



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**

**NATURALES**

**CARRERA DE AMBIENTE**

## **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES DQO DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMPUS SALACHE, COMO INSUMO FUNDAMENTAL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieras Ambientales

**Autores:**

Changoluisa Tandalla Jenny Alexandra  
Oña Chuquimarca Ambar Pamela

**Tutor:**

Ágreda Oña José Luis

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Febrero 2024**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Changoluisa Tandalla Jenny Alexandra, con cédula de ciudadanía No. 0503904153 y Oña Chuquimarca Ambar Pamela con cédula de ciudadanía No. 1750991877, declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación: **“DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES DQO DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMPUS SALACHE, COMO INSUMO FUNDAMENTAL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO”**, siendo el Ingeniero Mg. José Luis Ágreda Oña, Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 19 de febrero del 2024

Jenny Alexandra Changoluisa Tandalla  
C.C: 0503904153  
**ESTUDIANTE**

Ambar Pamela Oña Chuquimarca  
C.C: 1750991877  
**ESTUDIANTE**

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CHANGOLUISA TANDALLA JENNY ALEXANDRA**, identificada con cédula de ciudadanía 0503904153 de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** – **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES DQO DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMPUS SALACHE, COMO INSUMO FUNDAMENTAL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Mayo 2020 – Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Octubre 2023 – Marzo 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 28 de noviembre del 2023

Tutor: Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.

Tema: “**DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES DQO DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMPUS SALACHE, COMO INSUMO FUNDAMENTAL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**”

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.** - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 19 días del mes de febrero del 2024.

  
Jenny Alexandra Changoluisa Tandalla  
**LA CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.  
**LA CESIONARIA**

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **OÑA CHUQUIMARCA AMBAR PAMELA**, identificada con cédula de ciudadanía **1750991877** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES DQO DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMPUS SALACHE, COMO INSUMO FUNDAMENTAL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Mayo 2020 – Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Octubre 2023 – Marzo 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 28 de noviembre del 2023

Tutor: Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.

Tema: **“DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES DQO DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMPUS SALACHE, COMO INSUMO FUNDAMENTAL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO”**

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 19 días del mes de febrero del 2024.



Ambar Pamela Oña Chuquimarca

**LA CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

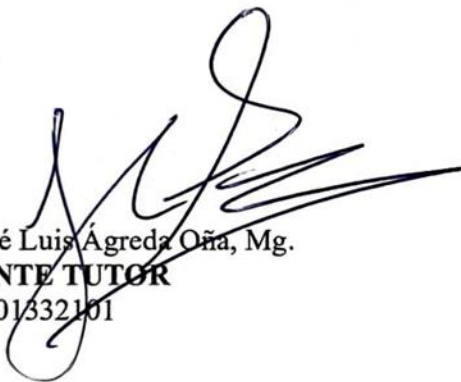
**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

**“DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES DQO DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMPUS SALACHE, COMO INSUMO FUNDAMENTAL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO”**, de Changoluisa Tandalla Jenny Alexandra y Oña Chuquimarca Ambar Pamela, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 19 de febrero del 2024



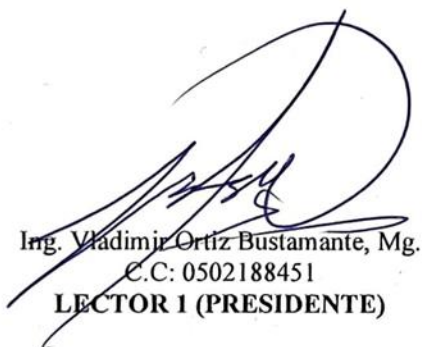
Ing. José Luis Ágrede Oña, Mg.  
**DOCENTE TUTOR**  
CC: 0401332101

## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, las postulantes: Changoluisa Tandalla Jenny Alexandra y Oña Chuquimarca Ambar Pamela, con el título de Proyecto de Investigación: **“DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES DQO DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMPUS SALACHE, COMO INSUMO FUNDAMENTAL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

