por sus diferentes orígenes. Su caudal de diseño es de **25 920 m^3/d** o su equivalente en **300 L/s**. En la figura 11 se muestra un esquema tecnológico con la línea de agua y de lodos de la planta, y en la sección de anexos se encuentra el plano con vista de planta de todo el sistema de tratamiento.

4.1. Etapas de Tratamiento de PTAR – Estelí

4.1.1. Pretratamiento

Esta planta cuenta con un pretratamiento formado por dos rejillas para sólidos gruesos, un desarenador y un tamizado fino realizado por un tamiz rotatorio. Cabe destacar que, aunque forme parte de su estructura, el tamiz rotatorio no está bajo funcionamiento debido a averías en el equipo desde hace aproximadamente tres años, por lo que la fase de pretratamiento se ve reducida a dos rejillas para sólidos grandes, y un desarenador. Las características de estos equipos se ven reflejadas en la tabla 26.

Figura 11.
Diagrama de tecnologías usadas en la planta con referencia a cada módulo.



Fuente: (ENACAL, 2015).

Tabla 26.

Características principales de las unidades que conforman el pretratamiento.

Unidad	Características	Funcionamiento	Porcentaje de Remoción de DBO
Rejilla	- Varillas de acero inoxidable - ⅜" ángulo de inclinación de 45°. - Separación de 3,0 cm - Bandeja de desagüe de 1,0 m x 0,5 m - Orificios de ½" a cada 10 cm	Su objetivo es retener objetos voluminosos y en suspensión de un cierto tamaño que son arrastrados por el agua.	Despreciable
Desarenador	- De flujo horizontal - Dos canales de concreto para sedimentación - Ancho efectivo: 4,20 m - Longitud: 21,20 m. - Ancho de cada canal: 1,20 m	Consiste en provocar una reducción de la velocidad del agua por debajo de los límites de precipitación de los granos de la arena, pero por encima de los de sedimentación de la materia orgánica, con el fin de evitar depósitos de materia susceptibles de fermentación.	Hasta 5%
Tamiz Rotatorio	- Tamiz de tambor tipo ROTOMAT manufacturado por firma Alemana HUBERT. - Limpieza automática cuando el flujo desciende a cierto nivel límite. - Los residuos son lavados, prensados y transportados hasta un contenedor de manera automática.	Su objetivo es eliminar materia que por su tamaño pueda interferir en los tratamientos posteriores. EN DESUSO.	25%-50%

Fuente: (ENACAL, 2015).

Por otro lado, el área de pretratamiento también cuenta con un medidor de canaleta Parshall, el cual se encuentra luego de la rejilla y antes del desarenador. Si bien no es una unidad depuradora, este se encarga de medir el flujo entrante de agua al sistema y así llevar control de la capacidad de la planta. Tanto sus características como su método de lectura de caudal se encuentran definidos en las tablas 27 y 28 respectivamente.

Tabla 27.

Características de unidad medidora de caudal.

Unidad	Características	Funcionamiento
Canaleta Parshall	- De fibra de vidrio - Ancho de garganta W = 18"	Contabiliza la cantidad de agua entrante a la PTAR durante tres tomas al día y una vez al mes durante 24 horas.

Fuente: (ENACAL, 2015).

Tabla 28.

Unidad de medición de caudal canaleta Parshall y sus conversiones.

H (cm)	Caudal (L/s)	H (cm)	Caudal (L/s)	H (cm)	Caudal (L/s)
22	61	39	146	56	259
23	64	40	150	57	262
24	71	41	157	58	282
25	73	42	164	59	294
26	76	43	182	60	296
27	83	44	184	61	300
28	93	45	193	62	301
29	98	46	198	63	311
30	105	47	203	64	321
31	107	48	209	65	324
32	111	49	214	66	328
33	114	50	218	67	346
34	118	51	229	68	353
35	123	52	230	69	364
36	134	53	231	70	432
37	137	54	250		
38	141	55	256		

Fuente: (ENACAL, 2015).

Así mismo, cada unidad que conforma el pretratamiento posee su propio protocolo de operación y mantenimiento, definidos en el Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAR de Estelí y que serán expuestos a continuación en la tabla 29.

Tabla 29.

Protocolo de operación y mantenimiento del área de pretratamiento.

Unidad	Mantenimiento		Frecuencia
Rejilla Manual	Limpieza	Eliminar cualquier residuo sólido de gran tamaño, como piezas de madera, bolsas y botellas plásticas, trapos, etc.	Diario
		Limpiar y lavar cuantas veces sea necesario	Diario
Desarenador	Operación de compuerta - Inicio	Cerrar las compuertas en la entrada y salida del canal a limpiar para evitar la llegada de agua.	Una vez quincenal
	Abrir la válvula de drenaje	Se deberá abrir la válvula de 6”/150 mm que corresponde a la sección del canal de desarenador a limpiarse. Esta se ubica dentro de la caja de registro adherida al desarenador. Para ello existe una llave que permite la apertura y cierre de la válvula desde el nivel del suelo natural.	
	Limpieza de cámara de sedimentación	Desprender, remover y palear el material acumulado en el fondo y en las paredes de la cámara, utilizando rastrillo y pala. Continuar con esta acción permitiendo la evacuación de arena y lodos por la tubería de drenaje.	
		Raspar el fondo del canal y dejarlo completamente limpio.	
	Cerrar la válvula de drenaje	Una vez limpiado el canal se deberá cerrar la válvula de 6”/150 mm que estaba abierta	
	Operación de Compuerta - final	Cerrar la compuerta que está a la salida del desarenador limpiado y seguidamente la compuerta a la entrada para iniciar la operación de la unidad.	

Unidad	Mantenimiento		Frecuencia
		Repetir el mismo procedimiento en el otro canal desarenador.	
Tamiz Mecánico	Limpieza	Revisar el contenido de residuos, cambiarlo o vaciarlo.	Diario
		Tubería de inyección de aire y limpiar huecos con agua a presión	Semanal
		Abrir válvula de lavado de zona de prensado, y lavar con agua hasta que esta quede limpia.	Semanal
		Retirar material sedimentado que obstruya cesta de tamiz.	Semanal
		Obstrucciones del tornillo en la zona de descarga.	Mensual
	Lubricación	Rellenar el depósito de la bomba de engrase.	Mensual
		Cambio de aceite.	Después de 10 000 horas

Fuente: (ENACAL, 2015).

4.1.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario se realiza en un Reactor Anaeróbico Abierto (RAA) presente en los tres módulos. Aunque funciona como un reactor UASB por su profundidad y flujo, carece de su estructura, lo que causa mala distribución del caudal, mayor tiempo de retención y ausencia de recolección de biogás. En la figura 12 se puede observar la estructura del RAA al estar vacío, y cómo funcionan sus dos tecnologías híbridas, y en la tabla 30 las características que este posee.

Figura 12.
Estructura interna de un reactor anaerobio abierto (RAA).



Fuente: (ENACAL, 2015).

Tabla 30.

Características de reactor anaerobio abierto (RAA) como tratamiento primario.

Unidad	Características	Funcionamiento	Porcentaje de Remoción de M.O
RAA	- Tres unidades, con andenes y talud de concreto. - RAA "A", largo: 30,64 m; ancho: 62,65 m; profundidad.: 4,0 m. - RAA "B", largo: 32,80 m; ancho: 56,23 m; profundidad: 4,0 m. - RAA "C", largo: 30,64 m; ancho: 62,65 m; profundidad: 4,0 m.	Laguna anaerobia intensificada, con contacto mejorado entre el lodo anaerobio sedimentado y el efluente, como es realizado también en el reactor UASB. Para este fin los desagües crudos ingresan por debajo, ascendiendo hasta la superficie donde el efluente es captado en una canaleta construida al borde del estanque y conducido hasta la laguna secundaria.	30%-50%

Fuente: (ENACAL, 2015).

En la actividad con alta metanogénesis es indispensable seguir el protocolo de operación y mantenimiento (tabla 31), ya que, si bien los malos olores por la presencia de biogás no pueden ser eliminados del todo, si puede ser disminuidos con el mantenimiento adecuado.

Tabla 31.

Protocolo de operación y mantenimiento para los reactores anaerobios abiertos.

Unidad	Mantenimiento		Frecuencia
Reactor Anaerobio Abierto	Limpieza	Vertedero de ingreso norte de los RAA y material que queda retenido en las orillas sobre los RAA (con pascón y pala).	Diario
		Extraer material flotante a orillas del espejo de agua del RAA.	Diario
		Tubería de ingreso al RAA con sonda manual (1 hora).	Semanal
		Limpieza de salidas laterales del RAA.	Semanal
		Verificar el nivel de acumulación de lodos.	Semestral

	Extracción de Lodos	Cuando el nivel de acumulación de lodos superé un estrato mayor a los 0,5 m de altura, esta se deberá limpiar por vía húmeda.	Anual

Fuente: (ENACAL, 2015).

4.1.3. Tratamiento secundario

Para este tipo de tratamiento, la PTAR cuenta con un sistema de dos lagunas en serie por cada módulo, siendo ambas una laguna facultativa y una de maduración y llamadas laguna primaria (LP) y secundaria (LS) respectivamente.

El manual de operaciones y mantenimiento de la PTAR de Estelí caracteriza a su tratamiento secundario de la siguiente manera:

- La *laguna primaria (LP)* recibe la mayor carga orgánica, favoreciendo el crecimiento de bacterias y microalgas que forman lodo. Este lodo sedimenta junto con la materia orgánica del RAA y se descompone en el fondo, transformándose en sedimentos mineralizados, dióxido de carbono y otros gases.

- La *laguna secundaria (LS)* recibe el efluente de la primaria con menor carga, usando bafles para mejorar la mezcla y aumentar la remoción de patógenos. Su salida sumergida reduce la presencia de algas, mejorando la calidad del efluente.

A continuación, la tabla 32 caracteriza las lagunas anteriormente descritas.

Tabla 32.
Caracterización de unidades que conforman el tratamiento secundario.

Unidad	Características	Funcionamiento	Porcentaje de Remoción de Materia Orgánica
Laguna Primaria	- Tres unidades, andenes y taludes de concreto. - LP "A", largo: 61,75 m; ancho: 155,03 m; profundidad: 2,0 m. - LP "B", largo: 53,00 m; ancho: 151,84 m; profundidad: 2,0 m. - LP "C", largo: 57,00 m; ancho: 151,37 m; profundidad: 2,0 m.	Degradación del material orgánico restante del tratamiento en el RAA por la acción de bacterias aerobias y facultativas.	60-80

Unidad	Características	Funcionamiento	Porcentaje de Remoción de Materia Orgánica
Laguna Secundaria	- Tres unidades, andenes y taludes de concreto. - LS "A", largo: 52,75 m; ancho: 135,00 m; profundidad: 1,4 m. - LP "B", Largo: 48,00 m; ancho: 130,50 m; profundidad: 1,4 m. - LP "C", largo: 51,30 m; ancho: 132,37 m; profundidad: 1,40 m.	Consiste en provocar una reducción de la velocidad del agua por debajo de los límites de precipitación de los granos de la arena, pero por encima de los de sedimentación de la materia orgánica, con el fin de evitar depósitos de materia susceptibles de fermentación.	80-90

Fuente: (ENACAL, 2015).

La planta definió para las lagunas los siguientes procesos de mantenimiento y operación (tabla 33), donde el sistema de lagunaje se encuentra conformado por las lagunas anteriormente descritas.

Tabla 33.

Protocolo de operación y mantenimiento para el tratamiento secundario.

Unidad	Mantenimiento		Frecuencia
Sistema de Lagunas	Limpieza de Espejo de Agua	Remover natas, grasas y sólidos flotantes con un desnatador.	Diario/mensual
	Taludes	Inspeccionar la condición de los taludes y reparar de inmediato los daños encontrados.	Semanal
	Extracción de Lodos	Verificar el nivel de acumulación de lodos. En ambas lagunas, cuando el nivel de acumulación de lodos supere un estrato mayor a los 0,5 m de altura, esta se deberá limpiar.	Cada 2 años LP: Cada 5 años LS: Cada 10 años
	Vectores	Mantener libre de animales y roedores, sobre todo de las tortugas que obstruyen el drenaje normal.	Tres veces por semana o, sea necesario
	Chapoda	Mantener limpio de vegetación y maleza en los alrededores de las lagunas, al igual que los caminos interiores.	Mensual en verano; invierno cada 15 días

Fuente: (ENACAL, 2015).

V. METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología implementada para el cumplimiento de los objetivos previamente enunciados.

5.1. Eficiencia de Remoción del Sistema de Tratamiento de las Aguas Residuales de Estelí

5.1.1. Muestreo de aguas residuales de la PTAR-Estelí

La realización de los muestreos fue con el propósito de conocer el cumplimiento que tiene el sistema de tratamiento con respecto a los parámetros normados en los Artículos 24 y 26 del Decreto 21-2017 y conocer el comportamiento de las que tiene cada módulo para remover los contaminantes presentes. Así mismo, se hizo un estudio de datos históricos de la empresa con base al comportamiento de caudales de entrada y salida de aguas residuales.

Frecuencia de muestreo

Debido a múltiples factores (autorización de ENACAL y recursos económicos) el presente estudio fue realizado en el periodo junio-agosto del año 2023, ’efectuando dos muestreos fisicoquímicos. El primer muestreo fue realizado el día 13 de junio del 2023 en conjunto con ENACAL como parte del cumplimiento del Decreto 21-2017 donde establece hacer un muestreo de control a la PTAR cada 6 meses. El muestreo constaba de dos muestras compuestas (entrada y salida).

En el segundo muestreo, fue efectuado el jueves 24 de agosto del 2023, tomándose muestras compuestas a todas las unidades de tratamiento que conforman la PTAR. Estas muestras fueron analizadas en los laboratorios de Ingeniería Ambiental de la FIQ-UNI y del PIENSA-UNI.

Definición de puntos de muestreo

La PTAR de Estelí consta de tres módulos que trabajan en paralelo y cada uno posee las mismas tecnologías de depuración entre sí. La figura 13 muestra la ubicación de los puntos de muestreos según cada unidad de tratamiento para un módulo hipotético (puede ser A, B o C); desde la entrada al sistema hasta la salida del efluente ya tratado. La tabla 34 explicita a que punto de muestreo corresponde cada letra que se presenta en la figura 13.

Figura 13.
Ubicación de puntos de muestreos siguiendo línea de agua de un módulo respectivo.

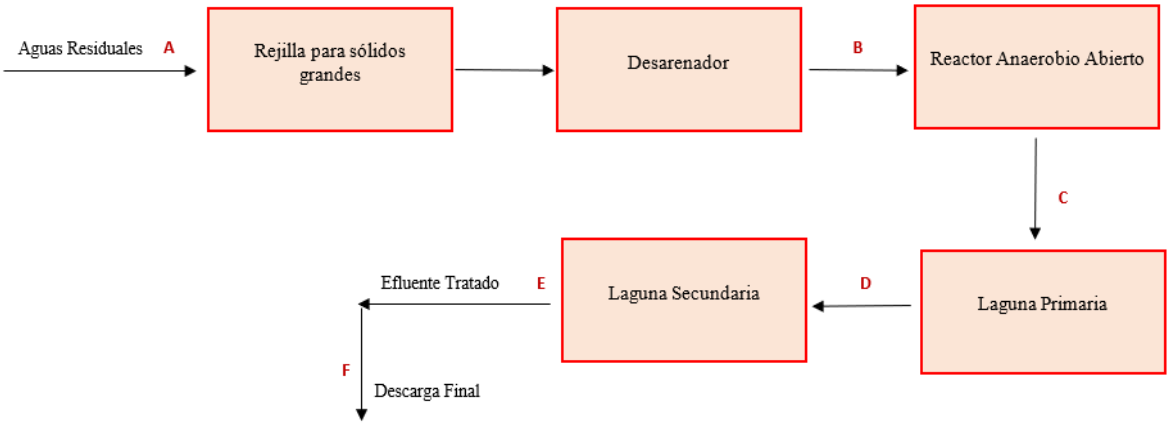


Tabla 34.
Descripción de puntos de muestreo en PTAR – Estelí.

Punto	Ubicación
A	Entrada a la PTAR
B	Salida del Desarenador
C 1,2,3	Salida del Reactor Anaerobio Abierto del Módulo Respectivo
D 1,2,3	Salida de Laguna Primaria del Módulo Respectivo
E 1,2,3	Salida de Laguna Secundaria del Módulo Respectivo
F	Salida Final

Caracterización de la muestra

Para el primer muestreo realizado en conjunto con ENACAL solo se obtuvieron dos muestras, en el punto A y punto F, correspondientes a la entrada y salida del sistema. Estas dos muestras fueron muestras compuestas captadas en un período de 24 horas como está estipulado para la caracterización de los parámetros normados en los Artículos 24 y 26 del Decreto 21-2017.

Para el segundo muestreo, se realizaron pruebas compuestas a todas las unidades de la PTAR, siendo los puntos A y F de 24 horas y las muestras del resto de los puntos de 10 horas. El período de muestreo fue decidido para los puntos A y F como el período reglamentario definido en la normativa de ENACAL para análisis de aguas residuales (24 h) y su comparación con los valores normados en los Artos. 24 y 26 del Decreto 21-2017. Para los demás puntos se realizó un

muestreo de menos horas debido a que su estudio es para caracterizar el estado general de las aguas en cada unidad de depuración.

La cuantificación de estas muestras por muestreo realizado está definida en la tabla 35.

Tabla 35.
Cuantificación de muestras por ubicación y muestreo.

Punto	Ubicación	Numero de Muestras	
		Muestreo 1	Muestreo 2
A	Entrada a la PTAR	1	1
B	Salida del Desarenador		1
C 1,2,3	Salida del Reactor Anaerobio Abierto del Módulo Respectivo		3
D 1,2,3	Salida de Laguna Primaria del Módulo Respectivo		3
E 1,2,3	Salida de Laguna Secundaria del Módulo Respectivo		3
F	Salida final	1	1
Total por Muestreo		2	12

En el caso del segundo muestreo, las 12 muestras se dividieron en dos lotes: el primero destinado al laboratorio de UNI-PIENSA, y el segundo para el laboratorio de UNI-FIQ. Las pruebas realizadas están descritas en la tabla 36.

