PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Trabajo de Integración Curricular

Tema: “Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales para Guano, provincia de Chimborazo”

AUTOR:

Andrés Alejandro Armijos Layedra

QUITO DM, MARZO DE 2024

Contenido

1. Introducción 4

1.1. Justificación para la evaluación de la PTAR. 4

1.2. Planteamiento del problema. 5

1.3. Objetivos generales y específicos. 5

1.4. Alcance de la evaluación de la PTAR. 6

1.5. Hipótesis 6

2. Fundamentación teórica de los aspectos y principios involucrados en la evaluación de la PTAR 7

2.1. Aguas residuales 7

2.1.1. Características del agua residual 7

2.1.2. Tipos de aguas residuales 10

2.2. Plantas de tratamiento de aguas residuales 11

2.3. Tratamientos para aguas residuales 13

2.3.1. Pretratamiento 13

2.3.2. Tratamiento primario. 15

2.3.3. Tratamiento secundario. 16

2.3.4. Tratamiento Terciario 17

2.3.5. Tratamiento de lodos 18

3. Recopilación de la información disponible en las memorias técnicas facilitadas por el Municipio de Guano 19

3.1. Parámetros de diseño de la PTAR. 19

3.2. Componentes y funcionamiento de la PTAR. 22

3.2.1. Pretratamiento 22

3.2.2. Tratamiento Secundario 27

3.2.3. Tratamiento Terciario 32

3.2.4. Tratamiento de lodos 34

4. Muestreo y evaluación de los principales parámetros establecidos. 37

4.1. Toma de muestras del afluente y efluente. 37

4.2. Análisis de los resultados del laboratorio. 39

4.3. Cálculo de la eficiencia de la planta en la eliminación de contaminantes 41

4.4. Comparación de los resultados con los parámetros de diseño 41

4.5. Comparación de los resultados con los parámetros establecidos en la normativa vigente TULSMA 2015 44

5. Conclusiones y recomendaciones. 52

5.1. Conclusiones. 52

5.2. Recomendaciones. 54

Bibliografía 55

Anexos 57

1. Introducción

1.1.Justificación para la evaluación de la PTAR.

En los últimos años la temática del medio ambiente y su cuidado han tomado una gran relevancia debido a la problemática del cambio climático y la contaminación presentes en la sociedad y sus consecuencias cada vez más notorias.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) entre sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados en la llamada “agenda 2030” plantea el objetivo 6 que menciona que una de las medidas necesarias para garantizar el acceso al agua potable de calidad y segura es la inversión en infraestructura de saneamiento, la protección y el restablecimiento de los ecosistemas relacionados con el agua (Organización de las Naciones Unidas, 2018).

En América latina el rápido crecimiento poblacional y económico han aumentado considerablemente la demanda de recursos hídricos generando consigo un problema de degradación de la calidad del agua debido al bajo porcentaje de aguas residuales tratadas en la región, donde aproximadamente solo un 30 a 40 por ciento de las aguas residuales son tratadas (Rodriguez et al., 2020).

Por lo antes mencionado es de gran importancia evaluar los sistemas de tratamiento existentes en el país para tener clara la situación de nuestros recursos hídricos y poder tomar las medidas necesarias que permitan garantizar el acceso de la población a un servicio seguro.

1.2.Planteamiento del problema.

La demanda de agua se mantiene en ascenso debido al crecimiento poblacional, lo que aumenta a su vez la cantidad de aguas residuales descargadas a los cauces naturales, este aumento pone en riesgo la calidad del recurso hídrico disponible pues se estaría introduciendo cada vez más desechos a las fuentes de agua aprovechables, es por esto que tratar debidamente las aguas residuales previo a su descarga en fuentes naturales es indispensable para mantener la salud de los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua para que pueda ser aprovechada por las poblaciones (Pazmiño, 2020).

1.3.Objetivos generales y específicos.

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para Guano, provincia de Chimborazo, a través de mediciones de parámetros de calidad del agua tanto antes como después del tratamiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar la revisión de la fundamentación teórica implicada en los procesos de tratamiento empleados en la PTAR y en los parámetros de calidad medidos en el presente trabajo, con el propósito de comprender su funcionamiento y relevancia.
- Determinar los parámetros de diseño y de operación establecidos en la memoria técnica de la PTAR, con el fin de establecer una base de referencia para la evaluación del funcionamiento de la planta.

- Realizar el monitoreo de Sólidos suspendidos totales (SST), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO5), Oxígeno disuelto (OD), Coliformes fecales y Temperatura, siendo estos los parámetros de calidad que se analizarán en el presente trabajo.
- Comparar los resultados obtenidos del monitoreo con los parámetros de diseño y los parámetros de calidad establecidos por la norma TULSMA2015 con la finalidad de evaluar el funcionamiento de la PTAR.

1.4.Alcance de la evaluación de la PTAR.

El alcance del presente trabajo se enfocará en el análisis y la evaluación de la eficiencia de la PTAR para eliminar contaminantes, teniendo en cuenta exclusivamente los siguientes parámetros: Sólidos Suspendidos (SST), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5), Oxígeno Disuelto (OD), Coliformes fecales y Temperatura.

1.5.Hipótesis

La planta de tratamiento de aguas residuales para Guano cumple para los parámetros establecidos en el alcance de este trabajo, con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa vigente TULSMA 2015, para la descarga de agua a cuerpos de agua dulce, así como con los parámetros de calidad para el uso de aguas en el riego agrícola establecidos en la misma normativa.

2. Fundamentación teórica de los aspectos y principios involucrados en la evaluación de la PTAR

2.1.Aguas residuales

Agua de composición variada que según su origen pude ser doméstica, industrial, comercial, agrícola o pecuaria y que por el uso que se le ha dado se ha afectado su calidad y no es apta para su uso sin un previo tratamiento (Ministerio del ambiente, 2015).

La PTAR en estudio trata principalmente aguas residuales domésticas, provenientes del alcantarillado público de la cabecera cantonal de Guano.

Las aguas residuales domésticas son una mezcla de agua con residuos líquidos y sólidos provenientes de los hogares, locales públicos y comerciales y centros educativos (Ministerio del Ambiente, 2015).

2.1.1. Características del agua residual

2.1.1.1. Características físicas

Olor. - Debido a la presencia de gases que son liberados durante la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual, esta tiene un olor peculiar causado principalmente por la presencia de Sulfuro de hidrógeno. Su caracterización y medida se debe a 4 factores: Carácter, detectabilidad, sensación e intensidad (Osorio et al., 2021).

Estos olores provocan un impacto ambiental negativo en la salud y el bienestar de las personas que habiten o frecuenten la zona (Macias, 2023).

Temperatura. – Las aguas residuales tienen temperaturas mayores a las aguas no contaminadas ya que en ellas existe una mayor actividad bioquímica causada por los microorganismos y por las descargas de aguas calientes debido a su uso, la importancia de la temperatura se debe a que esta afecta directamente el desarrollo de la vida acuática porque altera la solubilidad del oxígeno en el agua (Osorio et al., 2021).

Color. – El color de las aguas residuales es producto de la presencia de sólidos suspendidos, sustancias coloidales y sustancias disueltas, con esta característica podemos estimar las condiciones del agua residual (Osorio et al., 2021).

Sólidos Suspendidos. – Los sólidos suspendidos son partículas de diversos tamaños presentes en las aguas residuales, estas partículas son transportadas en el agua debido al movimiento de estas. Según su tamaño estas partículas pueden ser sólidos sedimentables aquellas de tamaño superior a 0.01milímetros y sólidos no sedimentables aquellas partículas que no superan los 0.01 milímetros de tamaño (Macias, 2023).

2.1.1.2. Características químicas

Oxígeno disuelto. – El oxígeno disuelto es indispensable para todas las formas de vida aeróbicas, la cantidad de oxígeno disuelto depende de la solubilidad del gas, la presión atmosférica, la temperatura y la concentración de impurezas presente en el agua residual (Mantilla, 2017).

Demanda bioquímica de oxígeno. – Es la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos aerobios para descomponer la materia orgánica biodegradable presente en el agua, es uno de los principales medidores de la calidad del agua residual, permite evaluar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de agua residual (Macias, 2023).

Demanda química de oxígeno. – Es la cantidad de oxígeno consumido por la materia orgánica que se descompone producto de un proceso químico (Macias, 2023).

El valor de Demanda química de oxígeno es mayor que la demanda bioquímica de oxígeno debido a que un agente químico descompondrá más compuestos que los microorganismos. Este parámetro suele ser usado como sustituto de la demanda bioquímica de oxígeno (Mantilla, 2017).

2.1.1.3. Características biológicas:

Las aguas residuales tienen en su composición gran variedad de organismos vivos, los cuales pueden ser perjudiciales para la salud pública como: Bacterias, Virus y Parásitos, así como para el medio ambiente. (Osorio et al., 2021).

Microorganismos. – Los principales grupos de organismos presentes en las aguas residuales son: las eucariotas, eubacterias y arqueobacterias. Siendo las más numerosas las eubacterias (Mettcalf & Eddy, 1995).

Coliformes totales. – Son todos los organismos que son capaces de fermentar la lactosa mediante la liberación de gases en un periodo de 24 a 48 horas y una temperatura de alrededor de 35 ºC (Mettcalf & Eddy, 1995).

Coliformes fecales. – Forman parte de las coliformes totales, con la diferencia de que son más relevantes en el estudio de las aguas residuales debido a que suelen ser patógenas tanto para el humano como para otras especies. A diferencia de otras coliformes, las coliformes fecales son capaces de fermentar lactosa a una temperatura de 44.5 ºC (Macias, 2023).

