



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Determinación del tiempo de retención hidráulica en
sistemas plásticos compactos utilizados para el tratamiento
de aguas residuales domésticas.**

AUTORES:

**Cedeño Benavides, Juan Pablo
Lascano Zambrano, Miguel Alejandro**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Ing. Glas Cevallos Clara Catalina, M. Sc.

Guayaquil, Ecuador

12 de septiembre del 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Cedeño Benavides, Juan Pablo y Lascano Zambrano, Miguel Alejandro**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____

Ing. Glas Cevallos Clara Catalina, M. Sc.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas Stefany Esther, M. Sc.

Guayaquil, a los 12 del mes de septiembre del año 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros: **Cedeño Benavides, Juan Pablo**
Lascano Zambrano, Miguel Alejandro

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, **determinación del tiempo de retención hidráulica en sistemas plásticos compactos utilizados para el tratamiento de aguas residuales domésticas** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 12 días del mes de septiembre del año 2023

AUTORES:

f. _____

f. _____

Cedeño Benavides, Juan Pablo

Lascano Zambrano, Miguel Alejandro



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Nosotros: **Cedeño Benavides, Juan Pablo**
Lascano Zambrano, Miguel Alejandro

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **determinación del tiempo de retención hidráulica en sistemas plásticos compactos utilizados para el tratamiento de aguas residuales domésticas**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 12 días del mes de septiembre del año 2023

AUTORES:


f. _____

Cedeño Benavides, Juan Pablo

f. _____


Lascano Zambrano, Miguel Alejandro

REPORTE COMPILATO



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

LASCANO_MIGUEL,CEDEÑO_JUAN


< 1%  **< 1%** Texto entre comillas
Similitudes < 1% similitudes entre comillas
< 1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: LASCANO_MIGUEL,CEDEÑO_JUAN.docx
 ID del documento: 5e300d40f3900313b2a77a9848b6f924726fbc80
 Tamaño del documento original: 4,15 MB




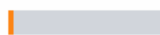



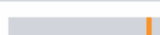


Depositante: Clara Catalina Glas Cevallos
 Fecha de depósito: 26/9/2023
 Tipo de carga: interface
 fecha de fin de análisis: 26/9/2023

Número de palabras: 23.229
 Número de caracteres: 154.680


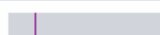



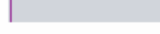

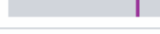

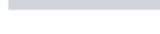
Ubicación de las similitudes en el documento:





Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 repositorio.ucsg.edu.ec http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/20823/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-483.pdf 25 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (496 palabras)
2	 localhost Evaluación ambiental de los impactos que se generarían por la recolec... http://localhost:8080/html/bitstream/3317/7666/3/T-UCSG-PRE-ING-IC-188.pdf.txt 13 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (229 palabras)
3	 localhost Evaluación de un sistema Wetland con caña guadua para el tratamient... http://localhost:8080/html/bitstream/3317/14448/3/T-UCSG-PRE-ING-IC-351.pdf.txt 23 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (251 palabras)
4	 Trabajo CARLOS MORALES.docx Trabajo CARLOS MORALES #268769 El documento proviene de mi grupo 9 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (202 palabras)
5	 dx.doi.org Effect of Hydraulic Retention Time on the Performance of a Compact ... https://dx.doi.org/10.3390/w14010081 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (73 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 localhost Diseño de tratabilidad del Agua residual del centro de faenamiento pr... http://localhost:8080/html/bitstream/hedj/72086/3/PTES5 MGA 013_Diseño de tratabilidad del Ag...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
2	 Documento de otro usuario #ae01e El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (14 palabras)
3	 repositorio.ucsg.edu.ec http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1313/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-74.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
4	 repositorio.utm.edu.ec Evaluación del efecto de un biofertilizante elaborado a pa... http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/12439/6/03_BIO_034_TRABAJO_DE_GRADO.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)
5	 Documento de otro usuario #c2b6fc El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (15 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- 1  <https://www.ssiaeration.com/es/how-to-optimize-hydraulic-retention-time/#gref>
- 2  <https://www.netsolwater.com/what-is-hydraulic-retention-time.php?blog=1392>

TUTOR:

f. _____

Ing. Glas Cevallos Clara Catalina, M. Sc.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, Miguel Lascano y Narcisa Zambrano, ya que este logro no habría sido posible sin su constante apoyo, ya sea moral, financiero y afectivo. Sus sacrificios y esfuerzos para darme la oportunidad de una educación y de crecimiento son invaluable, y siempre estaré agradecido por ello.

Agradezco sinceramente a mis hermanos que me brindaron su apoyo cuando más lo necesitaba. Sin su presencia en mi vida, este logro tal vez no lo hubiese conseguido o tardaría más en hacerlo, su contribución ha sido fundamental en mi éxito académico.

Agradezco a mi tutora, la ingeniera Clara Glas, por ser mi guía durante todo este trabajo, gracias por brindarme las bases necesarias y apoyo a lo largo de este proceso y así alcanzar esta meta, estoy seguro que no hubiese conseguido mejor tutor que ella.

Y finalmente, agradezco a los docentes de esta carrera y a todos mis compañeros que me apoyaron e hicieron de esta etapa universitaria una gran experiencia.

Miguel Alejandro Lascano Zambrano

DEDICATORIA

Dedico especialmente este logro a toda mi familia.

Amados padres, les dedico este trabajo como una pequeña muestra de gratitud y todo el amor que tengo hacia ustedes. Espero que este logro los haga sentir orgullosos de mí.

Dedico de igual manera este logro a mi sobrino Mathias que lo considero como mi hermano pequeño, quiero que sepas cuanto significas para mi y de la influencia positiva que puedes tener en mi vida.

Miguel Alejandro Lascano Zambrano

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios y a su Espíritu Santo que es la luz de mi vida, la guía en mi vida diaria por darme la fuerza necesaria para poder afrontar las dificultades.

Agradezco a mi madre y mis abuelos, Tania Benavides, Dalía Párraga y Julio Benavides, por ser las personas que siempre han estado a mi lado, este gran paso que he dado en mi vida no sería posible sin su apoyo emocional y financiero.

Agradezco a la Renovación Carismática Católica por la formación espiritual que me han brindado y con ello llegar a ser un buen hombre lo cual me permitió llegar a este logro.

Agradezco a mi tutora, la ingeniera Clara Glas, por todas las enseñanzas que me compartió, por darme fuerzas y apoyo en los momentos más difíciles cuando sentía que quería rendirme.

Juan Pablo Cedeño Benavides

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios y a toda mi familia.

Juan Pablo Cedeño Benavides



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

**Ing. Federico Von Buchwald de Janon, Ph.D.
DECANO**

f. _____

**Ing. Nancy Fátima Varela Terreros, Ph.D.
DOCENTE DE LA CARRERA**

f. _____

**Ing. Mélida Alexandra Camacho Monar, Ph.D.
OPONENTE**

ÍNDICE

RESUMEN.....	XIX
ABSTRACT.....	XX
INTRODUCCIÓN.....	2
Antecedentes	2
Objetivos	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
Metodología.....	3
1. CAPÍTULO I: INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.1 Aguas residuales domésticas.....	4
1.1.1 Definición	4
1.1.2 Importancia del tratamiento de aguas residuales	4
1.2 Tratamientos de aguas residuales domésticas	4
1.2.1 Tratamientos Preliminares.....	6
1.2.2 Tratamientos Primarios.....	7
1.2.3 Tratamientos Secundarios.....	9
1.2.4 Tratamiento Terciario.....	11
1.3 Tiempo de retención hidráulico	12
1.3.1 Definición	12
1.3.2 Fórmula y cálculos del tiempo de retención hidráulica.....	13
1.3.3 Importancia del TRH	14

1.3.4	Tiempo de retención hidráulica en sistemas de tratamientos de aguas residuales.....	14
1.3.5	Efecto del tiempo de retención hidráulico en la eficiencia de eliminación.....	15
1.3.6	Zonas muertas.....	17
1.4	Trazadores.....	18
1.4.1	Definición.....	18
1.4.2	Clasificación.....	18
1.4.3	Procedimiento para un ensayo de trazadores.....	20
1.4.4	Curva Concentración vs. Tiempo.....	23
1.5	Sistemas Integrados para el Tratamiento de AARR.....	28
1.5.1	Definición.....	28
1.5.2	Tipos de Sistemas Integrados.....	28
2.	CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN.....	33
2.1.	Descripción de lugares de muestreo.....	33
2.2.	Descripción del Biotanque Séptico Integrado.....	35
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	42
3.1.	Materiales.....	43
3.2.	Métodos.....	44
3.2.1.	Determinación del TRH teórico.....	44
3.2.2.	Plan de muestreo.....	46
4.	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	52
	CONCLUSIONES.....	80
	RECOMENDACIONES.....	82

BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXO.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Dimensiones del BSI en función de su capacidad.	36
Tabla 2 Características del biofiltro plástico filtrante.	37
Tabla 3 Características físicas y químicas de las pastillas de cloro.	38
Tabla 4 Cronograma de la primera medición de conductividad del agua del BSI - Piladora de Cesa.	47
Tabla 5 Valores obtenidos del multiparámetro de la primera muestra de agua residual en el primer muestreo del biotanco de la Piladora de Cesa.	48
Tabla 6 Cronograma de la segunda medición de conductividad del agua del BSI - Piladora de Cesa.	49
Tabla 7 Valores obtenidos del multiparámetro de la primera muestra de agua residual del segundo muestreo en el biotanco de la Piladora de Cesa.	49
Tabla 8 Cronograma de la medición de conductividad del agua del BSI - CDI San Francisco de Cajas.	50
Tabla 9 Valores obtenidos del multiparámetro de la primera muestra de agua residual en el biotanco del CDI San Francisco de Cajas.	50
Tabla 10 Resultados obtenidos del primer muestreo con el multiparámetro en el BSI - Piladora de Cesa.	52
Tabla 11 Resultados obtenidos del segundo muestreo con el multiparámetro en el BSI - Piladora de Cesa.	57
Tabla 12 Resultados obtenidos con el multiparámetro en el BSI - CDI San Francisco de Cajas.	61
Tabla 13 Cálculo de valores para determinar el TRH experimental en el primer muestreo del BSI de la Piladora de Cesa.	66
Tabla 14 Cálculo de valores para determinar el TRH experimental en el segundo muestreo del BSI de la Piladora de Cesa.	68

Tabla 15 Cálculo de valores para determinar el TRH experimental en el BSI del CDI San Francisco de Cajas.....	69
Tabla 16 Comparación entre el TRH teórico y el TRH experimental.....	70
Tabla 17 Cálculo de valores para realizar la curva de tiempo de medición/TRH teórico vs Log (1-F(t)) de la primera muestra realizada en el BSI de la Piladora de Cesa.....	72
Tabla 18 Cálculo de valores para realizar la curva de tiempo de medición/TRH teórico vs Log (1-F(t)) de la segunda muestra realizada en el BSI de la Piladora de Cesa.....	74
Tabla 19 Cálculo de valores para realizar la curva de tiempo de medición/TRH teórico vs Log (1-F(t)) de la muestra realizada en el BSI del CDI San Francisco de Cajas.....	75
Tabla 20 Porcentajes obtenidos para el análisis de flujo en los BSI de las diversas muestras realizadas.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de una estación depuradora de aguas residuales.	6
Figura 2 Esquematación del funcionamiento de un conductímetro.	23
Figura 3 Concentración del trazador en el efluente de un reactor.	24
Figura 4 Índice de Morrill.	27
Figura 5. Diagrama de partes de un RAFA.	29
Figura 6 Esquema de un reactor de lecho fijo de flujo ascendente.	32
Figura 7 Ubicación del biotanco séptico integrado de la Piladora de Cesa	34
Figura 8 Ubicación del biotanco séptico integrado del Centro de Desarrollo Infantil San Francisco de Cajas	35
Figura 9 Elementos del Biotanco Séptico Integrado.	36
Figura 10 Biofiltro plástico filtrante.	37
Figura 11 Vista del BSI 2000L en corte.	41
Figura 12 Variación de la conductividad en el efluente del BSI en el primer muestreo de la Piladora de Cesa.	54
Figura 13 Variación de la salinidad en el efluente del BSI en el primer muestreo de la Piladora de Cesa.	55
Figura 14 Variación de los SDT en el efluente del BSI en el primer muestreo de la Piladora de Cesa.	56
Figura 15 Variación de la conductividad en el efluente del BSI en el segundo muestreo de la Piladora de Cesa.	58
Figura 16 Variación de la salinidad en el efluente del BSI en el segundo muestreo de la Piladora de Cesa.	59
Figura 17 Variación de los SDT en el efluente del BSI en el segundo muestreo de la Piladora de Cesa.	60

Figura 18 Variación de la conductividad en el efluente del BSI - CDI San Francisco de Cajas.....	62
Figura 19 Variación de la salinidad en el efluente del BSI - CDI San Francisco de Cajas.	63
Figura 20 Variación de los SDT en el efluente del BSI - CDI San Francisco de Cajas.....	64
Figura 21 Curva de tiempo de medición/TRH teórico vs Log (1-F(t)) de la primera muestra realizada en el BSI de la Piladora de Cesa.	76
Figura 22 Curva de tiempo de medición/TRH teórico vs Log (1-F(t)) de la segunda muestra realizada en el BSI de la Piladora de Cesa.....	76
Figura 23 Curva de tiempo de medición/TRH teórico vs Log (1-F(t)) de la muestra realizada en el BSI del CDI San Francisco de Cajas.....	77
Figura 24 Hoja Técnica del Biotanque Séptico Integrado.	90
Figura 25 Multiparámetro con sonda de conductividad.	91
Figura 26 Ubicación del BSI en la Piladora de Cesa.....	91
Figura 27 Rebosamiento del agua residual al filtro biológico ocasionando que se salgan los biofiltros.	92
Figura 28 Caja de registro previo al afluente del BSI – Piladora de Cesa donde se introduce el trazador disuelto completamente en agua por dosificación instantánea.....	93
Figura 29 Disolución del cloruro de sodio en el tanque con agua.....	94
Figura 30 Mezclado del trazador hasta que quede completamente disuelto.	95
Figura 31 Toma de muestra en el efluente del BSI - Piladora de Cesa.....	96
Figura 32 Análisis de la muestra con el multiparámetro en el BSI – Piladora de Cesa.	97

Figura 33 Resultados obtenidos en el multiparámetro.....	98
Figura 34 Ubicación del BSI en el CDI San Francisco de Cajas.....	99
Figura 35 Vista en planta del BSI - CDI San Francisco de Cajas.	100
Figura 36 Punto previo al afluente del BSI - CDI San Francisco de Cajas.	100
Figura 37 Punto donde se toma muestra para el BSI - CDI San Francisco de Cajas.....	101
Figura 38 Análisis de la muestra con el multiparámetro en el BSI – CDI San Francisco de Cajas.....	102

RESUMEN

El presente trabajo de titulación determina el tiempo de retención hidráulica en sistemas plásticos compactos para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Se realizó este estudio en dos sistemas plásticos compactos anaerobios instalados en Región Sierra y Costa, este trabajo lo realizamos mediante la prueba de trazador, utilizamos el cloruro de sodio para disolverlo completamente en agua, luego de esto aplicamos todo el trazador por dosificación instantánea en el afluente del biotanco, las muestras se tomaron en el efluente de dichos sistemas. Previo a determinar el TRH experimental, calculamos el TRH teórico mediante la información recopilada en una visita previa.

Obtenidos los resultados mediante el multiparámetro se procedió a realizar la curva de concentración del trazador para cada muestra, los valores del TRH experimental son muy bajos para el valor calculado del TRH teórico. Se demuestra que la falta de mantenimiento de los sistemas plásticos compactos puede afectar a los sistemas.

Palabras Claves: tiempo de retención hidráulica, sistemas plásticos compactos, trazador, curva de concentración, aguas residuales, TRH teórico

ABSTRACT

The present titration work determines the hydraulic retention time in compact plastic systems for the treatment of domestic wastewater. This study was carried out in two compact anaerobic plastic systems installed in the Sierra and Costa Region, this work was carried out through the tracer test, we use sodium chloride to dissolve it completely in water, after this we applied the entire tracer by instant dosing in the tributary of the biotank, the samples were taken in the effluent of said systems. Prior to determining the experimental TRH, we calculate the theoretical TRH using the information collected in a previous visit.

Once the results were obtained using the multiparameter, the concentration curve of the tracer was performed for each sample we performed, the values of the experimental TRH are very low for the calculated value of the theoretical TRH. It is shown that the lack of maintenance of compact plastic systems can affect the systems.

Keywords: hydraulic retention time, compact plastic systems, tracer, concentration curve, wastewater, theoretical HRT

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Como complemento de la investigación “Estudio del tratamiento complementario en sistemas plásticos compactos para tratamiento de aguas residuales domésticas” realizada en el semestre B 2022, se necesita investigar el tiempo de retención hidráulica que es el periodo de tiempo en el que el agua servida entra en contacto con el proceso de tratamiento, para que este cumpla su objetivo.

Objetivos

Objetivo general

Determinar a través de una prueba de trazadores el tiempo de retención hidráulica en sistemas plásticos compactos de 1200 y 2000 litros, con y sin serpentín, utilizados para el tratamiento de AARRDD para poblaciones pequeñas.

Objetivos específicos

1. Realizar una revisión bibliográfica exhaustiva de los temas abarcados para obtener un panorama completo y actualizado de la problemática.
2. Identificar los puntos que deben ser monitoreados en relación con los sistemas de tratamiento de aguas residuales bajo análisis.
3. Llevar a cabo pruebas de trazadores en los sitios previamente identificados, con el fin de recopilar datos concretos y significativos para el estudio.
4. Analizar las curvas de distribución temporal y acumulada de concentración del trazador en cada sistema.
5. Calcular el tiempo de retención experimental en base a los resultados obtenidos.
6. Analizar los flujos del sistema plástico compacto.

Metodología

- Aplicaren el afluente el trazador que será una solución salina, la prueba se realizará por duplicado.
- A partir del TRH teórico se planificará un monitoreo, tomando las muestras más seguidas al estar más próximo al TRH teórico.
- Las muestras serán analizadas en sitio.
- Luego se realizarán las curvas de distribución temporal y acumulada y se determinara el tiempo de retención real.

1. CAPÍTULO I: INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Aguas residuales domésticas

1.1.1 Definición

De acuerdo con las afirmaciones de Mara (1976), las aguas residuales domésticas se refieren al agua utilizada con fines higiénicos, como baños, cocinas y lavanderías. Estas aguas están compuestas principalmente por desechos humanos que ingresan a las redes de alcantarillado a través de los sistemas hidráulicos de los edificios, así como por desechos generados en establecimientos comerciales, públicos y similares.

Se ha confirmado por (Díaz & Pantoja, 2011) que el agua residual consiste en aguas fecales, lavado y limpieza. Por lo tanto, estas aguas contienen gérmenes, patógenos, materia orgánica, sólidos, detergentes, nitrógeno y fósforo, entre otras cosas, pero en una proporción más pequeña.

El agua residual es compuesta por componentes físicos, químicos y biológicos; es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos (Díaz Cuenca et al., 2012).

1.1.2 Importancia del tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales es de suma importancia para preservar el entorno natural, salvaguardar la salud pública y asegurar el acceso a agua limpia y segura para toda la comunidad.

Por contener compuestos y organismos sumamente peligrosos para la salud humana, además de su desagradable apariencia y olor, pueden contaminar cuerpos de agua utilizados para la pesca, zonas de baño y fuentes de agua potable (Díaz & Pantoja, 2011).

Básicamente, el beneficio de tratar las aguas residuales es fomentar el bienestar de los individuos de la sociedad preservando su salud.

1.2 Tratamientos de aguas residuales domésticas

El tratamiento de aguas residuales domésticas es para suprimir los contaminantes hasta que se obtenga el valor máximo permitido especificado por las normas y estándares de carácter nacional. Debido a la diversidad de

posibles contaminantes que están presentes en las aguas residuales, hay diferentes maneras de tratarlos.

Las técnicas utilizadas en estos procesos son variadas y categorizadas según sus criterios operativos, regulares y alternativos.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales utilizan diferentes métodos para eliminar los contaminantes. Los sistemas más utilizados son una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos, como señala (Díaz & Pantoja, 2011).

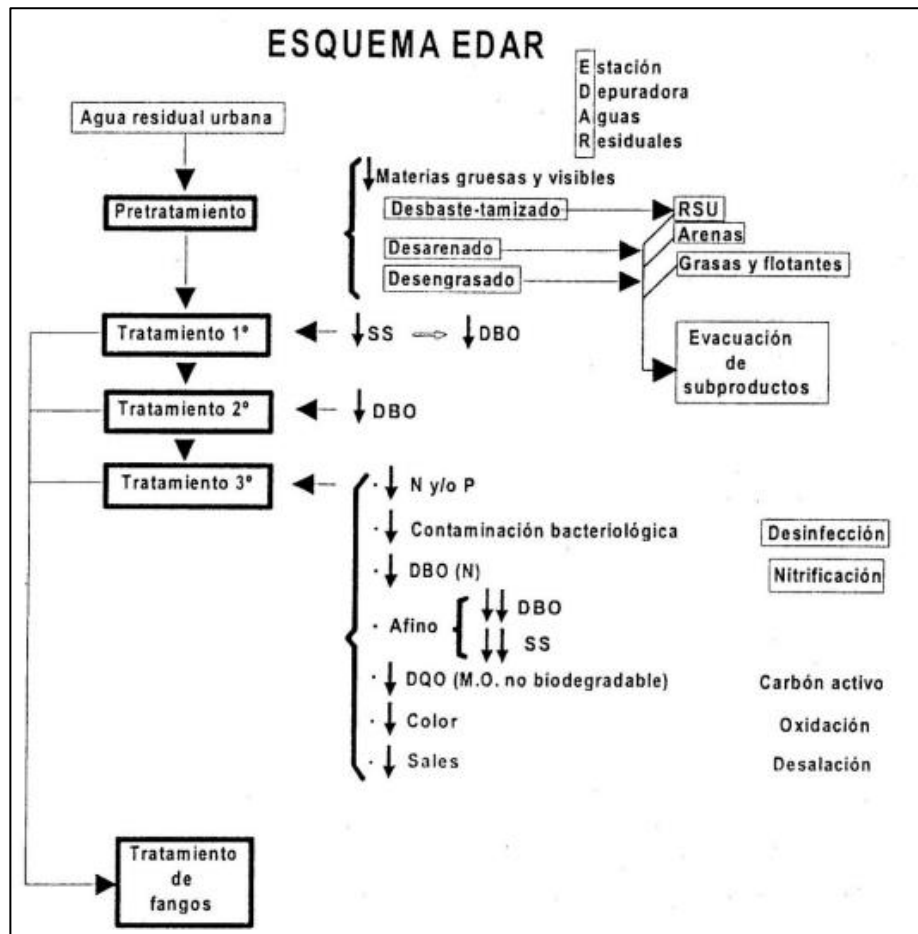
Los procesos físicos incluyen métodos de tratamiento en los que predomina la acción de fuerzas físicas que permiten la remoción de la materia en suspensión presente en el agua a tratar. Usualmente, los sólidos en suspensión consisten en partículas que varían en tamaño y forma. La eliminación de esta materia se suele hacer mediante operaciones mecánicas (Fernández Alba et al., 2006).