Parámetros fisicoquímicos y biológicos evaluados

Las características fisicoquímicas que se analizaron son las mismas que se describen en las tablas 24 y 25 (Artos. 24 y 26 Decreto 21-2017) anteriormente mencionadas, sin embargo, dado que se analizó también el funcionamiento de cada unidad, se consideraron otros parámetros de vital importancia para cada operación o proceso unitario, como lo es la alcalinidad y los sólidos totales. Los análisis hechos se presentan en la tabla 36.

Tabla 36.
Definición de parámetros fisicoquímicos a realizar y sus métodos de medición.

N°	Parámetro	Tipo Muestra	Laboratorio
1	pH	Simple	In situ
2	Alcalinidad	Compuesta	UNI-FIQ

3	DBO	Compuesta	UNI-PIENSA
4	DQO	Compuesta	UNI-FIQ
5	Sólidos Suspendidos Totales	Compuesta	UNI-FIQ
6	Sólidos Sedimentables	Simple	UNI-FIQ
7	Sólidos Totales	Compuesta	UNI-FIQ
8	Grasas y Aceites	Compuesta	UNI-PIENSA
9	Coliformes Termotolerantes	Compuesta	UNI-PIENSA
10	Nitrógeno Total	Compuesta	UNI-PIENSA
11	Fósforo Total	Compuesta	UNI-PIENSA

Para el primero muestreo, los parámetros analizados fueron los establecidos en los Artículos 24 y 26 del Decreto 21-2017. En el caso del segundo muestreo, en la tabla 37 se exponen las pruebas realizadas a cada punto de muestreo definido.

En el caso del desarenador, al ser más un proceso físico que químico, es decir, no involucra de ningún tipo de reacción, se hicieron todos los análisis a excepción de la alcalinidad, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno y fósforo totales.

Tabla 37.

Definición de pruebas fisicoquímicas según el punto de muestreo propuesto.

Punto	Ubicación	Pruebas Por Realizar
A	Entrada a la PTAR	Todos
B	Salida del Desarenador	Todos excepto 2-4,10-11
C 1,2,3	Salida del RAA del Módulo Estudiado	Todos
D 1,2,3	Salida de Laguna Primaria del Módulo Estudiado	Todos
E 1,2,3	Salida de Laguna Secundaria del Módulo Estudiado	Todos
F	Salida Final	Todos

Cálculo de eficiencia de remoción

La eficiencia de remoción fue calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\%remoción = \frac{concentración\ inicial - concentración\ final}{concentración\ inicial} * 100 \quad (8)$$

5.2. Condiciones Hidráulicas de la PTAR

En la determinación de las cargas contaminantes de cada corriente, se midieron los caudales en cada módulo y se identificó la distribución de agua (si es homogénea para todos los módulos o existe una diferencia notoria sobre quien recibe más agua.)

Los caudales fueron calculados a través de la medición de la velocidad media de flujo por un molinete. Se realizaron las mediciones tres veces a la semana por seis semanas, iniciando la semana del primer muestreo (tabla 38) teniendo un promedio de velocidades por semana y el cálculo de área del canal o tubería utilizado para la medición. Los puntos de medición fueron la entrada y salida de la PTAR, la entrada a cada módulo y las salidas de cada tecnología del sistema (tabla 39).

Tabla 38.
Cronograma de medición de caudales.

Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
12 junio-16 junio	10 julio-14 julio	31 julio-4 agosto	7 agosto-11 agosto	14 agosto-18 agosto	21 agosto-25 agosto

Tabla 39.
Puntos de medición de caudales.

Puntos de Medición	
Entrada	Salida Laguna 1B
Salida Desarenador	Salida Laguna 2B
Entrada módulo A	Entrada módulo C
Salida Reactor A	Salida Reactor C
Salida Laguna 1A	Salida Laguna 1C
Salida Laguna 2A	Salida Laguna 2C
Entrada módulo B	Salida General
Salida Reactor B	

Se evaluó de igual manera el comportamiento de la canaleta Parshall en la entrada de la planta mediante comparación con los datos obtenidos por medición con molinete. Cabe destacar que el molinete estaba previamente calibrado por los operarios de ENACAL y también fue aforado mediante el método del flotador para comprobar la certeza de sus datos.

Con los resultados fisicoquímicos y caudales, se calcularon parámetros como carga contaminante (CC), tiempo de retención hidráulico (τ) y carga superficial

aplicada (CSA) para evaluar el funcionamiento de cada unidad. No fue posible calcular el tiempo de retención de sólidos ni cuantificar el lodo en las lagunas por políticas internas y falta de personal.

$$CC\ (masa/tiempo) = Concentración\ C\ \left(\frac{masa}{volumen}\right) \times Caudal\ Q\ \left(\frac{volumen}{tiempo}\right) \quad (9)$$

$$Tiempo\ de\ Retención\ Hidráulica\ \tau = \frac{Volumen}{Caudal\ Q} = \left(\frac{volumen}{\frac{volumen}{tiempo}}\right) = \ tiempo \quad (10)$$

$$CSA\ \left(\frac{kgDBO_5}{ha*d}\right) = Carga\ Contaminante\ \left(\frac{masa}{tiempo}\right) \div area\ superficial \quad (11)$$

5.3. Operación y Mantenimiento del Proceso de la PTAR Evaluada

También se efectuó la revisión del manual de operación y mantenimiento y la bitácora de los operarios de la planta lo cual permitió constatar si el mantenimiento y operación dentro de la PTAR se realiza adecuadamente y cumple con lo establecido, o si existen modificaciones con respecto a lo que indica el manual. A través del análisis observacional se examinó la condición actual de las unidades con respecto al mantenimiento, y el tratamiento que se le daba a los residuos generados después de realizado el mantenimiento.

Así mismo, se entrevistó a cada operario para comprobar cada una de sus funciones dentro de la planta y por análisis observacional determinar cómo realizan sus actividades de operación y mantenimiento. Se hizo jornadas de dos a tres días por semana, de cinco horas, ya que el horario establecido por la empresa para los trabajadores es de 8:00 AM a 2:00 PM.

También se constató el estado actual de las infraestructuras con respecto a su vida útil y si éstas, de haber averías o deterioro, eran correctamente reportadas, reparadas, y en caso de ameritarlo, reemplazadas.

VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este acápite se presentan los resultados obtenidos de cada una de las tareas definidas anteriormente por cada objetivo y su análisis.

6.1. Eficiencia en la Remoción de Contaminantes

6.1.1. Cumplimiento de parámetros de vertido con la legislación pertinente

La tabla 40 muestra de los resultados obtenidos en ambos muestreos para la entrada y salida de la PTAR y su comparación con los parámetros normados en los Artículos 24 y 26 del Decreto 21-2017. Además, se muestran los porcentajes de remoción obtenidos en cada muestreo. En el caso del primer muestreo, realizado por ENACAL, no se obtuvieron datos de pH, DBO, grasas y aceites, y nitrógeno total debido a averías en los equipos que realizan las pruebas.

Tabla 40.
Comparación de resultados de muestreos 1 y 2 con parámetros normados de los Artos 24 y 26 del Decreto 21-2017.

Parámetro	Artos 24 y 26 Decreto 21-2017	Muestreo 1 (ENACAL)			Muestreo 2		
		Entrada General	Salida General	Porcentaje de Remoción	Entrada General	Salida General	Porcentaje de Remoción o Incremento
pH*	6-9	-	-	-	8,20	7,85	-
DBO	110	-	-	-	270	90	67%
DQO	220	493,27	205,58	58%	302	140	54%
Solidos Suspendidos Totales	80	197	30	85%	252	60	76%
Solidos Sedimentables	1	2,50	nd	100%	2,25	nd	100%
Aceite y Grasas	15	-	-	-	45,60	13,60	70%
Coliformes Termotolerantes**	$1,0 \times 10^4$	$1,3 \times 10^8$	**$1,4 \times 10^6$**	99%	$4,7 \times 10^7$	**$2,8 \times 10^6$**	94%
Nitrógeno Total	30	-	-	-	25,20	**30,24**	-20%
Fósforo Total	10	6,56	5,65	14%	5,50	2,50	55%

*Sin unidades de medida.
** Unidades de medida para todos los parámetros de mg/L, a excepción de coliformes termotolerantes expresadas en NMP/100mL

Los resultados muestran que en ambos muestreos la PTAR cumple con los parámetros propuestos en los Artículos 24 y 26 del Decreto 21-2017 a excepción de los coliformes termotolerantes que, aunque exista un porcentaje de remoción mayor al 90%, el sistema de tratamiento no logra eliminar las coliformes lo cual está contribuyendo a la contaminación fecal del cuerpo receptor. A continuación, se muestra una descripción más detallada de cada parámetro estudiado.

- DBO: En el segundo muestreo, la DBO del efluente (90 mg/L) está por debajo del límite del Artículo 26, con una eficiencia de remoción del 67%. Sin embargo, esta eficiencia es inferior al 80-90% esperado según la Norma Técnica Ambiental (NTON 05 027-05) para un sistema que combina tres tecnologías en serie.

- DQO: Las concentraciones de DQO en la salida de la PTAR fueron 205,58 mg/L y 140 mg/L, ambas por debajo del límite normado de 240 mg/L. Los porcentajes de remoción fueron 58% y 54%, dentro del rango reportado para lagunas anaerobias y facultativas, pero por ser un sistema en serie, se esperaría una remoción mínima del 70%.

- pH: en el segundo muestreo se puede observar que el pH disminuye de 8,20 7,85 después del tratamiento de las aguas residuales, no obstante, el pH de salida se encuentra en el rango de 6 a 9 normado en el Arto. 26.

- Sólidos sedimentables: En ambos muestreos no se detecta (nd) analíticamente la presencia de solidos sedimentables y por ende ambas concentraciones son menores a 1 mg/L como valor normado.

- Sólidos suspendidos totales: las concentraciones de solidos suspendidos totales a la salida de la PTAR son 30 mg/L y 60 mg/L respectivamente, concentraciones menores a 80 mg/L como valor normado para este parámetro.

- Grasas y aceites: La remoción de este parámetro fue del 70%, los valores de concentración paso de 45,60 mg/L a 13,60 mg/L. El Arto. 26 norma este parámetro en 15 mg/L.

- Nitrógeno y Fósforo: La concentración de nitrógeno aumenta un 20% de 25,20 mg/L a 30,24 mg/L, sobre pasando ligeramente el valor normado de 30,0 mg/L. La concentración de fósforo fue reducida en 14% y 54% respectivamente, siendo las concentraciones de salida 5,65 mg/L y 2,50 mg/L, valores menores a 10 mg/L normado en el Arto. 26 para este parámetro.

La relación de DBO_5:N_2 encontrada en el caudal entrante a la PTAR fue de 100:9, siendo mayor a la reportada por la literatura de 100:5 como mínimo (Muñoz y otros, 2004), lo que significa que tiene condiciones adecuadas para su depuración. En cambio, la relación DBO_5:P encontrada en el caudal entrante es de 100:2, y según la literatura reportado es de 100:1 (Muñoz y otros, 2004), concluyendo de igual manera al parámetro anteriormente mencionado.

A continuación, se presentan las tablas 41 y 42 con los datos históricos de pruebas fisicoquímicas realizadas en la entrada y salida de la PTAR por ENACAL y sus porcentajes de remociones. En estas, se usaron valores a partir del año 2018, año en el que se empezó a aplicar los Artículos 24 y 26 del Decreto 21-2017. Así mismo, se presentarán gráficas comparativas para cada valor estudiado.

El registro histórico de ENACAL solamente presenta resultados para dos puntos de muestreo que son la entrada y salida de la planta, y los parámetros medidos son los pertinentes a los de los artículos del Decreto 21-2017 para evaluación del funcionamiento de la Planta. Cabe destacar que no existen lecturas de *pH* de forma rutinaria dentro de la planta desde el año 2016 debido a ausencias de equipos al presentar averías por uso inadecuado por parte de los operarios.

Tabla 41.

Recuento histórico de resultados fisicoquímicos de la entrada y salida de PTAR Estelí.

Año	Fecha	Punto Muestreo	pH*	DBO	DQO	Solido Suspendido Totales	Solido Sedimentables	Aceite y Grasas	Coliformes Termotolerantes	Nitrógeno Total	Fosforo Total
2018	6/2/2018	Entrada	nd	334,00	521,75	294,00	2,60	40,00	$3,5 \times 10^8$	19,27	4,6
		Salida	nd	69,00	194,10	46,00	nd	**15,00**	**$7,9 \times 10^6$**	28,88	5,4
	5/11/2018	Entrada	nd	235,00	549,83	211,00	2,54	39,00	$1,3 \times 10^8$	26,54	7,7
		Salida	nd	70,00	**265,87**	53,00	nd	7,00	**$3,3 \times 10^6$**	**30,59**	6,0
2019	23/4/2019	Entrada	nd	185,00	596,64	211,00	3,93	49.00	$5,4 \times 10^8$	21,42	6,5
		Salida	nd	44,00	**250,26**	51,00	nd	nd	**$7,9 \times 10^6$**	26,78	6,5
	5/11/2019	Entrada	nd	207,00	415,91	196,00	2,50	32,00	$5,4 \times 10^8$	21,22	5,5
		Salida	nd	60,00	173,61	42,00	nd	2,00	**$3,5 \times 10^7$**	27,88	5,0
2020	9/3/2020	Entrada	nd	240,00	724,00	278,00	4,00	76,00	$5,4 \times 10^8$	39,08	5,7
		Salida	nd	40,00	74,00	39,00	nd	14,00	**$2,4 \times 10^6$**	**39,98**	6,4
	12/8/2020	Entrada	nd	233,00	499,00	122,00	3,00	41,00	$9,8 \times 10^8$	nd	5,4
		Salida	nd	96,00	105,00	58,00	nd	5,00	**$2,4 \times 10^6$**	nd	6,0
2021	3/2/2021	Entrada	nd	160,00	475,00	195,00	3,00	30,00	$9,2 \times 10^8$	26,19	5,9
		Salida	nd	53,00	103,00	40,00	nd	1,00	**$3,3 \times 10^6$**	**31,85**	5,3
	10/8/2021	Entrada	nd	178,00	606,00	227,00	1,00	50,00	$2,4 \times 10^8$	nd	2,0
		Salida	nd	74,00	146,00	72,00	nd	**15,00**	**$4,9 \times 10^6$**	nd	1,7
2022	15/2/2022	Entrada	nd	86,00	423,00	179,00	2,00	nd	$9,2 \times 10^8$	nd	4,3
		Salida	nd	38,00	89,00	18,00	nd	nd	**$3,5 \times 10^7$**	nd	4,9
	27/9/2022	Entrada	nd	267,00	421,00	204,00	nd	40,00	$5,4 \times 10^8$	22,66	3,7
		Salida	nd	58,00	71,00	34,00	nd	2,00	**1,4 x 10^6**	20,21	1,7

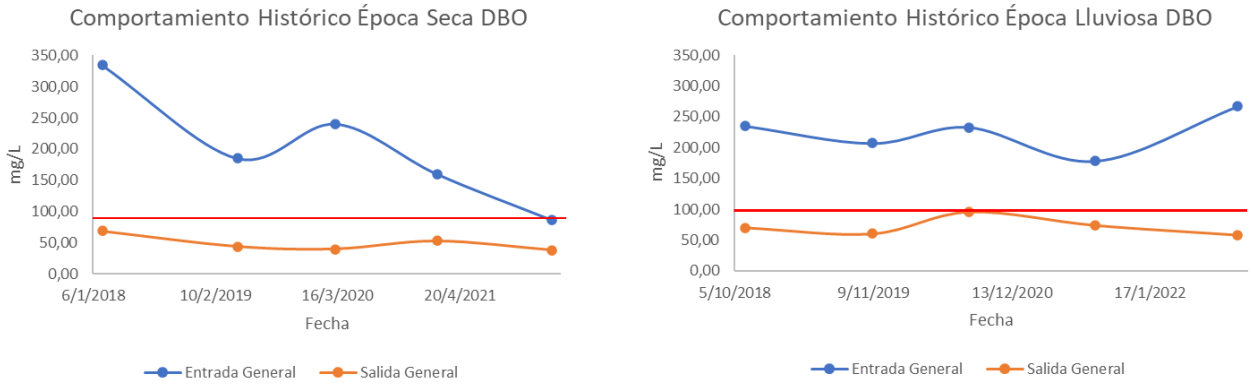
nd: no detectado

Tabla 42.
Porcentajes de remoción de toda la PTAR para diferentes épocas y años.