2.1.2. Tipos de aguas residuales

Una de las formas más comunes de clasificar las aguas residuales debido a su simplicidad es por medio de su procedencia. (Cruz, 2008) siendo estas:

Drenaje. – Descargas directas o indirectas al alcantarillado, suceden por juntas defectuosas, grietas o porosidad en las paredes de la tubería, incluyen también el aporte de agua proveniente de sótanos, cimentaciones y circuitos de refrigeración (Mettcalf & Eddy, 1995).

Escorrentía. – También llamadas aguas pluviales, contienen cargas contaminantes producto del arrastre de elementos presentes en la superficie por la que circula. Lo ideal en zonas urbanas es recolectar estas aguas en alcantarillas pluviales independientes que

descarguen estas aguas directamente sin tratamiento, pues en épocas de lluvia el incremento de caudal generado por estas aguas cuando el alcantarillado no es diferenciado hace que se exceda la capacidad de las plantas de tratamiento causando que se descargue sin tratamiento parte de esta agua provocando impactos negativos en la calidad del agua de su cuerpo receptor (Macias, 2023).

Domesticas. – Son aguas residuales producidas en residencias, edificios, centros comerciales e instituciones públicas. Estas aguas están compuestas principalmente de desechos humanos (Mantilla, 2017). Es el tipo más común de aguas residuales y contienen aguas grises generadas por duchas, lavadoras, lavabos, etc. Y aguas negras que son básicamente descargas de desechos humanos (Macias, 2023).

Industriales. – Son descargas producidas por actividades de las industrias de manufactura. Son aguas altamente contaminadas por lo que pueden causar diversas consecuencias en el medio ambiente, su composición provoca cambios en el ecosistema y su desarrollo, además altera las características físicas y químicas del agua (Macias, 2023).

Cada tipo de agua residual tiene características y composición distintas, por lo que es necesario tener en cuenta enfoques de tratamiento distintos para cada una (Pazmiño, 2020).

2.2.Plantas de tratamiento de aguas residuales

Una planta de tratamiento de aguas residuales es una instalación de múltiples procesos denominados tratamientos que buscan recoger las aguas desechadas producto de

una actividad humana para eliminar las sustancias contaminantes de la misma antes de devolverla al ciclo natural del agua o de su inmediata reutilización (Rodriguez L. , 2020).

Estos tratamientos pueden ser: Tratamientos primarios que son aquellos que a través de operaciones físicas eliminan sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual; Tratamientos secundarios en los que intervienen procesos químicos y biológicos con el fin de eliminar la mayor cantidad de materia orgánica y finalmente los tratamientos terciarios que mediante una combinación de procesos adicionales buscan eliminar otros elementos como el fósforo y el nitrógeno los cuales no son eliminados eficazmente por el tratamiento secundario también pueden ser procesos de desinfección que buscan eliminar patógenos (Mettcalf & Eddy, 1995).

El sistema de tratamiento implementado en la PTAR de estudio es el de lodos activados. Se trata de un proceso biológico aerobio en el que previamente se debe eliminar los sólidos suspendidos fácilmente sedimentables y una pequeña parte del contenido de materia orgánica (Macias, 2023). En el proceso principal del tratamiento los lodos activados degradan la materia orgánica presente en el agua residual usando microorganismos aerobios provenientes de un cultivo. Estos microorganismos descomponen la materia orgánica biodegradable mediante la oxidación biológica, alimentándose de la misma para reproducirse generando flóculos que se agrupan entre sí formando los lodos activados (Macias, 2023).

Posteriormente a este proceso, el agua tratada se deja en reposo para que los flóculos producidos se puedan sedimentar y sea posible separarlos del agua clara, la cual puede ser vertida al cuerpo receptor directamente o luego de pasar por un tratamiento de desinfección (Macias, 2023). Por otra parte, un porcentaje de los lodos resultantes son reutilizados en un nuevo proceso de oxidación biológica con el objetivo de mantener la

concentración de microorganismos mientras el sobrante es tratado por un proceso de estabilización.

2.3.Tratamientos para aguas residuales

Son los distintos procesos utilizados para depurar las aguas residuales estos pueden ser de carácter físico, químico y biológico. Según su objetivo se los clasifica en: Pretratamiento; Tratamiento primario; Tratamiento secundario y Tratamiento terciario (Gómez, 2018).

Además del tratamiento de las aguas residuales en las plantas de tratamientos también existen procesos de tratamiento para los lodos resultantes del tratamiento de dichas aguas.

En este apartado hablaremos únicamente de los procesos presentes en la PTAR objeto de evaluación.

2.3.1. Pretratamiento

Es la etapa inicial en el proceso de tratar aguas residuales, el objetivo del pretratamiento es eliminar materiales mayores que puedan afectar el funcionamiento y dificultar el mantenimiento de la planta de tratamiento (Gómez, 2018).

La planta de tratamiento analizada en el presente trabajo cuenta con un desarenador y un tamiz fino como elementos de pretratamiento, adicional a estos procesos cuenta con un canal rejilla que trabaja como sustituto del tamiz fino en caso de ser necesario.

2.3.1.1.Sedimentación-Desarenador.

El desarenador tiene como objetivo remover las partículas más gruesas del agua residual antes de que ingrese al tratamiento, por efecto de la gravedad se logra que las partículas sedimentables se asienten en el fondo (Villareal, 2019)

El desarenador de la PTAR es de flujo horizontal. Este tipo de desarenador consta de un canal longitudinal que reduce la velocidad del agua y proporcione suficiente tiempo de retención las partículas de arena se sedimenten al fondo del canal a la vez que permite el paso a través de la unidad de la mayor parte de materia orgánica (Mettcalf & Eddy, 1995).

2.3.1.2.Tamizado fino mecánico y canal rejilla.

Tamizado fino mecánico. – Busca retener los sólidos en una malla fina por la cual pasa el agua residual. Estos módulos son utilizados como sustitución o como complemento de los tanques de decantación primaria. El tipo de tamiz utilizado en la PTAR de estudio es el tamiz inclinado auto limpiante los rendimientos de eliminación de contaminantes de este tipo de tamices se presenta en la tabla 1.

Tabla 1

Rendimiento de eliminación de contaminantes de los tamices inclinados auto limpiantes

Contaminante	Rendimiento
Arenas	80-90%
DBO5	15-25%
SST	15-30%

Nota. Elaboración propia, valores extraídos de Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilizacíon (p.554), Mettcalf & Eddy, 1995.

Cuando estos tamices son usados como sustitutos de los decantadores primarios, los módulos de tratamiento secundario deben ser dimensionadas para que sean capaces de trabajar con el DBO y los sólidos que no eliminan los tamices (Mettcalf & Eddy, 1995).

Canal rejilla. – La rejilla que posee la PTAR estudiada es del tipo rejilla de limpieza manual. Este tipo de rejillas se empleaban en el pasado como método de pretratamiento de pequeñas plantas de tratamiento y consisten en una rejilla inclinada dispuesta en un canal que evite la acumulación de arena y sólidos, de preferencia debe ser recto y perpendicular a la rejilla y se ha de colocar en la parte superior de la rejilla una placa perforada que permita almacenar temporalmente los objetos extraídos (Mettcalf & Eddy, 1995). Este módulo solo entrará en funcionamiento en caso de que el tamiz fino mecánico se encuentre en mantenimiento, no exista suministro energético o cualquier otro motivo que detenga su funcionamiento, esto permite que los equipos puedan ser sometidos a mantenimiento y limpieza y de esta forma lograr que trabajen de manera más eficiente y tengan menos riesgo de sufrir daños (ARCOTECNIC, 2019).

2.3.2. Tratamiento primario.

El objetivo del tratamiento primario es la remoción física de sólidos suspendidos y parte de la materia orgánica presente en el agua residual (Gómez, 2018). Estos procesos logran resultados de entre el 25% al 40% de remoción de DBO_5 y una eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos de entre el 50% al 60% (Macias, 2023).

Los tratamientos primarios más conocidos son:

- Sedimentación primaria.
- Flotación.
- Precipitación química.
- Coagulación, floculación, sedimentación y decantación.

No se profundizará en ninguno de estos procesos pues la planta de tratamiento de aguas residuales de Guano no cuenta con un tratamiento primario.

2.3.3. Tratamiento secundario.

El tratamiento secundario pretende eliminar la carga orgánica que no se eliminó durante el tratamiento primario, utiliza microorganismos para descomponer la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual, con la finalidad de reducir los contaminantes y mejorar la calidad del efluente (Pazmiño, 2020). El tratamiento secundario implementado en la PTAR analizada es el proceso de lodos activados. consta de un reactor biológico de flujo orbital y un clarificador secundario.

2.3.3.1. Reactor biológico de flujo orbital

También llamado canal de oxidación. Consiste en un canal que puede ser circular u ovalado que se equipa con dispositivos de aireación mecánica. El agua previamente tratada ingresa al reactor que normalmente funciona según un esquema de aireación prolongada con largos periodos de retención (Mettcalf & Eddy, 1995). En la mayoría de los casos, incluyendo el de la PTAR evaluada, se emplean tanques de sedimentación secundaria.

El modelo de flujo al que responde este reactor es el flujo tipo pistón, y son normalmente utilizados en pequeñas comunidades o cuando no existe una limitación de terreno (Mettcalf & Eddy, 1995).