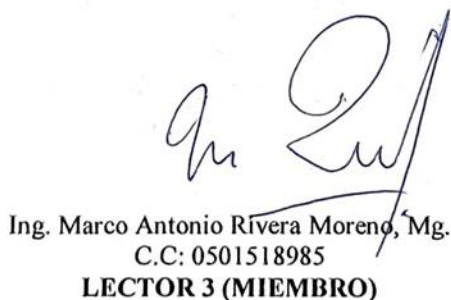
Latacunga, 19 de febrero del 2024



Ing. Vladimir Ortiz Bustamante, Mg.  
C.C: 0502188451  
**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**



Ing. José Andrade Valencia, PhD.  
C.C: 0502524481  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.  
C.C: 0501518985  
**LECTOR 3 (MIEMBRO)**



## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a cada uno de ustedes por su invaluable contribución y apoyo durante el desarrollo de este proyecto. Edison Changoluisa y Santiago Changoluisa su fe en mis habilidades han sido una esperanza en los momentos de duda. Ing. Isabel Lema, su experiencia han sido un apoyo de orientación en mi formación como profesional. Su consejo experto y su dedicación incansable han sido fundamentales para orientar mis esfuerzos hacia el éxito. Ing. Alexandra Tapia, su profundo conocimiento y compromiso con la excelencia han sido una inspiración para mí y agradecer por su paciencia y compromiso en ayudarme. A cada uno de ustedes, les debo un enorme agradecimiento por su generosidad, paciencia, apoyo constante. Este logro no habría sido posible sin su contribución. Me siento profundamente agradecido por haber tenido el privilegio de tenerlos en mi vida.*

***Jenny Alexandra Changoluisa Tandalla***

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero dedicar unas palabras de profundo agradecimiento a mis padres, Jorge y Narcisa. A pesar de los desafíos que enfrentamos, su constante apoyo y amor incondicional han sido mi roca. Cada palabra de aliento y cada consejo han sido mi mayor motivación en este camino hacia la culminación de mi tesis.*

*A mis hermanos, Chris, Andre y Oli, les debo un agradecimiento especial. Siempre estuvieron ahí, brindándome su apoyo incondicional. Fueron su cariño, comprensión y ánimo los que me dieron fuerzas para superar cada obstáculo en este viaje académico. Su respaldo ha sido fundamental para alcanzar este importante logro en mi vida.*

*Y a mi tutor de tesis, Jose Luis Agreda y a la ingeniera Alexandra Tapia, quiero expresar mi más sincero agradecimiento. Su dedicación, orientación experta y paciencia infinita fueron esenciales en el desarrollo de este proyecto. Sus sabios consejos y su constante apoyo fueron la brújula que guio mi crecimiento académico y profesional.*

*Este logro no habría sido posible sin la ayuda y el respaldo de cada uno de ustedes. Desde lo más profundo de mi corazón, ¡gracias!*

***Ambar Pamela Oña Chuquimarca***

## **DEDICATORIA**

*Dedico el presente trabajo que representa mi esfuerzo, gracias por ser mi roca en los momentos difíciles, por celebrar mis triunfos como si fueran tuyos y por ser el mejor ejemplo de perseverancia y determinación. Dedico esta tesis a ti, Santiago, mi hermano, mi amigo, mi confidente un pequeño tributo a la grandeza de nuestro vínculo y al impacto profundo que has tenido en mi vida.*

***Jenny Alexandra Changoluisa Tandalla***

## **DEDICATORIA**

*A mis queridas abuelitas, Maruchita y Michita, que a través de sus experiencias guiaron mi vida, dándome su amor y sabiduría. Su partida dejó un hueco grande en mi corazón, pero siguen vivas en cada paso que doy. Como dice Katy Perry, “creer en algo grande nos lleva a grandes logros”, y ustedes siempre creyeron en mí y en mis sueños. Esta tesis es un homenaje a ustedes y al impacto que tuvieron en mí. Aunque ya no estén aquí, su amor sigue siendo mi mayor motivación. Gracias por todo lo que me enseñaron y por el apoyo incondicional. Siempre estarán en mi corazón y en cada meta que logre. Se les extraña mucho.*

***Ambar Pamela Oña Chuquimarca***

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO: “DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES DQO DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMPUS SALACHE, COMO INSUMO FUNDAMENTAL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO”.**