Parámetro	Recuento Histórico										Muestreos Realizados	
	2018		2019		2020		2021		2022		2023	
	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Muestreo 1	Muestreo 2
pH*	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
DBO	79%	70%	76%	71%	83%	59%	67%	58%	56%	78%	-	67%
DQO	63%	52%	58%	58%	90%	79%	78%	76%	79%	83%	58%	54 %
Solidos Suspendidos Totales	84%	75%	76%	79%	86%	52%	79%	68%	90%	83%	85%	76%
Solidos Sedimentables	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	nd	100%	100%
Aceites y Grasas	63%	82%	100%	94%	82%	88%	97%	70%	nd%	95%	nd%	70%
Coliformes Termotolerantes	98%	97%	99%	94%	100%	100%	100%	98%	96%	100%	99%	94%
Nitrógeno Total	-50%	-15%	-25%	-31%	-2%	nd%	-22%	nd%	nd%	11%	nd%	-20%
Fósforo Total	-17%	22%	0%	9%	-13%	-10%	10%	16%	-14%	54%	14%	55%

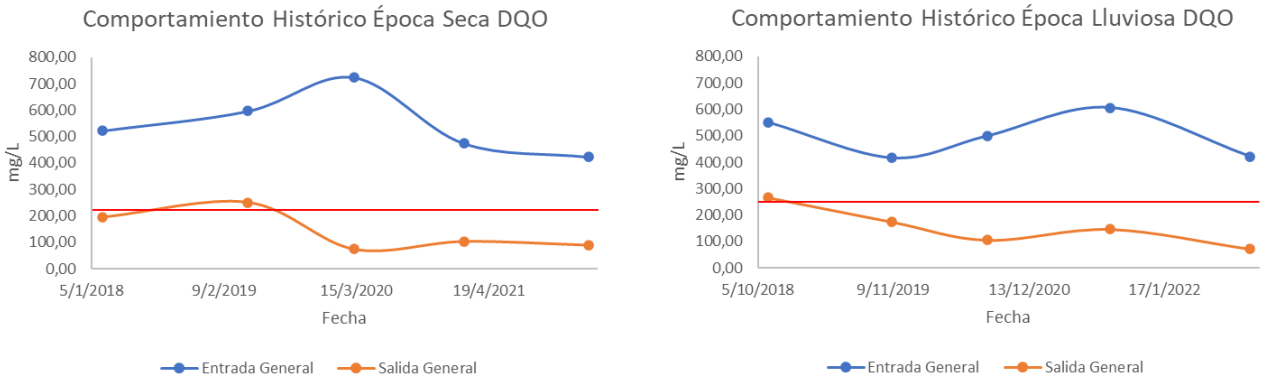
En el caso de la *Demanda Biológica de Oxígeno* (DBO) se puede observar en la figura 14 que los valores de entrada muestran tendencia a aumentar en época lluviosa y disminuir en época seca. Por otro lado, los resultados a la salida de la PTAR se mantienen en valores menores a 110 mg/L que es el valor normado en el Arto. 26 del Decreto 21-2017, mostrando un comportamiento similar al paso de los años.

Figura 14.
Comparación de datos históricos del comportamiento de la DBO en la entrada y salida de la PTAR de Estelí.



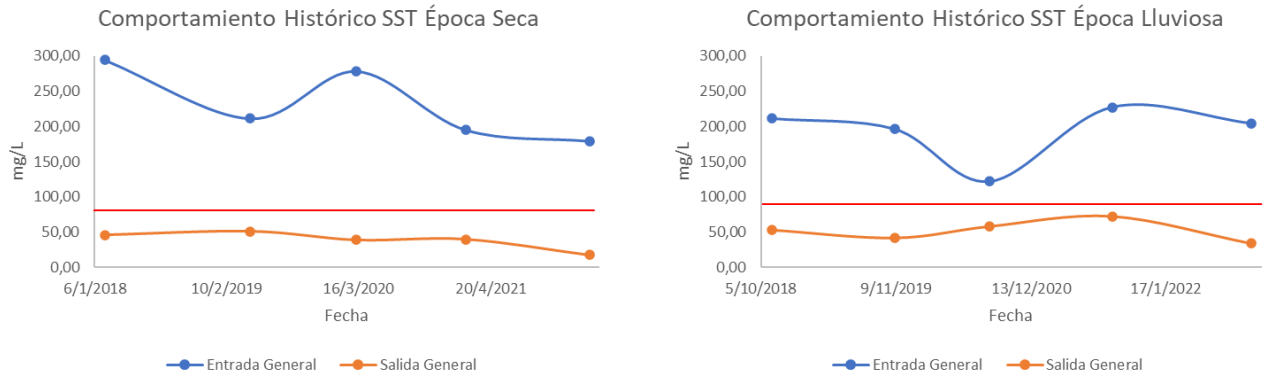
Los datos de la *Demanda Química de Oxigeno* (DQO) presentados en la figura 15 reflejan un comportamiento no predecible, no habiendo diferencia en época seca o lluviosa con respecto a los resultados de la entrada. En cambio, para los datos de salida, se observa una tendencia a la disminución a partir del año 2019. Esto puede atribuirse a la limpieza del módulo C en ese año (Tratamiento Primario y Secundario) que contribuyó a un mejor desempeño en la PTAR para la remoción de la carga orgánica no biodegradable.

Figura 15.
Comparación de datos históricos del comportamiento de la DQO en la entrada y salida de la PTAR de Estelí.



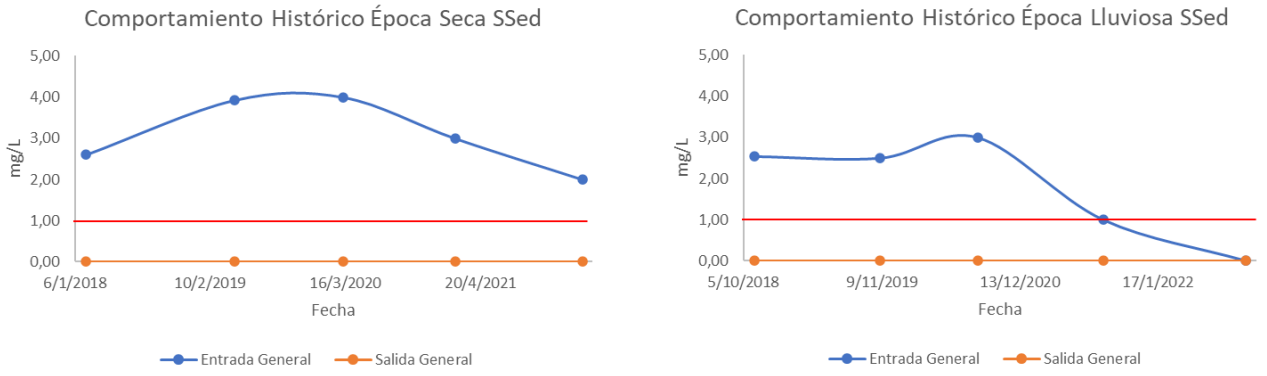
Se puede apreciar en la figura 16 que las concentraciones de *Sólidos Suspendidos Totales* (SST) tanto en época seca como lluviosa se encuentran cerca o exceden el valor normado de 80 mg/L del Arto. 26 del Decreto 21-2017.

Figura 16.
Comparación de datos históricos del comportamiento de los SST en la entrada y salida de la PTAR de Estelí.



Los *Sólidos Sedimentables (SSed)* a la salida del proceso de tratamiento no pudieron ser detectados analíticamente y las concentraciones cumplen con el valor permitido de 1 mg/L (ver figura 17).

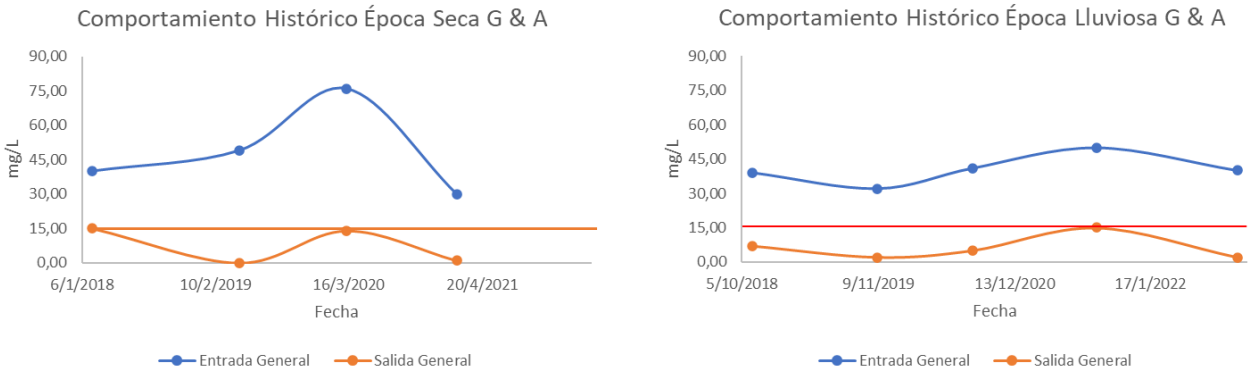
Figura 17.
Comparación de datos históricos del comportamiento de los sólidos sedimentables a la entrada y salida de la PTAR de Estelí.



Como se puede observar en la figura 18, la planta de tratamiento reduce la concentración de *Aceites y Grasas* por debajo de 15 mg/L o siendo este su valor máximo, lo que significa que los vertidos están cumpliendo según lo normado en el decreto 21-2017.

Figura 18.

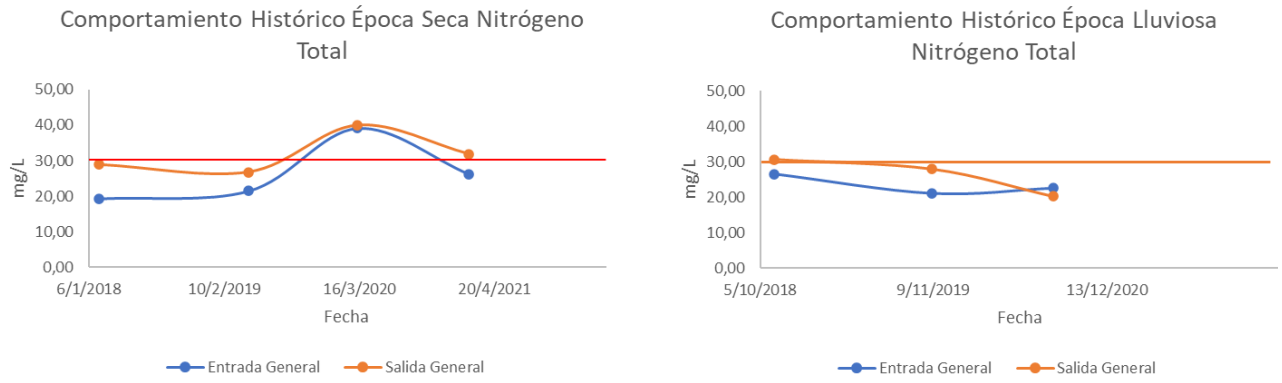
Comparación de datos históricos del comportamiento de aceites y grasas en la entrada y salida de la PTAR de Estelí.



En ambas épocas, el *Nitrógeno Total* aumenta a la salida de la PTAR y excede el valor normado de 30 mg/L siendo más notorio este comportamiento en la época seca que en la lluviosa (ver figura 19).

Figura 19.

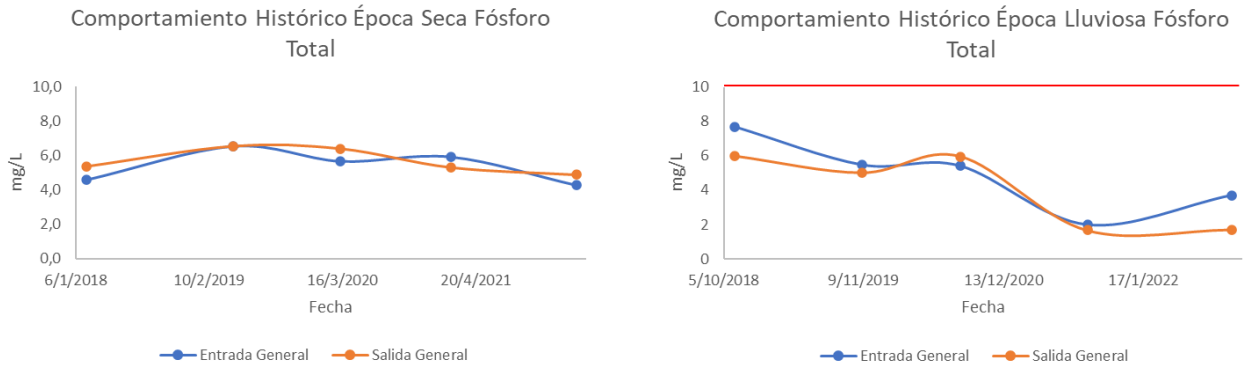
Comparación de datos históricos del comportamiento del nitrógeno total en la entrada y salida de la PTAR de Estelí.



En el caso del parámetro *Fósforo Total,* la figura 20 demuestra que las concentraciones a la salida de la PTAR se encuentran por debajo del límite permitido por el Decreto 21-2017 (10 mg/L) pero como se puede observar en ambos gráficos, esto se debe a que las concentraciones de fosforo total a la entrada del sistema de tratamiento son menores a 10 mg/L.

Figura 20.

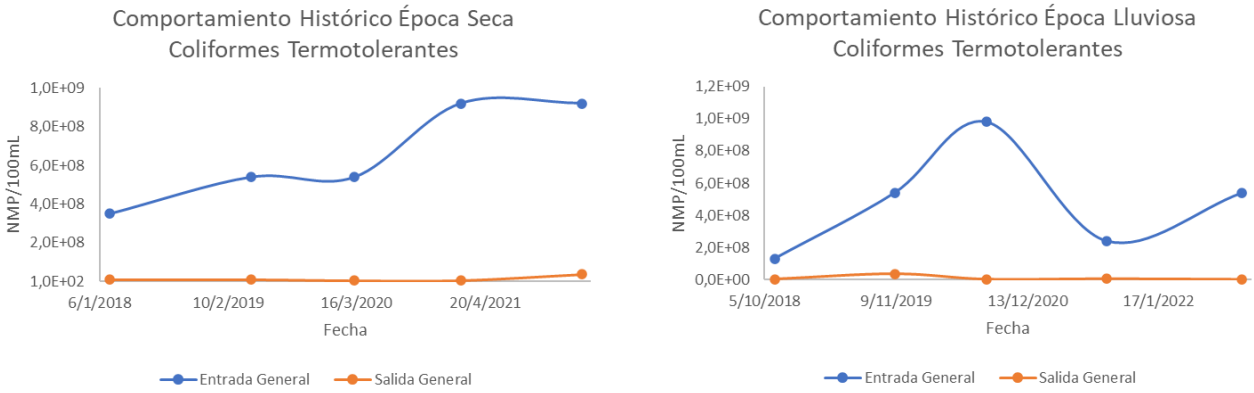
Comparación de datos históricos del comportamiento del fósforo total en la entrada y salida de la PTAR de Estelí.



Los datos históricos de la salida de la planta muestran que esta tiene problemas técnicos porque el tren de tratamiento no logra reducir la presencia de *Coliformes Termotolerantes* para cumplir con el valor normado de 1,0 x 10^4 NMP/100 mL contaminando el cuerpo receptor lo que podría poner en peligro a las personas que hacen uso de este recurso aguas abajo debido a que las concentraciones de salida se encuentran en el rango de1x10^7 y 1x10^6 NMP/100mL (ver figura 21).

Figura 21.

Comparación de datos históricos del comportamiento de coliformes termotolerantes en la entrada y salida de la PTAR de Estelí.



6.1.2 Resultados pruebas fisicoquímicas aplicadas a cada unidad depuradora dentro de la planta

Para conocer la actual eficiencia de cada etapa de tratamiento se tomaron muestras a la entrada y salida de cada etapa en el segundo muestreo y lo resultados se muestran en la tabla 43.

Módulo A

- pH y Alcalinidad: Los resultados muestran que el afluente a la planta tiene un pH más alto (8,03) que a la salida de cada etapa de tratamiento (7,49, 7,70 y 7,66), el último dato es correspondiente a la salida de la laguna secundaria (LS) y demuestra el cumplimiento con el rango de pH normado de **6 a 9**. La disminución de este pH se debe al consumo de alcalinidad lo que es propio del tratamiento anaeróbico que, en su proceso biológico, la materia orgánica es descompuesta por microorganismos en ausencia de oxígeno.

  Por otro lado, la alcalinidad, incrementa de 190 mg/L $CaCO_3$ a 250 mg/L $CaCO_3$ en la salida de la laguna secundaria (LS) y debería ocurrir una reducción a causa de los procesos biológicos que ocurren por los tipos de tratamiento existentes.

- DBO y DQO: En el caso del parámetro de DBO, la DBO entrante es de 230 mg/L y si bien las salidas de cada unidad de tratamiento muestran valores de 65,0, 65,33 y **80 mg/L**. La DBO final de 80 mg/L se encuentra por debajo del valor normado (**110 mg/L**) en el Arto. 26 del Decreto 21-2017. En la salida de la laguna secundaria (LS) se observa un aumento de DBO (80 mg/L), el cual puede ser atribuible a la descomposición de biomasa producida por acumulación.

  En el caso de la DQO, la concentración de entrada es de 302 mg/L que va reduciéndose en las distintas etapas de tratamiento a 195 mg/L, **174 mg/**L y **155 mg/L** respectivamente. La concentración de salida de la DQO de 174 mg/L se encuentran por debajo de **220 mg/L** como valor normado para este parámetro (Arto. 26, Decreto 21-2017).

- Sólidos: Para los parámetros de Solido Totales (ST) y Solidos Suspendidos Totales (SST), ambos presentan una disminución gradual a medida que el agua es tratada en las distintas unidades depuradoras (ST: 49 mg/L, 480 mg/L y 477 mg/L) y (SST: 180 mg/L, 160 mg/L y **46 mg/L**). La concentración final de SST de 46 mg/L se encuentra por debajo de los **80 mg/L** como valor permitido.

En el caso de los Solidos Sedimentables (SSed) estos no se detectaron analíticamente ni en ninguna etapa luego del desarenador, lo que significa que el desarenador desempeña su función de forma óptima.

- Aceites y Grasas: La concentración de este parámetro (40,3 mg/L) va disminuyendo de forma gradual en las distintas etapas de tratamiento (24,10 mg/L, 17,60 mg/L y **14,0 mg/L**). La remoción de aceites y grasas permite el cumplimiento con el valor normado de **15 mg/L**.

- Coliformes Termotolerantes: El tren de tratamiento actual no logra que las coliformes termotolerantes sean reducidas hasta un valor de cumplimiento de **1 x 10^4** NMP/100 mL.

- Nitrógeno y Fósforo Total: En el caso de los nutrientes, el nitrógeno aumenta (20,16 mg/L) en todas las etapas de tratamiento a (30,24 mg/L, 31,36 mg/L, y **31,36 mg/L**). Esto significa que la PTAR no tiene la capacidad de reducir el nitrógeno y por ende el valor final al cuerpo receptor excede los **30 mg/L** como valor normado en el Arto. 26 del Decreto 21-2017.