2.3.3.2.Clarificador

El proceso de decantación que ocurre en el clarificador separa los lodos sedimentables de las aguas claras, el agua clara pasa posteriormente al tratamiento terciario mientras que los lodos sedimentados son succionados periódicamente del fondo de las unidades del clarificador para ser enviados al digestor de lodos (ARCOTECNIC, 2019).

2.3.4. Tratamiento Terciario

El objetivo del tratamiento terciario es eliminar contaminantes que no se han eliminado en los procesos anteriores, en estos procesos se suelen adherir químicos que permitan sedimentar rápidamente partículas o eliminarlas a través de desinfección (Villareal, 2019). El tratamiento terciario de la PTAR evaluada es la desinfección por cloración.

2.3.4.1.Desinfección por cloración

Este proceso es muy conocido para el tratamiento terciario de aguas residuales domésticas, el cloro es usado como desinfectante y es capaz de eliminar o reducir en gran medida el crecimiento de bacterias y algas, también puede reducir la DBO_5 e inhibir los malos olores casi por completo (Macias, 2023).

2.3.5. Tratamiento de lodos

Los lodos residuales de los procesos de tratamiento de aguas residuales deben ser debidamente tratados para su disposición final. Además, el material resultante dependiendo del proceso al que sea sometido puede generar materiales aprovechables como biogás o fertilizantes.

2.3.5.1. Digestor de lodos

El digestor de lodos de la planta es de tipo aerobio. Este proceso es la continuación del proceso de tratamiento de lodos activados y se produce aireando los lodos orgánicos en un tanque abierto similar al reactor biológico (Alba, 2003). Esta unidad permite confinar los lodos semi estabilizados hasta convertirse en lodos estabilizados (ARCOTECNIC, 2019).

2.3.5.2. Deshidratadores

El proceso de deshidratación utilizado en la PTAR estudiada es el lecho de secado. Este es el proceso de deshidratación más común y consiste en disponer los lodos estabilizados, se agregan acondicionadores químicos constantemente mientras se disponen los lodos, una vez se alcanza el nivel deseado se deja secar hasta obtener la concentración de sólidos deseada para finalmente recoger el lodo deshidratado de forma manual (Alba, 2003).

3. Recopilación de la información disponible en las memorias técnicas facilitadas por el Municipio de Guano

3.1.Parámetros de diseño de la PTAR.

Los parámetros de ingreso estimados a la planta (afluente) descritos en la memoria técnica se presentan a continuación en la tabla 2.

Tabla 2

Parámetros de ingreso estimados

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DBO5	mg/L	242.82
DQO	mg/L	250
COLIFORMES FECALES	Nmp/100mL	184000
TEMPERATURA	°C	12
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	81

Nota. Valores extraídos de la Memoria técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales para Guano (p. 34), ARCOTECNIC, 2019.

Los parámetros estimados en la salida de la planta (efluente), se presentan en la tabla 3 los valores considerados es la memoria técnica sustentándose en los valores límite máximos permisibles para la descarga a un cuerpo de agua dulce del TULSMA.

Tabla 3

Parámetros esperados de salida

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DBO5	mg/L	27.41
DQO	mg/L	29.33
COLIFORMES FECALES	Nmp/100mL	1660
TEMPERATURA	°C	11.64
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	9.74

Nota. Valores extraídos de la Memoria técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales para Guano (p. 34), ARCOTECNIC, 2019.

Con esta información calculamos la eficiencia esperada de eliminación de estos contaminantes como la diferencia entre la concentración final y la concentración inicial sobre la concentración inicial. Los resultados se presentan en la tabla 4.

Tabla 4

Eficiencia esperada de la PTAR

Parámetros	Unidad	Valores esperados de ingreso	Valores esperados de salida	Eficiencia
DBO5	mg/L	242.82	27.41	89%
DQO	mg/L	250.00	29.33	88%
COLIFORMES FECALES	Nmp/100mL	184000	1660	99%
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	81.00	9.74	88%

Nota. Elaboración propia.

Se presentan a continuación en la tabla 5, los valores referenciales que se tomaron en cuenta para adoptar los resultados esperados del efluente.

Tabla 5

Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmino	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real [1]	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr^{+6}	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO_5	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Mangane so total	Mn	mg/l	2,0
Mate ri a flotante	Visibles		Ausencia
Me rcuri o total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO_4^{-2}	mg/l	1000
Sulfuros	S^{-2}	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
[1] La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida			

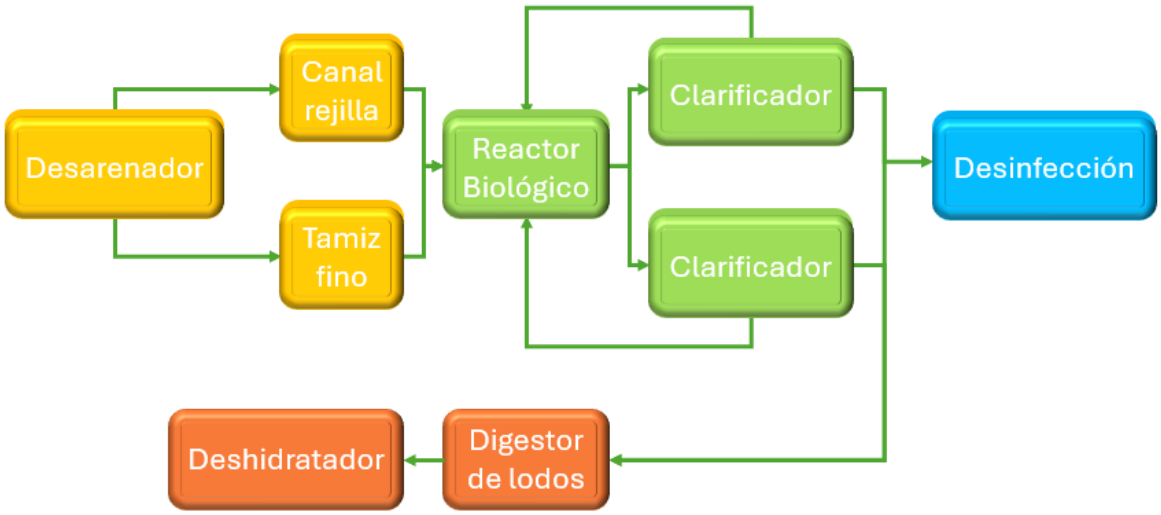
Nota. Tabla extraída del Registro Oficial de la República del Ecuador N°387 (p. 21), Ministerio del ambiente, 2015.

3.2.Componentes y funcionamiento de la PTAR.

El esquema general de los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Guano se presenta a continuación en la Ilustración 1.

Ilustración 1

Esquema de los componentes de la PTAR para guano



Nota. Adaptado de la Memoria técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales para Guano (p. 22), ARCOTECNIC, 2019.

3.2.1. Pretratamiento

3.2.1.1.Desarenador

El desarenador de la PTAR para Guano, por sus características de diseño retiene las partículas con diámetro mayor o igual a 0.1mm y con una densidad de entre 1890 a 2050 kg/cm3.

El desarenador consta de dos unidades que trabajan en paralelo, lo que permite que cuando sea necesario realizar mantenimiento se pueda secar y paralizar la unidad en la que se pretenda realizar los trabajos mientras la otra unidad trabaja al doble.

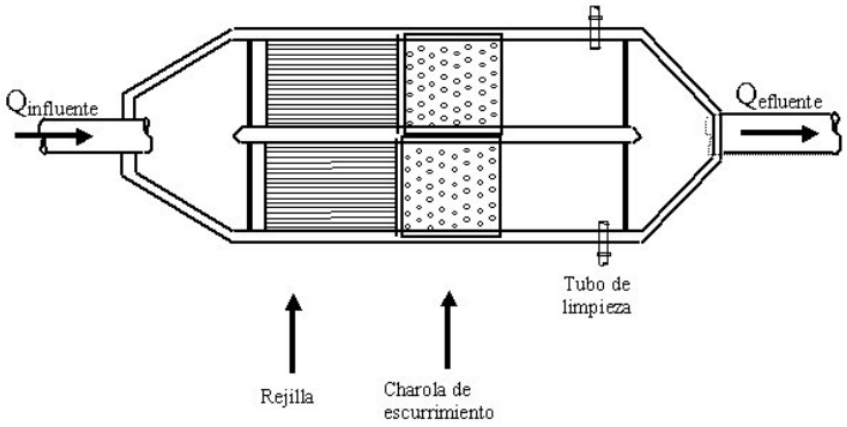
Se trata de un tanque rectangular de fondo inclinado con entrada y salida de agua, su geometría evita zonas muertas en el interior del tanque y permite una mejor distribución del líquido.

Cada unidad está dotada de su propia rejilla, charola de escurrimiento y tubo de limpieza, sin embargo, están interconectadas en la entrada y salida de agua. El control del flujo de las unidades se realiza a través de compuertas individuales.

Se presenta en la ilustración 2 la vista en planta del canal desarenador y sus componentes, así como una fotografía de este en la ilustración 3.

Ilustración 2

Esquema general del desarenador



Nota. Extraída de la Memoria técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales para Guano (p. 37), ARCOTECNIC, 2019.

Ilustración 3

Fotografía in situ del desarenador



Nota. Fotografía tomada durante una visita de campo.