Mediante procesos químicos, es posible eliminar la materia disuelta presente en el agua a tratar a través de la adición de productos químicos que desencadenan diversas reacciones químicas. Los sólidos disueltos pueden variar en características y concentraciones, abarcando desde altas cantidades de sales inorgánicas disueltas, como salmueras, hasta materia orgánica biodegradable presente en la industria alimentaria. También pueden presentarse en cantidades extremadamente bajas, tanto inorgánicas (metales pesados) como orgánicas (pesticidas), siendo necesaria su eliminación debido a su naturaleza peligrosa (Fernández Alba et al., 2006).

Los procesos biológicos constituyen una serie de importantes etapas de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (especialmente las bacterias), para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua aprovechando la actividad metabólica de los mismos (Fernández Alba et al., 2006).

Un proceso biológico implica la remoción de la materia orgánica que puede descomponerse, ya sea en forma soluble o coloidal, debido a que es la fuente de energía que proporciona carbono, oxígeno disuelto y nutrientes, como nitrógeno y fósforo, esenciales para el desarrollo de los microorganismos.

Figura 1 Esquema de una estación depuradora de aguas residuales.



Fuente: Adaptado de Tejero et al., 2000

Según la clasificación de (Collazos, 2008) en su Cátedra Internacional, los niveles de tratamientos son:

1.2.1 Tratamientos Preliminares

El propósito del tratamiento preliminar es eliminar de las aguas residuales los elementos que podrían generar problemas durante las etapas siguientes del proceso, tanto en términos de operación como de mantenimiento. En algunos casos, estos componentes no pueden ser tratados simultáneamente con los demás elementos presentes en el agua residual.

- **Cribado:** El proceso de cribado se emplea para separar los materiales de mayor tamaño que se encuentran en el agua, al hacerla pasar a través de una estructura de criba o rejilla.

Estas son rejillas de metal o barras paralelas con espacios iguales. El propósito de este sistema es capturar y retener partículas sólidas de alta densidad que están en suspensión en el agua. Estas partículas pueden ser eliminadas mediante limpieza manual en el caso de las más grandes, o por medio de métodos mecánicos para las partículas más finas (Collazos, 2008).

- **Desarenadores:** Son estructuras para retirar arena, pequeñas piedras, también partículas pequeñas que se sedimentan por su propio peso de las aguas residuales. Pueden ser rectangulares o circulares, de flujo horizontal o espiral, ventiladas o no, de limpieza manual o mecánica. Su función es prevenir el desgaste de los equipos mecánicos y evitar la acumulación de arena en las tuberías, canales y tanques aguas abajo (Collazos, 2008).
- **Homogenización:** Los tanques se utilizan para regular o reducir los efectos de los cambios en el flujo o la concentración de las aguas residuales, es indispensable en el tratamiento de aguas residuales domésticas. El programa de cálculo se basa en la creación de un balance de masa a intervalos regulares de tiempo (Collazos, 2008).
- **Trampas de grasa:** Este sistema se basa en un dispositivo de flotación en el cual, debido a la diferencia de densidad, la grasa flota en la superficie, permitiendo que el agua salga a través de una descarga inferior (Pineda Rodríguez, 2011).

En el caso de las aguas residuales domésticas, el contenido de grasas y aceites puede variar aproximadamente entre 30 y 50 mg/L, representando alrededor del 20% de la DBO (Romero Rojas, 2013).

1.2.2 Tratamientos Primarios

(Congreso de los Diputados, 1995) da la definición del tratamiento primario como “El tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o fisicoquímico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO de las aguas residuales que entren, se reduzca,

por lo menos, en un 20% antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos, en un 50%”.

Los tratamientos primarios se centran en reducir los sólidos suspendidos, la materia orgánica y los organismos patógenos presentes en el agua, a través de técnicas como la sedimentación u otros métodos. El propósito de este tratamiento es preparar el agua para el tratamiento secundario.

De manera general, (Castillo Domínguez & Díaz Maridueña, 2022) estima que el tratamiento primario puede eliminar alrededor del 60% de los sólidos suspendidos presentes en el agua residual cruda, así como un 35 a 40% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

- **Sedimentación:** El proceso consiste en utilizar las disparidades de densidad y peso entre los líquidos y las partículas en suspensión. Los materiales sólidos, al ser más pesados que el agua, se depositan y se separan del líquido. La sedimentación primaria se emplea para las partículas que forman flóculos (ya sea con o sin un proceso de coagulación previo). Existen dos tipos de sedimentadores: circulares o rectangulares (Collazos, 2008).
- **Flotación:** Se trata de la separación de partículas sólidas o líquidas en un medio líquido, se utiliza para eliminar grasas, aceites y, en ocasiones, se combina con materia que se encuentra suspendida. La separación se lleva a cabo mediante flotación simple o mediante la introducción de burbujas de aire muy pequeñas en el líquido, lo que arrastra las partículas suspendidas hacia la superficie (conocido como DAF) (Collazos, 2008).
- **Coagulación-floculación:** La Coagulación-Floculación es un proceso en el cual las partículas se agrupan formando flóculos, que tienen un peso específico mayor al del agua, es un proceso que busca alterar la estabilidad de la suspensión.

Según Yaniris Lorenzo-Acosta, este proceso se utiliza para lograr lo siguiente:

- Eliminación de turbidez orgánica o inorgánica

- Remoción de color verdadero y aparente.
 - Eliminación de sustancias que generan sabor y olor, así como precipitados químicos suspendidos, entre otros.
 - Remoción de bacterias, virus y organismo patógenos susceptibles a ser separados.
 - Destrucción de algas y plancton en general (Lorenzo-Acosta, 2006).
- **Filtración:** La filtración es un proceso esencial en una planta de tratamiento de agua, ya que tiene como objetivo remover partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa. Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, como un lecho de arena, con el propósito de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión (ACUATECNICA S.A.S., 2018). Este proceso físico permite el paso del fluido mientras retiene los sólidos.

1.2.3 Tratamientos Secundarios

El tratamiento secundario se emplea principalmente para remoción de DBO soluble y sólidos suspendidos. El Congreso de los Diputados en el decreto ley 11/95 define al tratamiento secundario como “El tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundario u otro proceso” (Congreso de los Diputados, 1995).

El propósito de este proceso es lograr la estabilización de la materia orgánica que se encuentra en el agua residual. Entre estos sistemas tenemos:

- **Lodos activados:** El proceso de lodos activados implica que los lodos se desarrollen y crezcan en el tanque de aireación, luego sean transferidos al tanque de sedimentación y recirculados nuevamente al tanque de aireación. Este ciclo se repite varias veces hasta que los lodos son eliminados del sistema a través de la purga (Amador Díaz et al., 2015).

El proceso de lodos activados se encarga de descomponer la materia orgánica que se encuentra en las aguas residuales, transformándola

en dióxido de carbono y agua, lo que resulta en una disminución de la DBO presente en el agua residual.

El lodo activado se refiere a una mezcla densa de microorganismos, materia orgánica en descomposición y materiales inorgánicos. Esta mezcla presenta una superficie altamente activa que facilita la adsorción de materiales en suspensión y coloidales, lo que explica su denominación como “activado” (Romero Rojas, 2013).

- **Filtros percoladores:** Es “un proceso muy usado para el tratamiento de aguas residuales, no es un proceso diseñado para ejercer una verdadera acción de tamizado o filtración del agua residual sino para poner en contacto aguas residuales con biomasa adherida a un medio de soporte fijo, constituyendo un lecho de oxidación biológica” (Romero Rojas, 2013).

Implica la creación de un lecho compuesto por medio filtrante de alta superficie específica, como piedras, grava, botellas de PVC u otro material filtrante adecuado para asegurar la eficiencia del sistema y evitar obstrucciones en el lecho (Cabrera Montero & Cabrera Montero, 2019).

- **Lagunas de estabilización:** También conocidas como “Lagunas de Oxidación”, son depósitos de agua que tienen como finalidad estabilizar la materia orgánica presente en las aguas residuales. Este término se utilizó por la importancia que tiene el oxígeno en el proceso estabilizador de la materia orgánica, y por la gran cantidad de este gas que se produce a través del proceso de fotosíntesis de las algas (Vázquez, 2016).
- **Reactores biológicos de membrana:** Estos pueden ser descritos como sistemas que combinan la degradación biológica de los efluentes de aguas residuales con la utilización de una membrana para llevar a cabo la filtración. En la actualidad, las membranas se utilizan en el tratamiento de AARR para dos propósitos principales: la reutilización del agua tratada y el cumplimiento de estrictos estándares de vertido (Stephenson et al., 2007).

1.2.4 Tratamiento Terciario

Según (Belzona Inc., 2010) este tratamiento consiste en un proceso fisicoquímico que utiliza la precipitación, la filtración y/o la cloración para reducir drásticamente los niveles de nutrientes inorgánicos, especialmente los fosfatos y nitratos del efluente final. El agua residual que recibe un tratamiento terciario adecuado no permite un desarrollo microbiano considerable.

Básicamente, el tratamiento terciario se utiliza para la separación de residuos de la materia residual de los efluentes de procedimientos de tratamiento biológico para evitar la eutrofización de las fuentes receptoras, o garantizar una calidad de reutilización suficiente, que es un factor importante en la planificación de recursos de sistemas hidráulicos con suministro limitado de agua potable.

Según Rubén Brandan Gordillo, lo tipos de tratamientos terciarios son:

- **Tratamiento físico químicos:** Se refieren a procedimientos que integran métodos físicos y químicos con el propósito de eliminar contaminantes adicionales y mejorar de manera significativa la calidad del agua sometida a tratamiento.
- **Procesos electroquímicos:** Los procesos electroquímicos se basan en la eliminación de contaminantes particulares en el tratamiento avanzado de aguas residuales domésticas. Este enfoque ofrece ventajas notables, incluida la disminución de la producción de lodos y una menor necesidad de productos químicos.
- **Filtración profunda:** Es un proceso de tratamiento avanzado que consiste en hacer pasar el agua residual a través de un medio altamente poroso, como arenas o medios granulares, con el propósito de eliminar partículas finas, materia orgánica residual y microorganismos que puedan haber quedado después de los tratamientos previos.
- **Filtración superficial:** Es un proceso en el cual el agua residual pasa a través de una capa superficial de un medio filtrante, como arena o materiales granulares. Este proceso tiene como objetivo eliminar partículas finas, materia orgánica residual, microorganismos y otros

contaminantes adicionales que quedaron presentes en el agua luego de tratamientos anteriores. A diferencia de la filtración profunda, donde el agua atraviesa un medio filtrante altamente poroso, en la filtración superficial, el agua se filtra a través de una capa más delgada de medios filtrantes, lo que logra una mayor eficiencia en la retención de partículas y contaminantes.

- **Flotación con aire disuelto:** En este proceso, se incorporan minúsculas burbujas de aire al agua residual empleando la aplicación de presión. Al liberar esta presión, las burbujas de aire se unen a las partículas existentes en el agua, lo que posibilita que estas se eleven hacia la superficie generando una capa espumosa. Este procedimiento demuestra ser especialmente eficaz en la remoción de contaminantes y partículas propensas a flotar, lo que en última instancia contribuye al proceso de depuración final de las aguas residuales. (Brandán Gordillo, 2015).
- **Desinfección:** Es frecuente emplear un procedimiento de desinfección con el fin de eliminar los microorganismos patógenos que puedan quedar en el agua residual después de su tratamiento. Esta eliminación de organismos causantes de enfermedades se puede lograr mediante cloro, dióxido de cloro, cloruro de bromo, luz ultravioleta o procesos de ozonización (Metcalf & Eddy, 2004).

1.3 Tiempo de retención hidráulico

1.3.1 Definición

El tiempo de retención hidráulico (TRH) también conocido comúnmente como tiempo de residencia hidráulico, podría definirse como la relación entre el volumen del reactor y el caudal de alimentación. La duración media durante la cual las células y los sustratos permanecen dentro del reactor está representada por el tiempo de retención hidráulico. El TRH juega un papel importante en la síntesis continua de hidrógeno y metano (NetSol Water, 2022).

El período durante el cual el agua se mantiene en el sistema se denomina tiempo de retención hidráulico.

1.3.2 Fórmula y cálculos del tiempo de retención hidráulica

Como el tiempo de retención hidráulico se define como la duración promedio en la que los compuestos solubles y líquidos permanecen en un tanque de aguas residuales determinado, es esencial emplear la fórmula del TRH para calcular dicho promedio.

Cada instalación presenta variaciones en términos de tamaño del tanque y eficiencia del sistema, además de tener que gestionar volúmenes distintos de aguas residuales para su descarga segura en el medio ambiente. Por consiguiente, comprender el TRH resulta esencial para alcanzar una eficiencia óptima.

Fórmula

(Frankel, 2022) nos dice que para un cálculo preciso del TRH, la fórmula es la siguiente:

$$\text{TRH} = \frac{V}{Q}$$

Donde:

V= volumen del tanque, (m^3)

Q= caudal de entrada ($m^3/\text{día}$)

Considere que el valor del caudal de entrada puede ser de metros cúbicos por hora o por día, según la información específica que se requiera.

Además, es recomendable emplear unidades de volumen como litros u otros designadores en las fórmulas. Por ejemplo, al utilizar litros, la fórmula se expresa como "TRH = V(litros) / caudal (litros/hora)". Esta formulación permite prescindir del uso de metros cúbicos en los cálculos y, en su lugar, enfocarse en el volumen de líquido (en litros) que fluye a través del sistema de tratamiento de aguas residuales.

1.3.3 Importancia del TRH

De acuerdo con las observaciones de Frankel (2022), el tiempo de retención hidráulico (TRH) juega un papel esencial en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales, convirtiéndose en un factor crítico en el diseño de instalaciones de tratamiento. Es relevante destacar que el TRH trasciende la mera estadística o evaluación del estado operativo de una instalación, ya que ofrece una visión general de la eficiencia global de las operaciones de tratamiento de aguas residuales. Al tener control sobre el TRH en una instalación, los operadores también tienen el control sobre su eficiencia.

Otra razón de vital importancia para valorar el TRH es su estrecha relación con la generación de biogás y biomasa. La descomposición de los sólidos orgánicos en las aguas residuales produce energía en forma de biomasa, que puede aprovecharse para generar electricidad y distribuirla. No obstante, es esencial tener presente que el TRH está directamente vinculado a la cantidad de biogás generado por el sistema. El TRH advierte sobre la disminución de la productividad debido a la acumulación de sólidos orgánicos en el digestor anaeróbico.

Al calcular el TRH en una planta de tratamiento de aguas residuales, los operadores dan el primer paso para incrementar la productividad y la eficiencia. Obtienen un mayor control sobre cómo alcanzar sus metas, asegurando así que las operaciones se mantengan en buen rumbo. Es recomendable tener en cuenta estas consideraciones para asegurar que la planta de tratamiento de aguas residuales brinde la mejor calidad y los resultados más eficientes posibles (Pandey et al., 2019).

1.3.4 Tiempo de retención hidráulica en sistemas de tratamientos de aguas residuales

El tiempo de retención hidráulica (TRH) en sistemas de tratamiento de aguas residuales está definido por la relación entre el volumen funcional del sistema y el flujo volumétrico de ingreso, tal como destacan Tyagi y Aboudi (2021). Este parámetro adquiere una relevancia crucial al comprender la producción de lodos en una planta de tratamiento, lo que a su vez posibilita el cálculo del

volumen de operación del sistema a través del TRH. En plantas de tratamiento de aguas residuales sin co-digestión, el TRH también es conocido como el tiempo de retención de lodos (SRT), concepto que refleja su impacto en la optimización general del proceso. En instalaciones de mayor capacidad, existe la posibilidad de emplear varios sistemas funcionando en paralelo para lograr un mayor rendimiento. En los casos en los que se opta por un único sistema, es común que se dimensione con márgenes superiores para anticipar y acomodar posibles aumentos futuros en la carga de tratamiento. Así, el análisis del tiempo de retención hidráulica se convierte en un elemento esencial para una planificación efectiva y un diseño robusto en sistemas de tratamiento de aguas residuales.

1.3.5 Efecto del tiempo de retención hidráulico en la eficiencia de eliminación

- **Eliminación de Sólidos Suspendedos Totales (SST)**

La medición de los sólidos suspendidos totales (SST) es un parámetro de gran importancia para evaluar el grado de contaminación en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, especialmente en aquellos que no cuentan con clarificadores secundarios. Por lo general, a medida que se incrementa el tiempo de retención hidráulico, la concentración de SST disminuye gradualmente, ya que se le otorga un período prolongado para que las partículas se sedimenten y se adhieran a las superficies (Kawan et al., 2022).

- **Eliminación de Contaminantes Orgánicos**

De acuerdo con una investigación reciente realizada por Gulhane y Kotangale (2014), se utilizó el sistema de Reactor Biológico de Lecho Móvil (MBBR por sus siglas en inglés) para eliminar la DBO, DQO y los sólidos totales en aguas residuales con un TRH de 24 horas. Los resultados mostraron una eficiencia mínima de eliminación de DBO del 75,48% (promedio de $78,2 \pm 1,95\%$).

Las operaciones subsiguientes con TRH más cortos revelaron disminuciones constantes en la eficiencia de eliminación tanto para la DQO como para la DBO a medida que aumentaba el caudal de entrada. Cuando el reactor operaba con un caudal alto (tiempo de retención corto), el flujo y movimiento del agua en el reactor resultaba en una alta velocidad del agua y una breve

duración de contacto entre la materia orgánica, lo que reducía el tiempo disponible para la formación de biopelículas. Esto, a su vez, disminuía la capacidad de los organismos para oxidar las sustancias. Los hallazgos indicaron que la eliminación del 50% de la DBO tenía una eficacia del 50% dentro de las 12 horas (Yusof et al., 2017).

- **Eliminación de Nutrientes**

La concentración de nitrógeno en las aguas residuales puede variar desde niveles bajos hasta altos, lo que requiere un proceso de tratamiento adecuado para su eliminación (Kawan et al., 2022). En este proceso, una bacteria denominada Nitrosomonas se encarga de convertir el amonio y el amoniaco en nitrito, mientras que otra bacteria conocida como Nitrobacter completa la conversión de nitrito a nitrato. Estas bacterias, también conocidas como nitrificantes, requieren oxígeno disuelto (OD) para llevar a cabo su trabajo, y la nitrificación solo ocurre en condiciones aeróbicas con niveles de OD de al menos 2,0 mg/L.

El proceso de conversión de la nitrificación en dos etapas requiere un tiempo considerable, ya que las bacterias nitrificantes (autótrofas) tienen un crecimiento mucho más lento en comparación con las bacterias desnitrificantes (heterótrofas).

Las aguas residuales tratadas suelen contener cantidades significativas de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo. El uso de aguas residuales tratadas para el riego puede reducir la necesidad de utilizar fertilizantes en jardines y áreas comerciales con césped. El fósforo, por su parte, proviene principalmente de productos químicos, como los detergentes en polvo (Kawan et al., 2022).

- **Eliminación de Coliformes Fecales**

El tiempo de retención hidráulico juega un papel relevante en la calidad microbiológica de las aguas grises. Estas aguas, que contienen coliformes fecales termo tolerantes, son indicativas de la presencia de diversos patógenos como Salmonella, Shigella, Giardia lamblia, Cryptosporidium parvum y otros virus (Hachih et al., 2012). Es importante destacar que las

aguas grises pueden contener una concentración de microorganismos potencialmente patógenos de al menos 104/100 ml (Wei Shi et al., 2018).

Se ha observado que a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento de las aguas grises, se incrementa el número de coliformes termo tolerantes. Durante las primeras 24 a 48 horas de almacenamiento, se ha comprobado que estos coliformes pueden multiplicarse de 10 a 100 veces (Santos et al., 2017). Esto resalta la importancia de evitar condiciones anaeróbicas en las aguas grises y, por ende, evitar su almacenamiento prolongado.

En relación al tiempo de retención hidráulico en el tratamiento de aguas grises, es importante tener en cuenta que un período más prolongado permite una mayor exposición de los microorganismos presentes en ellas a los procesos de descomposición y tratamiento biológico. Un tiempo de retención hidráulico adecuado contribuye a reducir la concentración de coliformes termo tolerantes y, en consecuencia, disminuye la presencia de patógenos en las aguas grises tratadas.

Es fundamental reconocer que, además del tiempo de retención hidráulico, existen otros factores, como la temperatura, el tipo de tratamiento y las condiciones de almacenamiento, que también pueden influir en la reducción de los coliformes termo tolerantes y en la calidad microbiológica general de las aguas grises tratadas. Por lo tanto, resulta crucial diseñar y operar sistemas de tratamiento de aguas grises tomando en consideración estos aspectos para garantizar la seguridad y la calidad del agua tratada.

1.3.6 Zonas muertas

La eficiencia del sistema puede verse considerablemente afectada tanto por la disminución del tiempo de retención hidráulica debido a cortocircuitos como por el aumento causado por la presencia de zonas muertas.

Se identifican dos tipos de zonas muertas que afectan el tiempo de retención de la sustancia trazadora en un sistema. Estas zonas se dividen en aquellas ocasionadas por canalizaciones o cortocircuitos hidráulicos, y las generadas por fluidos estancados. Los cortocircuitos hidráulicos hacen referencia a partes del flujo que se desplazan a una velocidad infinita, lo que implica un

tiempo de retención de cero. En este caso, una porción del volumen ingresa y sale del sistema de manera tan rápida que no se retiene en su interior. Estos cortocircuitos pueden originarse debido a fallas en el diseño de las entradas y salidas, diferencias de densidad térmica, variaciones de concentración, o incluso a la rotación de paletas en agitadores que expulsan el líquido del sistema inmediatamente después de su ingreso. Por otro lado, las zonas muertas estancadas se ubican en áreas donde el fluido no puede penetrar, como espacios porosos, esquinas de tanques o intersticios (Rojas Vargas & García Pérez, 2010).

1.4 Trazadores

1.4.1 Definición

Un trazador se define como un material fácilmente detectable que se puede agregar al agua superficial o subterránea en pequeñas cantidades, para proporcionar rastros o ayudar en la medición de las propiedades del flujo, por ejemplo: caudal, tiempo de tránsito del trazador al sistema, edad del acuífero, efectos de dilución, etc. (Pérez López & Patiño Sánchez, 2006).

1.4.2 Clasificación

Según (Pérez López & Patiño Sánchez, 2006), los trazadores se clasifican en:

- **Trazadores químicos:** Estos trazadores se caracterizan por su capacidad de no interactuar con otros líquidos presentes en el reservorio, permaneciendo en el fluido de inyección. Entre sus principales beneficios se destacan su fácil manejo, su costo relativamente bajo y la amplia variedad de opciones de trazadores químicos disponibles en el mercado. Sin embargo, es importante mencionar algunas desventajas, como la posibilidad de intercambio iónico y las reacciones químicas que pueden ocurrir entre estos trazadores y los depósitos de agua, especialmente cuando algunos trazadores se encuentran naturalmente en altas concentraciones en el medio acuoso (Pérez López & Patiño Sánchez, 2006).

Entre los tipos más frecuentes se encuentran el colorante fluorescente, el azul de metileno y la rodamina WT, los cuales son ampliamente utilizados.