**Autoras:**

Changoluisa Tandalla Jenny Alexandra  
Oña Chuquimarca Ambar Pamela

**RESUMEN**

La caracterización de las aguas residuales es esencial para determinar la naturaleza y la concentración de los contaminantes presentes, en cuanto a la determinación de las fracciones de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) es crucial para entender la biodegradabilidad de la materia orgánica en el agua residual. La presente investigación tiene como objetivo evaluar las fracciones de DQO presentes en el agua residual del campus Salache, con el propósito de proporcionar información crucial para mejorar la eficiencia operativa de la planta de tratamiento. Se aplicó el protocolo de STOWA para la evaluación de las fracciones de DQO, siguiendo los principios fundamentales del protocolo para la medición de las fracciones, incluyendo los métodos de muestreo, preparación de muestras y análisis. Se caracterizó el agua residual del campus a través de la recolección y análisis de muestras de agua residual para determinar las concentraciones de DQO y DBO (14 días) presentes. Se utilizaron técnicas de observación directa y análisis estadístico para complementar los datos cuantitativos obtenidos a través del protocolo STOWA. Los resultados revelaron que el agua residual del campus Salache contiene en promedio a la semana 185 mg/L de DQO, cabe indicar que se descartaron los datos atípicos siendo estos los del día miércoles, por aumento de descargas sanitarias producidas por un evento externo del campus. Con respecto a la DQO total mostro que mantiene 54% de DQO biodegradable y 36% de DQO no biodegradable, indicando que existe mayor cantidad de fracciones biodegradables liderando la de lenta biodegradabilidad con una media de 92 mg/L, lo que tiene implicaciones importantes para el tratamiento de aguas residuales. Se sugiere la necesidad de optimizar los procesos de tratamiento para manejar eficientemente esta fracción, como el aumentar el tiempo de retención hidráulica, optimizar los procesos biológicos, implementar procesos de pretratamiento y considerar tratamientos terciarios o avanzados.

**Palabras clave:** Demanda Química de Oxígeno, agua residual, protocolo STOWA, ASM1, tratamiento de aguas residuales, biocinética.

**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY**  
**AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES FACULTY**

**TOPIC:** "WASTEWATER DQO FRACTIONS DETERMINATION FROM SALACHE CAMPUS, AS A FUNDAMENTAL RAW MATERIAL FOR THE TREATMENT PLANT FUNCTIONING ".

**Authors:**

Changoluisa Tandalla Jenny Alexandra  
Oña Chuquimarca Ambar Pamela

**ABSTRACT**

The wastewater characterization is essential for determining the present contaminants nature and concentration, as regards the Chemical Oxygen Demand (DQO) fractions determination is crucial to understand the organic matter biodegradability in wastewater. The current research has as aim to assess the DQO fractions present in the wastewater from Salache campus, with the purpose by providing crucial information to improve the treatment plant operational efficiency. It was applied the STOWA protocol for the DQO fractions assessment, following the fundamental principles from protocol for measuring the fractions, by including sampling methods, preparation samples and analysis. It was characterized Campus wastewater, through the wastewater samples collection and analysis to determine the DQO and DBO concentrations (14 days) present. It was used direct observation techniques and statistical analysis to complement the got quantitative data, through the STOWA protocol. The results revealed, which the wastewater from Salache campus contains an average DQO 185 mg/L the week. It should be noted, what was discarded the atypical data, these being those from Wednesday, for sanitary discharges increase produced by an external event from campus. Regarding the DQO total, it showed, what maintains biodegradable DQO 54% and 36% DQO non-biodegradable, indicating, which there is a biodegradable fractions greater amount, leading that of slow biodegradability with an average 92 mg/L, what has important implications for wastewater treatment. It is suggested the need by optimizing treatment processes to efficiently manage this fraction, such as increasing hydraulic retention time, by optimizing biological processes, implementing pretreatment processes and considering tertiary or advanced treatments.