3.2.1.2.Tamiz fino mecánico

El tamiz fino mecánico instalado está conformado de una criba de tamiz que retiene los sólidos y un tornillo sin fin que transporta los sólidos retenidos y mantiene el tamiz limpio gracias a un cepillo fijado en el extremo de este. El tamiz está instalado en el canal con un ángulo de 35 grados, a medida que el agua pasa el tamiz retiene los residuos y esta capa de residuos crea un efecto de tamizado adicional permitiendo que se retengan partículas de menor tamaño, mientras más se cubre el tamiz el nivel del agua aumenta hasta activar el control de nivel que activa automáticamente el tornillo sin fin que transporta los residuos fuera del tamiz y los limpia con sus cepillos. Los residuos

transportados por el tornillo sin fin son compactados, lavados y deshidratados en el proceso y finalmente son depositados en un contenedor. El rendimiento máximo del tamiz es de 80 litros por segundo y el espaciamiento de la rejilla es de 6 milímetros. Todos sus componentes expuestos están hechos con acero inoxidable. En la ilustración 4 podemos ver una imagen referencial extraída de la memoria técnica y en la ilustración 5 una fotografía del equipo instalado en la planta.

Ilustración 4

Imagen referencial del tamiz fino mecánico



Nota. Imagen extraída de la Memoria técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales para Guano (p. 41), ARCOTECNIC, 2019.

Ilustración 5

Fotografía in situ del Tamiz fino mecánico



Nota. Fotografía tomada durante una visita de campo

3.2.1.3.Canal rejilla

El canal rejilla en la PTAR es simplemente un proceso alternativo al tamiz mecánico que permite continuar el proceso de tratamiento mientras el tamiz mecánico se encuentra en mantenimiento o cuando el suministro de eléctrico se interrumpa interrumpiendo el trabajo del tamiz mecánico. El espaciamiento de las varillas de la rejilla

es de 5mm y el área útil de la rejilla es de 2.52 metros por 72 centímetros. En la ilustración 6 podemos ver una imagen referencial de este elemento, extraída de la memoria técnica.

Ilustración 6

Imagen referencial del canal rejilla



Notas. Extraída de la Memoria técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales para Guano (p. 43), ARCOTECNIC, 2019.

3.2.2. Tratamiento Secundario

3.2.2.1. Reactor biológico de flujo orbital

El sistema de aireación implementado en el reactor consta de 2 aireadores de 30 caballos de fuerza cada uno, que mantienen el agua residual en circulación e intensifican el proceso de descomposición de la materia orgánica biodegradable.

El reactor está cubierto de una geomembrana de polietileno que impermeabiliza el fondo de este, en el centro cuenta con una pared central que permite direccionar el flujo del agua sin que se generen acumulaciones de lodos en el centro ni se produzcan turbulencias que puedan perjudicar el tratamiento.

Las medidas del reactor se presentan en la tabla 6.

Tabla 6

Dimensiones del reactor biológico

Largo	48m
Ancho	24m
Profundidad	3.5m
Talud	1/1
Volumen aproximado	2631.80m3
Tiempo de retención	19h27min

Nota. Elaboración propia, valores extraídos de la Memoria técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales para Guano (p. 46), ARCOTECNIC, 2019.

En la ilustración 7 se puede apreciar una fotografía del reactor que opera en la planta de tratamiento de aguas residuales de guano.

Ilustración 7

Fotografía in situ del reactor de flujo orbital



Nota. Fotografía tomada durante una visita de campo

3.2.2.2. Clarificador

El módulo de clarificación de la PTAR cuenta con 2 unidades rectangulares de 6 conos de sedimentación cada una, esto permite al igual que otros elementos de la planta un funcionamiento modular, pudiendo desactivar una de las unidades mientras se realizan trabajos de mantenimiento sin necesidad de detener completamente la planta. Cada unidad tiene su propio canal de desagüe y dispone de skimmer y bomba de lodos para cada tolva.

Los criterios de diseño se basan en la carga proyectada resultando una carga esperada aproximada de 200 a 250 kilos de Sólidos Suspendidos Totales por día. Las medidas de cada unidad de clarificador se presentan en la tabla 7.

Tabla 7

Dimensiones del clarificador

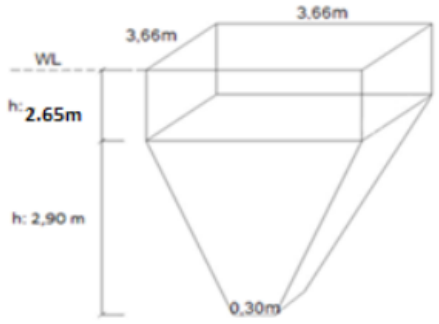
Largo	10.98m
Ancho	7.32m
Altura total	5.40m
Borde libre	0.65m
Altura lado recto	2.50m
Altura cono truncado	2.90m
Volumen total aprox.	571.00m3
Tiempo de retención	4h13min

Nota. Elaboración propia, valores extraídos de la Memoria técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales para Guano (p. 54), ARCOTECNIC, 2019.

En la ilustración 8 se observan las dimensiones de cada como rectangular del clarificador que se presenta en la memoria técnica de la PTAR.

Ilustración 8

Diagrama de cada unidad del clarificador



Nota. Extraído de la Memoria técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales para Guano (p. 58), ARCOTECNIC, 2019.

En la ilustración 9 se presenta una fotografía del clarificador instalado en la planta de tratamiento de aguas residuales de Guano.

Ilustración 9

Fotografía in situ del clarificador



Nota. Fotografía tomada durante una visita de campo

3.2.3. Tratamiento Terciario

3.2.3.1.Desinfección por cloración

La planta cuenta con un dosificador/dispensador de cloro en pastillas, el cual se encargará de desinfectar el agua tratada previo a su disposición final, el agua una vez desinfectada debe también pasar por un proceso de decl**o**ración antes de ser vertida en el cuerpo receptor para que no produzca daños en el medio ambiente. Por lo tanto, luego del dosificador la planta cuenta con un tanque laberinto que garantiza un tiempo de retención de 33 minutos, las dimensiones del tanque laberinto se presentan en la tabla 8.

Tabla 8

Dimensiones del tanque laberinto del módulo de desinfección

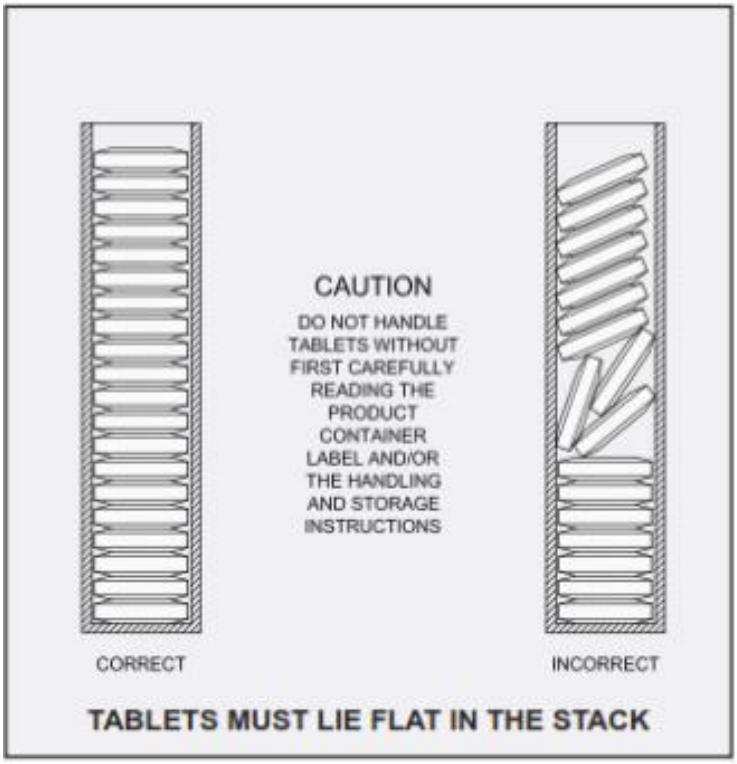
Largo	19.00m
Ancho	5.00m
Alto	1.00m
Columna de Agua	0.80m
Tiempo de retención	33 min

Nota. Elaboración propia, valores extraídos de la Memoria técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales para Guano (p. 69), ARCOTECNIC, 2019.

La ilustración 10 corresponde a un corte que permite apreciar el funcionamiento de los dosificadores de cloro utilizados en el sistema de desinfección con cloro utilizado en la PTAR.

Ilustración 10

Esquema de la unidad de cloración



Notas. Tomada de la Memoria técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales para Guano (p. 70), ARCOTECNIC, 2019.

En la ilustración 11 se observa una fotografía del sistema de desinfección con cloro que opera en la planta de tratamiento de aguas residuales de Guano, en esta podemos apreciar el canal laberinto que garantiza el tiempo de retención necesario para la decloración.

Ilustración 11

Fotografía in situ del módulo de desinfección completo



Nota. fotografía tomada durante una visita de campo

3.2.4. Tratamiento de lodos

3.2.4.1. Digestor de lodos

Consta de un reactor de características similares al reactor biológico de flujo orbital, está equipada de dos aireadores de 15 Caballos de fuerza cada una y tiene menores dimensiones. El objetivo del digestor es continuar con los procesos de digestión de lodos y también servir como almacén de los lodos de tal forma que en caso de que suceda alguna reducción de los procesos biológicos en el reactor biológico se pueda usar estos lodos en un proceso de recolonización de los reactores.

El resultado de este tratamiento son lodos estabilizados, es decir compuesto de minerales y residuos orgánicos principalmente. Las dimensiones de este reactor se presentan en la tabla 9.