- **Trazadores radioactivos:** Los materiales radiactivos son altamente efectivos como trazadores debido a su baja interferencia de fondo y su capacidad de detección en concentraciones muy bajas. Sin embargo, su manejo, transporte y seguridad están sometidos a rigurosas restricciones, y en algunos casos su uso está completamente prohibido. Debido a estas limitaciones, los trazadores radioactivos no se emplean ampliamente en aplicaciones geotérmicas (Axelsson et al., 2005). Algunos de los trazadores más reconocidos incluyen el tritio (H-3), un isótopo radiactivo del hidrógeno, y el cloro-36, un isótopo radiactivo del cloro.
- **Trazadores de partición:** Los trazadores de partición se distinguen por su capacidad para disolverse parcialmente en otras fases presentes en el reservorio durante la inyección, lo que resulta en un desplazamiento más lento o retrasado en comparación con el frente de avance del fluido inyectado. A diferencia de los trazadores conservadores, donde ocurre lo contrario (Tello Hinojosa et al., 2005). Los más comunes son el nitrato y el cloruro.

Las sustancias trazadoras, según (Cossio, 1982), pueden ser:

- “Colorantes, como fluorescencia o rodamina
- Iones como cloruros, especialmente de sodio o potasio. Fluoruros o nitratos, especialmente de sodio.
- Elementos radiactivos como isótopos.
- Ácidos: clorhídrico, benzoico
- Otras sustancias químicas: alizarim, sapirol, naptol.” (Carrión & C., 1992)

1.4.3 Procedimiento para un ensayo de trazadores

Un ensayo de trazadores implica la introducción de una sustancia trazadora en el flujo de entrada de un tanque o reactor que se desea analizar. Esta sustancia trazadora se agrega con una concentración conocida y se observa cómo esta concentración se distribuye a lo largo del tiempo a medida que sale del sistema.

Básicamente, (Deleón Castro et al., 2016) detalla los siguientes aspectos a tener en cuenta para la ejecución de la prueba de trazadores:

- Estos métodos incluyen desde la utilización de uno o dos pozos de inyección y producción, hasta el uso de múltiples pozos. Sin embargo, en el último escenario mencionado, se requiere el empleo de varios trazadores.
- El trazador se introduce en el o los pozos de reinyección de manera "instantánea", es decir, en un lapso de tiempo lo más breve posible. No obstante, en ocasiones se inyecta una concentración constante durante un período específico.
- Se suelen recolectar muestras para el análisis del trazador con mayor frecuencia de los pozos que están en proceso de flujo o descarga, aunque en algunos casos puede ser necesario recoger muestras de pozos que no están en proceso de descarga.
- Por lo general, estas pruebas tienen una duración que varía desde unas semanas hasta meses, e incluso años. Cuando se trata de distancias largas y/o flujos de fluido lentos, es necesario que las pruebas de trazabilidad sean prolongadas (Deleón Castro et al., 2016).

Otras consideraciones a tener en cuenta según (Carrión & C., 1992) son:

- Una de las principales desventajas de este sistema radica en la necesidad de utilizar equipo y personal altamente especializados.
- Antes de decidir qué tipo de trazador utilizar, es importante verificar las concentraciones de estas sustancias en el agua sin tratar, y elegir

aquellas que estén presentes en concentraciones constantes o muy bajas.

- Es recomendable seleccionar como trazador una sustancia que no reaccione con los compuestos presentes en el agua. De esta manera, la concentración total al momento de la salida será prácticamente igual a la que se haya aplicado en la entrada.
- En cada caso, es necesario tener en cuenta que se producirá una cierta pérdida del trazador (Carrión & C., 1992).

Considerando estos factores, es frecuente utilizar el ion cloruro como sustancia trazadora en la evaluación de plantas de tratamiento de agua. El cloruro de sodio, conocido como sal de mesa o cocina, se obtiene fácilmente y tiene un bajo costo. Además, la concentración en la salida del reactor se puede medir de manera rápida y sencilla mediante la conductividad (Carrión & C., 1992).

La aplicación de trazadores puede llevarse a cabo de dos formas diferentes:

1. De forma instantánea.
2. De forma continua.

- **Dosificación instantánea**

En los ensayos de dosificación instantánea, se introduce una cantidad específica de trazador en el cuerpo de agua en un corto período de tiempo. A su vez, se realiza un seguimiento de la respuesta en una estación aguas abajo hasta garantizar que toda la pluma haya pasado.

En el método de dosificación instantánea, se introduce una concentración inicial (C_0) en la entrada de la unidad que se está evaluando en un tiempo extremadamente corto, que es inferior a $1/30$ del tiempo teórico de retención (t_0). Este proceso se lleva a cabo de manera que se mezcle instantáneamente con el flujo de agua entrante en la unidad que se desea analizar (Carrión & C., 1992).

Al seleccionar la concentración (C_0) para la dosificación instantánea, es importante elegir un valor que pueda ser fácilmente determinado en el agua.

- **Dosificación continua**

En los experimentos de dosificación continua, se introduce el trazador a una tasa específica, y luego se recolectan muestras en la estación de medición hasta alcanzar una concentración constante. El objetivo de estos experimentos es generar una pluma que pueda ser detectada, lo que permite determinar la dilución y la forma en que el trazador se dispersa a medida que se aleja del punto de dosificación.

La concentración (C_0) se administra de forma continua durante un período de tiempo que no es inferior a tres veces el período de retención teórico (t_0), y luego se interrumpe abruptamente la dosificación (Carrión & C., 1992).

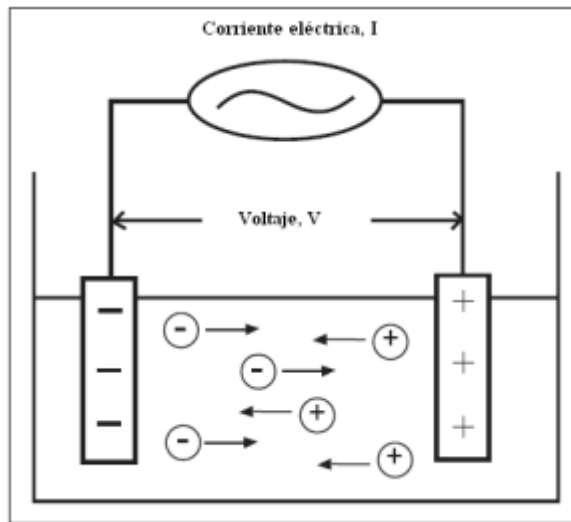
La dosificación continua presenta la ventaja de permitir realizar comparaciones entre las curvas observadas al inicio de la administración del trazador (cuando comienza la dosificación) y al finalizar (cuando se detiene el proceso) (Carrión & C., 1992).

- **Conductividad para muestreo**

La conductividad es una propiedad que se refiere a la capacidad de los materiales para permitir el paso de corriente eléctrica. Esta característica está influenciada por varios factores, que incluyen la concentración, movilidad y valencia de los iones, así como la temperatura. En soluciones acuosas, la conductividad varía en función de la cantidad de iones presentes. El agua de alta pureza presenta una conductividad baja, mientras que las soluciones químicas concentradas exhiben una conductividad elevada (Radiometer Analytical, 2004).

En la actualidad, se emplea el conductímetro como instrumento para medir la conductividad. Estos dispositivos operan al aplicar una corriente eléctrica (I) a través de dos electrodos sumergidos en una solución, y midiendo el voltaje (V) resultante. Durante este proceso, los cationes se desplazan hacia el electrodo negativo, mientras que los aniones se dirigen hacia el electrodo positivo. Este fenómeno se ilustra en la figura siguiente.

Figura 2 Esquematación del funcionamiento de un conductímetro.



Fuente: Adaptado de Radiometer Analytical, 2004

1.4.4 Curva Concentración vs. Tiempo.

Cuando se utilizan trazadores en un reactor y se analizan las muestras de agua recolectadas en la salida, se observa una curva característica en la que los valores de concentración aumentan con el tiempo, alcanzan un punto máximo y luego disminuyen gradualmente.

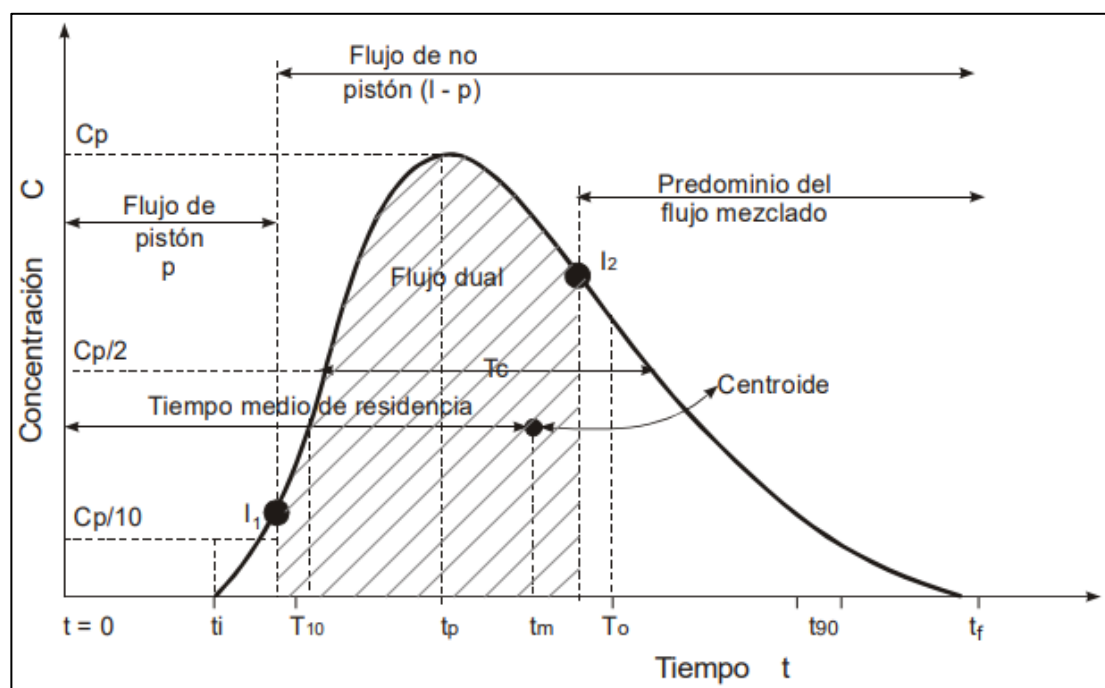
El tipo de flujo comúnmente observado en las instalaciones de tratamiento de agua es el flujo continuo. Considerando esto, los reactores pueden presentar flujos de pistón, mezclados y no ideales.

- **Flujo de pistón:** es aquel en el cual todas las partículas del fluido que ingresan a la unidad permanecen en ella durante un intervalo constante. En este sentido, los elementos del fluido atraviesan el sistema y son liberados en la misma secuencia en la que fueron introducidos, sin que se produzca alguna forma de mezcla entre el fluido de entrada y el fluido contenido en la unidad (Pérez Carrión, 1992). En la realidad, alcanzar un flujo que posea estas particularidades resulta altamente desafiante.
- **Flujo mezclado:** se define por la inmediata dispersión de cualquier elemento al entrar al reactor. Adicionalmente, se establece que la concentración de una sustancia a la salida de la unidad es equiparable a la que se encuentra en todo el reactor (Pérez Carrión, 1992).

- **Flujo no ideal:** este tipo de flujo corresponde a un rango intermedio entre el flujo a pistón y la completa mezcla, con la inclusión de diversas variaciones como la existencia de zonas muertas, cortocircuitos hidráulicos y recirculación. Esencialmente, este patrón de flujo se encuentra en la mayoría de las unidades de tratamiento en instalaciones de procesamiento (Pérez Carrión, 1992).

Esto se representa en forma de una curva, como se muestra en la Figura 3.

Figura 3 Concentración del trazador en el efluente de un reactor.



Fuente: Adaptada de Pérez Carrión, 1992

El método más habitual para representar los datos de una nube de trazador que atraviesa una estación de muestreo es mediante una gráfica de Concentración vs. Tiempo. Estas curvas son útiles para determinar el tiempo de desplazamiento y las propiedades dispersivas de las corrientes. Las características que se observan en la Figura se describen en términos del tiempo transcurrido desde la dosificación inicial del trazador, tal como se explica en detalle por (Botero Jaramillo, 2005).

t_i = El tiempo inicial desde la aplicación del trazador hasta que se detecta en el efluente.

t_{10} = El período de tiempo en el cual el 10% de la cantidad total del trazador ha pasado.

t_p = El tiempo en el cual se alcanza la concentración máxima, que es el valor más frecuente.

t_m = El tiempo en el cual se ha alcanzado el 50% de la cantidad total del trazador.

t_o = El tiempo promedio en el que una sustancia permanece en un sistema o proceso, también conocido como tiempo teórico de retención.

t_{90} = Tiempo en el cual el 90% de la cantidad total del trazador ha pasado a través del sistema o proceso.

t_f = Tiempo que pasa hasta que el trazador ha atravesado completamente el reactor.

C_o = Concentración al inicio.

C_p = Concentración máxima alcanzada en la salida.

Según Pérez Carrión (1992), se pueden aplicar los siguientes criterios para su utilización:

- a. Evalúa los cortocircuitos significativos, teniendo un valor de 1 en caso de flujo de pistón y 0 en el caso de flujo mezclado. Si el valor de la relación es menor a 0.3, puede indicar la presencia de una conexión directa del trazador entre la entrada y la salida, lo que se conoce como cortocircuito hidráulico.

$$\frac{t_i}{t_o}$$

- b. En caso de que la relación sea inferior a 1, indica la presencia de cortocircuitos hidráulicos. Si la relación es mayor a 1, puede deberse a errores experimentales o la existencia de zonas donde el trazador se ha quedado retenido durante un tiempo (zonas muertas), para luego liberarse lentamente. Esto se reflejará en la forma alargada de la rama descendente de la curva, desplazando el centroide del área y resultando en un valor de t_m mayor al t_o .

$$\frac{t_m}{t_o}$$

- c. Esta relación indica la proporción entre el flujo de pistón y el flujo mezclado. Un valor de 1 representa un flujo exclusivamente de pistón, mientras que un valor de 0 indica un flujo completamente mezclado. Si la relación t_p/t_o se acerca a 1 y t_i/t_o es mayor a 0.5, se puede concluir que hay un predominio del flujo de pistón. Por otro lado, si la relación se acerca a 0, hay un predominio del flujo mezclado.

$$\frac{t_p}{t_o}$$

- d. Se encuentra asociado principalmente a la difusión causada por corrientes turbulentas. Se representa como el cociente $(\Delta t_o/t_o)$ o la relación del tiempo de inyección en un flujo estable ideal, siendo aproximadamente de 0.7 para el flujo mezclado, según lo indicado por Villamonte.

$$\frac{t_c}{t_o}$$

- e. Está vinculado a las características turbulentas de inercia y a una recirculación significativa. Se representa como el cociente $\Delta t_o/t_o$, que es la relación del tiempo de inyección en un flujo estable ideal, y se estima en aproximadamente 2.3 para un flujo mezclado ideal.

$$\frac{t_b}{t_o}$$

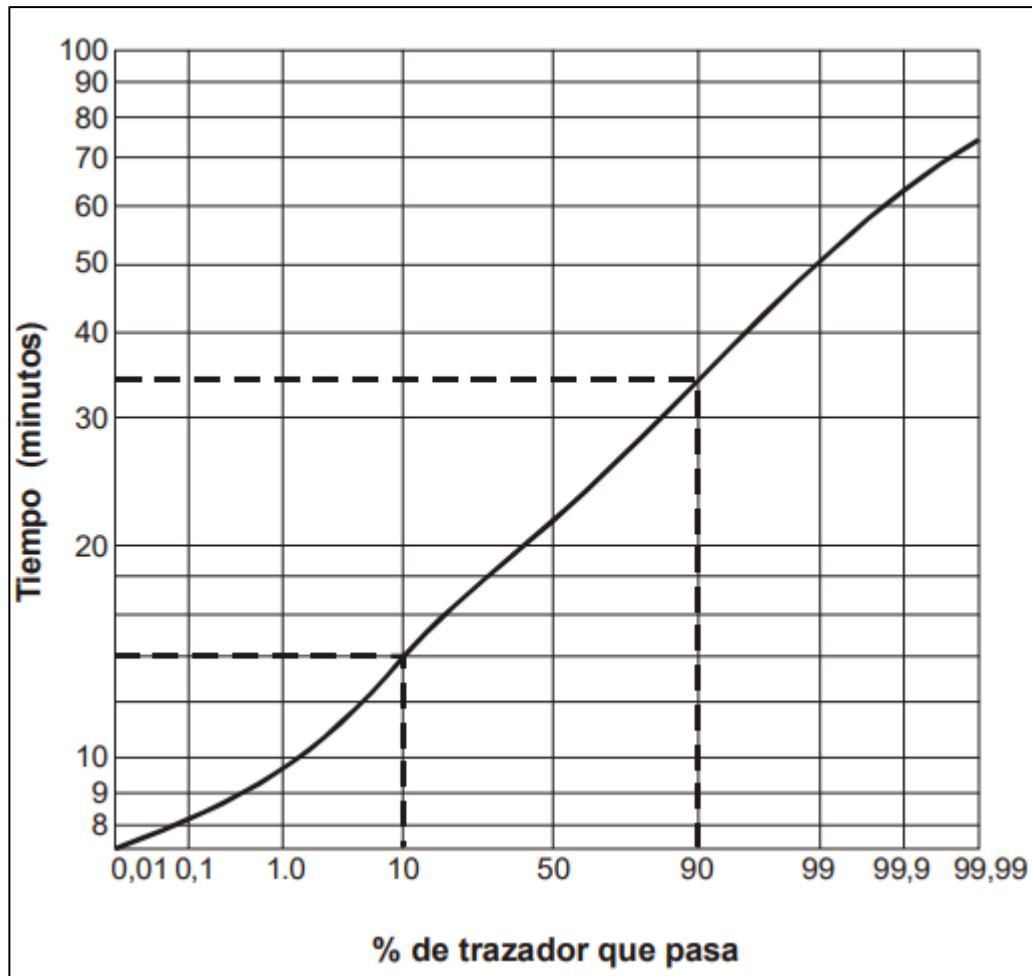
- f. Indica la desviación de la curva y, por lo tanto, depende de la recirculación presente. Tiene un valor de 0 para el flujo de pistón y es superior a 2.3 para un flujo mezclado ideal.

$$e = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_i)}{t_o}$$

- g. Índice de Morrill: Según este autor, al graficar los porcentajes de trazador que pasa en función del tiempo en un papel con escala de probabilidades en el eje horizontal y escala logarítmica en el eje vertical, se observa una aproximada línea recta. La sección entre el 10% y el 90% muestra una regularidad notable, por lo que Morrill propuso utilizar la relación entre ambos como un índice de dispersión.

$$\text{Índice de Morrill} = \frac{\text{Tiempo en que pasa el 90\%}}{\text{Tiempo en que pasa el 10\%}}$$

Figura 4 Índice de Morrill.



Fuente: Adaptada de Pérez Carrión, 1992

Si todo el flujo fuera de tipo pistón, la curva representada en la Figura sería una línea horizontal y el índice de Morrill tendría un valor de 1, ya que todo el trazador saldría exactamente en el tiempo t_0 y no antes. Sin embargo, a medida que aumenta la proporción de flujo mezclado, el ángulo formado por la curva con la línea horizontal se incrementa, indicando una distribución más amplia de los tiempos de retención (Pérez Carrión, 1992).

El análisis de la curva en su totalidad puede proporcionar información más completa que simplemente enfocarse en las tendencias centrales.

1.5 Sistemas Integrados para el Tratamiento de AARR

1.5.1 Definición

Se considera un sistema integrado cuando abarca el tratamiento de los afluentes, el reúso de los subproductos del tratamiento en la producción agropecuaria, y los productos resultantes son utilizados nuevamente por los pobladores para su beneficio directo o para su comercialización. Este enfoque cambia la perspectiva tradicional de ver los residuos como un problema y los convierte en un recurso (Valencia G. et al., 2010).

Un sistema sostenible e integrado tiene la capacidad de tratar las aguas residuales de forma natural, sin requerir el consumo de energía adicional. Desde una perspectiva económica, estos sistemas son sostenibles si los costos de construcción, operación y mantenimiento son reducidos, si las comunidades pueden construir y operar las unidades por sí mismas, y si los subproductos generados por el sistema permiten recuperar la inversión realizada. Además, contribuye a la sostenibilidad ambiental al garantizar la calidad del recurso hídrico para las futuras generaciones, evitando la liberación de efluentes en las fuentes de agua.

Los sistemas descentralizados integrados y sostenibles están compuestos por una o varias unidades de tratamiento no convencionales, como los tanques sépticos, los humedales, los biodigestores, las albercas biológicas, los canales con plantas acuáticas y los filtros anaerobios (Valencia G. et al., 2010).

1.5.2 Tipos de Sistemas Integrados

Estos sistemas resultan especialmente adecuados para ubicaciones con restricciones de espacio o recursos, como zonas urbanas altamente pobladas o áreas rurales donde puede ser complicado acceder a una infraestructura completa de tratamiento.

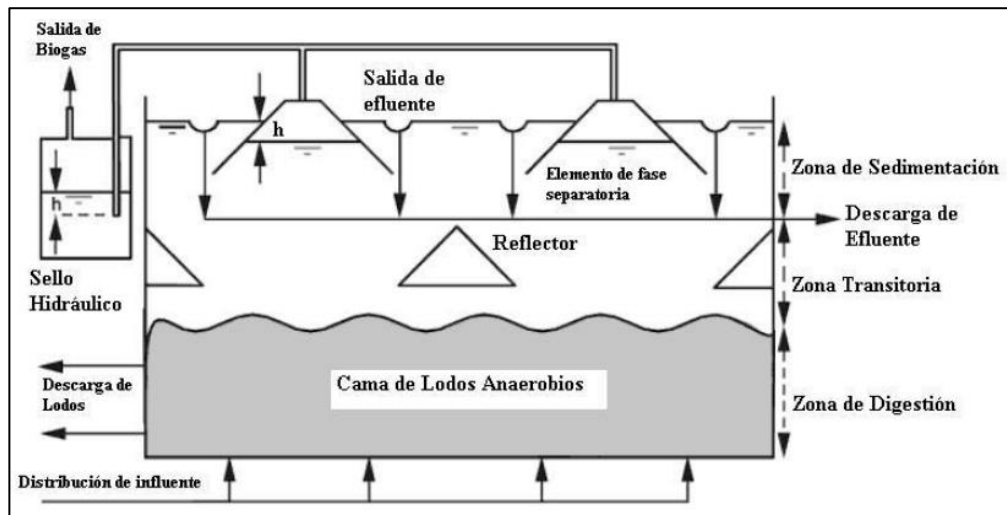
Algunos tipos de sistemas compactos integrados son:

- a) Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente:** El diseño de los reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB por sus siglas en inglés) fue

introducido por Lettinga et al. en un artículo publicado en Holanda en 1980. En la Figura se puede observar el proceso, donde el agua residual entra en la parte inferior del reactor y atraviesa un lecho de lodo. Una parte del agua tratada se dirige a otros procesos de tratamiento a través de canales, mientras que la fracción restante se libera como gas y se recolecta en campanas para su posterior utilización (Camacho Fidalgo, 2012).

El proceso de flujo ascendente anaeróbico implica fundamentalmente la inversión de un tanque Imhoff, con las cámaras de decantación y digestión anaeróbica dispuestas en forma superpuesta.

Figura 5. Diagrama de partes de un RAFA.