**Keywords:** Chemical oxygen demand, wastewater, STOWA protocol, ASM1, organic load, biokinetics.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vii
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	viii
AGRADECIMIENTO .....	ix
DEDICATORIA.....	xi
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xviii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xviii
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	20
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	21
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	23
4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	23
5. OBJETIVOS.....	24
5.1. General.....	24
5.2. Específicos .....	24
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS .....	25
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....	28
7.1. Antecedentes .....	28
7.2. Importancia del Agua.....	28
7.3. Agua residual .....	29
7.4. Agua residual domestica .....	30
7.5. Materia Orgánica .....	30
7.6. Protocolo de STOWA .....	31
7.7. Demanda Química de Oxígeno.....	31
7.8. Fracciones de la Demanda Química de Oxígeno.....	31
7.9. Conceptos de las fracciones de la Demanda Química de Oxígeno.....	32

7.9.1.	Fracción rápidamente biodegradable $S_s$ .....	32
7.9.2.	Fracción lentamente biodegradable $X_s$ .....	33
7.9.3.	Fracción soluble inerte $S_i$ .....	33
7.9.4.	Fracción particulada inerte $X_i$ .....	33
7.9.5.	Biomasa heterótrofa $X_{BH}$ .....	33
7.9.6.	Biomasa autotrófica $X_{BA}$ .....	33
7.10.	Oxígeno disuelto .....	34
7.11.	Alcalinidad .....	34
7.12.	DBO .....	34
7.13.	Biocinética.....	34
7.14.	ASM1 .....	35
7.15.	Los componentes del modelo ASM1 .....	35
7.16.	Procesos de transformación del modelo ASM1 .....	36
7.16.1.	Crecimiento aerobio de los heterótrofos. ....	36
7.16.2.	Crecimiento anóxico de los heterótrofos. ....	37
7.16.3.	Crecimiento aerobio de los autótrofos. ....	37
7.16.4.	Decaimiento de los heterótrofos. ....	37
7.16.5.	Decaimiento de los autótrofos. ....	37
7.16.6.	Amonificación del nitrógeno orgánico soluble.....	38
7.16.7.	Hidrólisis de la materia orgánica. ....	38
7.16.8.	Hidrólisis del nitrógeno orgánico particulado. ....	38
7.17.	Muestreo.....	38
7.17.1.	Toma De Muestras .....	39
7.17.2.	Tipo De Muestra .....	39
7.17.3.	Manejo y conservación de las muestras de aguas residuales.....	40
8.	VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS.....	42
9.	METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	43
9.1.	Área de Estudio.....	43
9.2.	Enfoque.....	43
9.2.1.	Enfoque Cuantitativo.....	43
9.2.2.	Enfoque Cualitativo.....	44



9.3.	Técnicas .....	44
9.3.1.	Observación directa .....	44
9.3.2.	Análisis estadístico .....	44
9.4.	Métodos .....	44
9.4.1.	Toma de muestras .....	44
9.4.2.	Protocolo STOWA .....	45
9.4.3.	Medición de DQO .....	45
9.4.4.	Medición de DBO.....	46
9.4.5.	Ecuaciones para calcular las fracciones de DQO .....	47
10.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	48
10.1.	Origen de la carga orgánica de las aguas residuales .....	48
10.2.	DQO Total.....	50
10.3.	DQO Soluble .....	53
10.4.	DQO Particulada .....	55
10.4.	Fracción soluble inerte (Si) .....	57
10.5.	Fracción rápidamente biodegradable (Ss) .....	58
10.6.	Fracción lentamente biodegradable (Xs) y $DQO_B$ .....	59
10.7.	Fracción particulada inerte (Xi) .....	63
11.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).....	64
12.	PRESUPUESTO .....	65
13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	66
13.1.	Conclusiones .....	66
13.2.	Recomendaciones.....	67
14.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68
15.	ANEXOS.....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados .....	25
<b>Tabla 2</b>	Componentes del modelo ASM1 .....	36
<b>Tabla 3</b>	Número de aparatos sanitarios por infraestructura .....	49
<b>Tabla 4</b>	Unidades de desagüe por aparato sanitario .....	49
<b>Tabla 5</b>	Resultados de la $DQO_{TOTAL}$ .....	50