Tabla 9

Dimensiones del digestor de lodos

Largo	27.00m
Ancho	13.00m
Altura Útil	3.00m
Altura total	3.65m
Volumen Útil	545.67m3

Nota. Elaboración propia, valores extraídos de la Memoria técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales para Guano (p. 64), ARCOTECNIC, 2019.

En la ilustración 12 se observa una fotografía del reactor orbital que se encarga de la digestión aerobia de los lodos.

Ilustración 12

Fotografía in situ del digestor de lodos



Nota. Fotografía tomada durante una visita de campo

3.2.4.2. Deshidratadores

El Sistema de disposición final de los lodos equipado en la planta es el sistema de Deshidratador o Filtro Percolador Descendente. Este sistema fue elegio luego de compararlo con otros métodos de deshidratación. Las principales ventajas que el diseñador destaca de este método son las siguientes:

- Bajo costo de operación, pues no consume energía
- Operación y mantenimiento sencillos a comparación de otros sistemas
- No requiere uso de equipo mecánico para su funcionamiento
- No es necesario el uso de químicos

- Los Cambios de características del lodo no produce afectaciones
- Bajo costo de instalación y mantenimiento

Conformado por 4 módulos rectangulares, donde se disponen los lodos digeridos en capas de 30 a 40 centímetros y se dejan secar. El lodo se deshidrata debido al drenaje a través de la masa de lodo y del medio filtrante, la evaporación desde la superficie expuesta también contribuye. Dispone de un sistema de drenaje y un doble fondo perforado que permite que las aguas clarificadas que se encuentren en la superficie filtren hasta el cárcamo de bombeo a través de una tubería de drenaje instalada en el fondo falso.

Cada módulo de deshidratación consta de un cuadrado de 6.50 metros de lado y una altura de 1.80 metros y cuenta con 40 centímetros de medio filtrante.

El producto resultante de la deshidratación de los lodos estabilizados, luego de la recolección manual, puede ser aprovechado como materia prima para la producción de compost y fertilizante.

4. Muestreo y evaluación de los principales parámetros establecidos.

4.1.Toma de muestras del afluente y efluente.

Las muestras tanto del afluente como del efluente, por recomendación del laboratorio que realizó los ensayos fueron tomadas el mismo día. El tipo de muestra elegido fue la muestra compuesta, conformadas de 16 muestras simples en el afluente y 16 muestras en el efluente, las muestras simples fueron tomadas cada media hora durante un periodo de ocho horas.

El horario de muestreo se decidió que sea desde las 8:00 de la mañana hasta las 15:10 de la tarde con el objetivo de abarcar las horas pico de descargas tanto de la mañana como del medio día. Los picos de la mañana se dan alrededor de las 8:00 y 9:00, y responden a actividades de aseo diurno, preparación para la jornada laboral y actividades de lavandería. Por otra parte, los picos producidos en la tarde responden al almuerzo de la gente y sucede alrededor de las 14:00 horas.

En la lustración 13 se presenta una fotografía del muestreo en el afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Guano.

Ilustración 13

Toma de muestra en el afluente de la PTAR



Nota. fotografía tomada el día del muestreo

4.2.Análisis de los resultados del laboratorio.

Los resultados del análisis de laboratorio para los parámetros establecido se presentan en la tabla 10 para el afluente y en la tabla 11 para el efluente.

Tabla 10

Resultados obtenidos del análisis de laboratorio en el afluente

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE	METODO
Oxígeno disuelto IN SITU	mg/L	2.49	+-2%	PE-AL-54 Standard Methods, Ed.23.2017,4500-O G EPA 360.I, 1971. ISO 17289
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	88	+-29%	PE-AL-44 Standard Methods Ed.23.2017 2540 D
Temperatura IN SITU	°C	21.23	+-4%	PE-AL-52 Standard Methods, Ed 23. 2017 2550 B
Coliformes Fecales	NMP/100mL	21000	+-65%	Pe-AL-24 Standard Methods Ed.23.2017 9221E/9221C
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	253	+-11%	PE-AL-05 Standard Methods Ed.23.2017 5220D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	120	+-14%	PE-AL-28 Standard Methods Ed.23.2017 5210B HACH, Method 8166

Nota. Valores extraídos del Informe de resultados No: A-373-24 (p.1), LABBCESTA, 2024

Tabla 11

Resultados obtenidos del análisis de laboratorio en el efluente

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE	METODO
Oxígeno disuelto IN SITU	mg/L	7.07	+-2%	PE-AL-54 Standard Methods, Ed.23.2017,4500-O G EPA 360.I, 1971. ISO 17289
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	<52	+-29%	PE-AL-44 Standard Methods Ed.23.2017 2540 D
Temperatura IN SITU	°C	20.2	+-4%	PE-AL-52 Standard Methods, Ed 23. 2017 2550 B
Coliformes Fecales	NMP/100mL	120	+-66%	Pe-AL-24 Standard Methods Ed.23.2017 9221E/9221C
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	<27	+-16%	PE-AL-05 Standard Methods Ed.23.2017 5220D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	10	+-23%	PE-AL-28 Standard Methods Ed.23.2017 5210B HACH, Method 8166

Nota. Valores extraídos del Informe de resultados No: A-373-24 (p.2), LABBCESTA, 2024

4.3.Cálculo de la eficiencia de la planta en la eliminación de contaminantes

Se calculó la eficiencia de la planta en la eliminación de cada contaminante dentro de los parámetros establecidos en el alcance como el valor inicial menos el valor final sobre el valor inicial expresado en porcentaje como y se obtuvieron los valores presentados a continuación en la tabla 1**2**.

Tabla 12

Eficiencia de la PTAR en la eliminación de contaminantes.

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR AFLUENTE	VALOR EFLUENTE	EFICIENCIA
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	88	52	41%
Coliformes Fecales	NMP/100mL	21000	120	99%
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	253	27	89%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	120	10	92%

Nota. Elaboración propia.

4.4.Comparación de los resultados con los parámetros de diseño

Los resultados esperados presentados en la memoria técnica para los parámetros establecidos en el alcance de este trabajo fueron presentados en la tabla 3.

En los resultados esperados no se contempla el Oxígeno disuelto por lo que no podemos comparar el resultado del análisis de laboratorio para este parámetro.

Para los Sólidos Suspendidos Totales los resultados esperados eran de 9.74 mg/L, mientras que el análisis de laboratorio arrojó un resultado de 52. Valor considerablemente mayor al resultado esperado.

La temperatura esperada es de 11.64 °C, el resultado del análisis de laboratorio para este parámetro fue de 20.2 °C lo que es considerablemente superior al resultado esperado, esta gran diferencia de temperaturas podría ser resultado de la gran variación de temperatura del Río receptor a lo largo del año, temperatura que oscila entre los 8 °C y los 20 °C dependiendo de la época, así como al tipo de muestreo elegido para el análisis, el cual no permite contemplar variaciones a largo plazo de los parámetros del agua.

El resultado esperado de coliformes fecales es de1660 Nmp/100mL, el resultado obtenido del análisis de laboratorio fue de 120 Nmp/100mL siendo considerablemente menor que el resultado esperado. A diferencia de los parámetros anteriores el resultado obtenido es más favorable que el esperado.

La Demanda Química de oxígeno esperada es de 29.33 mg/L y los resultados obtenidos del análisis de laboratorio fue de 27 mg/L. Valor menor pero bastante cercano al resultado esperado.

El resultado esperado para la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días es de 27.41 mg/L mientras que el resultado obtenido del análisis de laboratorio es considerablemente menor siendo de solo 10 mg/L

A continuación, se presenta un resumen de la comparación de los parámetros esperados con los obtenidos en el análisis de laboratorio en tanto en la tabla 13 como en las ilustraciones 14.

Tabla 13

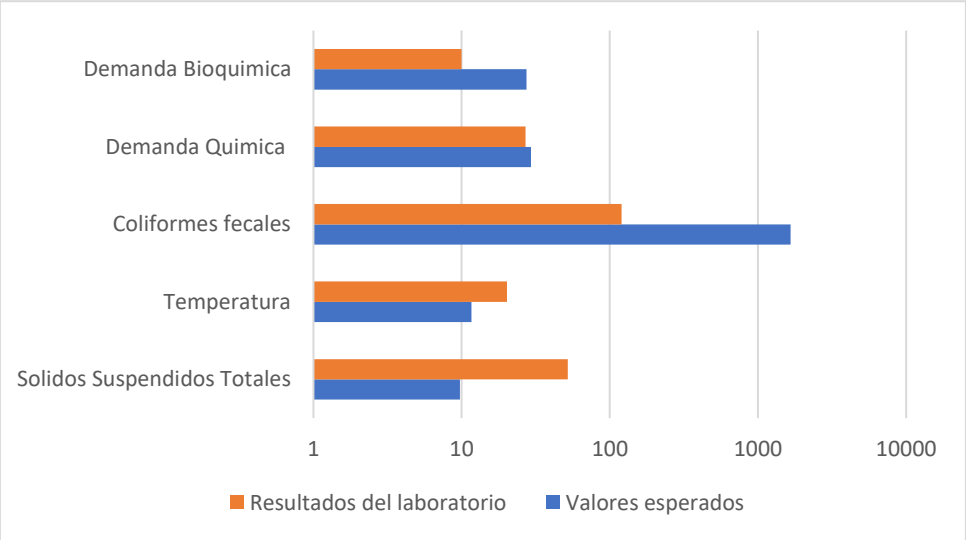
Comparación de los resultados obtenidos con los valores esperados del efluente para los parámetros de DBO5, DQO, SST, Temperatura y Coliformes fecales.