Fuente: Adaptado de Van Haandel, 2007

El concepto esencial de este proceso radica en que el lodo anaerobio debe tener buenas propiedades de sedimentación, lo cual se logra si las condiciones físicas y químicas favorecen el proceso de floculación. Si estas condiciones son favorables, la retención del lodo, es decir, los microorganismos, dependerá principalmente de una efectiva separación del gas producido en el proceso, especialmente de las burbujas de gas atrapadas en el lodo. Una vez separado el gas, la sedimentación del lodo se lleva a cabo de manera favorable. En el RAFA, se logran estos objetivos al equipar el reactor con un separador sólido-gas en la parte superior y al mantener un mezclado mecánico

y/o la recirculación del lodo a niveles mínimos (Lorenzo & Obaya, 2006).

- b) **Reactores Discontinuos Secuenciales:** Los reactores SBR (por sus siglas en inglés) son sistemas de lodos activados que se operan mediante un proceso de secuencia de llenado y vaciado.

Los sistemas de reactores discontinuos comparten cuatro etapas: una etapa de llenado para agregar sustrato al reactor, una etapa de reacción en la que se puede realizar o no la aireación según las necesidades del tratamiento, una etapa de sedimentación que permite la separación de sólidos para obtener un efluente clarificado, y una etapa de vaciado que tiene como objetivo extraer el agua clarificada del reactor (Muñoz Paredes & Ramos Ramos, 2014).

Los reactores SBR funcionan en un solo reactor y se basan en un sistema de llenado y vaciado. Todas las etapas del proceso se llevan a cabo en dicho reactor y siguen una secuencia de llenado, reacción, sedimentación y vaciado.

En este sistema, las aguas residuales ingresan a un reactor único en lotes, donde se someten a un proceso de tratamiento para eliminar componentes no deseados antes de ser descargadas. En este mismo reactor único se logra la homogeneización del caudal, la aireación y la sedimentación. Para optimizar el rendimiento del sistema, se emplean dos o más reactores que operan en una secuencia predefinida. Los sistemas SBR han demostrado ser exitosos en el tratamiento tanto de aguas residuales municipales como industriales. Estos sistemas son particularmente eficaces en aplicaciones de tratamiento de aguas residuales con caudales reducidos o intermitentes (Raigosa Piragauta, 2007).

- c) **Biorreactor de Membranas:** Los MBR (por sus siglas en inglés) son una combinación de fangos activados y filtración con membranas. Aunque el proceso biológico es esencialmente similar, hay diferencias significativas en los parámetros operativos. La distinción principal entre ambos radica en el tratamiento físico de separación sólido-líquido, lo cual influye directamente en el tratamiento biológico (Vásquez R, 2015).

El MBR representa una modificación del sistema convencional de fangos activados, donde se reemplazan el decantador secundario y el tratamiento terciario con unidades de membrana de ultrafiltración (con poros de tamaño entre 0,005 y 0,1 μm) o de Microfiltración (con poros de tamaño entre 0,1 y 1 μm). Esto permite obtener un efluente que carece de sólidos en suspensión y microorganismos (Fernández Sanz, 2019).

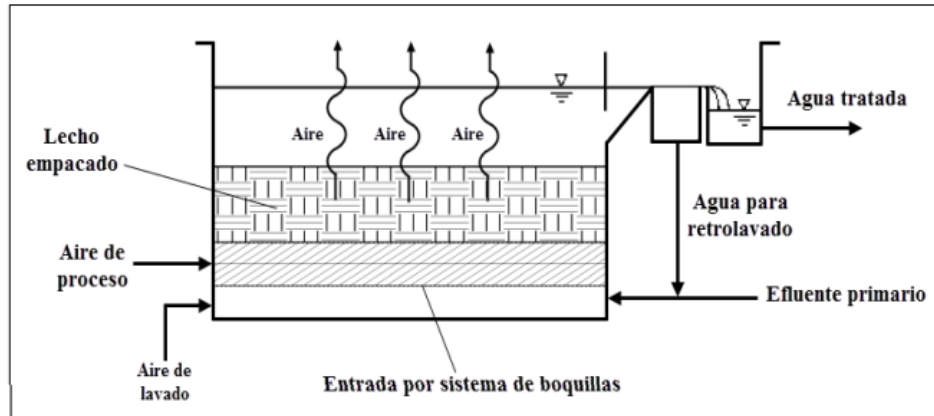
Los biorreactores de membrana se pueden describir como la combinación de dos procesos fundamentales: la degradación biológica y la separación mediante membranas, todo ello integrado en un único sistema donde los sólidos en suspensión y microorganismos encargados de la biodegradación se separan del agua tratada mediante una unidad de filtración con membranas. La totalidad de la biomasa permanece dentro del sistema, lo que conduce naturalmente a la desinfección del efluente y proporciona un control preciso del tiempo que los microorganismos permanecen en el reactor (Caro Estrada, 2014).

- d) **Reactor de lecho fijo de flujo ascendente:** Estos reactores tienen una profundidad que varía entre 2 y 4 metros, siendo un valor típico de 3 metros. El agua de entrada es distribuida hacia arriba del lecho mediante boquillas, mientras que un dosificador de aire suministra oxígeno desde el fondo para todo el reactor. Es necesario realizar un tamizado fino previo para proteger las boquillas de entrada de agua. Dado que el lecho es ligero, flota sobre las boquillas de entrada, permitiendo que el agua fluya hacia arriba y entre en contacto con el lecho y la película bacteriana.

Para el proceso de retro lavado, se dispone agua en la parte superior del reactor, de modo que fluye hacia abajo a una alta velocidad (entre 10 y 20 m/h). El lavado se realiza normalmente mediante enjuagues repetidos y pasos de aire para eliminar los sólidos. Los sólidos retenidos en el fondo del reactor y el exceso de biomasa que se desprende de los medios de soporte son recogidos por el flujo de agua y acumulados en un tanque destinado a tal fin. El reactor puede operar en un modo completamente aerobio con suministro de oxígeno en el

fondo, o en un modo anóxico/aerobio donde se provee oxígeno en una altura intermedia del reactor (Noguera Roldán & Pacheco Bueno, 2014).

Figura 6 Esquema de un reactor de lecho fijo de flujo ascendente.



Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy, 2004

2. CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN

Se estudiaron dos sistemas plásticos compactos utilizados en el tratamiento de aguas residuales domésticas. El tipo de sistema plástico compacto que se estudió fue el Biotanque Séptico Integrado (BSI).

2.1. Descripción de lugares de muestreo

- **BSI ubicado en la Piladora de Cesa**

Este BSI se encuentra en la Región Costa, está instalado en el recinto Flor de María, Km. 51 vía Daule – Balzar. El lugar donde se encuentra instalado es una Piladora perteneciente a la empresa de AGROSEM, desde 1981, sus principales actividades de venta de semilla de arroz certificada y el servicio de pilado.

La vía de ingreso hacia la Piladora es de asfalto. En la Piladora hay dos galpones de producción y una construcción de 2 pisos, con infraestructura de hormigón armado y ladrillo, en la planta baja hay unas oficinas administrativas y bodegas, en la planta alta hay un departamento utilizado actualmente por los guardias de seguridad, aproximadamente 3 guardias, la propiedad colinda con el río Daule y cuentan con agua potable pero no disponen de un sistema de alcantarillado.

El BSI tiene una capacidad de 2000 litros, fue instalado en el año 2021, durante este periodo se le ha dado mantenimiento seis veces. Las aguas servidas de la vivienda descargan a una caja domiciliaria, luego pasan al sistema y su salida es por una tubería de PVC que descarga al río Daule.

Figura 7 Ubicación del biotanco séptico integrado de la Piladora de Cesa



Fuente: Autor

- **BSI ubicado en el Centro de Desarrollo Infantil San Francisco de Cajas**

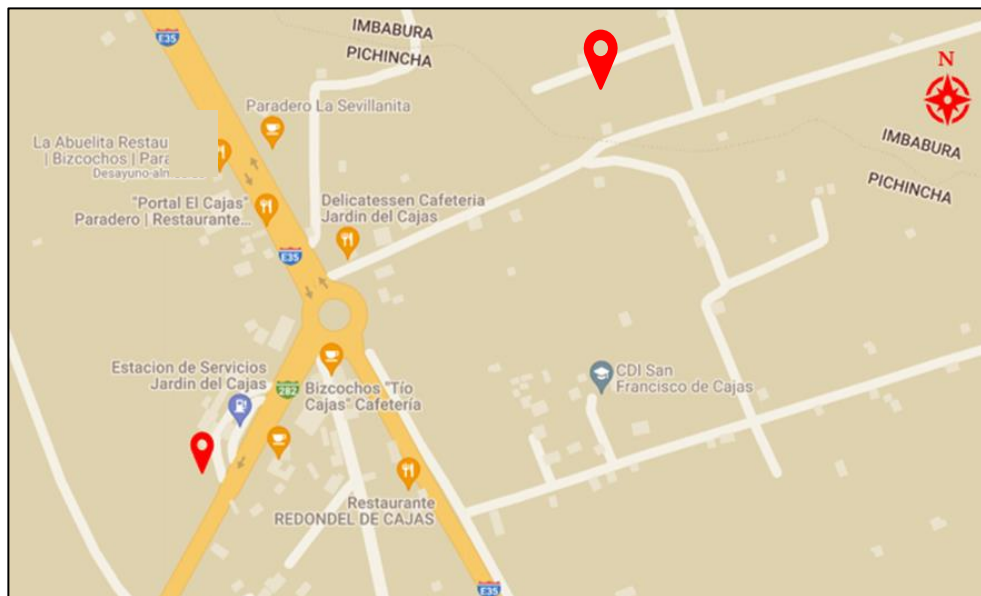
Este tanque está ubicado en la Región Sierra, específicamente en el Centro de Desarrollo Infantil (CDI) San Francisco de Cajas, situado en el Cantón Cayambe de la provincia de Pichincha. Este sistema cuenta con una capacidad de tratamiento de 1200 litros y tiene un tiempo de funcionamiento de aproximadamente un año.

El CDI San Francisco de Cajas se encuentra en la parroquia de Ayora, la vía principal de acceso está pavimentada, el lugar cuenta con el suministro básico de agua potable y carece de un sistema de alcantarillado.

El BSI recibe las aguas servidas del CDI San Francisco de Cajas, en el laboran 2 adultos y estudian 10 niños en un rango de edades entre 1 y 3 años, recibe únicamente descargas de lavamanos e inodoros. Además, el área del lavamanos está protegida por canaletas para evitar la entrada de agua de lluvia.

El efluente del biotanque se descarga en un sistema fabricado con material de polipropileno y con una estructura que permite almacenar el agua tratada. Esta agua puede ser reutilizada en el riego de las áreas verdes cercanas.

Figura 8 Ubicación del biotanque séptico integrado del Centro de Desarrollo Infantil San Francisco de Cajas



Fuente: Autor

2.2. Descripción del Biotanque Séptico Integrado

El BSI representa una solución de tratamiento conveniente, especialmente diseñado para áreas rurales con limitaciones en sistemas de alcantarillado. Se encuentra disponible en tres tamaños: 1200 litros, 2000 litros y 4000 litros, compuestos por etapas que aseguran un tratamiento completo de las aguas residuales.

El BSI recibe el afluente por una tubería de PVC con un diámetro de 110 mm, e internamente está conformado por un área de sedimentación que recibe el afluente, una vez depositado los sólidos en el fondo del tanque el agua comienza a ascender por medio de un filtro biológico de rosetones de PVC, luego el agua pasa por un filtro de zeolita, posterior a ello pasa por un sistema de cloración para la desinfección, por último, pasa por un filtro de carbón activado y sale del tanque como efluente.

En la tabla 1, es posible observar las medidas detalladas del biotanco séptico integrado, las cuales están directamente relacionadas con su capacidad de tratamiento. Esta información resulta especialmente relevante para comprender en profundidad cómo las dimensiones de este sistema de tratamiento están intrínsecamente ligadas a su capacidad.

Tabla 1 Dimensiones del BSI en función de su capacidad.

Dimensión	Capacidad Nominal		
	1200 l	2000 l	4000 l
Ancho	1108 mm	1346 mm	1900 mm
Largo	1544 mm	1976 mm	1970 mm
Altura	1201 mm	1424 mm	1780 mm
Diámetro (Tapa)	550 mm	550 mm	550 mm

Fuente: Adaptado del Proveedor del Biotanco Séptico Integrado, 2020

Se puede elegir el sistema más adecuado según la necesidad y requerimientos de la población.

I. Características de los elementos del Biotanco Séptico Integrado

En la Figura 9, es posible visualizar los elementos que conforman el biotanco séptico integrado.

El afluente que ingresa por una tubería de 110mm, en la parte inferior se da la sedimentación de los sólidos, debajo de la tapa de 550mm es donde se encuentran los biofiltros, luego se observan tres tubos más que son el filtro de zeolita, la cloración y el filtro de carbón activado, respectivamente (Villafuerte Macas, 2023).

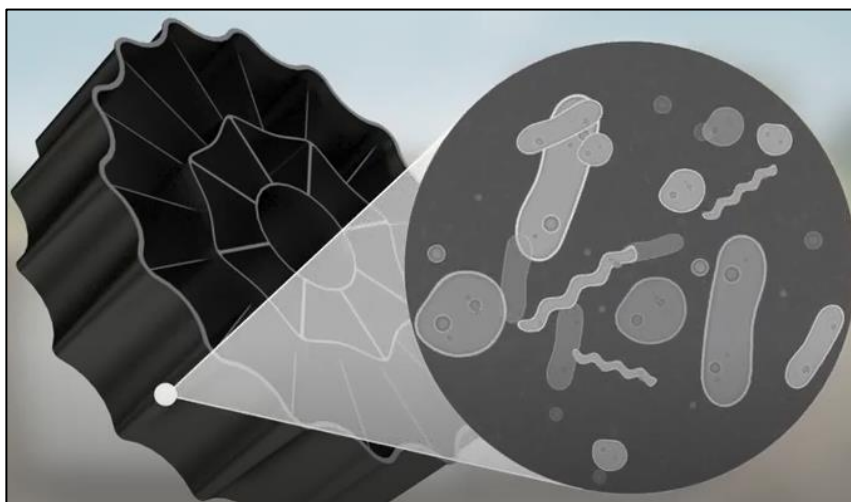
Figura 9 Elementos del Biotanco Séptico Integrado.



Fuente: Adaptado del Proveedor del Biotanco Séptico Integrado, 2023

El filtro biológico está formado por anillos filtrantes de tipo rosetón, con veinte cavidades elaborado a partir de polipropileno, presentan solidez y durabilidad, además están diseñados para resistir el deterioro causado por hongos y bacterias (Villafuerte Macas, 2023). En la Figura 10 se observa el biofiltro plástico.

Figura 10 Biofiltro plástico filtrante.



Fuente: Anónimo (2022).

En la Tabla 2 se detallan las características del biofiltro plástico filtrante.

Tabla 2 Características del biofiltro plástico filtrante.

Peso	40 kg/m ³
Material	Polipropileno
Propiedades	Resistencia al agua, ataque químico, no se afecta por hongos ni bacterias.
Superficie de contacto	90 m ² /m ³
Dimensiones	Diámetro 186 mm; altura 50 mm
Área superficial	1,678 cm ²

Fuente: Anónimo (2022)

El sistema de filtración lenta hace uso de procesos biológicos para purificar el agua y operar sin aplicar presión. Tienen la capacidad de tratar el agua y disminuir la presencia de microorganismos. Están configurados como tubos

con orificios en la cantidad adecuada para garantizar un flujo continuo del caudal suministrado. En su interior, albergan elementos de filtración conocidos como zeolita, los cuales retienen microorganismos como bacterias y virus sin necesidad de la intervención de productos químicos. La operación de estos sistemas no requiere energía eléctrica. La zeolita que se emplea en el proceso de filtrado supera la eficiencia de la arena y los filtros de carbón, lo que se traduce en agua más pura y una mayor eficacia en la eliminación de contaminantes, además de necesitar un mantenimiento menos frecuente. Las zeolitas, debido a su estructura altamente porosa, son capaces de capturar partículas contaminantes de hasta 4 micras de tamaño.

El filtro de desinfección tiene la capacidad de purificar el agua y disminuir la concentración de microorganismos. Se trata de un tubo con perforaciones calculadas para facilitar el flujo del caudal suministrado, y en su interior alberga elementos cilíndricos que posibilitan un proceso constante de desinfección. Esto contribuye a la eliminación continua de coliformes fecales y totales, así como otras bacterias que puedan estar presentes en el agua tratada.

El sistema de cloración puede alojar hasta seis tabletas de cloro con una concentración alta, sus propiedades físicas y químicas correspondientes se encuentran detalladas en la siguiente tabla.

Tabla 3 Características físicas y químicas de las pastillas de cloro.

Apariencia	Sólido en tabletas redondas
Olor	A cloro
Color	Ligeramente azulado
Peso pastillas	200 gr
Diámetro	3"
Peso molecular	232,5 g/mol
pH	2,7 -3,3
Solubilidad en agua a 25°C	12 g/l de agua (lenta)

Densidad aparente	0,91 g/ml
Humedad	Max. 0,3%

Fuente: Villafuerte Macas, 2023

El filtro de absorción consiste en un tubo con orificios dispuestos en la cantidad precisa para permitir la salida del flujo suministrado. Esta fase incorpora un material con una elevada capacidad de adsorción, compuesto por numerosos poros de tamaño uniforme y una superficie interna que oscila entre 500 y 1500 m²/gr. Este material se emplea en diversas aplicaciones, como la purificación del agua, la eliminación de colores indeseados, la neutralización de olores, la adsorción de gases o la absorción de excesos de agentes desinfectantes.

II. Instalación

La implementación de este sistema de biotanco séptico integrado se ajusta de acuerdo a la capacidad de permeabilidad del suelo, desarrollándose a través de una serie de fases secuenciales que siguen un proceso:

- Excavación: Las proporciones de la zanja deben ofrecer un espacio seguro para la labor de los montadores, incluyendo al menos 40 cm adicionales en las dimensiones del biotanco, tanto en longitud como en anchura, para garantizar condiciones óptimas de trabajo.
- Instalación: Utilizando cuerdas plásticas, garantizar la estabilidad en posición vertical y horizontal, tanto en la base como en el tubo final instalado.
- Nivel Freático: De acuerdo a las especificaciones técnicas, se requiere que el nivel freático esté situado al menos a 80 cm por debajo del nivel de referencia. Si esta condición no se cumple, será necesario agregar carga adicional antes de proceder con el relleno y la instalación del sistema de tuberías.
- Colocación de tuberías.
- Relleno en la Zona de la Base: Una vez que la base esté asegurada en su posición, se lleva a cabo el relleno circundante utilizando material de grava fina. Se compacta este relleno con un espesor de 20 cm hasta alcanzar el borde superior. Este proceso de relleno se realizará de

manera simultánea a la instalación de las tuberías, ya sea para la interconexión o para el receptor del tratamiento.

- Colocación de Contrapiso: En el caso de que el terreno presente deficiencias en su calidad, se requerirá la aplicación de un contrapiso de cimentación con un espesor de 5 cm, que deberá ser compactado.
- Tapa superior de la estructura en concreto con un grosor de 20 cm.
- Elaboración del borde de concreto para la losa superior.
- Creación de la tapa mediante el proceso de fundición.

III. Funcionamiento

El sistema integrado de biotanco séptico opera mediante un proceso secuencial. En primer lugar, las aguas residuales domésticas ingresan a través de un tubo de entrada con un diámetro de 110 mm, distribuyéndose uniformemente dentro del biotanco donde se da la sedimentación de los sólidos. Aquí, las bacterias desencadenan la descomposición biológica, a medida que la materia orgánica se eleva por el filtro biológico es capturada por bacterias adheridas a los biofiltros, formando una biopelícula beneficiosa.

El filtro biológico se enlaza con un filtro de grava, a través del cual el agua tratada se desplaza en un descenso gradual, pasando por las capas de grava que desempeñan su función de filtrado. La conexión entre el filtro de grava y el filtro de cloración es el siguiente paso. El agua previamente tratada en el filtro de grava fluye hacia arriba, alcanzando el filtro de cloración, que alberga la capacidad de alojar hasta seis pastillas de cloro con una concentración alta.

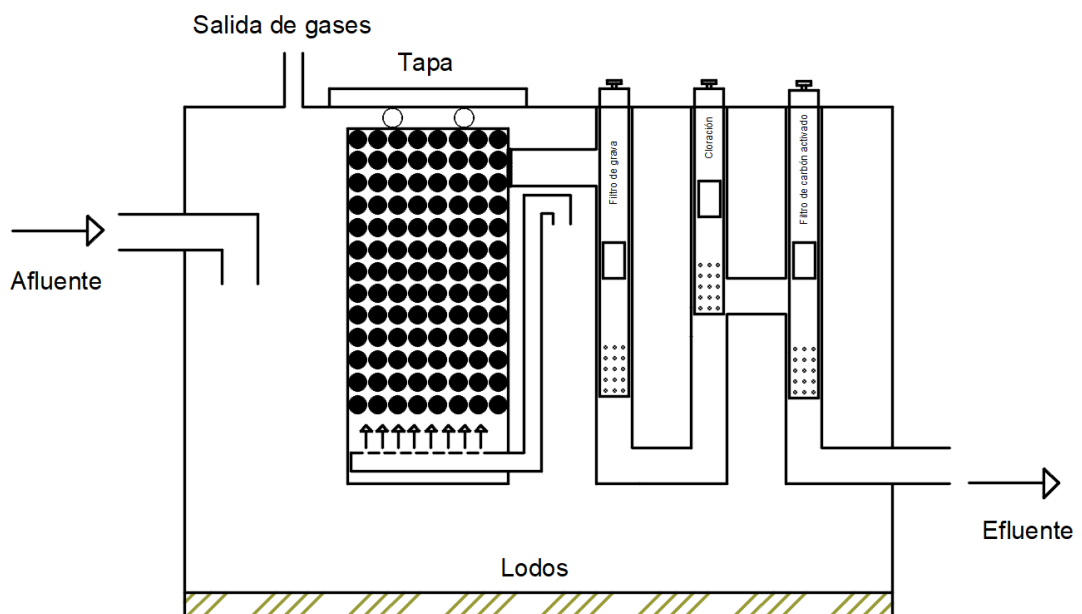
El siguiente paso en este proceso consiste en que el agua tratada por las pastillas de cloro descienda por el filtro de carbón activado, completando así el proceso de purificación. Por último, la salida del sistema se conecta a través de una tubería de salida, que es el agua tratada.

Es un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas que opera de manera sencilla y está construido con polietileno, no se encuentra segmentado, presentando múltiples etapas y compartimentos donde se llevan a cabo tres fases de tratamiento (primaria, secundaria y terciaria). Este sistema está diseñado para ser libre de olores debido a la incorporación de carbón activado, lo que permite eliminar cualquier olor desagradable. En estas

etapas, se realizan procesos de separación de sólidos flotantes, grasas y aceites, así como sedimentación primaria.

Además, se implementa un proceso de digestión biológica anaeróbica de flujo ascendente con medios filtrantes MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor), seguido de un tercer proceso que aborda la eliminación de elementos coloidales en suspensión, logrando la clarificación y eliminación de olores, colores y exceso de cloro. Como resultado de estas etapas, se obtiene un efluente que es adecuado para ser vertido en sistemas de alcantarillado o utilizado en infiltración para riego agrícola. Es importante destacar que este sistema no requiere consumo eléctrico para su funcionamiento. Para garantizar la eliminación efectiva de microorganismos, se emplean materiales de absorción como zeolita o un filtro lento, seguido de una etapa de desinfección, lo que actúa como un componente purificador en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un filtro anaeróbico de flujo ascendente. Este último está compuesto por elementos filtrantes, también conocidos como biofiltros.