  La concentración de fósforo total (3,65 mg/L) incrementa a la salida del reactor anaerobio abierto (RAA) a 4,65 mg/L y en la laguna secundaria (LS) a **3,25 mg/L** y lo que debería de ocurrir es una reducción debido a que los microorganismos necesitan de los nutrientes para que se den las reacciones biológicas que conllevan a la depuración de las aguas residuales. El valor normado es de **10 mg/L,** y la concentración de fósforo en el vertido final es de **3,25 mg/L** por lo que se cumple con la legislación nacional del vertido de las aguas residuales.

Módulo B

- pH y Alcalinidad: Al igual que el módulo A, el pH disminuye de 8,03 a 7,65 en el reactor abierto anaerobio (RAA) y a 7,60 en la laguna primaria (LP), e incrementa a **7,77** a la salida de la laguna secundaria (LS), valor dentro del rango de **6 a 9** como pH normado.

  La alcalinidad debería ser reducida en los procesos biológicos, y ocurre lo contrario ya que aumenta de 190 mg/L $CaCO_3$ a 246 mg/L $CaCO_3$ a la salida del reactor (RAA), a 240 mg/L $CaCO_3$ en la salida de la laguna primaria (LP), y a **254 mg/L $CaCO_3$** en la salida de la laguna secundaria (LS).
- DBO y DQO: La concentración de DBO entrante (230 mg/L) es removida en mayor cantidad en el módulo B (50 mg/L) en comparación con el módulo A (80 mg/L). Se puede observar que la concentración de DBO se reduce en cada etapa de tratamiento

hasta un valor de **50 mg/L** el cual se encuentra por debajo de los **110 mg/L** como valor permitido para este parámetro.

En cambio, la DQO es reducida en menor concentración en el módulo B (161 mg/L) en comparación con el módulo A (155 mg/L). La DQO disminuye de 230 mg/L a **161 mg/L** en la salida de la laguna secundaria (LS) valor por debajo de **220 mg/L** como valor normado.

- Sólidos: Tanto los sólidos totales (493 mg/L) como los sólidos suspendidos totales (184 mg/L) se reducen en cada etapa de tratamiento a (456 mg/L, 454 mg/L y 379 mg/L) y (164 mg/L, 136 mg/L y **67 mg/L**) respectivamente. Los SST se encuentran por debajo del valor permitido de **80 mg/L.** Los sólidos sedimentables (SSed) no fueron detectados analíticamente y por tanto se puede aseverar que encuentran por debajo de **1 mg/L** como valor normado.

- Aceites y Grasas: La concentración de aceites y grasas disminuye más en el módulo B (12,50 mg/L) en comparación con el módulo A (14,0 mg/L). También este parámetro se reduce significativamente en cada etapa de tratamiento hasta una concentración de **12,50 mg/L** a la salida de la laguna secundaria (LS), valor menor a los **15,0 mg/L** como valor permitido.

- Coliformes Termotolerantes: Se puede apreciar en la tabla que las coliformes se reducen de 3,40 x 10^9 NMP/100 mL hasta 2,30 x 10^5 NMP/100 mL en el módulo B, reducción que es mucho menor a la ocurrida en el módulo A (4,70 x 10^5 NMP/100 mL). Sin embargo, la remoción por etapa no es estable debido a que disminuyen a la salida del reactor (RAA), incrementan a la salida de la laguna primaria (LP) y vuelven a aumentar a la salida de la laguna secundaria (LS). No obstante, a pesar de las etapas de tratamiento, las coliformes no pudieron ser removidas por debajo del valor normado de **1 x 10^4 NMP/100 mL**.

- Nitrógeno Total y Fósforo Total: El nitrógeno total incrementa de 20,16 mg/L a **29,12 mg/L** en el módulo B, este aumento es menor a la concentración del nitrógeno en la salida de la laguna secundaria (LS) en el módulo A (31,36 mg/L). Las concentraciones de nitrógeno total en la salida del efluente se encuentran cerca o exceden ligeramente el valor normado de **30 mg/L**.

  Así mismo, el fósforo total en el módulo B aumenta a la salida (**5,32 mg/L**) en comparación con la concentración de fósforo en la entrada al reactor (3,65 mg/L), pero no sobrepasa el valor permitido de **10 mg/**L para este parámetro.

Tabla 43.

Resultados de pruebas fisicoquímicas realizadas en el segundo muestreo a tratamiento primario y secundario de PTAR-Estelí.

	Punto	Alcalinidad	pH*	DBO	DQO	Sólidos Totales	Sólidos Suspendidos Totales	Solidos Sedimentables	Aceite y Grasas	Coliformes Termotolerantes	Nitrógeno Total	Fósforo Total
Mod. A	Entrada RAA	190	8,03	230,00	302	493	184	nd	40,30	3.40×10^6	20,16	3,65
	Salida RAA	246	7,49	65,00	195	490	180	nd	24,10	$7,90 \times 10^6$	30,24	4,65
	Salida LP	234	7,70	63,33	174	480	160	nd	17,60	$3,90 \times 10^4$	31,36	1,85
	Salida LS	250	7,66	80,00	155	477	46	nd	14,00	$4,70 \times 10^5$	31,36	3,25
Mod. B	Entrada RAA	190	8.03	230,00	302	493	184	nd	40,3	3.40×10^6	20,16	3,65
	Salida RAA	232	7,65	67,50	183	456	164	nd	16,90	$2,20 \times 10^5$	23,62	4,52
	Salida LP	240	7,60	35,00	178	454	136	nd	15,30	$3,90 \times 10^5$	28,56	4,51
	Salida LS	254	7,77	50,00	161	379	67	nd	12,50	$2,30 \times 10^5$	29,12	5,32
Mod. C	Entrada RAA	190	8,03	230,00	302	493	184	nd	40,3	3.40×10^6	20,16	3,65
	Salida RAA	250	7,48	80,00	181	493	164	nd	50,00	$5,40 \times 10^6$	29,68	2,79
	Salida LP	260	7,55	42,50	162	408	128	nd	10,70	$1,30 \times 10^6$	32,48	2,40
	Salida LS	250	7,60	37,50	138	381	40	nd	17,20	$4,00 \times 10^5$	30,80	3,95

*A excepción de pH y Coliformes Termotolerantes, todos los resultados están en unidades de mg/L.

**Coliformes Termotolerantes en unidades de NMP/100mL.

Módulo C

- pH y Alcalinidad: Al igual que el módulo A y B, el pH en el módulo C disminuye y la alcalinidad aumenta. El pH disminuye de 8,03 a 7,48 en el reactor (RAA), incrementa a 7,55 en la salida de la laguna primaria (LP), y a **7,60** en la salida de la laguna secundaria (LS). Este último valor que es el del efluente final cumple con el rango permitido para el pH (Arto. 26, Decreto 21-2017). La alcalinidad en el módulo C tiene el mismo comportamiento de incrementar a la salida del tren de tratamiento como en los otros dos módulos.

- DBO y DQO: La DBO en el módulo C disminuye gradualmente en cada etapa de tratamiento, removiéndose de 230 mg/L y disminuyendo hasta **37,50 mg/L** en la salida de la laguna secundaria (LS). Esta concentración de DBO de vertido final cumple con el valor permitido de **110 mg/**L en el Arto. 26 del Decreto 21-2017.

  La DQO muestra la misma tendencia de disminuir en cada etapa de tratamiento como la DBO en el módulo C. Disminuye de 302 mg/L a **138 mg/L** en la salida de la laguna secundaria (LS). El valor normado de DQO es de **220 mg/L** y por tanto la DQO del efluente final tiene un valor por debajo de lo normado.

- Sólidos: El reactor no tiene la eficiencia para la remoción de los sólidos totales (ST) como se demuestra el comportamiento de este parámetro en los tres módulos. Los sólidos suspendidos totales (SST) son reducidos significativamente de 184 mg/L en la entrada del reactor (RAA) a 40 mg/L en la salida de la laguna secundaria (LS), valor por debajo del valor permitido de **80 mg/L**. Al igual que los otros módulos, no se detectó analíticamente la presencia de solidos sedimentables (SSed) en todo el tren de tratamiento.

- Aceites y Grasas: En el módulo C, los aceites y grasas aumentan en el RAA de 40,3 a 50 mg/L, a diferencia de los módulos A y B donde disminuyen. Posteriormente, se reducen a 10,70 mg/L en la laguna primaria, pero vuelven a subir a 17,20 mg/L en la laguna secundaria, superando el límite de 15 mg/L establecido en el Arto. 26 del Decreto 21-2017.

- Coliformes Termotolerantes: el comportamiento en la disminución de las coliformes termotolerantes es similar al de los otros módulos, aumentando en la salida del reactor a 5,40 x 10^6 NMP/100 mL, y disminuyendo en la salida de la laguna primaria (1,30 x 10^6 NMP/100 mL) y laguna secundaria (4,0 x 10^5 NMP/100 mL). Sin embargo, no logran cumplir con el valor normado de 1,40 x 10^4 NMP/100 mL.

- Nitrógeno y Fósforo total: En el caso de los nutrientes, para ambos parámetros se observa un aumento a medida que se avanzan en el tren de tratamiento. El nitrógeno total incrementa de 20,16 mg/L en la entrada del reactor (RAA) a **30,80 mg/L** en la salida de la laguna secundaria (LS) excediendo ligeramente el valor normado de **30 mg/L**. La concentración de fosforo total aumenta de 3,65 mg/L en la entrada del reactor (RAA) a **3,95 mg/L** en la salida de la laguna secundaria (LS), valor que se encuentra por debajo de los **10 mg/L** permitidos para el vertido de efluentes con fósforo.

Los resultados muestran que la PTAR no logra remover adecuadamente los coliformes termotolerantes, ya que la depuración es incompleta, evidenciada por el aumento de nitrógeno y fósforo en lugar de su reducción. Para evitar seguir contaminando el cuerpo receptor, es necesario mejorar la operación y mantenimiento del sistema e incorporar una etapa de desinfección.

A continuación, se hace una comparación de las remociones obtenidas en cada módulo por etapa de tratamiento y la comparación con las remociones reportadas por diversos autores (ver tablas 44, 45 y 46).

En el caso de los RAA (tabla 44), al ser una etapa que emplea dos tipos de tratamiento (reactor UASB y laguna anaerobia), se tomaron en cuenta los porcentajes de remoción teóricos de ambos tipos de tratamiento. Las remociones obtenidas de DBO se encuentran en el rango reportado por la literatura. Sin embargo, las remociones de DQO y fósforo total son más bajas que el porcentaje de remoción inferior indicado por los autores, esto significa que la PTAR tienen problemas en su operación para remover contaminantes químicos.

Las lagunas primarias (tabla 45) en la PTAR de Estelí trabajan como lagunas facultativas y por ellos los porcentajes de remoción teóricos empleados para la comparación corresponden a este tipo de laguna. Los porcentajes de remoción obtenidos en las lagunas primaria están muy debajo de los porcentajes citados por la literatura, lo que significa que este tratamiento no está realizando su función de depuración.

Tabla 44.

Comparación de porcentaje de resultados obtenidos en el RAA con los porcentajes de remoción de la literatura.

	DBO			DQO			Fósforo Total		
	Porcentaje Obtenido	Porcentaje de Remoción Teórico (%)		Porcentaje Obtenido	Porcentaje de Remoción Teórico (%)		Porcentaje Obtenido	Porcentaje de Remoción Teórico (%)	
		UASB	Laguna Anaerobia		UASB	Laguna Anaerobia		UASB	Laguna Anaerobia
RAA - Modulo A	75,93	65 – 80	50 – 70	36,07	60 – 80	40 – 60	15,45	30 - 40	-
RAA - Módulo B	75,00	65 – 80	50 – 70	40,00	60 – 80	40 – 60	17,82	30 - 40	-
RAA - Modulo C	70,37	65 – 80	50 – 70	40,66	60 – 80	40 – 60	49,27	30 - 40	-

*Porcentaje de remoción teórico utilizado fue extraído del documento **"Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales"** elaborado por el INAA (actualmente ANA) en el año 2016 y de la Norma **NTON 05 027-05** propuesta por la Asamblea Nacional de Nicaragua en el año 2006.*

Tabla 45.

Comparación resultados de porcentaje de remoción en la laguna primaria.

	DBO		DQO		Fósforo Total	
	Porcentaje Obtenido	Porcentaje de Remoción Teórico (%)	Porcentaje Obtenido	Porcentaje de Remoción Teórico (%)	Porcentaje Obtenido	Porcentaje de Remoción Teórico (%)
LP – Modulo A	2,57	80 - 90	10,77	40 – 70	60,22	30
LP – Módulo B	48,15	80 - 90	2,73	40 – 70	0,22	30
LP – Modulo C	46,88	80 - 90	10,50	40 – 70	13,98	30

*Porcentaje de remoción teórico utilizado fue extraído del documento **"Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales"** elaborado por el INAA (actualmente ANA) en el año 2016 y de la Norma **NTON 05 027-05** propuesta por la Asamblea Nacional de Nicaragua en el año 2006*

Tabla 46.

Comparación resultados de porcentaje de remoción en la laguna secundaria.

	DBO		DQO		Coliformes Termotolerantes	
	Porcentaje Obtenido	Porcentaje de Remoción Teórico (%)	Porcentaje Obtenido	Porcentaje de Remoción Teórico (%)	Porcentaje Obtenido	Porcentaje de Remoción Teórico (%)
LS – Modulo A	-26,32	80 - 90	11	-	-11,05	90 – 99
LS – Módulo B	-42,86	80 - 90	10	-	41,00	90 – 99
LS – Modulo C	11,76	80 - 90	15	-	69,00	90 – 99

*Porcentaje de remoción teórico utilizado fue extraído del documento **"Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales"** elaborado por el INAA (actualmente ANA) en el año 2016 y de la Norma **NTON 05 027-05** propuesta por la Asamblea Nacional de Nicaragua en el año 2006.*

Las lagunas secundarias (tabla 46) trabajan como una laguna de maduración, por lo que la literatura solo propone porcentajes para DBO y coliformes termotolerantes. En el caso de los módulos A y B se observa un aumento de DBO, y el módulo C solo logra reducir en un 11% el valor de DBO que recibe de la unidad anterior. Ninguno de los módulos cumple con las remociones indicadas por la literatura para la DBO. Para el parámetro de coliformes termotolerantes, en el módulo A se ve un aumento de este parámetro con respecto su afluente, sin embargo, para los módulos B y C, si bien se observa un porcentaje moderado de remoción, no cumple con el porcentaje teórico citado por (Asamblea Nacional de Nicaragua, 2006).

Si bien los porcentajes de remoción encontrados demuestran las deficiencias actuales de las etapas de tratamiento evaluadas, los valores de las concentraciones de los parámetros cumplen con los valores normados hay para descarga de aguas residuales tratadas en cuerpos receptores, a excepción de coliformes termotolerantes como previamente se ha expuesto.

6.2. Condiciones Hidráulicas de la PTAR

Antes de realizar mediciones a cada corriente en la PTAR, se realizó una comparación entre los dos métodos de medición existentes en la planta para

verificar la confiabilidad de los datos: Canaleta Parshall, ubicado en la entrada antes del desarenador y, molinete.

La canaleta Parshall es el método de medición diaria del flujo de entrada, sin embargo, estos datos no coincidieron con las mediciones realizadas con el molinete (tabla 47). Este molinete había sido previamente calibrado por operarios de ENACAL y, de igual manera, sus velocidades fueron comprobadas por el método del flotador, propuesto por el Manual de Operación y Mantenimiento.

Operarios indican que, en anteriores evaluaciones realizadas, ingenieros determinaron que el diseño de la canaleta Parshall no era el adecuado para la planta por lo que sus datos iban a ser menores al caudal real entrante a la planta.

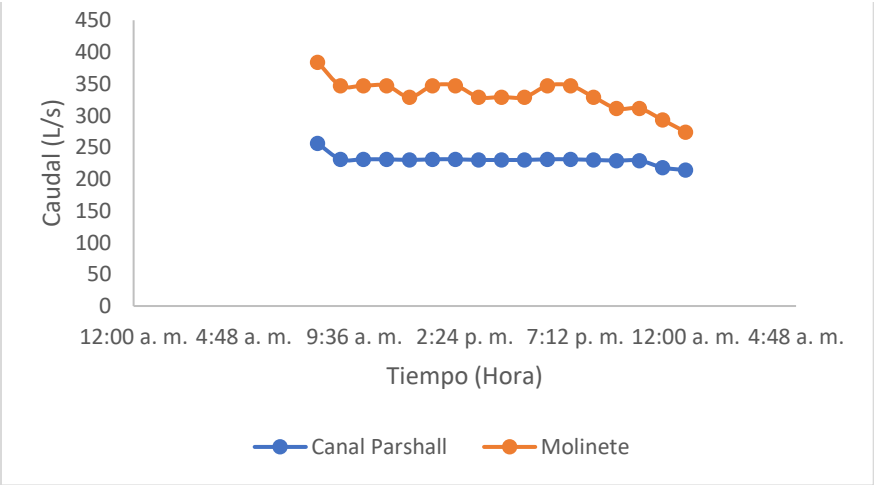
Tabla 47.

Comparación de métodos de medición de caudal en PTAR – Estelí mediante medición de caudal de entrada realizada el 12 de junio de 2023.

Hora	Canaleta Parshall		Molinete	Diferencia
	Altura (cm)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	
8:00 a. m.	55	256	384	-128
9:00 a. m.	53	231	347	-116
10:00 a. m.	53	231	347	-116
11:00 a. m.	53	231	347	-116
12:00 p. m.	52	230	329	-99
1:00 p. m.	53	231	347	-116
2:00 p. m.	53	231	347	-116
3:00 p. m.	52	230	329	-99
4:00 p. m.	52	230	329	-99
5:00 p. m.	52	230	329	-99
6:00 p. m.	53	231	347	-116
7:00 p. m.	53	231	347	-116
8:00 p. m.	52	230	329	-99
9:00 p. m.	51	229	311	-82
10:00 p. m.	51	229	311	-82
11:00 p. m.	50	218	293	-75
12:00 a. m.	49	214	274	-60

Figura 22.