Parámetro	Valor esperado	Resultado de laboratorio	Unidad	Condición
Sólidos Suspendidos Totales	9.74	52	mg/L	no cumple
Temperatura	11.64	20.2	°C	no cumple
Coliformes fecales	1660	120	mg/L	cumple
Demanda Química	29.33	27	mg/L	cumple
Demanda Bioquímica	27.41	10	mg/L	cumple

Nota. Elaboración propia.

Ilustración 14

Comparación entre los valores esperados y los resultados obtenidos el análisis de laboratorio para los parámetros de DBO5, DQO, SST, Temperatura y Coliformes fecales.



Nota. Elaboración propia.

Se presenta a demás en la tabla 14 una comparación de las eficiencias de la planta de tratamiento de aguas residuales de Guano en la eliminación de contaminantes esperadas en la memoria técnica y las obtenidas de los análisis de laboratorio.

Tabla 14

Comparación de las eficiencias esperadas y obtenidas

PARAMETRO	EFICIENCI ESPERADA	EFICIENCI OBTENIDA	CONDICIÓN
Sólidos Suspendidos Totales	89%	41%	No cumple
Coliformes Fecales	88%	99%	Cumple
Demanda Química de Oxígeno	99%	89%	No cumple
|Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	88%	92%	Cumple

Nota. Elaboración propia

4.5.Comparación de los resultados con los parámetros establecidos en la normativa vigente TULSMA 2015

De la tabla 5, tomaremos los limites permisibles para la descarga de aguas residuales a un cuerpo de agua dulce correspondientes a los parámetros establecidos en el alcance del trabajo. Estos valores se presentan a continuación en la tabla 15.

Tabla 15

Límites máximos permisibles del TULSMA para los parámetros establecidos en el alcance

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Demanda Bioquímica de Oxigeno (5 días)	DBO5	mg/L	100
Demanda Química de Oxigeno	DQO	mg/L	200
Solidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	130
Temperatura	°C		Condición Natural +-3

Nota. Valores extraídos del Registro Oficial de la República del Ecuador N°387 (p. 21), Ministerio del ambiente, 2015

El TULSMA no establece un valor límite para el oxígeno disuelto por lo que no se puede realizar una comparación con el valor obtenido del análisis de laboratorio.

Para los Coliformes Fecales el límite máximo permisible establecido por la norma es de 2000 NMP/100ml. El análisis de laboratorio arrojó un valor para este parámetro de 120 NMP/100ml, lo cual esta muy por debajo del límite del TULSMA por lo que podemos decir que se cumple con los requisitos para este parámetro.

El límite máximo permisible establecido por el TULSMA para el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días es de 100 mg/L. El resultado del análisis de laboratorio para este parámetro fue de 10 mg/L, lo cual está dentro del límite del TULSMA.

Para el parámetro de Demanda Química de Oxígeno el TULSMA establece un límite máximo permisible de 200 mg/L. El análisis de laboratorio dio un resultado para

este parámetro de 27 mg/L, valor que se encuentra por debajo del límite por lo que cumple con el requerimiento del TULSMA.

Los Solidos Suspendidos Totales según el TULSMA no pueden exceder los 130 mg/L. El resultado del análisis de laboratorio para este parámetro fue de 52 mg/L, valor que cumple con el requisito de límite máximo permisible.

Para poder establecer el límite permisible para el parámetro de temperatura es necesario conocer las condiciones naturales del río, La información que tenemos disponible los valores de temperatura natural en 3 periodos distintos de análisis durante las épocas de mayor temperatura, los mismos que se presentan a continuación en la tabla 16.

Tabla 16

Temperatura natural máxima del río Guano

Período	Temperatura	Unidad
1990 – 1998	14.58	°C
1999-2006	16.01	°C
2007-2014	16.31	°C

Nota. Extraído de Estudio hidráulico del río guano para la determinación de la conductancia entre río- acuífero y zonas de inundación (p.40), Tipán, 2018.

En la taba se puede apreciar que ha habido un incremento en la temperatura del río Guano con el paso del tiempo. Para estimar un aproximado de la temperatura máxima natural en la actualidad realizamos una extrapolación lineal entre los 2 últimos valores conocidos, resultando un valor de 17.36 °C.

El valor de temperatura de descarga obtenida del análisis de laboratorio fue de 20.2 °C. Calculamos entonces la diferencia de temperaturas en porcentaje para poder comparar con el requisito del TULSMA.

Δ Temperatura= 20.2°C – 17.36 °C= 2.84 °C

El límite máximo permisible establecido por el TULSMA es de +- 3°C por lo que el parámetro apenas se cumple.

A continuación, en la tabla 17 y la ilustración 15 se presenta un resumen de la comparación de los valores obtenidos del análisis de laboratorio, con los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA para los parámetros de DBO5, DQO, SST y Coliformes fecales.

Tabla 17

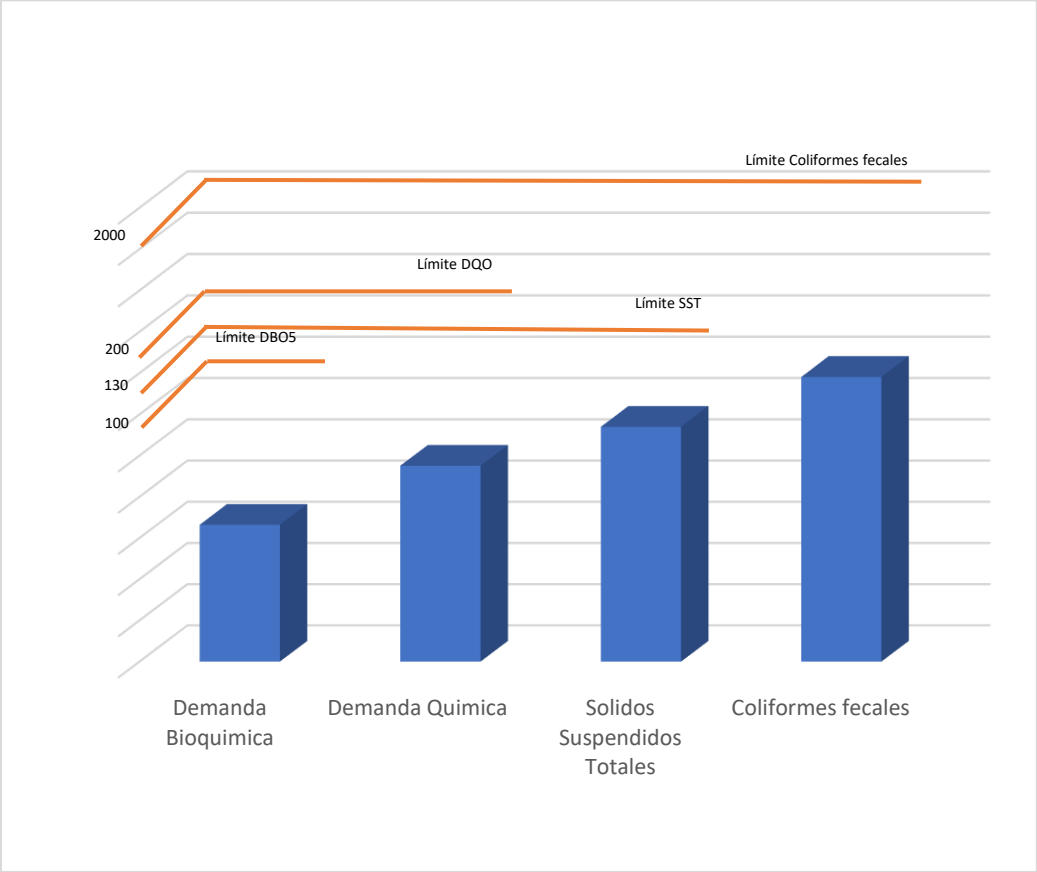
Comparación de los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles para la descarga en cuerpos de agua dulce para los parámetros de DBO5, DQO, SST y Coliformes fecales.

Parámetro	Límite máximo permisible	Resultado de laboratorio	Unidad	Condición
Sólidos Suspendidos Totales	130	52	mg/L	cumple
Coliformes fecales	2000	120	mg/L	cumple
Demanda Química	200	27	mg/L	cumple
Demanda Bioquímica	100	10	mg/L	cumple

Nota. Elaboración propia.

Ilustración 15

Comparación de los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles de descarga en cuerpos de agua dulce para los parámetros de DBO5, DQO, SST y Coliformes fecales.



Nota. Elaboración propia

Para el parámetro de temperatura, el TULSMA establece un límite de +-3 grados con respecto a la temperatura natural del cause en la tabla 18 se presentan los valores límites considerando la temperatura natural proyectada de 17.36 °C y en la ilustración 16, la comparativa con el resultado del análisis de laboratorio.