Figura 11 Vista del BSI 2000L en corte.



Fuente: Autor

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

En este capítulo dedicado a la metodología, se profundizará en los enfoques y métodos adoptados para llevar a cabo el tema en cuestión. El propósito principal de este estudio es examinar el comportamiento de sistemas plásticos compactos empleados en el proceso de tratamiento de aguas residuales, con un enfoque específico en la medición del período de retención hidráulica. A lo largo de esta sección, se proporcionará una descripción detallada de la metodología empleada para llevar a cabo el muestreo en los diferentes biotanques sépticos integrados, poniendo énfasis en las etapas cruciales que permitieron la obtención de datos precisos y pertinentes.

La elección de estos BSI en particular como objeto de estudio brindó la oportunidad perfecta para explorar y evaluar el desempeño de los sistemas plásticos compactos en condiciones prácticas. Las consideraciones metodológicas presentadas en este contexto son esenciales para garantizar la autenticidad de los resultados obtenidos, estableciendo así una base sólida para el posterior análisis y debate en los capítulos subsiguientes de este trabajo de tesis.

A continuación, se expondrá la duración operativa de cada sistema a partir de su instalación, dado que resulta crucial adquirir este conocimiento para comprender el estado en el que se hallan dichos sistemas plásticos.

El BSI de la Piladora de Cesa tiene un tiempo de funcionamiento de 2 años y 6 meses.

El BSI del Centro de Desarrollo Infantil Francisco de Cajas tiene un tiempo de funcionamiento de 11 meses.

Previo a la toma de muestra del BSI de la Piladora de Cesa realizamos una visita de reconocimiento del lugar el jueves 25 de mayo del 2023, el motivo de la visita fue para ver las condiciones en las que se encontraba dicho sistema. Las observaciones que se hicieron fueron las siguientes:

- Hace 4 meses se le dio el último mantenimiento.

- Durante este tiempo que lleva funcionando, se le ha dado mantenimiento un total de cinco veces.
- No se ha colmatado.

Para este sistema se realizaron dos muestreos para verificar resultados.

El día lunes 26 de junio del 2023, desde las 12h50 pm hasta las 18h15 pm se realizó el primer muestreo donde se determinó el TRH en el BSI de la Piladora de Cesa.

El día lunes 13 de julio del 2023, desde las 08h20 am hasta las 11h30 am se realizó el segundo muestreo donde se determinó el TRH en el BSI de la Piladora de Cesa.

El día miércoles 16 de agosto del 2023, desde las 06h45 am hasta las 14h00 pm se realizó el muestreo donde se determinó el TRH en el BSI del CDI San Francisco de Cajas.

3.1. Materiales

Para realizar la determinación del TRH se usaron los siguientes materiales:

- Multiparámetro con la sonda de conductividad
- Jarra de 1 litro
- Cronómetro
- Sal de cocina o cloruro de sodio
- Agua destilada
- Tanque de capacidad de 54 litros

El multiparámetro con la sonda de conductividad es un equipo del laboratorio de calidad de aguas de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, ayudó a monitorear los cambios en la conductividad del agua a medida que pasa a través del sistema plástico compacto, esto está directamente relacionado con la concentración de sustancias disueltas en el agua.

3.2. Métodos

3.2.1. Determinación del TRH teórico

El cálculo del tiempo de retención hidráulica teórico en un sistema plástico compacto empleado en el tratamiento de aguas residuales domésticas involucra la evaluación del volumen efectivo del sistema y el caudal de entrada. Esta evaluación brinda una aproximación del lapso durante el cual las aguas residuales permanecen en el sistema antes de su descarga.

La estimación del período de retención hidráulica se logra mediante la aplicación de la fórmula que sigue:

$$TRH \text{ teórico} = \frac{\text{Volumen del sistema}}{\text{Caudal de entrada}}$$

- **Piladora de Cesa**

El volumen total del sistema de la Piladora de Cesa, que es un biotanco séptico integrado, tiene una capacidad de 2000 litros.

El caudal de entrada se calculó obteniendo la dotación que es 250 litros/habitantes x día, esto se multiplica por el número de habitantes que son 11 personas y por el coeficiente de retorno que es igual a 0,85, esto está representado en la siguiente fórmula:

$$Q = \text{Dotación} \times \text{Población} \times \text{Coeficiente de Retorno}$$

$$Q = 250 \frac{\text{litros}}{\text{hab} \times \text{día}} \times 11 \text{ hab} \times 0,85$$

$$Q = 2337,5 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

A continuación, este valor del caudal se deja expresado en litros/hora, para esto se realiza la siguiente operación:

$$Q = 2337,5 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}}$$

$$Q = 97,4 \frac{\text{litros}}{\text{horas}}$$

Una vez que se ha obtenido la información relativa al volumen del sistema y la tasa de flujo de entrada, se procede a calcular el TRH teórico.

$$TRH \text{ teórico} = \frac{2000 \text{ litros}}{97,4 \frac{\text{litros}}{\text{horas}}}$$

$$TRH \text{ teórico} = 20,53 \text{ horas}$$

- **Centro de Desarrollo Infantil San Francisco de Cajas**

El volumen total del BSI del sistema del CDI San Francisco de Cajas, es de una capacidad de 1200 litros.

El caudal de entrada se calculó obteniendo la dotación que es 250 litros/habitantes x día, esto se multiplica por el número de habitantes que son 12 personas y por el coeficiente de retorno que es igual a 0,85, esto está representado en la siguiente fórmula:

$$Q = \text{Dotación} \times \text{Población} \times \text{Coeficiente de Retorno}$$

$$Q = 250 \frac{\text{litros}}{\text{hab} \times \text{día}} \times 12 \text{ hab} \times 0,85$$

$$Q = 2550 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

A continuación, este valor del caudal se deja expresado en litros/hora, para esto se realiza la siguiente operación:

$$Q = 2550 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}}$$

$$Q = 106,25 \frac{\text{litros}}{\text{horas}}$$

Una vez que se ha obtenido la información relativa al volumen del sistema y la tasa de flujo de entrada, se procede a calcular el TRH teórico.

$$TRH \text{ teórico} = \frac{1200 \text{ litros}}{106,25 \frac{\text{litros}}{\text{horas}}}$$

$$TRH \text{ teórico} = 11,3 \text{ horas}$$

Es importante tener en cuenta que este cálculo proporciona un valor teórico basado en las condiciones de diseño y las características del sistema. Las condiciones reales de operación pueden variar debido a factores como la carga de influente, la temperatura y las características de los materiales utilizados en el sistema.

3.2.2. Plan de muestreo

En el proceso de determinación de la muestra, se toma como punto de partida las directrices presentes en las Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 169:98, que trata sobre la calidad del agua y aborda aspectos relacionados con el muestreo, manejo y preservación de muestras. Además, se considera la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:98, que se enfoca en la calidad del agua y proporciona orientación sobre técnicas de muestreo. Estas normativas contienen recomendaciones específicas que establecen medidas generales a tener en cuenta para asegurar la integridad de las muestras que son sometidas a análisis en el lugar de obtención.

- **Prueba del trazador**

En el sistema, es esencial incorporar una cantidad específica de una sustancia química, que desempeña el papel de trazador; en esta ocasión, se seleccionó el cloruro de sodio como trazador. Antes de introducir el trazador en el sistema, es crucial que se proceda a su completa disolución y mezcla en la totalidad del volumen de agua.

En el marco de esta investigación, se lleva a cabo la disolución meticulosa de 16 kilogramos de sal de cocina en 54 litros de agua. Este proceso se ejecutó en tanque, garantizando una disolución completa hasta lograr la ausencia de partículas de sal. Para el BSI del CDI San Francisco de Cajas se disolvió 6 kilogramos de sal de cocina en 27 litros de agua.

Acto seguido, se avanzó a la fase de ejecución de la prueba de trazador, utilizando la técnica de dosificación instantánea, que se aplicó en el punto de entrada del sistema en cuestión. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta un aspecto clave en los ensayos con trazadores: la constancia del flujo durante todo el proceso.

Para abordar esta consideración, se aprovechó una válvula de cierre ubicada en el afluente del biotanco, lo que permitió establecer y mantener el caudal requerido para llevar a cabo la prueba con éxito, asegurando así la obtención de resultados sustanciales y confiables.

- **Toma de muestras**

Con el propósito de llevar a cabo la evaluación de los parámetros físicos, que abarcan la conductividad, temperatura, sólidos disueltos totales y salinidad, se emplea el multiparámetro, un instrumento de alta utilidad para medir estas características. En específico, se procedió a medir la conductividad del agua en el efluente del sistema, adoptando intervalos temporales breves que permitieran obtener una visión detallada de los cambios experimentados en la conductividad del agua conforme atravesaba el sistema.

La toma de muestra de la primera medición se realizó a partir de las 13h00 pm, en esa hora exacta se tomó la primera muestra de agua residual, las muestras se realizaron cada cierto tiempo, las primeras muestras se realizaron cada media hora hasta cuando se detectó que empezó a subir la concentración de salinidad, a partir de esto se realiza la toma de muestra cada cinco minutos, esto para poder tener datos más exactos en la curva y tener el valor preciso del pico máximo de la curva, esto se realizó durante una hora y treinta cinco minutos exactamente, a partir de ahí los intervalos de tiempo para tomar muestras fueron de diez minutos.

Tabla 4 Cronograma de la primera medición de conductividad del agua del BSI - Piladora de Cesa.

Muestreo No. 1 del Biotanque - Piladora de Cesa	
No. Intervalos de tiempo	Hora de toma de muestra
1	13h00
2	13h30
3	14h00
4	14h30
5	14h40
6	14h45
7	14h50

No. Intervalos de tiempo	Hora de toma de muestra
8	14h55
9	15h00
10	15h05
11	15h10
12	15h15
13	15h20
14	15h25
15	15h30
16	15h35
17	15h40
18	15h45
19	15h50
20	15h55
21	16h00
22	16h05
23	16h10
24	16h15
25	16h20
26	16h30
27	16h40
28	16h50
29	17h00
30	17h10
31	17h20
32	17h30
33	17h45
34	18h00
35	18h15

Fuente: Autor

Tabla 5 Valores obtenidos del multiparámetro de la primera muestra de agua residual en el primer muestreo del biotanco de la Piladora de Cesa.

Valores de la primera muestra de agua residual		
Salinidad (%) ppm	Conductividad (ms/cm)	SDT (g/l)
1,01	2,167	1

Fuente: Autor

La toma de muestra de la segunda medición se realizó a partir de las 08h40 am, en esa hora exacta se tomó la primera muestra de agua residual, las muestras se realizaron cada cierto tiempo, la segunda muestra se tomó luego

de veinte minutos, se aprecia que la concentración de salinidad empezó a subir y decidimos tomar muestras cada cinco minutos durante media hora, después los intervalos de tiempo eran de diez o quince minutos.

Tabla 6 Cronograma de la segunda medición de conductividad del agua del BSI - Piladora de Cesa.

Muestreo No. 2 del Biotanque - Piladora de Cesa	
No. Intervalos de tiempo	Hora de toma de muestra
1	8h40
2	9h00
3	9h05
4	9h15
5	9h25
6	9h35
7	9h45
8	10h00
9	10h15
10	10h30
11	10h40
12	10h50
13	10h55
14	11h10
15	11h20
16	11h30

Fuente: Autor

Tabla 7 Valores obtenidos del multiparámetro de la primera muestra de agua residual del segundo muestreo en el biotanque de la Piladora de Cesa.

Valores de la primera muestra de agua residual		
Salinidad (%) ppm	Conductividad (ms/cm)	SDT (g/l)
0,87	1,823	0,864

Fuente: Autor

La toma de muestra en el CDI San Francisco de Cajas se realizó a partir de las 07h20 am, en esa hora se tomó la primera muestra de agua residual, las muestras se realizaron cada cierto tiempo, la segunda muestra se tomó luego de veinte minutos, y luego se toma muestras cada diez o veinte minutos.

Tabla 8 Cronograma de la medición de conductividad del agua del BSI - CDI San Francisco de Cajas.

Muestreo del Biotanque - CDI San Francisco de Cajas	
No. Intervalos de tiempo	Hora de toma de muestra
1	07h20
2	07h40
3	07h50
4	08h10
5	09h00
6	09h40
7	09h50
8	10h00
9	10h10
10	10h20
11	10h30
12	10h40
13	10h50
14	11h00
15	11h20
16	11h50
17	12h10
18	12h30
19	12h40
20	12h50
21	13h00
22	13h20
23	13h30
24	14h00

Fuente: Autor

Tabla 9 Valores obtenidos del multiparámetro de la primera muestra de agua residual en el biotanque del CDI San Francisco de Cajas.

Valores de la primera muestra de agua residual		
Salinidad (%) ppm	Conductividad (us/cm)	SDT (mg/l)
0,32	487	315

Fuente: Autor

Este análisis se llevó a cabo considerando el potencial impacto que los parámetros físicos pueden tener en la eficacia del sistema y su capacidad para el tratamiento de aguas residuales. La conductividad, temperatura, sólidos

disueltos totales y salinidad representan indicadores cruciales de la calidad y composición del agua en el proceso de tratamiento.

Se realizó una medición sistemática y continua de la conductividad en el efluente del sistema. Para llevar a cabo esta tarea en la Piladora de Cesa, se utilizó una jarra de un litro para tomar muestras del efluente, y para el CDI San Francisco de Cajas el efluente del biotanco se encuentra conectado a unas tuberías de 110mm, para poder tomar la muestra se abre el adaptador para tomar muestras y con un vaso se toma la muestra de agua residual, la cual fue analizada posteriormente utilizando el multiparámetro. Esta metodología brinda también la posibilidad de mantener un control preciso sobre el caudal. Como se destacó anteriormente, mantener un flujo constante es esencial para obtener una visión dinámica y en tiempo real de cómo las variaciones en el agua impactan en estos indicadores clave.

Para estas pruebas se asegura constantemente de que el caudal sea constante, para así obtener resultados reales para cada sistema.

Al examinar la relación entre la conductividad y el recorrido del agua a lo largo del sistema, se adquiere una comprensión más profunda de su comportamiento y de cómo se producen las modificaciones en los parámetros físicos a lo largo de todo el proceso. Este enfoque analítico resulta esencial para asegurar la optimización y eficacia del sistema, y es particularmente relevante en un contexto donde la calidad y el tratamiento de las aguas residuales son aspectos de alta prioridad.

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Mediante un enfoque meticuloso y un proceso riguroso de toma de muestras y análisis, se exploró en detalle la relación entre el tiempo de retención hidráulica y la concentración del trazado en el efluente. Los resultados obtenidos en este capítulo proporcionan una base sólida para la interpretación de la funcionalidad del biotank séptico integrado en la depuración de aguas residuales y ofrecen valiosas perspectivas para la mejora continua de esta tecnología de tratamiento.

El sistema perteneciente a la Piladora de Cesa se encontraba rodeado por la vegetación en ambas ocasiones. Se cree que, debido a la acumulación de sólidos en la malla de filtrado, no dejaba entrar el agua residual al filtro biológico por la tubería de ingreso haciendo que entre por rebose a dicho filtro, marcando un inicio poco favorable para el proceso de tratamiento del agua. Este hallazgo revela la importancia de un mantenimiento periódico y de un seguimiento riguroso para garantizar el funcionamiento eficiente y óptimo de sistemas de este tipo en contextos diversos.

Tabla 10 Resultados obtenidos del primer muestreo con el multiparámetro en el BSI - Piladora de Cesa.

Muestra No.	Salinidad (%) ppm	Conductividad (ms/cm)	SDT (g/l)
1	1,01	2,167	1
2	1	2,138	0,997
3	1,01	2,136	1,001
4	4,26	8,43	4,18
5	6,15	11,72	5,96
6	7,22	13,63	6,97
7	7,66	14,32	7,39
8	7,81	14,66	7,58
9	7,93	14,84	7,67
10	8,08	14,94	7,8
11	8,04	14,75	7,65
12	8,08	14,99	7,79
13	8,03	14,88	7,75
14	7,95	14,77	7,67
15	7,87	14,6	7,6
16	7,79	14,44	7,52

Muestra No.	Salinidad (%) ppm	Conductividad (ms/cm)	SDT (g/l)
17	7,66	14,28	7,4
18	7,47	13,97	7,32
19	7,5	14,05	7,24
20	7,43	13,89	7,17
21	7,29	13,68	7,04
22	7,09	13,32	6,85
23	6,97	13,05	6,73
24	6,98	13,07	6,75
25	6,9	12,96	6,67
26	6,74	12,72	6,51
27	6,47	12,37	6,27
28	6,3	11,91	6,1
29	6,08	11,55	5,89
30	5,97	11,36	5,77
31	5,62	10,74	5,45
32	5,39	10,37	5,22
33	5,25	10,1	5,1
34	5,02	9,67	4,88
35	4,92	9,45	4,78

Fuente: Autor

Utilizando la información recolectada en el primer muestreo del BSI en la Piladora de Cesa, se generó una curva que correlaciona los valores de conductividad en función del tiempo como se muestra en la Figura 12. El valor del agua cruda sin trazador fue de 2167 $\mu\text{s}/\text{cm}$, el valor máximo registrado en esta curva fue de 14,99 ms/cm, tras un período de dos horas y quince minutos de toma de muestras alcanzado a las 15h15pm. A partir de este punto, se observa un descenso gradual en la concentración de cloruro de sodio, lo que indica una reducción en la presencia del compuesto en el agua tratada.

Es relevante destacar que se realizó la prueba de trazador hasta las 18h15 pm. Dado que durante este período aún no se había alcanzado el valor de la concentración del agua cruda previo al inicio de la prueba, se implementó una estrategia para mantener constante la pendiente de la curva, simulando así la completa eliminación de la concentración del trazador. En total, se llevó a cabo el proceso de muestreo durante cinco horas y quince minutos. Posteriormente, se proyectaron los valores para un período adicional de seis horas y cuarenta

y cinco minutos, con el fin de poder realizar los cálculos correspondientes al tiempo de retención hidráulico.

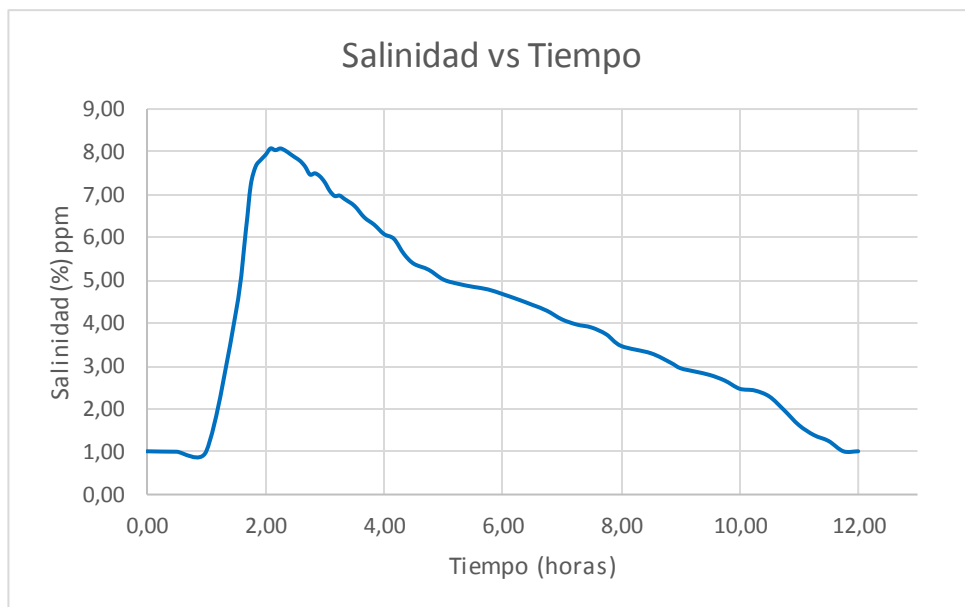
Figura 12 Variación de la conductividad en el efluente del BSI en el primer muestreo de la Piladora de Cesa.



Fuente: Autor

La Figura 13 presenta los resultados que correlaciona los valores de la salinidad en función del tiempo durante el primer muestreo efectuado en el BSI ubicado en la Piladora de Cesa. Se destaca un valor pico de salinidad de 8,08 partes por millón (ppm) registrado a las 15h05 pm y nuevamente a las 15h15 pm. A partir de este punto, se observa un descenso gradual de la salinidad en la curva proyectada, culminando con la completa eliminación de la concentración salina del sistema.

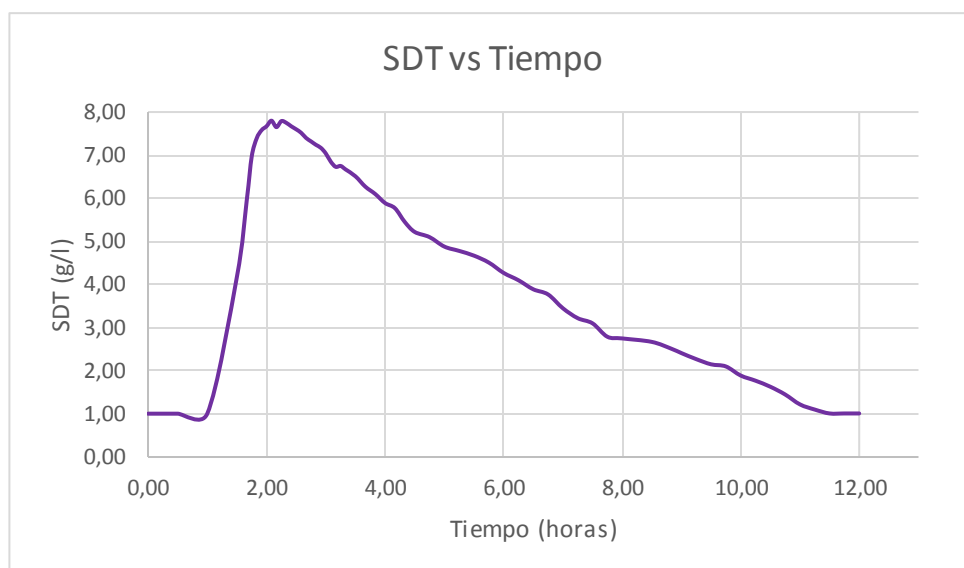
Figura 13 Variación de la salinidad en el efluente del BSI en el primer muestreo de la Piladora de Cesa.



Fuente: Autor

La Figura 14 presenta los resultados que establecen una relación entre los valores de los Sólidos Disueltos Totales (SDT) en relación al tiempo durante el primer muestreo ejecutado en el BSI ubicado en la Piladora de Cesa. Se destaca un valor máximo de SDT de 7,79 gramos por litro (g/l), registrado puntualmente a las 15h15pm. Desde ese instante, se observa un descenso gradual en los SDT, continuando hasta que la curva llega al valor registrado en la primera medición que es cuando sale toda la concentración.

Figura 14 Variación de los SDT en el efluente del BSI en el primer muestreo de la Piladora de Cesa.



Fuente: Autor

Tabla 11 Resultados obtenidos del segundo muestreo con el multiparámetro en el BSI - Piladora de Cesa.