Comparación de resultados de medición con molinete y medición con canaleta Parshall.



En la figura 22 se puede observar el comportamiento del caudal por ambos métodos de medición. A diferencia, en los datos medidos con el molinete, existe una mayor variación entre cada hora, datos esperables ante la gran demanda de agua de uso doméstico en "horas pico" y su disminución en horas laborales y horas de descanso.

Los resultados obtenidos para los caudales promedios tanto de entrada como de salida de la PTAR fueron los siguientes expuestos en la tabla 48:

Tabla 48.

Datos de medición de caudales en entrada y salida de la planta.

Punto de Muestreo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6
	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)
Entrada General	330,00	335,50	325,00	328,80	330,00	347,40
Salida General	311,96	313,51	321,13	313,51	316,55	314,92
Caudal de Diseño	300 L/s					

La tabla 48 muestra como los caudales recibidos por la planta son superiores al caudal de diseño, excediendo por casi 30 litros al menos este último. Esto provoca que existan desbordamientos en las unidades de tratamiento.

El caudal de la salida general se comporta bastante uniforme, a excepción en el tercer muestreo. Este muestreo equivale al período en el cual la entrada de afluente al módulo B fue cerrada debido a reparación de un canal derrumbado,

dividiendo el caudal de entrada en los módulos A y C. Sin embargo, el efluente final del módulo B no fue cerrado, por lo que siempre había agua tratada saliendo de éste mismo y aumentando un poco más el caudal de la salida general.

Por otro lado, la salida general, aunque no por mucho, es menor a la entrada debido a las retenciones de cada unidad de tratamiento para cumplir su tiempo de retención esperado, y así mismo, obstrucciones por lodos que se presentan en cada unidad de cada módulo, haciendo que los caudales de entrada de éstas sean mucho menores a lo esperado. Así mismo, algunas unidades presentan rebosamiento de agua, por lo que muchas aguas residuales se ven perdidas en el proceso.

En la tabla 49 se muestran los caudales promedios obtenidos por entrada y salida de cada unidad de cada módulo, así como los tiempos de retención. Cabe destacar que los caudales de entrada de cada reactor son los caudales entrantes a cada módulo.

Tabla 49.

Capacidad hidráulica de tratamiento primario y secundario.

Unidad de Tratamiento	Caudal Entrada (m^3/d)	Caudal Salida (m^3/d)	Tiempo Retención (d)
RAA A	11128,32	7 996,32	0,80
RAA B	9 236,59	6 181,06	0,96
RAA C	9 786,53	8 971,78	0,82
Laguna Primaria A	7 996,32	7 238,25	2,51
Laguna Primaria B	6 181,06	**6 386,40**	2,56
Laguna Primaria C	8 971,78	8 836,13	1,94
Laguna Secundaria A	7 238,25	**11 033,80**	1,09
Laguna Secundaria B	6 386,40	**7 135,20**	1,30
Laguna Secundaria C	8 836,13	**9 520,42**	1,04

Según lo que indica la "*Guía Técnica para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales"* elaborada por la Autoridad Nacional del Agua (anteriormente INAA) en el año 2016, el período de retención para lagunas anaerobias (RAA en este caso) para una reducción de carga orgánica equivalente al 70% debe de ser de al menos cinco días y de un 60% de dos días, por lo que el porcentaje de remoción es mucho menor en la PTAR – Estelí al ser de aproximadamente un día.

En el caso de las lagunas facultativas (lagunas primarias), ANA (2016) reporta tiempos de retención de cinco a treinta días para una eficiente remoción de los

contaminantes presente en el agua residual. No obstante, las lagunas primarias de la PTAR de Estelí no cumplen con los valores de los tiempos de remoción y justificaría que la remoción de coliforme termotolerantes no pudiese alcanzar el parámetro propuesto por el Arto 24 del Decreto 21-2017, así como las remociones esperadas para la DQO, aceites y grasas, y nutrientes (nitrógeno, fosforo).

Para las lagunas secundarias, su tiempo mínimo de retención teórica es de cinco días, y el encontrado es menor a 1,30 d, por lo cual no cumple con este criterio de diseño para asegurar la eficiencia de esta etapa de tratamiento.

La tabla 50 muestra la comparación de los tiempos de remoción teóricos de las etapas de tratamiento con los obtenidos en la evaluación.

Tabla 50.
Comparación tiempo de remoción teórico y evaluado.

Unidad de Tratamiento	**Tiempo de Retención Teórico** (Metcalf & Eddy, 2014)	**Tiempo de Retención ANA**	**Tiempo de Retención Real**
RAA A	Como Laguna Anaerobia: 1 – 5 d Como UASB: 4 a 8 h	Como Laguna Anaerobia: 50%: 1 d 60%: 2,5 d 70%: 5 d	0,80
RAA B			0,96
RAA C			0,82
Laguna Primaria A	Laguna Facultativa: 5 a 30 d	Laguna Facultativa: 5 a 30 d	2,51
Laguna Primaria B			2,56
Laguna Primaria C			1,94
Laguna Secundaria A	Laguna de Maduración: 5 a 20 d	-	1,09
Laguna Secundaria B			1,30
Laguna Secundaria C			1,04

En la tabla 49 también se puede observar que el caudal entrante al módulo A es 17% mayor con respectos al módulo B y 13% con respecto al módulo C. Esta distribución desigual causa que la eficiencia en la remoción de contaminantes del módulo A sea menor en comparación con los otros módulos como se muestra a continuación en la tabla 50.

6.2.1 Cargas contaminantes y porcentajes de remoción en PTAR de Estelí

Carga Contaminante (CC)

La carga orgánica o carga contaminante total aplicada fue calculada a nivel global de la planta y a nivel de cada unidad de tratamiento a partir de la DBO y DQO obtenida y el caudal. Cabe a destacar que los valores utilizados para los cálculos

fueron los valores del segundo muestreo, ya que en el primer muestreo no se presentan datos de DBO para la entrada y salida del sistema, ni tampoco datos para cada unidad depuradora.

En la tabla 51 se exponen las cargas contaminantes calculadas por módulo y unidad de tratamiento, así como el porcentaje promedio de remoción en la planta para DBO y DQO.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 51, el módulo B presenta los porcentajes de remoción más altos de carga contaminante tanto para DBO y DQO, indicando que trabaja de forma un poco mejor en comparación con los, módulos C y A. Esto es reflejado al ser el módulo A el que recibe más carga contaminante entrante debido a que recibe más de caudal que los otros módulos.

Por otro lado, se ve una amplia diferencia en los porcentajes de remoción de DBO y en los de DQO. Mientras que el parámetro de DBO posee altos resultados de materia orgánica depurada, la DQO presenta bajos porcentajes de remoción en los tres módulos, llegando a disminuir este porcentaje en algunas unidades de tratamiento por el aumento de la DQO presente, concluyendo que hay una parte de la carga orgánica no biodegradable que no puede ser reducida por las unidades de tratamiento y que, por falta de mantenimiento.

Estos resultados demuestran que, aunque los parámetros fisicoquímicos del efluente final logren cumplir con los valores normados en los Artos. 24 y 26 del Decreto 21-2017 en la descarga al cuerpo hídrico cercano, no significa que las unidades de tratamiento estén trabajando con la eficiencia de diseño o de la literatura.

Tabla 51.

Carga contaminante y su porcentaje de remoción según unidad de tratamiento.

Módulo	**A**			**B**			**C**		
Unidad de Tratamiento	**RAA**	**LP**	**LS**	**RAA**	**LP**	**LS**	**RAA**	**LP**	**LS**
Carga Contaminante como DBO									
CC Entrada (Kg/d)	3 004,65			2 493,88			2 656,36		
CC Salida (Kg/d)	519,76	458,40	882,70	388,06	208,40	335,16	717,74	375,54	357,02
Porcentaje de Remoción	82,70	84,74	70,62	84,44	91,64	86,56	72,98	85,86	86,56
Total, PTAR (Promedio %)	**82,90**								
Carga Contaminante como DQO									
CC entrada Kg/d)	3 394,14			2 817,16			3 000,70		
CC salida (Kg/d)	1 559,28	1 259,456	1 710,24	1 052,08	1 059,88	1 079,22	1 623,89	1 431,45	1 313,82
Porcentaje de Remoción	54,06	62,89	49,61	62,65	62,38	61,69	45,88	52,30	56,22
Total PTAR (Promedio %)	**56,41**								

Carga Orgánica Superficial Aplicada (CSA)

Al dividir la Carga Contaminante (CC) entre el área superficial se obtuvo la Carga Superficial Aplicada (CSA). Los resultados se muestran en la tabla 52.

Tabla 52.

Carga superficial aplicada según unidad de tratamiento.

Unidad de Tratamiento	Área Superficial (ha)	Carga Superficial (kgDBO_5/ha-d)	CSA Teórica (Kg DBO_5/ha-d)
RAA A	1,92	1 564,92	Según bibliografía*, para lagunas anaerobias: ≥ 1 000
RAA B	1,84	1355,37	
RAA C	1,92	1383,52	
Laguna Primaria A	9,57	**54,31**	Según bibliografía*, para lagunas facultativas: 300 – 1 200
Laguna Primaria B	8,05	**48,21**	
Laguna Primaria C	8,63	**83,17**	
Laguna Secundaria A	7,12	**64,38**	Según bibliografía*, para lagunas de maduración: 400 - 800
Laguna Secundaria B	6,26	**33,29**	
Laguna Secundaria C	8,63	**43,52**	

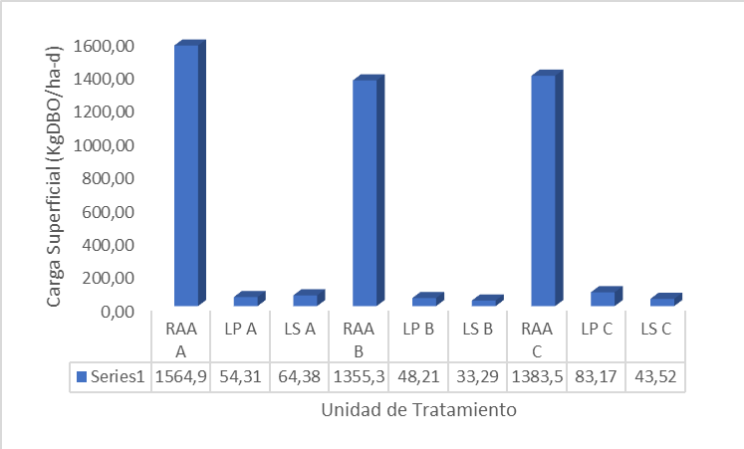
**Fuente:* (Asamblea Nacional de Nicaragua, 1998)

La tabla 52 es una tabla que describe la carga superficial aplicada (CSA) a cada unidad de tratamiento en comparación con la carga teórica propuesta por diferentes autores. Para los valores de los reactores anaerobios abiertos (RAA), se pueden observar cargas superficiales similares entre los tres módulos, siendo el módulo A quien recibe mayor carga; de igual manera, todos cumplen con el criterio de la literatura al tener cargas mayores a los 1 000 Kg DBO_5/ha-d.

En el caso de las lagunas primarias, al ser lagunas facultativas, la bibliografía propone rangos de 300 a 1 200 Kg DBO_5/ha-d. Este valor no es cumplido por ningún modulo puesto que recibe una carga mucho menor dado a su gran área superficial. Mismo caso ocurre con las lagunas secundarias que tampoco ningún módulo cumple con los criterios de la literatura referente a CSA. La figura 23 muestra los resultados mostrados en la tabla 51.

Figura 23.

Comparación de Cargas Superficiales Aplicadas (CSA) a cada unidad de tratamiento.



Este gráfico muestra los datos de CSA entre cada unidad de módulo. A medida que el afluente va siendo tratado en cada etapa, la CSA va disminuyendo, a excepción del módulo A donde la CSA en la Laguna Secundaria (LS) aumenta un poco. Los resultados de CSA en las lagunas primarias (facultativas) y secundarias (maduración) se encuentran muy por debajo de las CSA reportadas por la literatura previamente citada, indicando que las remociones de carga contaminantes son muy pobres a pesar de; gran área superficial de cada laguna. Esto se refleja en las remociones de contaminantes reportadas en las tablas 44, 45 y 46.

6.3 Operación y Mantenimiento de la PTAR de Estelí

6.3.1. Operación

Mediante la realización de entrevistas a operarios y participación en sus jornadas laborales, se lograron identificar los siguientes aspectos:

- Su jornada laboral se realiza de lunes a viernes en horario de 8 am a 2 pm. Al finalizar la jornada se debe realizar la debida desinfección mediante el aseo corporal al bañarse. Del mismo modo, practican todas las medidas higiénicas expuestas en el Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta dentro de lo posible y cumplen con sus chequeos médicos rutinarios.

- Poseen una bitácora donde anotan el flujo de entrada a la planta cada hora en su jornada mediante la medición de la canaleta Parshall. En época lluviosa, si el caudal entrante excede debido a lluvias y provoca desbordamientos en el

canal de entrada, como medida de emergencia, se realiza la apertura de una compuerta que se encuentra anexa al canal y deriva el flujo hacia un canal que desemboca al cuerpo hídrico más cercano (mismo cuerpo que desemboca el agua ya tratada).

- Posterior a su salida, no existe un cambio de turno; queda a cargo un guarda de seguridad que se encarga de vigilar la planta y hacer las tareas de limpieza de las rejillas de pretratamiento, y apertura de la compuerta de emergencia en la entrada en caso de haber desbordamiento por lluvias.

- Actualmente se encargan entre cuatro operarios, por lo cual muchas tareas deben de hacerse por un tiempo mucho más prolongado a lo estimado en el manual de operación y mantenimiento (ejemplo: chapoda, eliminación de vectores, limpieza de canales y rejillas, etc.).

- Cuentan con algunos medios de protección que son necesarios para que los operarios realicen sus tareas con seguridad. El botiquín de primeros auxilios no está actualizado y varios componentes de él se encuentran caducados.

- Algunas herramientas de trabajo para que los operarios puedan desarrollar sus labores están oxidadas, por lo cual los operarios han elaborado herramientas a base de reciclaje de piezas que consideren útiles (llamadas por ellos como “hechizas”) y que facilitan la labor de varias tareas de operación y mantenimiento (ver figura 24).

Figura 24.
Elaboración de herramientas de trabajo.



- La planta posee zonas expuestas al no estar debidamente cercada permitiendo el acceso a personas de escasos recursos que viven al lado de la planta, y a animales (ver figura 25). La principal razón de la falta de cerca se debe al robo de las mallas perimetrales que posteriormente son vendidas como chatarra. Esto mismo pasa con el uso de compuertas para los canales, las cuales algunas fueron robadas y el resto se mantienen guardadas en la caseta de herramientas.

Figura 25.
Presencia de ganado dentro de la PTAR.



- Dado a todos sus años de experiencias y capacitaciones recibidas, cada operario sabe resolver en problemas recurrentes en la planta y/o emergencias. Así mismo, cuentan con la asistencia técnica de la delegación de ENACAL en Estelí cuando la operación o el mantenimiento excede las capacidades de los operarios.

6.3.2. Mantenimiento

El principal problema presentado en la PTAR de Estelí es el de mantenimiento a las unidades depuradoras del sistema. En el área de pretratamiento, la unidad de tamizado fino, vital para retención de material fino como tapones, pajillas y demás cosas que no fuese retenidas en las rejillas y en el desarenador, se encuentra en desuso debido a falla mecánica dentro de ella, la cual no pudo ser reparada en intentos anteriormente realizados, por lo que todos estos desperdicios sin retener llegan a las siguientes unidades, provocando obstrucciones o bien como flotantes en los espejos de agua de cada laguna (ver figura 26).

Figura 26.

Restos plásticos no retenidos por rejillas grandes ni por máquina de tamizaje que se acumulan a las orillas de las lagunas de la PTAR.



En el caso de evacuación de lodos, el módulo C fue el último en recibir mantenimiento en el año 2019, siendo limpiado por completo con maquinaria pesada. El módulo A fue limpiado por completo en el año 2016 y en el caso del módulo B, solamente el RAA tuvo extracción de lodos en el año 2013. Lo que explica la baja eficiencia en la remoción de contaminantes que tiene esta PTAR en comparación con los criterios de la literatura.

Tampoco se ha realizado mediciones de lodos en lagunas por batimetría en los últimos dos años por falta de personal en la planta y herramientas en mal estado, pero se tenía planificado realizarla a finalizar el año 2023.

La mayor parte del lodo se acumula en grandes cantidades en la orilla del afluente de la unidad, disminuyendo a lo largo de su extensión.

Las tablas 53, 54 y 55 reflejan de forma comparativa las actividades de mantenimiento que se deben de ejecutar de acuerdo con el manual de operación y mantenimiento en la planta, su frecuencia teórica a realizar y la frecuencia y método realizados por los operarios actualmente por etapa de tratamiento. Por otro lado, la tabla 56 muestra otros elementos dentro de la planta que son de vital importancia y su estado estructural actual.

Tabla 53.

Actividades de operación y mantenimiento para el pretratamiento y su frecuencia real de realización.

Pretratamiento					
Unidad	**Mantenimiento**			**Estado General**	**Referencia Gráfica**
	Actividad	**Frecuencia Teórica**	**Frecuencia Actual**		
Primera Rejilla Manual	•Limpieza	•Diario	Cada 2 horas	•Excelente estado. No está corroída.	
Desarenador	•Retiro de material sólido y limpieza de cada canal de la unidad.	•Una vez cada quince días.	•Cada 2 a 3 meses se realiza limpieza de ambos canales del desarenador con Equipo de Succión - Presión (Camión Vactor). •Se cierra la compuerta por canal del desarenador para succionar todo el sólido depositado en el canal que está siendo limpiado. •Posterior a ello, se realiza lavado con presión de la manguera del camión.	•Dado a que su limpieza se realiza bimensual, muchas veces presenta saturación en los canales de depósito. •Sin embargo, físicamente posee buen aspecto y no presenta erosiones en las paredes de los canales.	