Tabla 18

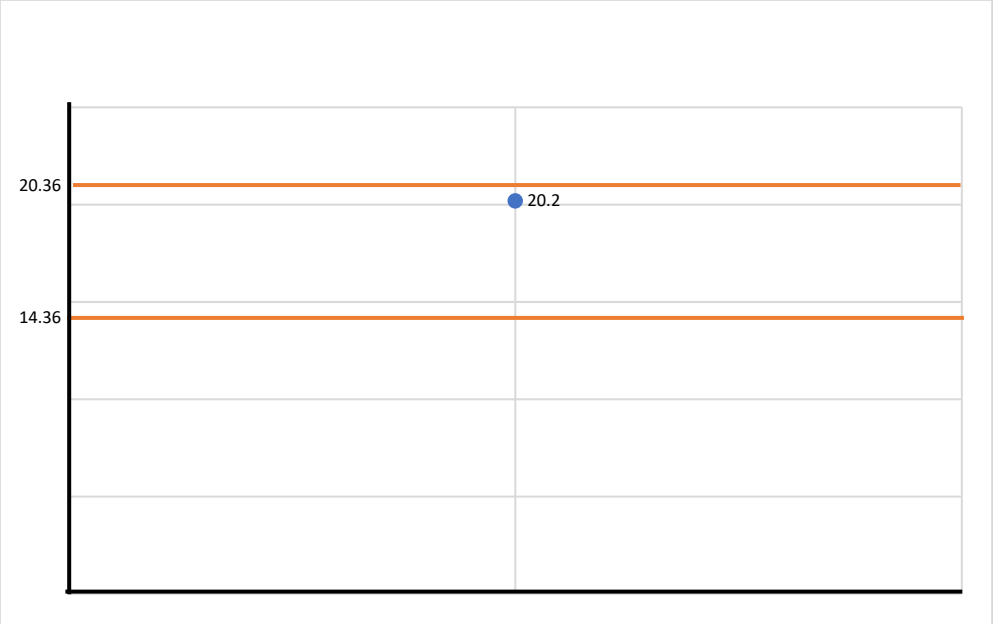
Limites permisibles de temperatura para la temperatura natural proyectada

Límite máximo	20.36	°C
Temperatura natural	17.36	°C
Límite mínimo	14.36	°C

Nota. Elaboración propia

Ilustración 16

Comparación de la temperatura del efluente con los limites permisibles para la descarga en un cuerpo de agua dulce.



Nota. Elaboración propia.

Se comparará también los resultados de laboratorio con los criterios de calidad establecidos por el TULSMA para el uso de agua tratada en riego agrícola presentados en la tabla 19.

Tabla 19

Criterio de calidad de agua para riego agrícola

TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRICOLA			
PARAMETRO	**EXPRESADO COMO**	**UNIDAD**	**CRITERIO DE CALIDAD**
Aceites y grasas	PelículaVisible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Cromo	Cr^{+6}	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/ l	0, 2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO_2	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO_4^{-2}	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

Nota. Tabla extraída del Registro Oficial de la República del Ecuador N°387 (p. 15), Ministerio del ambiente, 2015

Se presenta a continuación en la tabla 20 El resumen de los criterios de calidad para aguas de riego, que coincidan con los parámetros considerados en el análisis de laboratorio.

Tabla 20

Criterios de calidad para agua de riego agrícola del TULSMA para los parámetros establecidos en el alcance

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	3

Nota. Valores extraídos del Registro Oficial de la República del Ecuador N°387 (p. 15), Ministerio del ambiente, 2015

Para el parámetro de coliformes fecales, el criterio de calidad para aguas de riego agrícola es de 1000 NMP/100ml lo cual es considerablemente más exigente que el límite máximo permisible de 2000 NMP/100ml establecido para la descarga en cuerpos de agua dulce. Sin embargo, el resultado del laboratorio de 120 NMP/100ml sigue siendo considerablemente menor.

El criterio de calidad para el oxígeno disuelto que establece el TULSMA para aguas de riego agrícola es de al menos 3 mg/L, el resultado de laboratorio arroja un valor de 7.07 mg/L por lo que este criterio de calidad también se cumple como se muestra a continuación en la tabla 21.

Tabla 21

Comparación de los resultados de laboratorio con los criterios de calidad establecidos en el TULSMAS 2015

Parámetro	Unidad	Resultado	Criterio de calidad	Condición
Coliformes Fecales	NMP/100ml	120	1000	Cumple
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.07	3	Cumple

Nota. Elaboración propia

5. Conclusiones y recomendaciones.

5.1. Conclusiones.

Luego de la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Guano, se concluye que el funcionamiento general de la planta es bueno ya que alcanza una alta eficiencia en la eliminación de los principales contaminantes y los parámetros de calidad evaluados cumplen en su totalidad tanto con los límites máximos permisibles para su descarga en cueros de agua dulce como se aprecia en la tabla 17, así como con los criterios de calidad para su utilización en riego agrícola como se puede observar en la tabla 21. Sin embargo, es necesario realizar ajustes en los procesos de eliminación de sólidos suspendidos totales, ya que la eficiencia de la planta para eliminarlos está muy por debajo de la esperada como se determinó en la tabla 14. De igual forma, se debe revisar la eliminación de la demanda química de oxígeno, pues como podemos observar en la misma tabla, obtuvo una eficiencia ligeramente menor a la esperada.

La revisión de la fundamentación teórica realizada en el segundo capítulo permite concluir que los procesos de tratamiento utilizados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Guano son adecuados para tratar aguas residuales domésticas y permiten

reducir significativamente los niveles de contaminación a valores aceptables según la normativa vigente TULSMA 2015.

Luego de determinar los parámetros esperados establecidos en la memoria técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales de Guano, mismos que fueron presentados en la tabla 4 y compararlos con los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio los cuales se presentaron en la tabla 12, se concluye que hay deficiencias considerables en la eliminación de sólidos suspendidos totales y deficiencias menores en la eliminación de la demanda química de oxígeno. Mientras que, para los demás parámetros, la planta se encuentra trabajando de forma óptima como se presentó en la tabla 14.

Los monitoreos realizados a los parámetros de calidad del agua establecidos, los cuales fueron presentados en la tabla 10 y 11, permitieron evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de Guano, concluyendo que su funcionamiento es bueno en general, aunque requiere mejorar aspectos del pretratamiento y revisar el parámetro de temperatura, pues este no coincide con el valor considerado en la memoria técnica.

Al comparar los resultados del análisis de laboratorio con los límites máximos permisibles establecidos en normativa vigente TULSMA 2015 para los parámetros establecidos en el alcance, los cuales fueron presentados en la tabla 15, se evidenció el cumplimiento de todos los parámetros monitoreados a pesar de la baja eficiencia en remoción de sólidos suspendidos totales que mostró la planta de tratamiento de aguas residuales como se resumió en la tabla 17.

Finalmente, se concluye que la hipótesis planteada en definitiva se cumple, pues todos los parámetros evaluados están dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa vigente TULSMA 2015 tanto para la descarga del agua en

cuerpos de agua dulce, así como para su uso en riego agrícola como se evidencia en las tablas 17 y 21.

5.2. Recomendaciones.

Se recomienda revisar los procesos de pretratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, ya que son los principales responsables de la eliminación de sólidos suspendidos totales, parámetro para el cual la planta presentó una baja eficiencia de eliminación, y evaluar la posibilidad de implementar un proceso de tratamiento primario como puede ser un sedimentador primario, ya que la planta de tratamiento de aguas residuales no cuenta con uno y podría ser la causa de la baja eficiencia de eliminación de este contaminante.

Se recomienda monitorear a mayor profundidad la composición del agua afluente, pues que la baja eficiencia en remoción de DQO, a pesar de la eficiencia óptima en remoción de DBO5, podría deberse principalmente a una cantidad de contaminantes no biodegradables mayor a la esperada.

Se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo de los principales parámetros de calidad que permita detectar de manera temprana cualquier anomalía en la calidad del agua y tomar medidas correctivas de manera oportuna.

Se recomienda desarrollar un plan de mantenimiento preventivo que permita resguardar el buen estado de todos los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Guano, asegurando un óptimo funcionamiento de todos los procesos implementados.

Se recomienda realizar capacitaciones periódicas al personal operativo de la planta de tratamiento de aguas residuales de Guano, enfocadas en mejores prácticas de operación y mantenimiento de todos los equipos y sistemas instalados.

Bibliografía

Alba, E. C. (2003). *Ingenieria de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales.* Mexico DF.

ARCOTECNIC. (2019). *MEMORIA TECNICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA GUANO.* Riobamba.

Cruz, A. M. (2008). *Caracterización y tratamieto de aguas residuales.* Hidalgo.

Cushcagua, C. A. (2017). *Determinación de la concentración de elementos mayores en dieciocho ríos de la provincia de Pichincha, Ecuador.* Quito.

Gómez, E. B. (2018). *Técnicas y métodos de tratamiento para diferentes tipos de aguas residuales* . Valparaíso.

Macias, K. A. (2023). *EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN A BASE DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN, DE LA CIUDAD DE ROCAFUERTE, PROVINCIA DE MANABÍ.* Quito: PUCE.

Mantilla, P. (2017). *EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA, DEL CANTÓN ANTONIO ANTE, DE LA PROVINCIA DE IMBABURA.* Quito.

Mettcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilizacíon.* Madrid: McGraw-Hill.

Ministerio del Ambiente. (2015). Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente.

Orellana, J. A. (2005). *Tratamiento de las aguas.* Rosario.

Organización de las Naciones. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe.* Santiago.

Osorio, M. A., Carrillo, W. E., Negrete, J. H., Loor, X. A., & Riera, E. J. (2021). *La calidad de las aguas residuales domésticas.* Macas.

Pazmiño, V. H. (2020). *EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA POATUG, CANTÓN PATATE, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.* Ambato.

Rodriguez, D. J., Serrano, H. A., Delgado, A., Nolasco, D., & Saltiel, G. (2020). *De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe.* Washintong DC: Banco Mundial.

Rodriguez, L. (15 de diciembre de 2020). *iagua*. Obtenido de https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes

Villareal, C. R. (2019). *Propuesta de optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales Vivienda Popular de la ciudad de Tulcán, Provincia del Carchi.* Quito: Udla.