Muestra No.	Salinidad (%) ppm	Conductividad (ms/cm)	SDT (g/l)
1	0,87	1,823	0,864
2	2,36	4,64	2,3
3	3,01	5,9	2,95
4	3,33	6,48	3,25
5	3,52	6,81	3,43
6	4,02	7,8	3,9
7	4,66	8,86	4,46
8	5,46	10,52	5,31
9	6,37	12,11	6,16
10	6,19	11,84	6
11	5,1	9,8	4,95
12	3,33	6,58	3,26
13	2,72	5,44	2,67
14	2,03	4,12	1,99
15	1,46	3,01	1,437
16	0,95	2,052	0,946

Fuente: Autor

De acuerdo a la curva adquirida durante el segundo muestreo efectuado en el sistema plástico compacto de la Piladora de Cesa, la cual representa los valores de conductividad en relación al tiempo, como se presenta en la Figura 15. El valor del agua cruda sin trazador fue de 1823 $\mu\text{s}/\text{cm}$, se puede constatar que el valor máximo alcanzado fue de 12,11 (ms/cm). Este pico de conductividad se presentó a las 10h15am, cuando el proceso de toma de muestras llevaba una hora y treinta y cinco minutos.

Figura 15 Variación de la conductividad en el efluente del BSI en el segundo muestreo de la Piladora de Cesa.



Fuente: Autor

A partir de este punto máximo, se observa un descenso progresivo en los valores de conductividad. Es importante señalar que, debido al corto tiempo para recuperar la concentración inicial, se presume que la malla de filtrado presente en la tubería de entrada al filtro biológico estaba saturada. Esta situación provoca que el agua residual no ingrese a través de dicha tubería, sino que, debido al rebose, acceda por la parte superior del filtro biológico. Como consecuencia, el agua se desviaba por rebosamiento hacia los otros filtros, lo que ocasiona que el agua residual no siga el proceso de tratamiento conforme a lo establecido dando lugar a una reducción significativa en el TRH y, en consecuencia, una disminución en la eficacia general del sistema de tratamiento de aguas. Un TRH más corto implica que el agua permanece en el sistema por menos tiempo, lo que limita la eficiencia global del sistema, ya que los tratamientos no se desarrollan adecuadamente.

La Figura 16 refleja los resultados que muestran la relación entre los niveles de salinidad y el tiempo durante el segundo muestreo realizado en el BSI de la Piladora de Cesa. Se evidencia un valor máximo de salinidad de 6,37 ppm registrado a las 10h15am. Desde este punto, se puede observar una disminución gradual en los niveles de salinidad, culminando con la completa eliminación de la concentración salina del sistema de manera rápida.

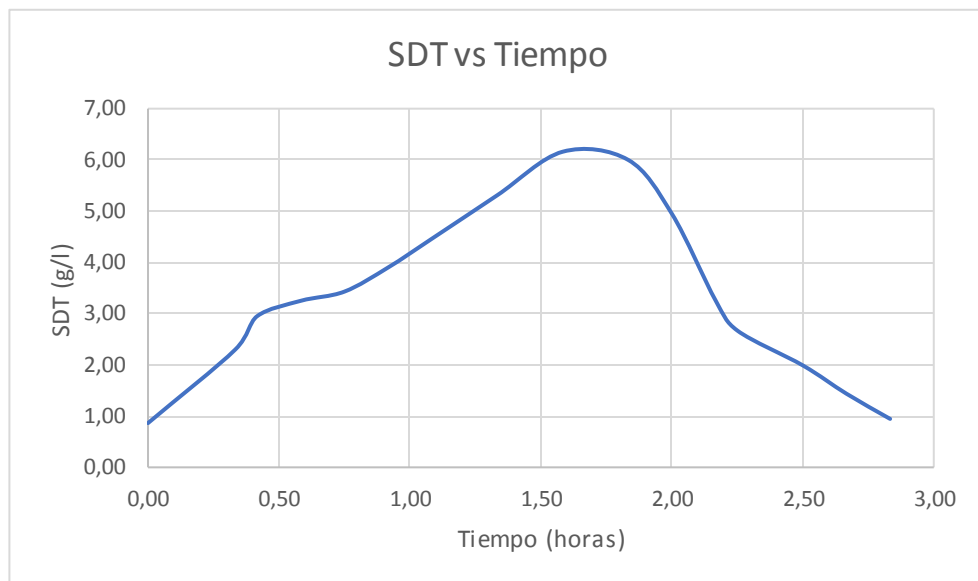
Figura 16 Variación de la salinidad en el efluente del BSI en el segundo muestreo de la Piladora de Cesa.



Fuente: Autor

La Figura 17 presenta los resultados que establecen una relación entre los valores de los SDT en relación al tiempo durante el segundo muestreo ejecutado en el BSI ubicado en la Piladora de Cesa. Se destaca un valor máximo de SDT de 6,16 g/l, registrado puntualmente a las 10h15am. Desde ese instante, se observa un descenso gradual en los SDT.

Figura 17 Variación de los SDT en el efluente del BSI en el segundo muestreo de la Piladora de Cesa.



Fuente: Autor

Tabla 12 Resultados obtenidos con el multiparámetro en el BSI - CDI San Francisco de Cajas.

Muestra No.	Salinidad (%) ppm	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	SDT (mg/l)
1	0,32	487	315
2	0,32	491	318
3	0,32	490	315
4	0,32	490	315
5	0,61	993	600
6	0,47	740	471
7	0,38	597	380
8	0,59	924	591
9	0,70	1066	690
10	0,78	1186	770
11	0,70	1080	691
12	0,63	981	627
13	0,55	856	543
14	0,58	905	577
15	0,53	868	528
16	0,52	820	513
17	0,47	749	467
18	0,48	764	479
19	0,48	778	478
20	0,45	744	451
21	0,42	682	421
22	0,40	654	400
23	0,40	652	400
24	0,38	620	377

Fuente: Autor

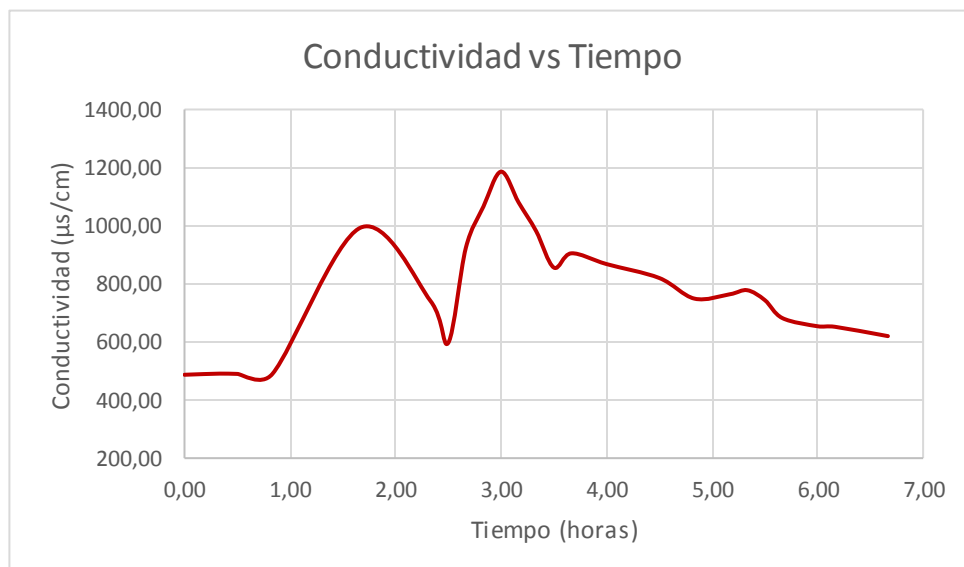
El valor inicial de concentración del agua cruda previo a realizar la prueba de trazador en el sistema fue de 3,15 mg/l. De acuerdo con la curva obtenida en el análisis realizado en el sistema del CDI San Francisco de Cajas, en relación a los valores de conductividad a lo largo del tiempo como se muestra en la Figura 18, se observó un valor máximo de 1186 $\mu\text{S}/\text{cm}$, alcanzado a las 10h20am. Esta curva presenta una forma particular con dos parábolas, lo cual es atribuible a los resultados proporcionados por el equipo de medición.

En la curva, se puede identificar un aumento gradual hasta las 09h00am, alcanzando un pico de 993 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Posteriormente, se observa un descenso durante casi una hora, llegando a un valor de 597 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A partir de este

punto, los valores comienzan a aumentar nuevamente hasta alcanzar el segundo pico máximo a las 10h20am. Sin embargo, después de este punto, la conductividad comienza a decrecer, caracterizada por cambios de pendiente en varios tramos.

Cabe señalar que la toma de muestras no se efectuó directamente en el efluente del sistema porque estaba conectado a un sistema de infiltración. Por esta razón, se tomó la muestra en un adaptador colocado para este propósito, conectado a una tubería de infiltración de 110 mm de diámetro. La disposición del sistema de infiltración provocó alteraciones en las muestras. El agua tratada que salía del efluente del sistema se encontraba con una caída en el adaptador, lo que ocasionaba la acumulación de agua. Durante la toma de muestra, se eliminaba toda el agua acumulada y luego se procedía a tomar una muestra del agua. Sin embargo, la concentración se acumulaba, lo que a su vez afectaba la precisión de la muestra tomada. Como resultado de esta situación, la curva de resultados muestra dos parábolas y un descenso de pendiente inconstante.

Figura 18 Variación de la conductividad en el efluente del BSI - CDI San Francisco de Cajas.



Fuente: Autor

La Figura 19 presenta los resultados que establecen la conexión entre los niveles de salinidad y su variación en función del tiempo en el muestreo ejecutado en el CDI San Francisco de Cajas. En este contexto, se destaca un punto máximo de salinidad de 0,78 ppm, registrado a las 10h20am. De manera similar a la curva anteriormente mencionada, esta también presenta una configuración en forma de parábolas, y la razón detrás de esta forma se deriva de las circunstancias ya explicadas en el análisis previo.

Figura 19 Variación de la salinidad en el efluente del BSI - CDI San Francisco de Cajas.



Fuente: Autor

La Figura 20 presenta los resultados que establecen una relación entre los valores de los SDT en relación al tiempo durante el muestreo ejecutado en el BSI ubicado en el CDI San Francisco de Cajas. Se destaca un valor máximo de SDT de 770 mg/l, registrado puntualmente a las 10h20am. Este valor máximo es el que representa el pico de la segunda parábola. Desde ese instante, se observa un descenso variado en los SDT, debido a que la pendiente tiene subidas y bajadas a lo largo del descenso.

Figura 20 Variación de los SDT en el efluente del BSI - CDI San Francisco de Cajas.



Fuente: Autor

A continuación, se determina el TRH experimental del sistema.

La fórmula general para calcular el TRH experimental es igual a:

$$TRH = \frac{\sum t * E(t) * \Delta t}{\sum E(t) * \Delta t}$$

Donde:

t = tiempo en horas.

Δt = Es la diferencia de tiempo entre una muestra y otra.

$E(t)$ = Función que sirve de base para el cálculo del TRH experimental.

$E(t)$ se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$E(t) = \frac{C_i}{\sum C_i * \Delta t}$$

C_i = La concentración de cada muestra.

Para llevar a cabo este procedimiento, se toma la hora exacta en la que comenzó la recolección de la muestra como punto de referencia inicial. A partir de esta hora, se realiza una conversión de las demás horas en función de este punto de referencia, transformándolas en valores decimales que representan la duración en horas del proceso. Luego, utilizando las fórmulas previamente indicadas, se procede a crear la hoja de cálculo para determinar el valor del TRH correspondiente a esa muestra.

Es fundamental destacar que esta técnica permite una representación más precisa del tiempo en el análisis, lo que a su vez contribuye a obtener resultados más acertados en la evaluación del TRH de la muestra.

Tabla 13 Cálculo de valores para determinar el TRH experimental en el primer muestreo del BSI de la Piladora de Cesa.

Hora real	Hora	Hora en	Salinidad (%)	Conductividad	SDT (g/l)	Ci*Δt	E (t)	t*E(t)*Δt	E(t)*Δt
13:00:00	0:00:00	0.00	1.01	2.17	1.01	0.00	0.02	0.00	0.00
13:30:00	0:30:00	0.50	1.00	2.17	1.01	0.50	0.02	0.01	0.01
14:00:00	1:00:00	1.00	1.01	2.17	1.01	0.50	0.02	0.01	0.01
14:30:00	1:30:00	1.50	4.26	8.43	4.18	2.09	0.09	0.07	0.05
14:40:00	1:40:00	1.67	6.15	11.72	5.96	0.99	0.13	0.04	0.02
14:45:00	1:45:00	1.75	7.22	13.63	6.97	0.58	0.16	0.02	0.01
14:50:00	1:50:00	1.83	7.66	14.32	7.39	0.62	0.17	0.03	0.01
14:55:00	1:55:00	1.92	7.81	14.66	7.58	0.63	0.17	0.03	0.01
15:00:00	2:00:00	2.00	7.93	14.84	7.67	0.64	0.17	0.03	0.01
15:05:00	2:05:00	2.08	8.08	14.94	7.80	0.65	0.18	0.03	0.01
15:10:00	2:10:00	2.17	8.04	14.75	7.65	0.64	0.17	0.03	0.01
15:15:00	2:15:00	2.25	8.08	14.99	7.79	0.65	0.18	0.03	0.01
15:20:00	2:20:00	2.33	8.03	14.88	7.75	0.65	0.18	0.03	0.01
15:25:00	2:25:00	2.42	7.95	14.77	7.67	0.64	0.17	0.03	0.01
15:30:00	2:30:00	2.50	7.87	14.60	7.60	0.63	0.17	0.04	0.01
15:35:00	2:35:00	2.58	7.79	14.44	7.52	0.63	0.17	0.04	0.01
15:40:00	2:40:00	2.67	7.66	14.28	7.40	0.62	0.17	0.04	0.01
15:45:00	2:45:00	2.75	7.47	13.97	7.32	0.61	0.17	0.04	0.01
15:50:00	2:50:00	2.83	7.50	14.05	7.24	0.60	0.16	0.04	0.01
15:55:00	2:55:00	2.92	7.43	13.89	7.17	0.60	0.16	0.04	0.01
16:00:00	3:00:00	3.00	7.29	13.68	7.04	0.59	0.16	0.04	0.01
16:05:00	3:05:00	3.08	7.09	13.32	6.85	0.57	0.15	0.04	0.01
16:10:00	3:10:00	3.17	6.97	13.05	6.73	0.56	0.15	0.04	0.01
16:15:00	3:15:00	3.25	6.98	13.07	6.75	0.56	0.15	0.04	0.01
16:20:00	3:20:00	3.33	6.90	12.96	6.67	0.56	0.15	0.04	0.01
16:30:00	3:30:00	3.50	6.74	12.72	6.51	1.09	0.15	0.09	0.02
16:40:00	3:40:00	3.67	6.47	12.37	6.27	1.05	0.14	0.09	0.02
16:50:00	3:50:00	3.83	6.30	11.91	6.10	1.02	0.14	0.09	0.02
17:00:00	4:00:00	4.00	6.08	11.55	5.89	0.98	0.13	0.09	0.02
17:10:00	4:10:00	4.17	5.97	11.36	5.77	0.96	0.13	0.09	0.02
17:20:00	4:20:00	4.33	5.62	10.74	5.45	0.91	0.12	0.09	0.02
17:30:00	4:30:00	4.50	5.39	10.37	5.22	0.87	0.12	0.09	0.02
17:45:00	4:45:00	4.75	5.25	10.10	5.10	1.28	0.12	0.14	0.03
18:00:00	5:00:00	5.00	5.02	9.67	4.88	1.22	0.11	0.14	0.03
18:15:00	5:15:00	5.25	4.92	9.45	4.78	1.20	0.11	0.14	0.03
18:30:00	5:30:00	5.50	4.85	9.12	4.67	1.17	0.11	0.15	0.03

Hora real	Hora	Hora en	Salinidad (%)	Conductividad	SDT (g/l)	Ci*Δt	E (t)	t*E(t)*Δt	E(t)*Δt
18:45:00	5:45:00	5,75	4,79	8,74	4,51	1,13	0,10	0,15	0,03
19:00:00	6:00:00	6,00	4,68	8,32	4,27	1,07	0,10	0,14	0,02
19:15:00	6:15:00	6,25	4,56	8,01	4,10	1,03	0,09	0,14	0,02
19:30:00	6:30:00	6,50	4,43	7,89	3,89	0,97	0,09	0,14	0,02
19:45:00	6:45:00	6,75	4,29	7,68	3,77	0,94	0,09	0,14	0,02
20:00:00	7:00:00	7,00	4,09	7,32	3,45	0,86	0,08	0,14	0,02
20:15:00	7:15:00	7,25	3,97	7,05	3,22	0,81	0,07	0,13	0,02
20:30:00	7:30:00	7,50	3,90	6,96	3,10	0,78	0,07	0,13	0,02
20:45:00	7:45:00	7,75	3,74	6,72	2,79	0,70	0,06	0,12	0,02
21:00:00	8:00:00	8,00	3,47	6,37	2,75	0,69	0,06	0,12	0,02
21:30:00	8:30:00	8,50	3,30	5,91	2,67	1,34	0,06	0,26	0,03
21:50:00	8:50:00	8,83	3,08	5,55	2,51	0,84	0,06	0,17	0,02
22:00:00	9:00:00	9,00	2,95	5,36	2,41	0,40	0,05	0,08	0,01
22:15:00	9:15:00	9,25	2,87	4,74	2,27	0,57	0,05	0,12	0,01
22:30:00	9:30:00	9,50	2,79	4,37	2,15	0,54	0,05	0,12	0,01
22:45:00	9:45:00	9,75	2,66	4,10	2,10	0,53	0,05	0,12	0,01
23:00:00	10:00:00	10,00	2,47	3,67	1,89	0,47	0,04	0,11	0,01
23:15:00	10:15:00	10,25	2,43	3,45	1,77	0,44	0,04	0,10	0,01
23:30:00	10:30:00	10,50	2,29	3,05	1,63	0,41	0,04	0,10	0,01
23:45:00	10:45:00	10,75	1,97	2,96	1,45	0,36	0,03	0,09	0,01
0:00:00	11:00:00	11,00	1,62	2,72	1,22	0,31	0,03	0,08	0,01
0:15:00	11:15:00	11,25	1,39	2,37	1,10	0,28	0,02	0,07	0,01
0:30:00	11:30:00	11,50	1,25	2,17	1,01	0,25	0,02	0,07	0,01
0:45:00	11:45:00	11,75	1,01	2,17	1,01	0,25	0,02	0,07	0,01
1:00:00	12:00:00	12,00	1,01	2,17	1,01	0,25	0,02	0,07	0,01
						44,22		4,97	1,00

Fuente: Autor

Tabla 14 Cálculo de valores para determinar el TRH experimental en el segundo muestreo del BSI de la Piladora de Cesa.

Hora real	Hora	Hora en	Salinidad (%)	Conductividad	SDT (g/l)	Ci* Δt	E (t)	t*E(t)*Δt	E(t)*Δt
8:40:00	0:00:00	0,00	0,87	1,82	0,86	0,00	0,08	0,00	0,00
9:00:00	0:20:00	0,33	2,36	4,64	2,30	0,77	0,22	0,02	0,07
9:05:00	0:25:00	0,42	3,01	5,90	2,95	0,25	0,28	0,01	0,02
9:15:00	0:35:00	0,58	3,33	6,48	3,25	0,54	0,31	0,03	0,05
9:25:00	0:45:00	0,75	3,52	6,81	3,43	0,57	0,33	0,04	0,06
9:35:00	0:55:00	0,92	4,02	7,80	3,90	0,65	0,38	0,06	0,06
9:45:00	1:05:00	1,08	4,66	8,86	4,46	0,74	0,43	0,08	0,07
10:00:00	1:20:00	1,33	5,46	10,52	5,31	1,33	0,51	0,17	0,13
10:15:00	1:35:00	1,58	6,37	12,11	6,16	1,54	0,59	0,24	0,15
10:30:00	1:50:00	1,83	6,19	11,84	6,00	1,50	0,58	0,27	0,14
10:40:00	2:00:00	2,00	5,10	9,80	4,95	0,82	0,48	0,16	0,08
10:50:00	2:10:00	2,17	3,33	6,58	3,26	0,54	0,31	0,11	0,05
10:55:00	2:15:00	2,25	2,72	5,44	2,67	0,22	0,26	0,05	0,02
11:10:00	2:30:00	2,50	2,03	4,12	1,99	0,50	0,19	0,12	0,05
11:20:00	2:40:00	2,67	1,46	3,01	1,44	0,24	0,14	0,06	0,02
11:30:00	2:50:00	2,83	0,95	2,05	0,95	0,16	0,09	0,04	0,02
						10,37		1,46	1,00

Fuente: Autor

Tabla 15 Cálculo de valores para determinar el TRH experimental en el BSI del CDI San Francisco de Cajas.

Hora real	Hora desde 0	Hora en decimales	Salinidad (%) ppm	Conductividad (us/cm)	SDT (mg/l)	Ci*Δt	E (t)	t*E(t)*Δt	E(t)*Δt
7:20:00	0:00:00	0,00	0,32	487,00	315,00	0,00	0,10	0,00	0,00
7:40:00	0:20:00	0,33	0,32	491,00	318,00	106,00	0,10	0,01	0,03
7:50:00	0:30:00	0,50	0,32	490,00	315,00	52,50	0,10	0,01	0,02
8:10:00	0:50:00	0,83	0,32	490,00	315,00	105,00	0,10	0,03	0,03
9:00:00	1:40:00	1,67	0,61	993,00	600,00	500,00	0,18	0,26	0,15
9:40:00	2:20:00	2,33	0,47	740,00	471,00	314,00	0,14	0,23	0,10
9:50:00	2:30:00	2,50	0,38	597,00	380,00	63,33	0,12	0,05	0,02
10:00:00	2:40:00	2,67	0,59	924,00	591,00	98,50	0,18	0,08	0,03
10:10:00	2:50:00	2,83	0,70	1066,00	690,00	115,00	0,21	0,10	0,04
10:20:00	3:00:00	3,00	0,78	1186,00	770,00	128,33	0,24	0,12	0,04
10:30:00	3:10:00	3,17	0,70	1080,00	691,00	115,17	0,21	0,11	0,04
10:40:00	3:20:00	3,33	0,63	981,00	627,00	104,50	0,19	0,11	0,03
10:50:00	3:30:00	3,50	0,55	856,00	543,00	90,50	0,17	0,10	0,03
11:00:00	3:40:00	3,67	0,58	905,00	577,00	96,17	0,18	0,11	0,03
11:20:00	4:00:00	4,00	0,53	868,00	528,00	176,00	0,16	0,22	0,05
11:50:00	4:30:00	4,50	0,52	820,00	513,00	256,50	0,16	0,36	0,08
12:10:00	4:50:00	4,83	0,47	749,00	467,00	155,67	0,14	0,23	0,05
12:30:00	5:10:00	5,17	0,48	764,00	479,00	159,67	0,15	0,25	0,05
12:40:00	5:20:00	5,33	0,48	778,00	478,00	79,67	0,15	0,13	0,02
12:50:00	5:30:00	5,50	0,45	744,00	451,00	75,17	0,14	0,13	0,02
13:00:00	5:40:00	5,67	0,42	682,00	421,00	70,17	0,13	0,12	0,02
13:20:00	6:00:00	6,00	0,40	654,00	400,00	133,33	0,12	0,25	0,04
13:30:00	6:10:00	6,17	0,40	652,00	400,00	66,67	0,12	0,13	0,02
14:00:00	6:40:00	6,67	0,38	620,00	377,00	188,50	0,12	0,39	0,06
					Σ =	3250,33	Σ =	3,50	1,00

Fuente: Autor

Para el TRH experimental del primer muestreo en la Piladora de Cesa se obtiene lo siguiente:

$$TRH = \frac{4,97}{1}$$

$$TRH = 4.97 \text{ horas} \approx 5 \text{ horas}$$

$$TRH = 5 \text{ horas}$$

Para el TRH experimental del segundo muestreo en la Piladora de Cesa se obtiene lo siguiente:

$$TRH = \frac{1,46}{1}$$

$$TRH = 1,46 \text{ horas}$$

Para el TRH experimental en el CDI San Francisco de Cajas se obtiene lo siguiente:

$$TRH = \frac{3,50}{1}$$

$$TRH = 3,50 \text{ horas}$$

En la tabla 16 se puede observar que, en las muestras obtenidas, tanto del biotank séptico integrado en la Piladora de Cesa como en el del CDI San Francisco de Cajas, el TRH experimental es significativamente inferior al TRH teórico.