Tabla 53 *Evaluación Tecnológica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Estelí, para el Período Abril – Mayo, 2023*

Actividades de operación y mantenimiento para el pretratamiento y su frecuencia real de realización.

Pretratamiento					
Unidad	**Mantenimiento**			**Estado General**	**Referencia Gráfica**
	Actividad	**Frecuencia Teórica**	**Frecuencia Actual**		
Segunda Rejilla Manual	•Limpieza	•Diario	Cada 2 horas	•Mal estado. •Presenta oxidación y deterioro en las barras, permitiendo el paso de muchos sólidos que deberían de quedar retenidos.	
Tamiz Mecánico	•Limpieza	•Semanal	N/E	•Sin funcionamiento por avería desde 2017. •Se encuentra lleno de maleza y posee nido de tortugas.	
	•Lubricación	•Mensual			

Tabla 54.

Actividades de operación y mantenimiento para el tratamiento primario y su frecuencia real de realización.

Tratamiento Primario					
Unidad	**Mantenimiento**			**Estado General**	**Referencia Gráfica**
	Actividad	**Frecuencia Teórica**	**Frecuencia Real**		
Reactor Anaerobio Abierto (RAA)	• Limpieza	• Semanal	• Sondeo de tuberías de ingreso tres días a la semana. • No hay limpieza de salidas laterales.	• Deterioro físico de canales y barandas de seguridad totalmente corroídas. • La mayoría de las tuberías de salida están saturadas debido a los altos niveles de lodo en la unidad, por lo que su caudal de salida es menor al de entrada. • En todos los módulos presentan rebalse de aguas entrantes que a veces llegan a caer a los canales de salida de la unidad. • Presentan crecimiento de maleza en los lodos flotantes en el espejo de agua, generando malos olores.	 
	• Extracción de Lodos	• Anual	• Según datos proporcionados por ENACAL para el Reactor A su última limpieza fue realizada en el año 2016; el Reactor B, su última limpieza fue en el año 2013 y el Reactor C en el año 2019.		

Tabla 55.

Actividades de operación y mantenimiento para el tratamiento secundario y su frecuencia real de realización.

<table>
<tr><th rowspan="2">Unidad</th><th colspan="3">Mantenimiento</th><th rowspan="2">Estado General</th><th rowspan="2">Referencia Gráfica</th></tr>
<tr><th>Actividad</th><th>Frecuencia Teórica</th><th>Frecuencia Real</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Sistema de Lagunas</td><td>Limpieza de espejo de agua</td><td>Diario/mensual</td><td>Mensual</td><td rowspan="4">Laguna Primaria: Presenta disminución del caudal de salida debido a altos niveles de lodo en la unidad y saturación en tuberías de salida. Taludes deteriorados por erosión y sin reparación. Presencia de maleza en los alrededores de la laguna y sobre el espejo de agua.

Laguna Secundaria: En mejores condiciones en comparación al RAA y LP, con niveles de lodo menores en comparación a las unidades anteriores.</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>Taludes</td><td>Semanal</td><td>Nulo</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Extracción de Lodos</td><td>Cada 2 años</td><td>Cada 2 años</td></tr>
<tr><td>Laguna Primaria: Cada 5 años

Laguna Secundaria: Cada 10 años</td><td>Para ambas lagunas del módulo A, su última limpieza fue realizada en el año 2016. Para lagunas del módulo B no se cuentan con datos de limpieza. Para ambas lagunas del módulo C, su última limpieza fue realizada en el período 2017-2019.</td></tr>
</table>

Unidad	Mantenimiento			Estado General	Referencia Gráfica
	Actividad	**Frecuencia Teórica**	**Frecuencia Real**		
	Vectores	Tres veces por semana o, sea necesario	Diario	Presenta deterioro de taludes por erosión. Alta presencia de tortugas en sus aguas. .	
	Chapoda	Mensual en verano; invierno cada 15 días	Mensual en verano; invierno cada 15 días. A veces retrasada o inconclusa por problemas de abastecimiento de combustible.		

Tabla 56.
Otros elementos de la planta y su condición actual.

Unidad	Función	Condición Actual
Oficina General	• Alberga la información de la planta, los planos, botiquín de primeros auxilios, y otras herramientas de utilidad para los operarios. • Presenta un escritorio y un mueble archivador donde se mantiene lo anteriormente mencionado	• Se realizó un reemplazo al techo de zinc por tejas debido al estado corroído del mismo. • El botiquín de primeros auxilios es inexistente porque los insumos están caducados o en mal estado.
Caseta de Operarios	• Espacio para que los operarios puedan cambiarse y ponerse su uniforme de trabajo, así como vestirse luego de bañarse al finalizar la jornada.	• Se realizó un reemplazo al techo de zinc por tejas debido al estado corroído del mismo. • Compartimentos hechos por paneles divisores de madera en malas condiciones.
Caseta de Herramientas	• Alberga todas las herramientas utilizadas en la operación de la PTAR, tales como carretillas, rastrillos, dispositivos de sondeo de tuberías, escobas, podadora, entre otros.	• Zinc en mal estado, corroído.
Canales Conectores entre Unidades de Tratamiento	• Se encargan de transportar el agua a cada unidad desde que entra a la PTAR hasta su salida.	• Algunos están erosionados, con indicios de estar próximo a derrumbe.
Lecho de Secado de Lodos	• Ubicado en la zona oeste de la PTAR, es un sitio destinado para el depósito de los lodos extraídos en los RAA y las lagunas, posterior a darles mantenimiento.	• Cubierto totalmente por maleza debido a desuso y falta de mantenimiento.
Depósito de Sólidos Sedimentables	Ubicado en la zona oeste de la PTAR, destinado para albergar los sólidos del desarenador luego de ser limpiado	Buenas condiciones
Relleno Sanitario	Ubicado en la zona sur de la PTAR, está destinado para albergar los sólidos retenidos por las rejillas antes y después del desarenador.	Buenas condiciones. Presencia de aves carroñeras al estar expuesto al ambiente.

VII. CONCLUSIONES

En la evaluación fisicoquímica, se observó que la planta cumple con totalidad de los parámetros legislativos expuestos en el Arto. 26 del Decreto 21 – 2017 con un porcentaje de remoción de 56,1% para DQO y un 82,9% para DBO, protegiendo así su receptor hídrico que en este caso es la quebrada La Limonosa.

En el caso del Arto. 24 el actual sistema de tratamiento no logra reducir las coliformes termotolerantes por debajo del valor normado. Cabe destacar que, según su historial fisicoquímico, no se ha cumplido con este parámetro en ningún año (pese a que los parametros normados en el Arto. 26 siempre han sido cumplidos), infiriendo en que la planta necesita un tratamiento terciario para lograr cumplir con lo dictado en el Decreto 21-2017.

A nivel de cada unidad, aunque existe una remoción de contaminantes significativa, no todas las unidades cumplen con los porcentajes propuestos por la literatura. Esto puede ser posible debido a acumulación de lodos por falta de mantenimiento o bien una carga orgánica entrante superior a la de diseño.

En cuanto a las condiciones hidráulicas, la planta recibe un caudal superior a su capacidad de diseño debido al crecimiento poblacional. Varias unidades presentan obstrucción por acumulación de lodos, lo que reduce el caudal de salida y provoca desbordes que mezclan agua cruda con tratada, dificultando medir el volumen real tratado. Los tiempos de retención son menores a los recomendados, afectando la calidad del tratamiento, y las cargas orgánica y superficial en los RAA muestran un comportamiento variable.

A nivel operacional, el personal de planta cumple eficientemente sus tareas gracias a su experiencia y respaldo de ENACAL-Estelí, aunque se requiere reforzar el equipo humano y técnico, ya que el personal actual es limitado y algunos materiales están en mal estado. El principal problema radica en el mantenimiento, con acumulación de lodos por falta de limpieza profunda en las unidades, lo que compromete la eficiencia y calidad del vertido. A pesar de estas limitaciones, se destaca el compromiso del personal y de ENACAL como clave para el funcionamiento continuo de la planta frente al crecimiento poblacional.

VIII. RECOMENDACIONES

Se exponen las siguientes recomendaciones en base a cada objetivo analizado:

1. A nivel fisicoquímico, se recomienda retomar la medición continua de pH en campo, ya que, aunque estuvo dentro de rangos aceptables, puede ser clave para estudios futuros. También se sugiere evaluar la implementación de un tratamiento terciario para reducir los coliformes termotolerantes conforme al Arto. 24 del Decreto 21–2017, y realizar un estudio del cuerpo receptor para verificar el cumplimiento de este parámetro.

2. A nivel de sus condiciones hidráulicas, se recomienda extraer lodos acumulados para restablecer los tiempos de retención adecuados y evitar rebalses. Es clave mejorar la medición de caudal mediante equipos calibrados y limpieza de canaletas, así como desobstruir tuberías internas. También se sugiere reforzar estructuras hidráulicas críticas, e implementar un plan de mantenimiento preventivo. Finalmente, se propone capacitar al personal en aspectos hidráulicos para optimizar la operación diaria ante caudales variables.

3. A nivel de operación y mantenimiento se sugiere más apoyo laboral dentro de la planta para cumplir con todas las actividades operacionales propuestas en el manual sin tener desfase de tiempo. También se propone la actualización del botiquín de primeros auxilios y la provisión de equipos y herramientas en mal estado para que los operarios puedan efectuar sus labores de forma segura y que puedan operar la planta apropiadamente. Por otro lado, se solicita un mantenimiento a todas las unidades de tratamiento lo más pronto que pueda ser posible.

IX. REFERENCIAS

Acosta, Y. L., & Abreu, M. C. (2005). La Digestión Anaerobia: Aspectos Teóricos Parte 1. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 35-48.

Asamblea Nacional de Nicaragua. (1998). *Norma Técnica Nicaragüense 05 009 – 98.* Managua.

Asamblea Nacional de Nicaragua. (2006). *Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para Regular los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y su Reuso.* Managua.

Asamblea Nacional de Nicaragua. (28 de noviembre de 2017). *REGLAMENTO EN EL QUE SE ESTABLECE N LAS DISPOSICIONES PARA EL VERTIDO DE AGUAS RESIDUALES.* Normas Jurídicas de Nicaragua: http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/b92aaea87dac762406257265005d21f7/a35cf61591ad2d57062581f30056f9ec?OpenDocument

Baird, R. B., Rice, E. W., & Posavec, S. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23ava ed.). Washington, DC.: American Public Health Association.

Banco Centroamericano de Integración Económica. (21 de septiembre de 2020). *BCIE: sistemas de agua potable y saneamiento en Nicaragua avanza en un 96%*. Banco Centroamericano de Integración Económica: https://www.bcie.org/novedades/noticias/articulo/bcie-sistemas-de-agua-potable-y-saneamiento-en-nicaragua-avanza-en-un-96#:~:text=La%20iniciativa%20impulsada%20por%20el,las%20zonas%20urbanas%20y%20rurales.

Bardales, P. O. (03 de Marzo de 2014). *Reactores Anaerobios*. Taller “Operación y Mantenimiento de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”: https://1793ho.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/03/2g-tratamiento-anaerobio-po2014.pdf

Blog del Agua. (14 de enero de 2021). *Sistemas anaerobios: un paso adelante hacia la sostenibilidad en la depuración*. Blog del Agua: https://blogdelagua.com/actualidad/sistemas-anaerobios-un-paso-adelante-hacia-la-sostenibilidad-en-la-depuracion/

Calvachi, G. L., & Ortiz, I. A. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y Salud*.

Comisión Nacional del Agua, México. (2014). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lagunas de Estabilización.* México D.F: Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.

Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones.* Bogotá: McGraw-Hill.

Davis, M. L. (2020). *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice.* Chicago: McGraw-Hill.

ENACAL. (2015). *Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Estelí.* Estelí: ENACAL.

Fondo de Inversión Social de Emergencia. (2020). *Opciones para el Diseño de Soluciones Saneamiento in Situ.* Managua.

Garcia. (2021). Reactores UASB. *Reactores Anaerobios*. Managua.

Garcia, I. (2021). UNIDAD I: ingeniería de las Aguas Residuales. *Fundamentos de la Ingeniería Ambiental II*. Nicaragua.

Giz - PROATAS. (s.f.). *Informe de Situación PTAR - Estelí*. SIGIL - ENACAL: http://www.rotariaweb.net/sigide/model/informe.php?idp=10&txt=

Granados, I. G. (s.f.). Parámetros Fisicoquímicos. *Fundamentos de Ingeniería Ambiental*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.

Granados, I. G. (s.f.). Tratamiendos Preliminares: Físicos. *Fundamentos de la Ingeniería Ambiental*. Managua, Nicaragua.

Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA). (2016). *Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.* Managua.

Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery.* New York: McGraw-Hill Education.

Metcalf & Eddy, Inc. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales.* Madrid: McGraw-Hill.

Mihelcic, J., & Zimmerman, J. (2012). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, sustentabilidad, Diseño.* México D.F: Alfaomega.

Muñoz, A. H., Lehmann, A. H., & Martínez, P. G. (2004). *Manual de Depuración Uralita.* Madrid: Thomson-Paraninfo.

Orozco, Á. (2014). *Bioingeniería de Aguas Residuales: Teoría y Diseño.* Colombia: ACODAL.

OTT HydroMet. (2019). *Caudal de Agua*. OTT HydroMet: https://www.ott.com/es-es/productos/caudal-de-agua-157/

Pedroza, E. (2017). *El molinete, importancia, fundamentos y buenas prácticas.* México: IMTA.

Riffat, R., & Husnain, T. (2022). *Fundamentals of Wastewater Treatment and Engineering.* Oxford: CRC Press.

SILAIS Estelí. (2022). *Población Municipal año 2022.* Estelí.

Sistema de las Naciones Unidas Nicaragua. (2018). *Objetivos de Desarrollo Sostenible.* ONU.

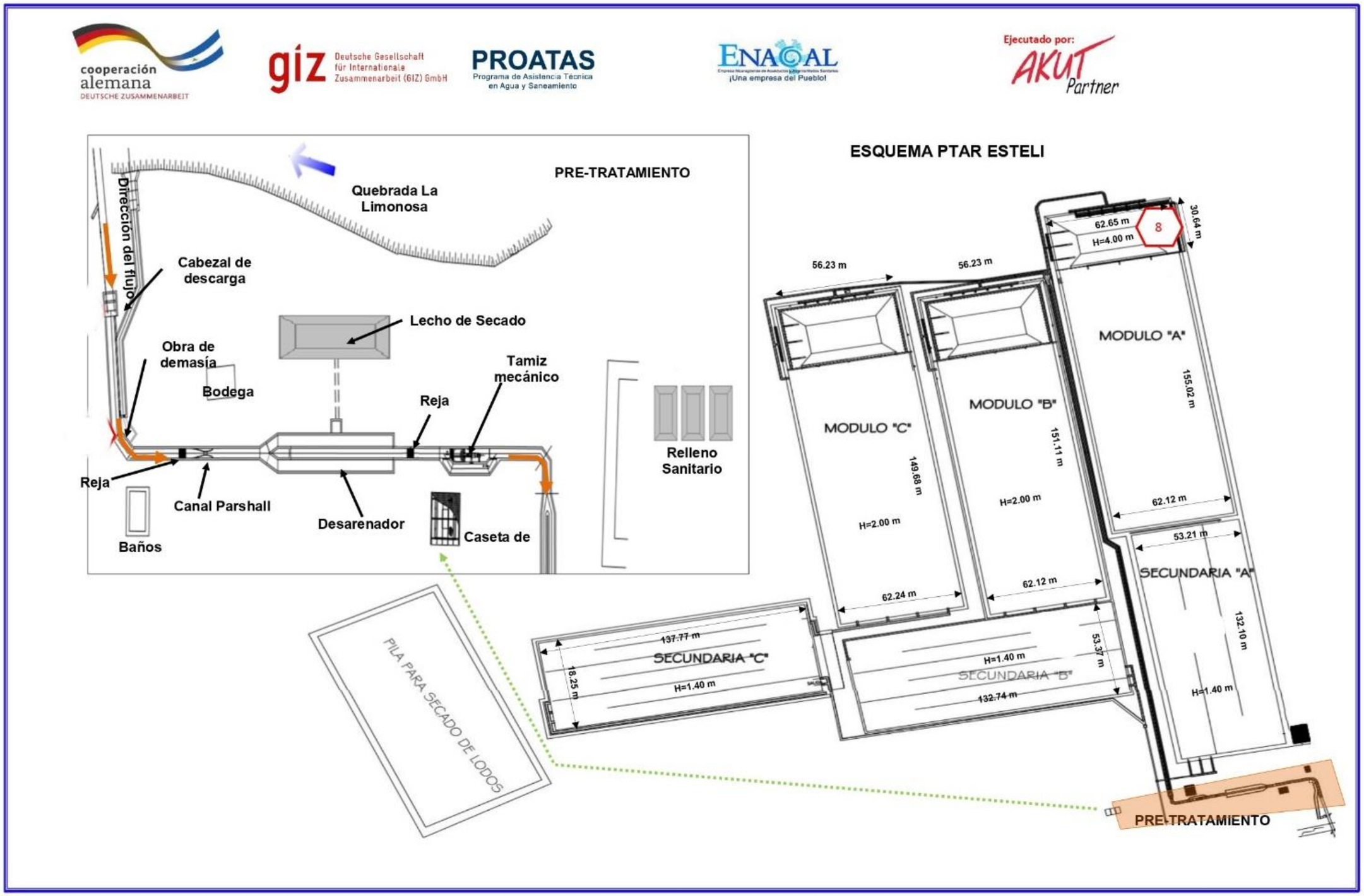
Studysmarter. (s.f.). *Nubosidad*. Studysmarter: https://www.studysmarter.es/resumenes/geografia/geociencias/nubosidad/

SYNERTECH Water Resource. (2024). *Reja de Gruesos Manual Para Pretratamiento de Aguas Residuales*. SYNERTECH Water Resource: https://www.nyfdecolombia.com/aguas-residuales/reja-manual

Vázquez, F. (2016). Lagunas de Estabilizacion. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica - Claves Para El Desarrollo*.