<b>Tabla 6</b> Valores referenciales para identificar atípicos.....	51
<b>Tabla 7</b> Comparación de medias obtenidas para los días de muestreo.....	52
<b>Tabla 8</b> Resultados de la $DQO_{SOLUBLE}$ .....	54
<b>Tabla 9</b> Comparación de medias de la $DQO_{SOLUBLE}$ obtenidas para los días de muestreo .....	54
<b>Tabla 10</b> Resultados de la $DQO_{PARTICULADA}$ .....	55
<b>Tabla 11</b> Comparativa general de la composición de la DQO .....	56
<b>Tabla 12</b> Resultados de la Fracción soluble inerte .....	57
<b>Tabla 13</b> Resultados de la Fracción rápidamente biodegradable.....	59
<b>Tabla 14</b> Resultados de la DBO a 2, 5, 8, 10 y 14 días .....	60
<b>Tabla 15</b> Resultados de la $DBO_{ÚLTIMA}$ .....	61
<b>Tabla 16</b> Resultado de la DQO biodegradable .....	62
<b>Tabla 17</b> Resultados de la Fracción lentamente biodegradable.....	62
<b>Tabla 18</b> Resultados de la Fracción particulada inerte .....	63
<b>Tabla 19</b> Vista general de los valores del Fraccionamiento de la DQO.....	64
<b>Tabla 20</b> Presupuesto para la elaboración del proyecto. ....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Clasificación de fracciones de la Demanda Química de Oxígeno en aguas residuales .....	32
<b>Figura 2</b> Área de Estudio.....	43
<b>Figura 3</b> Diagramas de caja y bigotes para resultados con y sin valores atípicos.....	51
<b>Figura 4</b> Comportamiento de la $DQO_{TOTAL}$ .....	52
<b>Figura 5</b> Comportamiento diurno de la $DQO_{TOTAL}$ .....	53
<b>Figura 6</b> Comportamiento diurno de la $DQO_{SOLUBLE}$ .....	55
<b>Figura 7</b> Comportamiento de las distintas DQO .....	56
<b>Figura 8</b> Comportamiento diurno de la $DQO_{PARTICULADA}$ .....	57
<b>Figura 9</b> Comportamiento de la Fracción soluble inerte .....	58
<b>Figura 10</b> Comportamiento de la Fracción rápidamente biodegradable .....	59
<b>Figura 11</b> Comportamiento de la DBO .....	60

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> $DQO_{TOTAL}$ .....	47
<b>Ecuación 2</b> DQO Soluble.....	47

<b>Ecuación 3</b> Fracción Soluble Inerte .....	47
<b>Ecuación 4</b> Fracción Rápidamente Biodegradable .....	47
<b>Ecuación 5</b> Fracción Lentamente Biodegradable .....	47
<b>Ecuación 6</b> Corrección de la curva de DBO .....	48
<b>Ecuación 7</b> DQO Biodegradable .....	48
<b>Ecuación 8</b> Fracción Particulada Inerte .....	48

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

### **Título del Proyecto:**

Determinación de las fracciones DQO del agua residual del campus Salache, como insumo fundamental para el funcionamiento de la planta de tratamiento.

### **Fecha de inicio:**

Octubre de 2023

### **Fecha de finalización:**

Marzo de 2024

### **Lugar de ejecución:**

Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.

### **Facultad que auspicia**

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN)

### **Carrera que auspicia:**

Carrera de Ingeniería Ambiental.

### **Equipo de Trabajo:**

Tutor: Ing. José Luis Ágreda Oña.

Estudiantes: Srta. Jenny Alexandra Changoluisa Tandalla y la Srta. Ambar Pamela Oña Chuquimarca.

Lector 1: Mg. Vladimir Ortiz Bustamante

Lector 2: PhD. José Antonio Andrade

Lector 3: Mg. Marco Antonio Rivera

### **Coordinador del Proyecto:**

Nombre/s: Jenny Alexandra Changoluisa Tandalla

Teléfonos: 0991167099

Correo electrónico: jenny.changoluisa4153@utc.edu.ec

Nombre/s: Ambar Pamela Oña Chuquimarca.

Teléfonos: 0981463753

Correo electrónico: ambar.ona1877@utc.edu.ec

**Área de Conocimiento:**

Ingeniería, industria y construcción, tecnología de protección del medio ambiente y Ciencias Ambientales.