Tabla 16 Comparación entre el TRH teórico y el TRH experimental.

BSI	TRH teórico	TRH experimental
Muestreo 1 - Piladora de Cesa	20,53 horas	5 horas
Muestreo 2 - Piladora de Cesa	20,53 horas	1,46 horas
Muestreo - CDI San Francisco de Cajas	11,3 horas	3,5 horas

Fuente: Autor

Para el análisis del flujo en los sistemas será con los datos recopilados de las muestras. Para realizar esto, se escogen los valores de SDT.

Este análisis se llevó a cabo el enfoque propuesto por el método de Wolf Resnick. Este método exige crear una gráfica que relaciona el tiempo de medición con el valor complementario de la función de distribución acumulativa ($1-F(t)$), representada en una escala logarítmica, para luego trazar una línea tangente a esa curva.

Este procedimiento es fundamental ya que permitirá obtener una comprensión más profunda de cómo se comporta el flujo en los sistemas a lo largo del tiempo.

Donde:

$F(t)$ = Fracción del trazador que ha salido del sistema.

$1 - F(t)$ = Fracción remanente del trazador.

t/t_0 = Tiempo de medición / TRH teórico.

C_i = Concentración del trazador.

$$F(t) = \frac{\sum C_i}{\sum_t C_i}$$

En la sección correspondiente al tiempo de medición, se llevó a cabo una asignación utilizando el valor del TRH teórico. Para lograr esto, se convierte la hora en un formato decimal de acuerdo al TRH teórico establecido, y se aplica este mismo proceso para todas las horas de medición.

Tabla 17 Cálculo de valores para realizar la curva de tiempo de medición/TRH teórico vs Log (1-F(t)) de la primera muestra realizada en el BSI de la Piladora de Cesa.

Hora real	Hora desde 0	Hora en decimales	SDT (g/l)	ΣCi	F (t)	t/to	1 - F(t)	log (1 - F(t))
13:00:00	0:00:00	0.00	1.01	1.01	0.00	0.00	1.00	0.00
13:30:00	0:30:00	0.50	1.01	2.01	0.01	0.02	0.99	0.00
14:00:00	1:00:00	1.00	1.01	3.02	0.01	0.05	0.99	0.00
14:30:00	1:30:00	1.50	4.18	7.20	0.03	0.07	0.97	-0.01
14:40:00	1:40:00	1.67	5.96	13.16	0.05	0.08	0.95	-0.02
14:45:00	1:45:00	1.75	6.97	20.13	0.07	0.09	0.93	-0.03
14:50:00	1:50:00	1.83	7.39	27.52	0.10	0.09	0.90	-0.04
14:55:00	1:55:00	1.92	7.58	35.10	0.12	0.09	0.88	-0.06
15:00:00	2:00:00	2.00	7.67	42.77	0.15	0.10	0.85	-0.07
15:05:00	2:05:00	2.08	7.80	50.57	0.18	0.10	0.82	-0.09
15:10:00	2:10:00	2.17	7.65	58.22	0.21	0.11	0.79	-0.10
15:15:00	2:15:00	2.25	7.79	66.01	0.23	0.11	0.77	-0.12
15:20:00	2:20:00	2.33	7.75	73.76	0.26	0.11	0.74	-0.13
15:25:00	2:25:00	2.42	7.67	81.43	0.29	0.12	0.71	-0.15
15:30:00	2:30:00	2.50	7.60	89.03	0.32	0.12	0.68	-0.16
15:35:00	2:35:00	2.58	7.52	96.55	0.34	0.13	0.66	-0.18
15:40:00	2:40:00	2.67	7.40	103.95	0.37	0.13	0.63	-0.20
15:45:00	2:45:00	2.75	7.32	111.27	0.39	0.13	0.61	-0.22
15:50:00	2:50:00	2.83	7.24	118.51	0.42	0.14	0.58	-0.24
15:55:00	2:55:00	2.92	7.17	125.68	0.45	0.14	0.55	-0.26
16:00:00	3:00:00	3.00	7.04	132.72	0.47	0.15	0.53	-0.28
16:05:00	3:05:00	3.08	6.85	139.57	0.49	0.15	0.51	-0.30
16:10:00	3:10:00	3.17	6.73	146.30	0.52	0.15	0.48	-0.32
16:15:00	3:15:00	3.25	6.75	153.05	0.54	0.16	0.46	-0.34
16:20:00	3:20:00	3.33	6.67	159.72	0.57	0.16	0.43	-0.36
16:30:00	3:30:00	3.50	6.51	166.23	0.59	0.17	0.41	-0.39
16:40:00	3:40:00	3.67	6.27	172.50	0.61	0.18	0.39	-0.41
16:50:00	3:50:00	3.83	6.10	178.60	0.63	0.19	0.37	-0.43
17:00:00	4:00:00	4.00	5.89	184.49	0.65	0.19	0.35	-0.46
17:10:00	4:10:00	4.17	5.77	190.26	0.67	0.20	0.33	-0.49
17:20:00	4:20:00	4.33	5.45	195.71	0.69	0.21	0.31	-0.51
17:30:00	4:30:00	4.50	5.22	200.93	0.71	0.22	0.29	-0.54
17:45:00	4:45:00	4.75	5.10	206.03	0.73	0.23	0.27	-0.57
18:00:00	5:00:00	5.00	4.88	210.91	0.75	0.24	0.25	-0.60

Hora real	Hora desde 0	Hora en decimales	SDT (g/l)	ΣC_i	F (t)	t/to	1 - F(t)	log (1 - F(t))
18:15:00	5:15:00	5.25	4.78	215.69	0.76	0.26	0.24	-0.63
18:30:00	5:30:00	5.50	4.67	220.36	0.78	0.27	0.22	-0.66
18:45:00	5:45:00	5.75	4.51	224.87	0.80	0.28	0.20	-0.69
19:00:00	6:00:00	6.00	4.27	229.14	0.81	0.29	0.19	-0.72
19:15:00	6:15:00	6.25	4.10	233.24	0.83	0.30	0.17	-0.76
19:30:00	6:30:00	6.50	3.89	237.13	0.84	0.32	0.16	-0.79
19:45:00	6:45:00	6.75	3.77	240.90	0.85	0.33	0.15	-0.83
20:00:00	7:00:00	7.00	3.45	244.35	0.87	0.34	0.13	-0.87
20:15:00	7:15:00	7.25	3.22	247.57	0.88	0.35	0.12	-0.91
20:30:00	7:30:00	7.50	3.10	250.67	0.89	0.37	0.11	-0.95
20:45:00	7:45:00	7.75	2.79	253.46	0.90	0.38	0.10	-0.99
21:00:00	8:00:00	8.00	2.75	256.21	0.91	0.39	0.09	-1.03
21:30:00	8:30:00	8.50	2.67	258.88	0.92	0.41	0.08	-1.08
21:50:00	8:50:00	8.83	2.51	261.39	0.93	0.43	0.07	-1.13
22:00:00	9:00:00	9.00	2.41	263.80	0.93	0.44	0.07	-1.18
22:15:00	9:15:00	9.25	2.27	266.07	0.94	0.45	0.06	-1.24
22:30:00	9:30:00	9.50	2.15	268.22	0.95	0.46	0.05	-1.30
22:45:00	9:45:00	9.75	2.10	270.32	0.96	0.47	0.04	-1.37
23:00:00	10:00:00	10.00	1.89	272.21	0.96	0.49	0.04	-1.44
23:15:00	10:15:00	10.25	1.77	273.98	0.97	0.50	0.03	-1.53
23:30:00	10:30:00	10.50	1.63	275.61	0.98	0.51	0.02	-1.62
23:45:00	10:45:00	10.75	1.45	277.06	0.98	0.52	0.02	-1.72
0:00:00	11:00:00	11.00	1.22	278.28	0.99	0.54	0.01	-1.83
0:15:00	11:15:00	11.25	1.10	279.38	0.99	0.55	0.01	-1.97
0:30:00	11:30:00	11.50	1.01	280.39	0.99	0.56	0.01	-2.15
0:45:00	11:45:00	11.75	1.01	281.40	1.00	0.57	0.00	-2.45
1:00:00	12:00:00	12.00	1.01	282.41	1.00	0.58	0.00	

Fuente: Autor

Tabla 18 Cálculo de valores para realizar la curva de tiempo de medición/TRH teórico vs Log (1-F(t)) de la segunda muestra realizada en el BSI de la Piladora de Cesa.

Hora	Hora desde 0	Hora en decimales	SDT (g/l)	ΣC_i	F (t)	t/to	1 - F(t)	log (1 - F(t))
8:40:00	0:00:00	0,00	0,86	0,86	0,02	0,00	0,98	-0,01
9:00:00	0:20:00	0,33	2,30	3,16	0,06	0,02	0,94	-0,03
9:05:00	0:25:00	0,42	2,95	6,11	0,11	0,02	0,89	-0,05
9:15:00	0:35:00	0,58	3,25	9,36	0,17	0,03	0,83	-0,08
9:25:00	0:45:00	0,75	3,43	12,79	0,24	0,04	0,76	-0,12
9:35:00	0:55:00	0,92	3,90	16,69	0,31	0,04	0,69	-0,16
9:45:00	1:05:00	1,08	4,46	21,15	0,39	0,05	0,61	-0,22
10:00:00	1:20:00	1,33	5,31	26,46	0,49	0,06	0,51	-0,29
10:15:00	1:35:00	1,58	6,16	32,62	0,61	0,08	0,39	-0,40
10:30:00	1:50:00	1,83	6,00	38,62	0,72	0,09	0,28	-0,55
10:40:00	2:00:00	2,00	4,95	43,57	0,81	0,10	0,19	-0,72
10:50:00	2:10:00	2,17	3,26	46,83	0,87	0,11	0,13	-0,88
10:55:00	2:15:00	2,25	2,67	49,50	0,92	0,11	0,08	-1,09
11:10:00	2:30:00	2,50	1,99	51,49	0,96	0,12	0,04	-1,35
11:20:00	2:40:00	2,67	1,44	52,93	0,98	0,13	0,02	-1,76
11:30:00	2:50:00	2,83	0,95	53,88	1,00	0,14	0,00	

Fuente: Autor

Tabla 19 Cálculo de valores para realizar la curva de tiempo de medición/TRH teórico vs Log (1-F(t)) de la muestra realizada en el BSI del CDI San Francisco de Cajas.

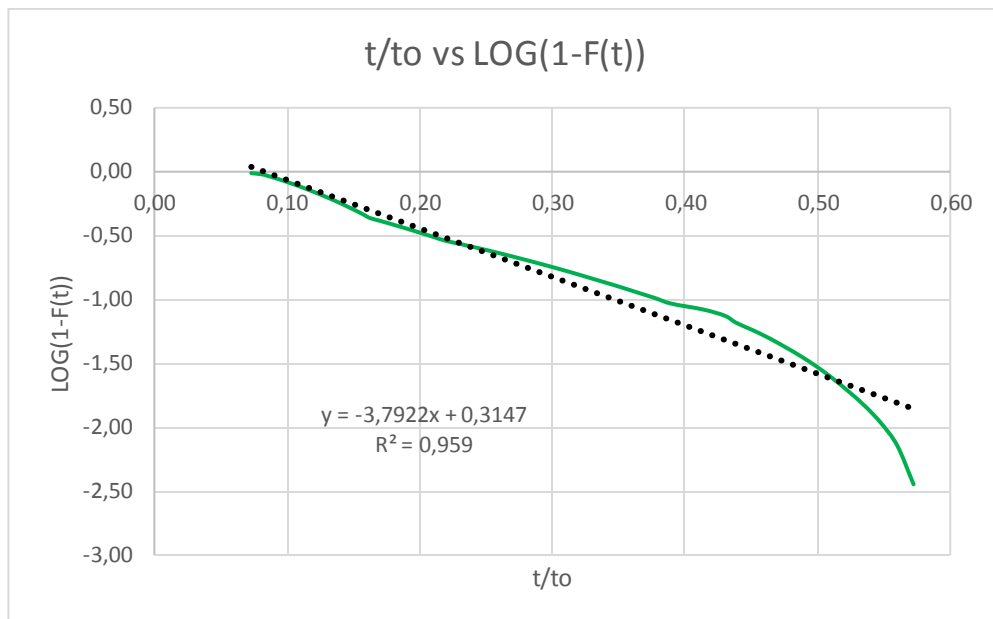
Hora	Hora desde 0	Hora en decimales	SDT (g/l)	ΣC_i	F (t)	t/to	1 - F(t)	log (1 - F(t))
7:20:00	0:00:00	0,00	315,00	315,00	0,03	0,00	0,97	-0,01
7:40:00	0:20:00	0,33	318,00	633,00	0,05	0,03	0,95	-0,02
7:50:00	0:30:00	0,50	315,00	948,00	0,08	0,04	0,92	-0,04
8:10:00	0:50:00	0,83	315,00	1263,00	0,11	0,07	0,89	-0,05
9:00:00	1:40:00	1,67	600,00	1863,00	0,16	0,15	0,84	-0,08
9:40:00	2:20:00	2,33	471,00	2334,00	0,20	0,21	0,80	-0,10
9:50:00	2:30:00	2,50	380,00	2714,00	0,23	0,22	0,77	-0,11
10:00:00	2:40:00	2,67	591,00	3305,00	0,28	0,24	0,72	-0,14
10:10:00	2:50:00	2,83	690,00	3995,00	0,34	0,25	0,66	-0,18
10:20:00	3:00:00	3,00	770,00	4765,00	0,41	0,27	0,59	-0,23
10:30:00	3:10:00	3,17	691,00	5456,00	0,47	0,28	0,53	-0,27
10:40:00	3:20:00	3,33	627,00	6083,00	0,52	0,29	0,48	-0,32
10:50:00	3:30:00	3,50	543,00	6626,00	0,57	0,31	0,43	-0,36
11:00:00	3:40:00	3,67	577,00	7203,00	0,61	0,32	0,39	-0,41
11:20:00	4:00:00	4,00	528,00	7731,00	0,66	0,35	0,34	-0,47
11:50:00	4:30:00	4,50	513,00	8244,00	0,70	0,40	0,30	-0,53
12:10:00	4:50:00	4,83	467,00	8711,00	0,74	0,43	0,26	-0,59
12:30:00	5:10:00	5,17	479,00	9190,00	0,78	0,46	0,22	-0,67
12:40:00	5:20:00	5,33	478,00	9668,00	0,83	0,47	0,17	-0,76
12:50:00	5:30:00	5,50	451,00	10119,00	0,86	0,49	0,14	-0,87
13:00:00	5:40:00	5,67	421,00	10540,00	0,90	0,50	0,10	-1,00
13:20:00	6:00:00	6,00	400,00	10940,00	0,93	0,53	0,07	-1,18
13:30:00	6:10:00	6,17	400,00	11340,00	0,97	0,55	0,03	-1,49
14:00:00	6:40:00	6,67	377,00	11717,00	1,00	0,59	0,00	

Fuente: Autor

Se realiza la gráfica de curva logarítmica con la columna de t/t_0 y la columna donde se calculó el logaritmo.

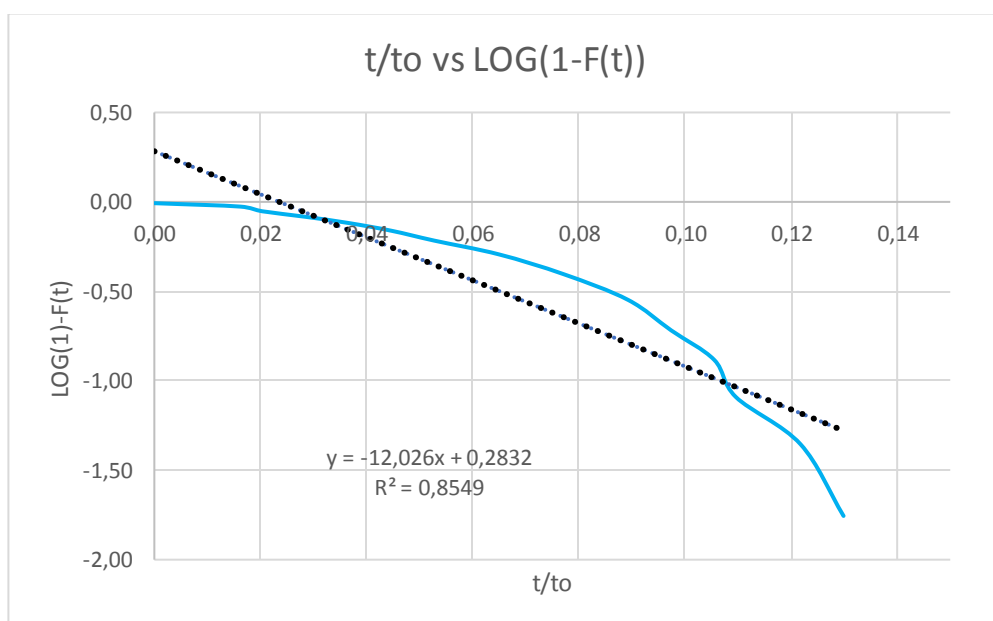
En la gráfica realizada se sacó la línea de tendencia de la curva logarítmica con su respectiva ecuación.

Figura 21 Curva de tiempo de medición/TRH teórico vs Log (1-F(t)) de la primera muestra realizada en el BSI de la Piladora de Cesa.



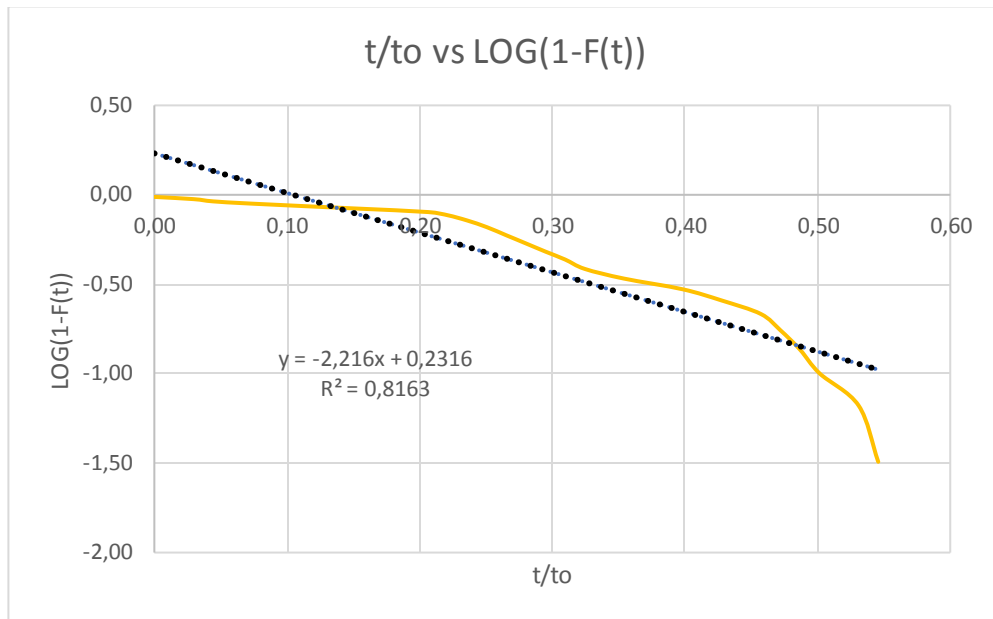
Fuente: Autor

Figura 22 Curva de tiempo de medición/TRH teórico vs Log (1-F(t)) de la segunda muestra realizada en el BSI de la Piladora de Cesa.



Fuente: Autor

Figura 23 Curva de tiempo de medición/TRH teórico vs Log (1-F(t)) de la muestra realizada en el BSI del CDI San Francisco de Cajas.



Fuente: Autor

Con la ecuación derivada de la línea de tendencia de la curva logarítmica, se procede a efectuar los cálculos correspondientes para cada muestra realizada.

Tabla 20 Porcentajes obtenidos para el análisis de flujo en los BSI de las diversas muestras realizadas.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Tg α =	3,79	12,03	2,22
Intercepto =	0,31	0,28	0,23
Si y =	0,00	0,00	0,00
$x = \theta$ =	0,08	0,02	0,10
p =	0,39	0,37	0,33
m =	0,79	0,94	0,69
M =	0,13	0,04	0,21
P =	0,08	0,02	0,10

Fuente: Autor

Donde:

θ = Retraso en el flujo por la fracción de flujo a pistón .

α = Ángulo que forma la línea tangente a la curva con el eje .

$tg\alpha$ = Pendiente de la recta.

m = Fracción de zonas muertas.

M = Fracción de flujo completamente mezclado.

P = Fracción de flujo a pistón.

Y se calculan de la siguiente manera:

$$Tg \alpha = \frac{0,475p}{p(1-p)(1-m)}$$

$$x = \theta = \frac{Tg \alpha}{\text{Intercepto}}$$

$$p = \frac{\theta Tg \alpha}{0,475 + \theta Tg \alpha}$$

$$m = 1 - \frac{\theta}{p}$$

$$M = (1-p)(1-m)$$

$$P = p(1-m)$$

Obteniendo así los siguientes resultados:

- En la primera toma de muestra en el Biotanque Séptico Integrado de la Piladora de Cesa, se constató un porcentaje de zonas muertas del 79%. Además, se identificó que el 13% del sistema operaba como flujo de mezcla completa y un 8% funcionaba con flujo a pistón. El elevado porcentaje de zonas muertas en el sistema plástico compacto puede atribuirse en gran medida a la falta de aprovechamiento eficiente de la capacidad del mismo. Una parte sustancial de esta capacidad es empleada en la sedimentación de sólidos, lo que resulta en la creación de zonas muertas, dejando un área de tratamiento real mucho menor de lo esperado. Como resultado, gran parte de la capacidad del sistema no se utiliza para los procesos de purificación y descontaminación del agua residual.
- En la segunda recopilación de muestras en el biotanque de la Piladora de Cesa, se constató un incremento significativo en las zonas muertas, alcanzando un 94%. En esta situación, se pudo notar que los biofiltros estaban desplazados de su posición habitual. Esto sugiere la posibilidad de que haya ocurrido una obstrucción en la tubería de entrada al filtro biológico, lo que a su vez habría ocasionado que el agua residual ingresara al filtro por rebosamiento. Esta alteración en el flujo habría contribuido al desplazamiento de los biofiltros de su

posición original. Esto se reflejó en un flujo de 4% a mezcla completa y un 2% a pistón.