ANEXOS

ANEXO A: Plano con Vista de Planta de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Estelí.



Anexo B. Resultados fisicoquímicos para punto de muestreo "Entrada General".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYOS DE AGUAS RESIDUALES

AR-2308-0129.01
LA-PT-08.RT02

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Esteli, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24-25/08/2023 ; 24h	**Fecha de**	**Ingreso de muestra**	25/08/2023	**Rango o valor máximo permisible o recomendado**
Fuente*	Entrada General		**Inicio de análisis**	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua residual compuesta/Térmica/Aceptable		**Finalización de análisis**	30/08/2023	
Ubicación de la fuente*	Planta Municipal Esteli		**Emisión del informe de resultados**	06/09/2023	
Coordenadas	NR	**No. Cadena de custodia**		5993	
Recolectada por	Sofia Belen Triminio Gomez	**Código de muestra**		LA-2308-0833	
Supervisor en campo*	Sofia Belen Triminio Gomez	**Muestra No.**		Uno (01)	

METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art 26[1]
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	270.00	110
4500-B	Nitrogeno Total kjeldahl	mg/L	25.20	30
4500-C	Fósforo Total	mg/L	5.50	10
5520-B	Aceites y Grasas Totales	mg/L	45.60	15

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NR** = No reporta
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, [1]**Decreto N° 21-2017** Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realizacion de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI.El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan unicamente con los items de ensayo.

MSc. Ing. Xochilt Barahona
Coordinadora Laboratorio Ambiental

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA · REPUBLICA DE NICARAGUA · AMERICA CENTRAL · Coordinación Técnica PIENSA

Pag. 1/1

.....Fin del Informe.....

231155

Teléfono: (505) 22781462

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo C. Resultados bacteriológicos para punto de muestreo "Entrada General".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

MB-2308-0194.01
LA-PT-09.RT01

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCIÓN DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Estelí, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24-25/08/2023; 24 h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente	Entrada General		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Residual Compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	29/08/2023	
Ubicación de la fuente	Planta Municipal Estelí		Emisión del informe de resultados	05/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5993	
Recolectada por	Sofia Belen Treminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0833	
Supervisor en campo	Sofia Belen Treminio Gomez	Muestra No.		Uno (01)	

METODO SM /EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Decreto 21-2017 Arto. 24[1]
9221-B	Coliforme Total	NMP/100mL	$4.7x10^5$	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NE**= No especificada en la Norma, **NR**= No Reporta, **Adim**= Adimensional

Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, **MH**= Metodología Hach

EPA = Environmental Protection Agency, [1]Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales, **Valor recomendado

‡Ensayos subconcontratados en el laboratorio.

***Observaciones**: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente, a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.*

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan únicamente con los ítems de ensayo.

MSc. Ing. Yesenia Baranda
Coordinadora Laboratorio Ambiental

.....Fin del Informe

Pág. 1/1

251167

Teléfono: (505) 2278 1462
Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595
info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo C. Resultados fisicoquímicos para punto de muestreo "Salida Desarenador".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYOS DE AGUAS RESIDUALES

AR-2308-0129.02
LA-PT-09.RT02

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Esteli, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023 ; 10h	**Fecha de**	**Ingreso de muestra**	25/08/2023	**Rango o valor máximo permisible o recomendado**
Fuente#	Salida del sedimentador		**Inicio de análisis**	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua residual compuesta/Térmica/Aceptable		**Finalización de análisis**	30/08/2023	
Ubicación de la fuente#	Planta Municipal Esteli		**Emisión del informe de resultados**	06/09/2023	
Coordenadas	NR	**No. Cadena de custodia**		5993	
Recolectada por	Sofia Belen Triminio Gomez	**Código de muestra**		LA-2308-0834	
Supervisor en campo*	Sofia Belen Triminio Gomez	**Muestra No.**		Dos (02)	

METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art 26[1]
5210-B	Demanda Bioquimica de Oxigeno	mg/L	**230.00**	110
4500-B	Nitrogeno Total kjeldahl	mg/L	**20.16**	30
4500-C	Fósforo Total	mg/L	**3.65**	10
5520-B	Aceites y Grasas Totales	mg/L	**40.30**	15

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y simbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NR** = No reporta
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, [1]**Decreto N° 21-2017** Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realizacion de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI.El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan unicamente con los items de ensayo.

MSc. Ing. Xochilt Barahona
Coordinadora Laboratorio Ambiental

Pag. 1/1

.....Fin del Informe.....

231176

Teléfono: (505) 2278 1462

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo D. Resultados bacteriológicos para punto de muestreo "Salida Desarenador".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

MB-2308-0194.02
LA-PT-08.RT01

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCIÓN DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Estelí, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023; 10 h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente	Salida del Sedimentador		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Residual Compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	29/08/2023	
Ubicación de la fuente	Planta Municipal Esteli		Emisión del informe de resultados	05/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5993	
Recolectada por	Sofia Belen Treminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0834	
Supervisor en campo	Sofia Belen Treminio Gomez	Muestra No.		Dos (02)	

METODO SM /EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Decreto 21-2017 Arto. 24[1]
9221-B	Coliforme Total	NMP/100mL	$3.4x10^6$	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NE**= No especificada en la Norma, **NR**= No Reporta, **Adim**= Adimensional

Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, **MH**= Metodología Hach

EPA = Environmental Protection Agency, [1]Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales, **Valor recomendado.

‡Ensayos subconcontratados en el laboratorio.

Observaciones: *La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente, a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que puede afectar la validez de los resultados.*

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan únicamente con los ítems de ensayo.

MSC. Ing. Xochilt Bonilla
Coordinadora Laboratorio Ambiental

.....Fin del Informe.....

Pág. 1/1

231156

Teléfono: (505) 2278 1462
Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595
info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo E. Resultados fisicoquímicos para punto de muestreo "Salida RAA A".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYOS DE AGUAS RESIDUALES

AR-2308-0129.06
LA-PT-09.RT02

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Estelí, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023 ; 10h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente#	Salida Reactor A		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua residual compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	30/08/2023	
Ubicación de la fuente#	Planta Municipal Estelí		Emisión del informe de resultados	06/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5993	
Recolectada por	Sofia Belen Triminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0838	
Supervisor en campo#	Sofia Belen Triminio Gomez	Muestra No.		Seis (06)	

METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art 26[1]
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	65.00	110
4500-B	Nitrogeno Total kjeldahl	mg/L	30.24	30
4500-C	Fósforo Total	mg/L	4.65	10
5520-B	Aceites y Grasas Totales	mg/L	24.10	15

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NR** = No reporta
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, [1]**Decreto N° 21-2017** Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realizacion de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI.El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan unicamente con los ítems de ensayo.

MSc. Ing. Xochitl Baralt Jorge
Coordinadora Laboratorio Ambiental

.....Fin del Informe.....

Pag. 1/1

231172

Teléfono: (505) 22781462

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo F. Resultados bacteriológicos para punto de muestreo "Salida RAA A".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

MB-2308-0194.06
LA-PT-09.RT01

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCIÓN DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Estelí, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023; 10 h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente	Salida Reactor A		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Residual Compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	29/08/2023	
Ubicación de la fuente	Planta Municipal Estelí		Emisión del informe de resultados	05/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5993	
Recolectada por	Sofía Belen Treminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0838	
Supervisor en campo	Sofía Belen Treminio Gomez	Muestra No.		Seis (06)	

METODO SM /EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Decreto 21-2017 Arto. 26[1]
9221-B	Coliforme Total	NMP/100mL	$7.9x10^6$	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NE**= No especificada en la Norma, NR= No Reporta, **Adim**= Adimensional

Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, MH= Metodología Hach

EPA = Environmental Protection Agency, [1]Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales, **Valor recomendado.

‡Ensayos subconcontratados en el laboratorio.

***Observaciones:** La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente, a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.*

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan únicamente con los ítems de ensayo.

MSc. Ing. Keohilt Borachowicz
Coordinadora Laboratorio Ambiental

.....Fin del Informe.....

Pág. 1/1

231160

Teléfono: (505) 22781462
Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595
info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo G. Resultados fisicoquímicos para punto de muestreo "Salida Laguna Primaria A".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYOS DE AGUAS RESIDUALES

AR-2308-0129.05
LA-PT-08.RT02

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Esteli, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023 ; 10h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente*	Salida Laguna IA		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua residual compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	30/08/2023	
Ubicación de la fuente*	Planta Municipal Esteli		Emisión del informe de resultados	06/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5993	
Recolectada por	Sofia Belenn Triminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0837	
Supervisor en campo*	Sofia Belenn Triminio Gomez	Muestra No.		Cinco (05)	

METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art 26[1]
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	63.33	110
4500-B	Nitrogeno Total kjeldahl	mg/L	31.36	30
4500-C	Fósforo Total	mg/L	1.85	10
5520-B	Aceites y Grasas Totales	mg/L	17.60	15

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NR** = No reporta
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, [1]**Decreto N° 21-2017** Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realizacion de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI.El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan unicamente con los ítems de ensayo.

MSC. Ing. Xochilt Baráhona
Coordinadora Laboratorio Ambiental

Pag. 1/1

.....Fin del Informe.....

231173

Teléfono: (505) 22781462

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua
Apdo: 5595

info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo H. Resultados bacteriológicos para punto de muestreo "Salida Laguna Primaria A".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

MB-2308-0194.05
LA-PT-09.RT01

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Estelí, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023; 10 h	**Fecha de**	**Ingreso de muestra**	25/08/2023	**Rango o valor máximo permisible o recomendado**
Fuente	Salida Laguna IA		**Inicio de análisis**	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Residual Compuesta/Térmica/Aceptable		**Finalización de análisis**	29/08/2023	
Ubicación de la fuente	Planta Municipal Estelí		**Emisión del informe de resultados**	05/09/2023	
Coordenadas	NR	**No. Cadona de custodia**		5993	
Recolectada por	Sofía Belen Treminio Gomez	**Código de muestra**		LA-2308-0837	
Supervisor en campo	Sofía Belen Treminio Gomez	**Muestra No.**		Cinco (05)	

METODO SM /EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Decreto 21-2017 Arto. 26[1]
9221-B	Coliforme Total	NMP/100mL	$3.9x10^4$	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NE=** No especificada en la Norma, **NR=** No Reporta, **Adim=** Adimensional

Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, **MH=** Metodología Hach

EPA = Environmental Protection Agency, [1]Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales, **Valor recomendado.

‡Ensayos subconcontratados en el laboratorio.

***Observaciones**: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente, a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.*

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan únicamente con los ítems de ensayo.

MSc. Ing. Xyelli Grahona
Coordinadora Laboratorio Ambiental

.....Fin del Informe

Pág. 1/1

231159

Teléfono: (505) 2278 1462

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo I. Resultados fisicoquímicos para punto de muestreo "Salida Laguna Secundaria A".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYOS DE AGUAS RESIDUALES

AR-2308-0129.04
LA-PT-09.RT02

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Esteli, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023 ; 10h	Fecha de	**Ingreso de muestra**	25/08/2023	
Fuente#	Salida Laguna 2A		**Inicio de análisis**	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua residual compuesta/Térmica/Aceptable		**Finalización de análisis**	30/08/2023	
Ubicación de la fuente#	Planta Municipal Esteli		**Emisión del informe de resultados**	06/09/2023	
Coordenadas	NR	**No. Cadena de custodia**		5993	
Recolectada por	Sofia Belen Triminio Gomez	**Código de muestra**		LA-2308-0836	
Supervisor en campo#	Sofia Belen Triminio Gomez	**Muestra No.**		Cuatro (04)	

METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art 26[1]
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxigeno	mg/L	80.00	110
4500-B	Nitrogeno Total kjeldahl	mg/L	31.36	30
4500-C	Fósforo Total	mg/L	3.25	10
5520-B	Aceites y Grasas Totales	mg/L	14.00	15

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y simbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NR** = No reporta
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, [1]**Decreto Nº 21-2017** Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realizacion de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI.El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan unicamente con los items de ensayo.

MSc. Ing. Xochilt Barahona
Coordinadora Laboratorio Ambiental

Pag. 1/1

.....Fin del Informe.....

231174

Teléfono: (505) 2278 1462

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo J. Resultados bacteriológicos para punto de muestreo "Salida Laguna Secundaria A".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

MB-2308-0194.04
LA-PT-09.RT01

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCIÓN DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Esteli, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023; 10 h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente	Salida Laguna 2A		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Residual Compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	29/08/2023	
Ubicación de la fuente	Planta Municipal Esteli		Emisión del informe de resultados	05/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5993	
Recolectada por	Sofia Belen Treminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0836	
Supervisor en campo	Sofia Belen Treminio Gomez	Muestra No.		Cuatro (04)	

METODO SM /EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Decreto 21-2017 Arto. 26[1]
9221-B	Coliforme Total	NMP/100mL	$4.7x10^5$	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NE**= No especificada en la Norma, **NR**= No Reporta, **Adim**= Adimensional

Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, **MH**= Metodología Hach

EPA = Environmental Protection Agency, [1]Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales, **Valor recomendado.

‡Ensayos subconcontratados en el laboratorio.

***Observaciones**: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente, a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.*

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan únicamente con los ítems de ensayo.

MSc. Ing. Xochilt Saravia
Coordinadora Laboratorio Ambiental

.....Fin del Informe.....

Pág. 1/1

231108

Teléfono: (505) 22781462

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo K. Resultados fisicoquímicos para punto de muestreo "Salida RAA B".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYOS DE AGUAS RESIDUALES

AR-2308-0129.09
LA-PT-09.RT02

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Estelí, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023 ; 10h	**Fecha de**	**Ingreso de muestra**	25/08/2023	**Rango o valor máximo permisible o recomendado**
Fuente#	Salida Reactor B		**Inicio de análisis**	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua residual compuesta/Térmica/Aceptable		**Finalización de análisis**	30/08/2023	
Ubicación de la fuente#	Planta Municipal Esteli		**Emisión del informe de resultados**	06/09/2023	
Coordenadas	NR	**No. Cadena de custodia**		5993	
Recolectada por	Sofia Belen Triminio Gomez	**Código de muestra**		LA-2308-0841	
Supervisor en campo#	Sofia Belen Triminio Gomez	**Muestra No.**		Nueve (09)	

METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art 26[1]
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxigeno	mg/L	**67.50**	110
4500-B	Nitrogeno Total kjeldahl	mg/L	**23.52**	30
4500-C	Fósforo Total	mg/L	**4.52**	10
5520-B	Aceites y Grasas Totales	mg/L	**16.90**	15

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y simbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NR** = No reporta
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, [1]**Decreto N° 21-2017** Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realizacion de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI.El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan unicamente con los items de ensayo.

MSC. Ing. Xochilt Barahona
Coordinadora Laboratorio Ambiental

Pag. 1/1

.....Fin del Informe.....

231169

Teléfono: (505) 2278 1462

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo L. Resultados bacteriológicos para punto de muestreo "Salida RAA B".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

MB-2308-0194.09
LA-PT-09.RT01

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Estelí, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023; 10 h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente	Salida Reactor B		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Residual Compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	29/08/2023	
Ubicación de la fuente	Planta Municipal Estelí		Emisión del informe de resultados	05/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5993	
Recolectada por	Sofia Belen Treminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0841	
Supervisor en campo	Sofia Belen Treminio Gomez	Muestra No.		Nueve (09)	

METODO SM /EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Decreto 21-2017 Arto. 26[1]
9221-B	Coliforme Total	NMP/100mL	$2.2x10^6$	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NE**= No especificada en la Norma, **NR**= No Reporta, **Adim**= Adimensional

Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, **MH**= Metodología Hach

EPA = Environmental Protection Agency, [1]Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales, **Valor recomendado.

‡Ensayos subconcontratados en el laboratorio.

Observaciones: *La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente, a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.*

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan únicamente con los ítems de ensayo.

MSc. Ing. Xochilt Bertrand
Coordinadora Laboratorio Ambiental

.....Fin del Informe.....

Pág. 1/1

231163

Teléfono: (505) 2278 1462
Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595
info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo M. Resultados fisicoquímicos para punto de muestreo "Salida Laguna Primaria B".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYOS DE AGUAS RESIDUALES

AR-2308-0129.08
LA-PT-09.RT02

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Estelí, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023 ; 10h	Fecha de	**Ingreso de muestra**	25/08/2023	**Rango o valor máximo permisible o recomendado**
Fuente#	Salida Laguna IA		**Inicio de análisis**	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua residual compuesta/Térmica/Aceptable		**Finalización de análisis**	30/08/2023	
Ubicación de la fuente#	Planta Municipal Esteli		**Emisión del informe de resultados**	06/09/2023	
Coordenadas	NR	**No. Cadena de custodia**		5993	
Recolectada por	Sofía Belen Triminio Gomez	**Código de muestra**		LA-2308-0840	
Supervisor en campo#	Sofía Belen Triminio Gomez	**Muestra No.**		Ocho (08)	

METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art 26[1]
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	**35.00**	110
4500-B	Nitrogeno Total kjeldahl	mg/L	**28.56**	30
4500-C	Fósforo Total	mg/L	**4.51**	10
5520-B	Aceites y Grasas Totales	mg/L	**15.30**	15

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y simbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NR** = No reporta
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, [1]**Decreto N° 21-2017** Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realizacion de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI.El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan unicamente con los items de ensayo.

MSc. Ing. Xochilt Baltodano
Coordinadora Laboratorio Ambiental

Pag. 1/1

.....Fin del Informe.....