**Línea de investigación:**

Protección Ambiental, Sostenibilidad, Reducir el impacto medioambiental.

**Línea de vinculación de la carrera:**

Gestión de Recursos Naturales, Biodiversidad, Para el Desarrollo Humano y Social.

## **2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

La descarga de aguas residuales sin ser tratados constituye un desafío ambiental de interés mundial. La gestión inadecuada del manejo de las aguas residuales domésticas, y su falta de reutilización, sin un tratamiento previo adecuado, no solo constituye un problema de contaminación de los recursos hídricos sino también de la pérdida de biodiversidad, incluyendo en el sector agrícola, esto se debe a la presencia de microorganismos en el agua que se usa para riego que afectan a los diferentes cultivos, estableciendo un riesgo para la salud pública y la alteración del bienestar de la población, el agua es un recurso invaluable y esencial para la vida, el tratamiento adecuado de las aguas residuales domésticas es crucial para proteger y garantizar su disponibilidad en los próximos años (Delanka-Pedige et al., 2021).

La gestión de tratamiento de aguas residuales es un problema de gravedad, especialmente en los países en vías de desarrollo, pues la mayoría necesitan de sistemas adecuados de tratamiento de agua, los desechos líquidos se descargan a los ríos sin ningún tipo de tratamiento, lo que acaba afectando tanto a la población que necesita de estas fuentes de agua para poder subsistir (Werkneh & Gebru, 2023). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 80% de las enfermedades están vinculadas con el agua, pues la falta de una provisión de instalaciones y servicios de saneamiento adecuado no sólo provoca enfermedades, sino que priva a las personas de la dignidad humana básica (Habibur & Rokeya, 2020).

Esta investigación permitirá obtener un conocimiento más profundo sobre la composición de las fracciones de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) del agua residual del campus Salache para una posterior implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), utilizando el método de caracterización sugerido por la Asociación Holandesa de Investigación Aplicada al Agua (STOWA). Según Borzooei et al., (2021), el tema del fraccionamiento de la DQO ha sido objeto de varios estudios en los últimos 30 años, se han propuesto algunos procedimientos para el fraccionamiento, que se basan principalmente en métodos fisicoquímicos o biológicos o en una combinación de ambos, el protocolo más utilizado, es el protocolo STOWA, en el proceso de lodos activados uno de los procesos biológicos más utilizados en los PTAR, es la implementación del modelo *Activated Sludge Model No.1* (ASM1), se requiere pasar por diferentes fases, dichas etapas es uno de los pasos principales, en la cual se basa en la identificación del agua residual en base a la determinación de las fracciones que conforman la DQO.

De esta manera, se espera que los resultados de esta investigación tengan una importancia para futuras investigaciones e impacto tanto académico como social, en el cual pueden beneficiar a estudiantes, personal del campus, autoridades locales, la comunidad universitaria, investigadores y profesionales del sector del tratamiento de aguas residuales. El impacto y relevancia de esta investigación se refleja en la protección del medio ambiente, la mejora de la calidad del uso eficiente del recurso hídrico, este estudio contribuye a la sostenibilidad ambiental, social y económica del campus Salache. Y, además, tiene una utilidad práctica significativa en el diseño e implementación de la planta de tratamiento, el control y monitoreo de la calidad del agua, la mejora de la eficiencia y la reducción de costos, así como el cumplimiento de regulaciones y estándares ambientales que están establecidas en el Acuerdo Ministerial 097-A tabla nueve en los valores máximos autorizados de descarga a un cuerpo de agua dulce de los parámetros de la DQO y DBO.

Por la mención anterior, se considera, en la presente investigación, se plantea una forma de evaluar la utilidad del modelo ASM1 en la investigación del agua residual, lo cual implica realizar varios pasos para evaluar las características del agua, incluyendo el análisis de parámetros como DQO y DBO para indicar cuanto material orgánico hay en las aguas residuales de Salache. El problema es que estos parámetros no indican la biodegradabilidad de los contaminantes en el agua, por lo que se tiene que separar la DQO en fracciones (Ubillús Farfán et al., 2022).