- En el análisis de la muestra recopilada en el biotanco séptico integrado del CDI San Francisco de Cajas, se observó que el nivel de agua residual supera la mitad de la capacidad del biotanco. Esto se reflejó en un alto porcentaje de zonas muertas, alcanzando un 69%. Este fenómeno tiene un impacto directo en la discrepancia entre el TRH experimental y el TRH teórico, ya que la acumulación de lodos parece ser un factor clave en la disminución de la eficiencia del sistema. En cuanto al flujo, se identificó un 21% de flujo a mezcla completa y un 10% de flujo a pistón en este sistema.

CONCLUSIONES

- En el caso del BSI de la Piladora de Cesa, los resultados muestran porcentajes significativos de zonas muertas en ambas muestras (79% y 94% respectivamente). El significativo porcentaje de zonas muertas presente en el sistema plástico compacto puede ser principalmente atribuido a la falta de un aprovechamiento eficaz de su capacidad. Una parte considerable de esta capacidad es destinada a la sedimentación de sólidos, lo que resulta en la formación de zonas muertas y, en última instancia, reduce drásticamente el área de tratamiento real en comparación con lo que se había previsto. Esta situación conlleva a que gran parte de la capacidad del sistema no sea utilizada para los procesos esenciales de purificación y eliminación de contaminantes en el agua residual. Además, la presencia de un bajo porcentaje de flujo con mezcla completa en la segunda muestra (4%) indica que solo una pequeña parte del sistema está funcionando eficazmente.
- El segundo muestreo del Biotanque de la Piladora de Cesa revela un acortamiento del TRH con respecto al primer muestro. Esta reducción se refleja en el aumento del porcentaje de zonas muertas y la disminución del flujo a mezcla completa y a pistón. Se cree que por el taponamiento de la tubería de entrada se llega a perjudicar la funcionalidad del sistema, reduciendo su capacidad de tratamiento.
- En cuanto al BSI del CDI San Francisco de Cajas, se observa un alto porcentaje de zonas muertas (69%). Este sistema trabaja como flujo a mezcla completa un 21% y como flujo a pistón un 10%. El porcentaje de estos dos tipos de flujo sugiere que el sistema plástico compacto está diseñado para tener una mezcla adecuada en una parte de su funcionamiento y, en otra parte, permitir que ciertos procesos se desarrollen en un flujo más directo.
- De manera general, se observa una marcada discrepancia entre los valores de TRH teórico y experimental en todos los casos analizados. Esta discrepancia sugiere que los sistemas plásticos compactos no están funcionando de acuerdo con las expectativas teóricas, lo que

podría atribuirse a diversas variables que afectan el rendimiento del sistema en la práctica.

- En el primer muestreo, se registró un valor experimental de TRH de 5 horas en el BSI de la Piladora de Cesa. No obstante, en el segundo muestreo, se observó un TRH experimental de 1,46 horas. Este hallazgo indica que existe una posibilidad de obstrucción en la malla de filtrado presente en la tubería que conduce al filtro biológico. Como resultado de esta obstrucción, el nivel de agua se incrementó en comparación con el muestreo anterior, lo que condujo a un desbordamiento en dicho filtro. Esta situación generó una ruta más directa para el flujo de agua residual hacia el efluente del sistema, provocando una reducción en la eficiencia del proceso de tratamiento.
- En conjunto, estos resultados enfatizan la relevancia del mantenimiento constante en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. La acumulación de lodos y la formación de zonas muertas pueden impactar de manera considerable en la eficiencia y efectividad del sistema. Es claro que el flujo a pistón es insignificante en todas las muestras, lo que resalta que en gran parte del sistema prevalece el funcionamiento como flujo de mezcla completa.
- Es innegable que el biotanco presenta numerosos espacios que no son utilizados. Esta ineficiencia en el uso de los espacios disponibles compromete la capacidad de tratamiento y su rendimiento global. Para asegurar un proceso de tratamiento efectivo y maximizar la purificación de las aguas residuales, es fundamental abordar esta cuestión y explorar soluciones que permitan una distribución y uso más eficiente de los espacios dentro del biotanco. Además, una gestión más adecuada de estos espacios no solo mejorará la capacidad de tratamiento y generará efluentes de mayor calidad.

RECOMENDACIONES

- Es esencial destacar que para un rendimiento óptimo del biotanco séptico integrado tiene que trabajar con flujos continuos de aguas servidas, interrupciones en el flujo, como largos periodos de inactividad o descargas irregulares pueden comprometer la capacidad de los filtros para retener y tratar adecuadamente el agua servida. Durante el proceso de diseño y operación de este sistema, es fundamental considerar la regularidad y la frecuencia del flujo que ingresará.
- Durante el proceso de análisis del sistema, se ha observado que el trazado del flujo de agua puede generar áreas de baja circulación, donde el agua residual tiende a acumularse y no se somete al proceso de tratamiento esperado. La implementación de cambios en el diseño para mejorar la distribución uniforme del flujo puede contribuir a reducir la formación de zonas estancadas y a garantizar que el agua residual atraviese todas las áreas del sistema, permitiendo así un tiempo de retención hidráulica más coherente con el tiempo teórico.
- Mantener la zona de sedimentación en el biotanco séptico integrado es importante. Durante el estudio, se ha observado que esta área no recibe un mantenimiento constante, lo que puede llevar al aumento del nivel del espejo de agua en la parte donde se sedimentan los sólidos. El exceso de lodo sedimentado puede disminuir la capacidad operativa del sistema y comprometer la eficacia del tratamiento biológico.
- En situaciones en las cuales el efluente del biotanco séptico integrado se dirige hacia un sistema de infiltración, es esencial considerar cuidadosamente la posibilidad de saturación de estos sistemas receptores. A medida que el efluente es liberado en el sistema de infiltración, puede ocurrir una acumulación gradual de sólidos y componentes disueltos en el suelo circundante debido a la saturación del suelo. Esta acumulación puede eventualmente dar lugar a la obstrucción de los poros del suelo y a una disminución en la capacidad de absorción y filtración, lo que hace que los efluentes no se puedan infiltrar y afloren a la superficie.

BIBLIOGRAFÍA

- ACUATECNICA S.A.S. (15 de Mayo de 2018). ACUATECNICA S.A.S. Obtenido de ACUATECNICA S.A.S.: <https://acuatecnica.com/tratamiento-primario-aguas-residuales/#:~:text=Los%20tratamientos%20primarios%20de%20aguas,%2C%20coagulaci%C3%B3n%20%E2%80%93%20floculaci%C3%B3n%20y%20filtraci%C3%B3n.>
- Amador - Díaz, A., Veliz - Lorenzo, E., & Bataller - Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, vol. 46, 1-10.
- Axelsson, G., Bjornsson, G., & Montalvo, F. (2005). *Quantitative Interpretation of Tracer Test Data*. Antalya, Turkey: Proceedings World Geothermal Congress.
- Belzona Inc. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Miami: Belzona International Limited.
- Botero Jaramillo, J. (2005). *Estudios de inyección instantánea de trazadores en ríos de montaña*. Bogotá, D.C.: Universidad de Los Andes.
- Brandán Gordillo, O. R. (2015). *Garantía de funcionamiento de estaciones de tratamiento terciario de aguas residuales para usos recreativos*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de caminos, canales y puertos.
- Cabrera Montero, A. C., & Cabrera Montero, J. M. (2019). *Filtros Biológicos Percoladores (FBP)*. Armenia: Universidad del Quindío.
- Camacho Fidalgo, A. L. (2012). *Evaluación de la operación y propuestas de mejora del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente del beneficio San Diego de VOLCAFE S.A.* Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Ambiental.

- Caro Estrada, R. (2014). *Estudio de aplicación de Biorreactores de Membrana (MBR) en la depuración de las aguas residuales*. Cádiz: Universidad de Cádiz.
- Castillo Domínguez, F. K., & Díaz Maridueña, H. E. (2022). *Diseño de una planta de tratamientos de aguas residuales y validarlo mediante un software de simulación y optimización para la parroquia Crucita, Portoviejo-Manabí*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador.
- Collazos, C. J. (2008). *Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia: Facultad de Ingeniería.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lagunas de Estabilización*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- CONGRESO DE LOS DIPUTADOS. (1995). *Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas*. Madrid: Boletín Oficial del Estado.
- Cossio, F. Y. (1982). *Manual de Métodos Experimentales. Evaluación de Lagunas de Estabilización*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Cruz-Salomón, A., Ríos-Valdovinos, E., Pola-Albores, F., Lagunas-Rivera, S., Meza-Gordillo, R., & Ruíz-Valdiviezo, V. (2018). Evaluation of Hydraulic Retention Time on Treatment of Coffee Processing Wastewater (CPWW) in EGSB Bioreactor. *Sustainability*, 10-83.
- Deleón Castro, M. O., Hernández Martínez, M., & Rodrigo Rivas, J. (2016). *Interpretación cuantitativa de prueba de trazadores en un campo*

geotérmico de alta entalpía en México. San Salvador: Universidad de El Salvador.

Díaz Cuenca, E., Alavarado Granados, A. R., & Camacho Calzada, K. E. (2012). *El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México*. Toluca, México: Quivera. Revista de Estudios Territoriales.

Díaz, J. A., & Pantoja, J. G. (2011). *Ingeniería Ambiental*. México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.

Ejhed, H., Fang, J., Hansen, K., Graae, L., Rahmberg, M., Magnér, J., . . . Plaza, G. (2017). *The effect of hydraulic retention time in onsite wastewater treatment and removal of pharmaceuticals, hormones and phenolic utility substances*. Estocolmo, Suecia: The Science of the total environment.

Fernández Alba, A. R., Letón García, P., Rosal García, R., Dorado Valiño, M., Villar Fernández, S., & Sanz García, J. M. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid: Universidad de Alcalá del Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME).

Fernández Sanz, A. (2019). *Diseño de un MBR para el tratamiento de aguas residuales urbanas en una población de 11,500 habitantes/equivalentes*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Frankel, T. (26 de Abril de 2022). *SMARTS IDEAS FOR WATER(SSI)*. Obtenido de SMARTS IDEAS FOR WATER(SSI): <https://www.ssaeration.com/es/how-to-optimize-hydraulic-retention-time/#gref>

- Gulhane, M., & Kotangale, A. (2014). Hybrid Moving Bed Bio Film Reactor. *In Proceedings of the 3rd IRF International Conference* (págs. 101-106). India: Goa.
- Hachih, E. M., Di Bari, M., Paula, G. C., Lamparelli, C. C., Ramos, S. S., & Z. Sato, M. I. (2012). Comparison of thermotolerant coliforms and *Escherichia coli* densities in freshwater bodies. *Brazilian Journal of Microbiology*, 681.
- Kawan, J. A., Suja, F., Pramanik, S. K., Yusof, A., Rahman, R. A., & Hasan, H. A. (2022). Effect of Hydraulic Retention Time on the Performance of a Compact Moving Bed Biofilm Reactor for Effluent Polishing of Treated Sewage. *Water*, 14,81.
- Lorenzo, Y., & Obaya, M. (2006). La digstión anaerobia y los reactores UASB . Generalidades. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar.*, 13-21.
- Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. XL, núm. 2*, 10-17.
- Mara. (1976). *Aguas Residuales y Tratamiento de Efluentes Cloacales Tratamiento de efluentes, caracterización, generalidades, definición y origen.*
- Masten, S. J., & Davis, M. L. (2020). *Principles of Environmental Engineering and Science*. New York: McGraw Hill Education.
- Metcalf, & Eddy. (2004). *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. USA: McGraw Hill.
- Moeller, G., & Ortiz, A. C. (2004). *Microbiología de lodos activados: Memorias curso internacional de sistemas integrados de tratamiento de aguas residuales y su reúso para un medio ambiente sustentable*. Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología Del Agua (IMTA).

- Muñoz Paredes, J. F., & Ramos Ramos, M. (2014). Reactores discontinuos secuenciales: Una tecnología versátil en el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 49-66.
- NetSol Water. (12 de Agosto de 2022). *NetSol Water*. Obtenido de NetSol Water: <https://www.netsolwater.com/what-is-hydraulic-retention-time.php?blog=1392>
- Noguera Roldán, M. A., & Pacheco Bueno, N. F. (2014). *Creación a nivel de laboratorio de un reactor de lecho fijo experimental de flujo ascendente para la determinación de los parámetros fundamentales de diseño a escala real*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Pandey, A., Mohan, S., Chang, J.-S., Hallenbeck, P., & Larroche, C. (2019). *Biomass, Biofuels, Biochemicals: Biohydrogen*. Ámsterdam: Elsevier Science.
- Pérez Carrión, J. (1992). Análisis de flujos y factores que determinan los periodos de retención. *CEPIS/OPS, Manual de evaluación. Tomo II, Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*, 37-92.
- Pérez López, G. O., & Patiño Sánchez, J. (2006). *Metodología para el diseño y evaluación de pruebas de trazadores entre pozos como herramienta complementaria en la caracterización de yacimientos: Estado del arte*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de ingeniería físico-químicas.
- Pineda Rodríguez, C. A. (2011). *Aprovechamiento de los residuos generados en las trampas de grasas provenientes de los establecimientos comerciales en el municipio de Pereira*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Radiometer Analytical SAS. (2004). *Conductivity Theory and Practice*.
- Raigosa Piragauta, R. A. (2007). *Diagnóstico y optimización del sistema operativo y de mantenimiento del reactor discontinuo secuencial (SBR)*

de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de La Calera. Bogotá: Universidad de La Salle.

Rojas Vargas, A., & García Pérez, A. (2010). ANÁLISIS DE LA CURVA DE DISTRIBUCIÓN DEL TIEMPO DE RESIDENCIA EN UN SISTEMA DE LIXIVIACIÓN. *Tecnología Química*, XXX(1), 61-68.

Romero Rojas, J. A. (2013). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño.* Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Santos, C., Matos, C., & Silva Alfonso, A. (2017). *Health Issues and Security of Water Saving Systems.* Porto: In *Frontiers in Civil Engineering: Water Savings in Building*; Ghisi, E., Ed.; Bentham Science Publishers: Sharjah.

Stephenson, T., Judd, S., Jefferson, B., & Brindle, K. (2007). *Membrane Bioreactors for wastewater treatment.* Londres: IWA Publishing.

Tello Hinojosa, E., Pal Verma, M., Suárez Arriaga, M., Barrera González, V., & Sandoval Medina, F. (2005). *GEOTERMIA.* Mexico: REVISTA MEXICANA DE GEOENERGÍA.

Tyagi, V., & Aboudi, K. (2021). *Clean Energy and Resources Recovery: Biomass Waste Based Biorefineries, Volume 1.* Ámsterdam: Elsevier Science.

Valencia G., E., Silva G., I. J., & Narváz R., C. P. (2010). Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. *Universidad Surcolombiana, Facultad de Ingeniería*, 66-72.

Vásquez R, E. D. (2015). *Estudio de biorreactor de membrana para el tratamiento de aguas residuales urbanas.* Alicante: Universidad de Alicante.

Vázquez, F. (2016). Lagunas de Estabilización. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica - Claves para el desarrollo*, 148-163.

Villafuerte Macas, A. M. (2023). *Estudio del tratamiento complementario en sistemas plásticos compactos para el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Wei Shi, K., Wen Wang, C., & Jiang, S. C. (2018). Quantitative microbial risk assessment of Greywater on-site reuse. *Science of The Total Environment*, 1507-1519.

Yusof, A., Suja, F., Rakmi, A., & Sarifah, Y. (2017). *Optimization of operation conditions for the start-up of a pilot-scale anaerobic biofilm digester treating leachate*. Bangi, Selangor: DESALINATION AND WATER TREATMENT.

ANEXO

Figura 24 Hoja Técnica del Biotanque Séptico Integrado.

El Biotanque Séptico reduce el grado de contaminación.
Al contar con una cámara de sedimentación y/o digestión anaerobia facilita la degradación de la materia orgánica. Los lodos sedimentan en el interior del Biotanque y las aguas de rebose semitratadas pasan a un campo de infiltración donde son absorbidas por el suelo en estado natural. El nivel freático debe estar como mínimo a 80cm debajo del nivel de la rasante y debe instalarse en suelos permeables.

El Biotanque Séptico es un sistema adaptable para mayor capacidad.
Puede utilizarse un sólo tanque ocupando una pequeña área o de manera modular, para aumentar la capacidad del sistema.

Otras ventajas:

- + Ocupa una pequeña área
- + Totalmente hermético, no permite exfiltraciones

Unión desagüe 110mm
Bridas para tanque séptico 110mm
Caja domiciliaria 39x43x40mm
Caucho 110mm caja domiciliaria
Tubería desagüe E/C 110mm
Tubería PVC drenaje Novafort 110mm*
*Para Biotanque de:
2000l usar 30m de tubería
1200l usar 15m de tubería
Rajilla desagüe 110mm
Porno - fuerza 1/2" x 1/2" séptico
Pulidínase 125cc
Kalpega 125cc

3m
Codo de desagüe C/C 160° a 90°
Usar 110mm de tubería PVC drenaje Novafort 110mm
Para ventilación:
Tee red desagüe 110 - 50mm
Tubería ventilación 50mm x 2 codos de desagüe 50x90°

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Tanque de 1200l

Indicador de rendimiento	Capacidad por permeabilidad				Tiempo de respuesta (días)
	SUELO ARENA LIMPIA		PERMEABILIDAD (cm/segunda)		
90	100	100	200	200	1.0
4	18.29	18.29	44.73	44.73	4.0
8	37.52	37.52	89.46	89.46	7.5
16	75.04	75.04	178.92	178.92	15.0

Tanque de 2000l

Indicador de rendimiento	Capacidad por permeabilidad				Tiempo de respuesta (días)
	SUELO ARENA LIMPIA		PERMEABILIDAD (cm/segunda)		
90	100	100	200	200	1.0
4	18.00	18.00	45.00	45.00	4.0
8	36.00	36.00	90.00	90.00	8.0
16	72.00	72.00	180.00	180.00	16.0

Tanque de 4000l

Indicador de rendimiento	Capacidad por permeabilidad				Tiempo de respuesta (días)
	SUELO ARENA LIMPIA		PERMEABILIDAD (cm/segunda)		
90	100	100	200	200	1.0
4	107.14	107.14	214.28	214.28	4.0
8	214.28	214.28	428.57	428.57	8.0
16	428.57	428.57	857.14	857.14	16.0

PERMEABILIDAD DEL SUELO

Permeabilidad (cm/segunda)	Tipo de suelo
700	Grava
80	Areña
5	Areña gruesa
0.02	Limo
0.0001	Arcilla

Diagramas de instalación:

- Sección transversal de un tanque individual.
- Sección transversal de un tanque modular.
- Sección transversal de un tanque con campo de infiltración.

Capacidad nominal

Dimensión	1200l	2000l	4000l
Ancho	180mm	1546mm	1300mm
Largo	1344mm	1976mm	1970mm
Alto	120mm	1424mm	1780mm
Código	925497	925498	992008
Diámetro (Tapaj)	550mm	550mm	550mm

IMPORTANTE: Consultar al Departamento Técnico de Plastigama, cuando las condiciones de nivel freático y suelo son diferentes a las indicadas en esta Hoja Técnica.
*Datos referenciales. Se debe analizar cada proyecto en función de la permeabilidad propia del suelo.
*Se recomienda que una vez sea instalado el sistema, se realice una prueba de estanqueidad del mismo de manera que se verifique la correcta instalación

Fuente: Distribuidor del biotanque séptico integrado, 2020

Figura 25 Multiparámetro con sonda de conductividad.



Fuente: Autor

Figura 26 Ubicación del BSI en la Piladora de Cesa.



Fuente: Autor

Figura 27 Rebosamiento del agua residual al filtro biológico ocasionando que se salgan los biofiltros.



Fuente: Autor

Figura 28 Caja de registro previo al afluente del BSI – Piladora de Cesa donde se introduce el trazador disuelto completamente en agua por dosificación instantánea.



Fuente: Autor

Figura 29 Disolución del cloruro de sodio en el tanque con agua.



Fuente: Autor

Figura 30 Mezclado del trazador hasta que quede completamente disuelto.



Fuente: Autor

Figura 31 Toma de muestra en el efluente del BSI - Piladora de Cesa.



Fuente: Autor

Figura 32 Análisis de la muestra con el multiparámetro en el BSI – Piladora de Cesa.



Fuente: Autor

Figura 33 Resultados obtenidos en el multiparámetro.



Fuente: Autor

Figura 34 Ubicación del BSI en el CDI San Francisco de Cajas.



Fuente: Autor

Figura 35 Vista en planta del BSI - CDI San Francisco de Cajas.



Fuente: Autor

Figura 36 Punto previo al afluente del BSI - CDI San Francisco de Cajas.



Fuente: Autor

Figura 37 Punto donde se toma muestra para el BSI - CDI San Francisco de Cajas.



Fuente: Autor

Figura 38 Análisis de la muestra con el multiparámetro en el BSI – CDI San Francisco de Cajas.



Fuente: Autor



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Cedeño Benavides, Juan Pablo** con C.C: # 1313241372 y **Lascano Zambrano, Miguel Alejandro**, con C.C: # 0950623157 autores del trabajo de titulación: **Determinación del tiempo de retención hidráulica en sistemas plásticos compactos utilizados para el tratamiento de aguas residuales domésticas**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizamos a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 12 de septiembre de 2023

f. _____

Nombre: **Cedeño Benavides, Juan Pablo**

C.C: **1313241372**

f. _____

Nombre: **Lascano Zambrano, Miguel Alejandro**

C.C: **0950623157**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN		
TEMA Y SUBTEMA:	Determinación del tiempo de retención hidráulica en sistemas plásticos compactos utilizados para el tratamiento de aguas residuales domésticas.	
AUTOR(ES)	Cedeño Benavides, Juan Pablo Lascano Zambrano, Miguel Alejandro	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Glas Cevallos Clara Catalina, M. Sc.	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería	
CARRERA:	Ingeniería Civil	
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	12 de septiembre de 2023	No. DE PÁGINAS: 101
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería, Tratamiento de Aguas Residuales, Sistemas Plásticos Compactos.	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Tiempo de retención hidráulica, sistemas plásticos compactos, trazador, curva de concentración, aguas residuales, TRH teórico.	
RESUMEN:	El presente trabajo de titulación determina el tiempo de retención hidráulica en sistemas plásticos compactos para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Se realizó este estudio en dos sistemas plásticos compactos anaerobios instalados en Región Sierra y Costa, este trabajo lo realizamos mediante la prueba de trazador, utilizamos el cloruro de sodio para disolverlo completamente en agua, luego de esto aplicamos todo el trazador por dosificación instantánea en el afluente del biotanco, las muestras se tomaron en el efluente de dichos sistemas. Previo a determinar el TRH experimental, calculamos el TRH teórico mediante la información recopilada en una visita previa. Obtenidos los resultados mediante el multiparámetro se procedió a realizar la curva de concentración del trazador para cada muestra, los valores del TRH experimental son muy bajos para el valor calculado del TRH teórico. Se demuestra que la falta de mantenimiento de los sistemas plásticos compactos puede afectar a los sistemas.	
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-98 243 1533 +593-98 052 2445	E-mail: juanpicebe_15@outlook.com miguel.lascano21@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Glas Cevallos, Clara Catalina	
	Teléfono: +593-98 461 6792	
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		