231170

Teléfono: (505) 2278 1462
Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595
info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo N. Resultados bacteriológicos para punto de muestreo "Salida Laguna Primaria B".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

MB-2308-0194.08
LA-PT-08.RT01

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCIÓN DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Estelí, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023; 10 h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente	Salida Laguna IA		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Residual Compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	29/08/2023	
Ubicación de la fuente	Planta Municipal Estelí		Emisión del informe de resultados	05/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5993	
Recolectada por	Sofia Belen Treminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0840	
Supervisor en campo	Sofia Belen Treminio Gomez	Muestra No.		Ocho (08)	

METODO SM /EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Decreto 21-2017 Arto. 26[1]
9221-B	Coliforme Total	NMP/100mL	$3.9x10^5$	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NE**= No especificada en la Norma, **NR**= No Reporta, **Adim**= Adimensional

Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, **MH**= Metodología Hach

EPA = Environmental Protection Agency, [1]Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales, **Valor recomendado.

‡Ensayos subconcontratados en el laboratorio.

Observaciones: *La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente, a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.*

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan únicamente con los ítems de ensayo.

MSc. Ing. Xochilt Baraona Bl...
Coordinadora Laboratorio Ambiental

.....Fin del Informe.....

Pág. 1/1

231162

Teléfono: (505) 22781462
Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595
info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo O. Resultados fisicoquímicos para punto de muestreo "Salida Laguna Secundaria B".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYOS DE AGUAS RESIDUALES

AR-2308-0129.07
LA-PT-09.RT02

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Estelí, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023 ; 10h	Fecha de	**Ingreso de muestra**	25/08/2023	
Fuente#	Salida Laguna 2B		**Inicio de análisis**	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua residual compuesta/Térmica/Aceptable		**Finalización de análisis**	30/08/2023	
Ubicación de la fuente#	Planta Municipal Esteli		**Emisión del informe de resultados**	05/09/2023	
Coordenadas	NR	**No. Cadena de custodia**		5993	
Recolectada por	Sofía Belen Triminio Gomez	**Código de muestra**		LA-2308-0839	
Supervisor en campo#	Sofía Belen Triminio Gomez	**Muestra No.**		Siete (07)	

METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art 26[1]
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxigeno	mg/L	**50.00**	110
4500-B	Nitrogeno Total kjeldahl	mg/L	**29.12**	30
4500-C	Fósforo Total	mg/L	**5.32**	10
5520-B	Aceites y Grasas Totales	mg/L	**12.50**	15

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NR** = No reporta
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, [1]**Decreto N° 21-2017** Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realizacion de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI.El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan unicamente con los ítems de ensayo.

MSc. Ing. Xochilt Zarahona
Coordinadora Laboratorio Ambiental

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA · REPUBLICA DE NICARAGUA · AMERICA CENTRAL · Coordinacion Tecnica PIENSA

Pag. 1/1

.....Fin del Informe.....

231171

Teléfono: (505) 22781462

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo P. Resultados bacteriológicos para punto de muestreo "Salida Laguna Secundaria B".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

MB-2308-0194.07
LA-PT-09.RT01

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCIÓN DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Estelí, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023; 10 h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente	Salida Laguna 2B		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Residual Compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	29/08/2023	
Ubicación de la fuente	Planta Municipal Estelí		Emisión del informe de resultados	05/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5993	
Recolectada por	Sofía Belen Treminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0839	
Supervisor en campo	Sofía Belen Treminio Gomez	Muestra No.		Siete (07)	

METODO SM /EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Decreto 21-2017 Arto. 26[1]
9221-B	Coliforme Total	NMP/100mL	$2.3x10^5$	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NE**= No especificada en la Norma, **NR**= No Reporta, **Adim**= Adimensional

Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, **MH**= Metodología Hach

EPA = Environmental Protection Agency, [1]Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales, **"Valor recomendado.

‡Ensayos subconcontratados en el laboratorio.

Observaciones: *La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente, a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.*

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan únicamente con los ítems de ensayo.

MSc. Ing. Xochilt Barahona
Coordinadora Laboratorio Ambiental

.....Fin del Informe.....

Pág. 1/1

231161

Teléfono: (505) 2278 1462

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo Q. Resultados fisicoquímicos para punto de muestreo "Salida RAA C".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYOS DE AGUAS RESIDUALES

AR-2308-0130.12
LA-PT-09.RT02

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Estelí, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023 ; 10h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente#	Salida Reactor C		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua residual compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	30/08/2023	
Ubicación de la fuente#	Planta Municipal Esteli		Emisión del informe de resultados	06/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5994	
Recolectada por	Sofia Belen Triminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0844	
Supervisor en campo#	Sofia Belen Triminio Gomez	Muestra No.		Doce (12)	

METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art 26[1]
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	80.00	110
4500-B	Nitrogeno Total kjeldahl	mg/L	29.68	30
4500-C	Fósforo Total	mg/L	2.79	10
5520-B	Aceites y Grasas Totales	mg/L	50.00	15

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y simbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NR** = No reporta
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, [1]**Decreto N° 21-2017** Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realizacion de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI.El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan unicamente con los items de ensayo.

Msc. Ing. Xochilt Barahona
Coordinadora Laboratorio Ambiental

Pag. 1/1

.....Fin del Informe.....

231178

Teléfono: (505) 2278 1462
Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595
info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo R. Resultados bacteriológicos para punto de muestreo "Salida RAA C".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

MB-2308-0195.12
LA-PT-08.RT01

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Esteli, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023; 10 h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente	Salida Reactor C		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Residual Compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	29/08/2023	
Ubicación de la fuente	Planta Municipal Estelí		Emisión del informe de resultados	05/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5994	
Recolectada por	Sofia Belen Treminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0844	
Supervisor en campo	Sofia Belen Treminio Gomez	Muestra No.		Doce (12)	

METODO SM /EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Decreto 21-2017 Arto. 26[1]
9221-B	Coliforme Total	NMP/100mL	$5.4x10^6$	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NE**= No especificada en la Norma, **NR**= No Reporta, **Adim**= Adimensional

Métodos, Normas y/o Decreto empleados: **SM** = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, MH= Metodología Hach

EPA = Environmental Protection Agency, [1]Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales, **Valor recomendad.

‡Ensayos subconcontratados en el laboratorio.

***Observaciones**: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente, a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.*

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan únicamente con los ítems de ensayo.

MSc. Ing. Xochilt Bereth Ulloa
Coordinadora Laboratorio Ambiental

.....Fin del Informe.....

Pág. 1/1

231166

Teléfono: (505) 22781462
Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595
info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo S. Resultados fisicoquímicos para punto de muestreo "Salida Laguna Primaria C".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYOS DE AGUAS RESIDUALES

AR-2308-0130.11
LA-PT-09.RT02

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Esteli, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023 ; 10h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente#	Salida Laguna 1C		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua residual compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	30/08/2023	
Ubicación de la fuente#	Planta Municipal Esteli		Emisión del informe de resultados	06/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5994	
Recolectada por	Sofia Belen Triminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0843	
Supervisor en campo#	Sofia Belen Triminio Gomez	Muestra No.		Once (11)	

METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art 26[1]
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxigeno	mg/L	**42.50**	110
4500-B	Nitrogeno Total kjeldahl	mg/L	**32.48**	30
4500-C	Fósforo Total	mg/L	**2.40**	10
5520-B	Aceites y Grasas Totales	mg/L	**10.70**	15

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y simbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NR** = No reporta
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, [1]**Decreto N° 21-2017** Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realizacion de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI.El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan unicamente con los ítems de ensayo.

MSc. Ing. Xochilt Barahona
Coordinadora Laboratorio Ambiental

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA · REPUBLICA DE NICARAGUA · AMERICA CENTRAL · Coordinacion Tecnica PIENSA

Pag. 1/1

.....Fin del Informe.....

231177

Teléfono: (505) 2278 1462
Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595
info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo T. Resultados bacteriológicos para punto de muestreo "Salida Laguna Primaria C".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

MB-2308-0195.11
LA-PT-09.RT01

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCIÓN DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Esteli, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023; 10 h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente	Salida Laguna IC		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Residual Compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	29/08/2023	
Ubicación de la fuente	Planta Municipal Estelí		Emisión del informe de resultados	05/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5994	
Recolectada por	Sofia Belen Treminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0843	
Supervisor en campo	Sofia Belen Treminio Gomez	Muestra No.		Once (11)	

METODO SM /EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Decreto 21-2017 Arto. 26[1]
9221-B	Coliforme Total	NMP/100mL	$1.3x10^6$	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NE**= No especificada en la Norma, **NR**= No Reporta, **Adim**= Adimensional

Métodos, Normas y/o Decreto empleados: **SM** = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, **MH**= Metodología Hach

EPA = Environmental Protection Agency, [1]Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales, **Valor recomendado.

‡Ensayos subconcontratados en el laboratorio.

Observaciones: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente, a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan únicamente con los ítems de ensayo.

MSc. Ing. Xochilt Ramírez
Coordinadora Laboratorio Ambiental

.....Fin del Informe

Pág. 1/1

231165

Teléfono: (505) 22781462
Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595
info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo U. Resultados fisicoquímicos para punto de muestreo "Salida Laguna Secundaria C".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYOS DE AGUAS RESIDUALES

AR-2308-0129.10
LA-PT-09.RT02

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Estelí, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023 ; 10h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente#	Salida Laguna 2C		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua residual compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	30/08/2023	
Ubicación de la fuente#	Planta Municipal Esteli		Emisión del informe de resultados	06/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5993	
Recolectada por	Sofía Belen Triminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0842	
Supervisor en campo#	Sofía Belen Triminio Gomez	Muestra No.		Diez (10)	

METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art 26[1]
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	**37.50**	110
4500-B	Nitrogeno Total kjeldahl	mg/L	**30.80**	30
4500-C	Fósforo Total	mg/L	**3.95**	10
5520-B	Aceites y Grasas Totales	mg/L	**17.20**	15

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y simbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NR** = No reporta
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, [1]**Decreto N° 21-2017** Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realizacion de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI.El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan unicamente con los items de ensayo.

MSc. Ing. Kochilt Barahona
Coordinadora Laboratorio Ambiental

.....Fin del Informe.....

Pag. 1/1

231168

Teléfono: (505) 22781462

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo V. Resultados bacteriológicos para punto de muestreo "Salida Laguna Secundaria C".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

MB-2308-0194.10

LA-PT-08.RT01

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCIÓN DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Esteli, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fecha y Hora de recolección	24/08/2023; 10 h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	
Fuente	Salida Laguna 2C		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Residual Compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	29/08/2023	
Ubicación de la fuente	Planta Municipal Esteli		Emisión del informe de resultados	05/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5993	
Recolectada por	Sofia Belen Treminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0842	
Supervisor en campo	Sofia Belen Treminio Gomez	Muestra No.		Diez (10)	

METODO SM /EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Decreto 21-2017 Arto. 26[1]
9221-B	Coliforme Total	NMP/100mL	$4.0x10^5$	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NE**= No especificada en la Norma, **NR**= No Reporta, **Adim**= Adimensional

Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, **MH**= Metodología Hach

EPA = Environmental Protection Agency, [1]Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales, **Valor recomendado.

‡Ensayos subconcontratados en el laboratorio.

***Observaciones:** La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente, a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.*

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan únicamente con los ítems de ensayo.

MSc. Ing. Xochilt Baratoni
Coordinadora Laboratorio Ambiental

.....Fin del Informe

Pág. 1/1

231164

Teléfono: (505) 22781462

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo. 5595

info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo W. Resultados fisicoquímicos para punto de muestreo "Salida General".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYOS DE AGUAS RESIDUALES

AR-2308-0129.03
LA-PT-09.RT02

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Esteli, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24-25/08/2023 ; 24h	Fecha de	**Ingreso de muestra**	25/08/2023	**Rango o valor máximo permisible o recomendado**
Fuente#	Salida General		**Inicio de análisis**	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua residual compuesta/Térmica/Aceptable		**Finalización de análisis**	30/08/2023	
Ubicación de la fuente#	Planta Municipal Esteli		**Emisión del informe de resultados**	06/09/2023	
Coordenadas	NR	**No. Cadena de custodia**		5993	
Recolectada por	Sofia Belen Triminio Gomez	**Código de muestra**		LA-2308-0835	
Supervisor en campo#	Sofia Belen Triminio Gomez	**Muestra No.**		Tres (03)	

METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art 26[1]
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	90.00	110
4500-B	Nitrogeno Total kjeldahl	mg/L	30.24	30
4500-C	Fósforo Total	mg/L	2.50	10
5520-B	Aceites y Grasas Totales	mg/L	13.60	15

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y linea respectiva.
Abreviaturas y simbolos: ≤ menor o igual al Limite de Detección que se especifica por parámetro, **NR =** No reporta
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, **[1]Decreto N° 21-2017** Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realizacion de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI.El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan unicamente con los ítems de ensayo.

MSc. Ing. Xochilt Bermúdez
Coordinadora Laboratorio Ambiental

Pag. 1/1

.....Fin del Informe.....

231175

Teléfono: (505) 22781462
Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595
info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo X. Resultados bacteriológicos para punto de muestreo "Salida General".

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

MB-2308-0194.03
LA-PT-09.RT01

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCIÓN DEL CLIENTE		TELEFONO
Sofia Belen Triminio Gomez	Estelí, Salida Norte		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Sofia Belen Triminio Gomez	Estudiante UNI-FIQ	sbtriminio@hotmail.com	8921-6845

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	24- 25/08/2023; 24 h	Fecha de	Ingreso de muestra	25/08/2023	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente	Salida General		Inicio de análisis	25/08/2023	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Residual Compuesta/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	29/08/2023	
Ubicación de la fuente	Planta Municipal Estelí		Emisión del informe de resultados	05/09/2023	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		5993	
Recolectada por	Sofia Belen Treminio Gomez	Código de muestra		LA-2308-0835	
Supervisor en campo	Sofia Belen Treminio Gomez	Muestra No.		Tres (03)	

METODO SM /EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Decreto 21-2017 Arto. 24[1]
9221-B	Coliforme Total	NMP/100mL	$2.8x10^6$	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, **NE**= No especificada en la Norma, **NR**= No Reporta, **Adim**= Adimensional

Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, MH= Metodología Hach

EPA = Environmental Protection Agency, [1]Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales, **Valor recomendado.

‡Ensayos subconcontratados en el laboratorio.

Observaciones: *La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente, a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.*

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan únicamente con los ítems de ensayo.

MSc. Ing. Xochilt Barahona
Coordinadora Laboratorio Ambiental

.....Fin del Informe.....

Pág. 1/1

231157

Teléfono: (505) 22781462
Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria,
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595
info@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

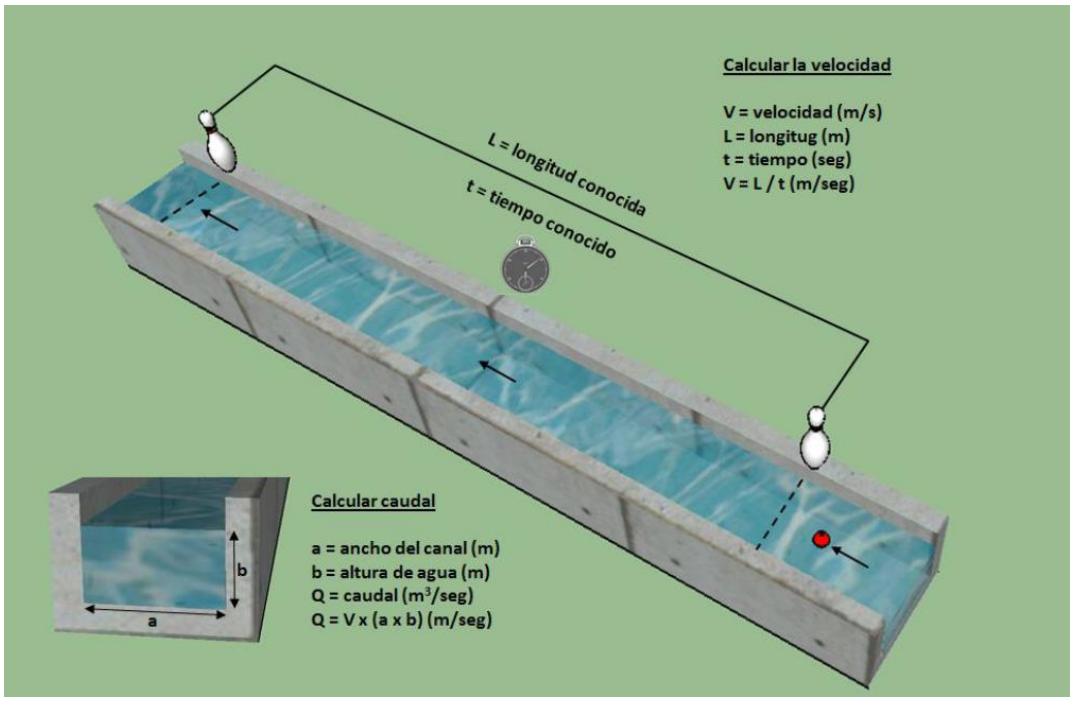
ANEXO Y: Método de medición de canal abierto

Dado que la mayoría de las conexiones entre cada unidad de depuración son canales abiertos, el manual de operación y mantenimiento de la planta propone como forma de obtener un valor de caudal aproximado al real, al método del flotador, el cual consiste en colocar un pequeño objeto flotante en el canal y medir una distancia recorrida en un tiempo determinado.

Posterior a eso, se calcula el caudal mediante la ecuación de flujo volumétrico definida por:

$$Q = V * A$$

Donde “Q” representa al caudal buscado, “V” la velocidad del fluido y “A” el área de la sección en la que éste fluye.



Fuente: (ENACAL, 2015)

ANEXO Z: Método de medición por molinete

El funcionamiento del molinete inicia con la inmersión del conjunto en la corriente de agua, una vez ubicado a una cierta profundidad, el rotor comienza a girar debido al empuje de la corriente. El número de giros resulta, naturalmente, proporcional a la velocidad del agua. Los accesorios hacen posible la colocación del rotor a la profundidad deseada, su alineación con la corriente y la posibilidad de contar los giros. La manera más común de contar los giros es por medio de un circuito eléctrico (Pedroza, 2017),



Fuente: (OTT HydroMet, 2019)