Anexos

Anexo 1. Ensayo de parámetros de ingreso a la PTAR



LABCESTTA
TECNOLOGÍA Y CALIDAD

DEPARTAMENTO: ANALITICALAB

SERVICIO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO
Acreditación N° SAE LEN 18-034
LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME DE RESULTADOS No: A-373-24

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
NOMBRE CLIENTE:	Ing. Oswaldo Armijos	**ATENCIÓN A.**	Ing. Oswaldo Armijos
DIRECCIÓN:	Av. Sergio Quirola N. 36	**TELÉFONO:**	N.A.
TIPO DE MUESTRA:	Agua (Residual)	**PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:**	Ingreso a la PTAR
CÓDIGO CLIENTE:	A-2	**FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA RESPONSABLE:**	N.A.

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR:	LABCESTTA S.A.	**NÚMERO DE MUESTRAS:**	01
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	17/05/2024 08:10	**ANÁLISIS SOLICITADO:**	Físico – Químico
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	17/05/2024 15:30	**FECHA DE ANÁLISIS:**	17/05/2024 - 23/05/2024
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	23/05/2024	**CÓDIGO LABORATORIO:**	AL-A-374-24
RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	Milton Acan	**COORDENADAS:**	17M 766152 / 9821540
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:	T máx.:25,0 °C. T min.: 15,0 °C		

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	MÉTODO /NORMA	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Oxigeno disuelto IN SITU	mg/L	2,49	±2%	PE-AL-54 Standard Methods, Ed. 23. 2017, 4500-O G EPA 360.1, 1971, ISO 17289	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	88	±29%	PE-AL-44 Standard Methods Ed.23.2017 2540 D	-
Temperatura IN SITU	°C	21,23	±4%	PE-AL-52 Standard Methods, Ed 23. 2017 2550 B	-
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	21000	±65%	PE-AL-24 Standard Methods Ed.23.2017 9221E/9221C	-
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	253	±11%	PE-AL-05 Standard Methods Ed.23.2017 5220D	-
Demanda Bioquímica de Oxigeno (5dias)	mg/L	120	±14%	PE-AL-28 Standard Methods Ed.23.2017 5210B HACH, Method 8166	-

OBSERVACIONES:

- Muestra transportada en refrigeraci
- Muestra compuesta por 8 horas

AUTORIZACIÓN Y RESPO DEL INFORME:

Ing. Verónica Bravo
DIRECTORA TÉCNICA

LABCESTTA
TECNOLOGIA Y CALIDAD
RUC:0691736210001

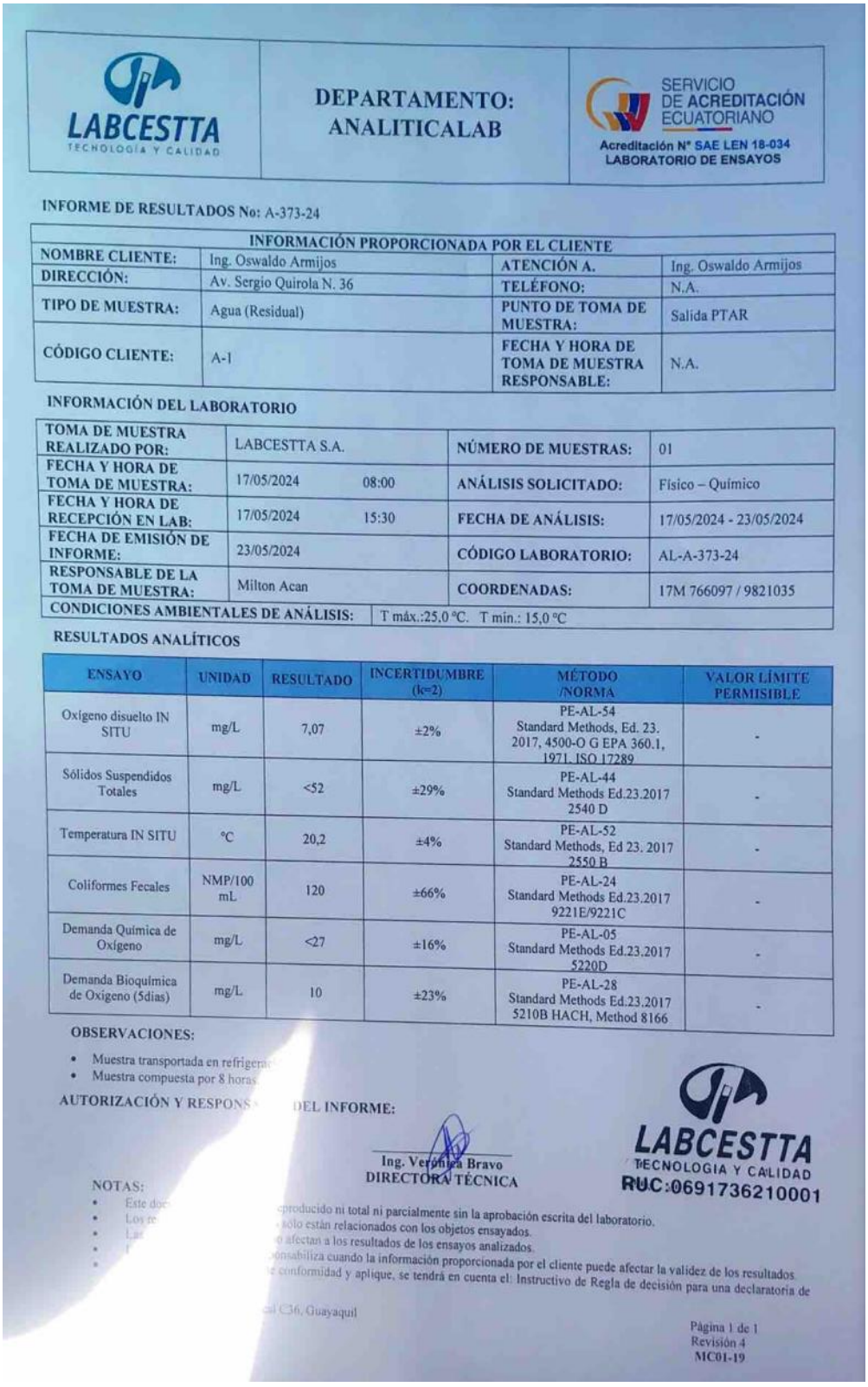
NOTAS:

- Este docum reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
- Los res as sólo están relacionados con los objetos ensayados.
- La no afectan a los resultados de los ensayos analizados.
- I esponsabiliza cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.
- de conformidad y aplique, se tendrá en cuenta el: Instructivo de Regla de decisión para una declaratoria de

ocal C36, Guayaquil

Página 1 de 1
Revisión 4
MC01-19

Anexo 2. Ensayo de parámetros de salida de la PTAR



LABCESTTA
TECNOLOGÍA Y CALIDAD

DEPARTAMENTO: ANALITICALAB

SERVICIO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO
Acreditación N° SAE LEN 18-034
LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME DE RESULTADOS No: A-373-24

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
NOMBRE CLIENTE:	Ing. Oswaldo Armijos	**ATENCIÓN A.**	Ing. Oswaldo Armijos
DIRECCIÓN:	Av. Sergio Quirola N. 36	**TELÉFONO:**	N.A.
TIPO DE MUESTRA:	Agua (Residual)	**PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:**	Salida PTAR
CÓDIGO CLIENTE:	A-1	**FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA RESPONSABLE:**	N.A.

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR:	LABCESTTA S.A.		**NÚMERO DE MUESTRAS:**	01
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	17/05/2024	08:00	**ANÁLISIS SOLICITADO:**	Físico – Químico
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	17/05/2024	15:30	**FECHA DE ANÁLISIS:**	17/05/2024 - 23/05/2024
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	23/05/2024		**CÓDIGO LABORATORIO:**	AL-A-373-24
RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	Milton Acan		**COORDENADAS:**	17M 766097 / 9821035
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:	T máx.:25,0 °C. T mín.: 15,0 °C			

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	MÉTODO /NORMA	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Oxígeno disuelto IN SITU	mg/L	7,07	±2%	PE-AL-54 Standard Methods, Ed. 23. 2017, 4500-O G EPA 360.1, 1971, ISO 17289	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	<52	±29%	PE-AL-44 Standard Methods Ed.23.2017 2540 D	-
Temperatura IN SITU	°C	20,2	±4%	PE-AL-52 Standard Methods, Ed 23. 2017 2550 B	-
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	120	±66%	PE-AL-24 Standard Methods Ed.23.2017 9221E/9221C	-
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	<27	±16%	PE-AL-05 Standard Methods Ed.23.2017 5220D	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	mg/L	10	±23%	PE-AL-28 Standard Methods Ed.23.2017 5210B HACH, Method 8166	-

OBSERVACIONES:

- Muestra transportada en refrigera
- Muestra compuesta por 8 horas

AUTORIZACIÓN Y RESPONS DEL INFORME:

Ing. Verónica Bravo
DIRECTORA TÉCNICA

LABCESTTA
TECNOLOGIA Y CALIDAD
RUC:0691736210001

NOTAS:

- Este do
- Los re
- La
- I

producido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
ólo están relacionados con los objetos ensayados.
afectan a los resultados de los ensayos analizados.
onsabiliza cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados
conformidad y aplique, se tendrá en cuenta el: Instructivo de Regla de decisión para una declaratoria de

C36, Guayaquil

Página 1 de 1
Revisión 4
MC01-19