### **3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Los beneficiarios directos del proyecto de investigación son de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en lo cual se divide en beneficiario directo e indirecto clasificándose en: docentes, estudiantes, personal de mantenimiento o que viven en el campus de la facultad CAREN, la información sobre las fracciones de la DQO del agua residual del campus puede utilizarse para la materia de tratamiento de aguas residuales, y establecer políticas y regulaciones basada en el Acuerdo Ministerial 097-A donde nos mencionan que está prohibido verter residuos líquidos no tratados en un cuerpo de agua.

### **4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

El agua constituye más de dos tercios de la superficie de la Tierra. Sin embargo, una gran parte de ella es salada, no es potable y no es apta para el consumo, los recursos de agua dulce utilizables representan sólo el 2,7% del agua disponible en la Tierra, sólo el 1% del agua dulce se encuentra accesible en fuentes como lagos, ríos y aguas subterráneas (Dinka, 2018).

Dentro de los hallazgos más significativos descubiertos en el país se ha identificado que en 2016, el 70,1% de los habitantes cuenta con un acceso seguro del agua, lo que significa que cuentan con agua de calidad, accesible, suficiente y con instalaciones mejoradas. Según Molina et al., (2018), el 85,9% de la población cuentan con saneamiento básico, es decir, con instalaciones mejoradas y servicio higiénico de uso exclusivo del hogar. No se puede estimar el manejo seguro de saneamiento ya que no se cuenta con información sobre el tratamiento de las aguas residuales (Molina et al., 2018).

En cuanto a la estructura político-administrativa del Ecuador, el país se divide en provincias, cantones y parroquias, a nivel cantonal, los gobiernos cantonales son los encargados de la provisión de agua y saneamiento (Izurietta et al., 2019). De acuerdo con Delanka-Pedige et al., (2021), el tema de saneamiento en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) incluye no solo la necesidad de instalaciones mejoradas, sino que también se separe higiénicamente las excretas del contacto humano, sino que también se aplique un tratamiento seguro a las aguas residuales.

De acuerdo con Vargas et al. (2020), el tratamiento de aguas residuales domésticas es empleado con el objetivo de minimizar la contaminación en aguas superficiales y subterráneas. La falta de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales operativa conlleva a una problemática en el efluente, convirtiéndose en un asunto de importancia en el contexto de tratamiento de aguas esta práctica inadecuada afecta directamente el medio ambiente, dado que los efluentes

contienen una diversidad de contaminantes, como bacterias, contaminantes orgánicos, sólidos y sedimentables, que pueden afectar negativamente los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua. Además, estas descargas sin tratar representan un riesgo para las poblaciones aledañas incluyendo el Río Isinche ya que de este río dependen para el riego de los cultivos en toda su extensión.

Para implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado, es necesario considerar muchos factores, con este propósito se desarrolló el Modelo de Lodo Activado o *Active Sludge Model* (ASM), este modelo matemático establece la dinámica de los procesos biológicos de la degradación de materia orgánica, nitrificación y desnitrificación basándose en ecuaciones cinéticas y estequiométricas (Jacome & Suarez, 2017). La proporción de fracciones se puede determinar mediante varios métodos y con distinta precisión algunas de las fracciones no se pueden determinar directamente.

Aunque los procesos de oxidación bioquímica y química tienen un carácter separado, en varios casos, especialmente para un tipo determinado de aguas residuales, existe una correlación específica entre DQO y DBO5, lo que permite estimar inicialmente la biodegradabilidad de los contaminantes.

Por lo tanto, este problema afecta a la salud de las personas a la flora y fauna se debe buscar soluciones efectivas para garantizar el tratamiento adecuado de las aguas residuales antes de su vertido al efluente.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Evaluar las fracciones de Demanda Química de Oxígeno (DQO) presentes en el agua residual del campus Salache mediante la aplicación del protocolo de STOWA, con el propósito de proporcionar información crucial para mejorar la eficiencia operativa de la planta de tratamiento.

### **5.2. Específicos**

- Caracterizar el agua residual del campus a través de la recolección y análisis de muestras de agua residual para determinar las concentraciones de DQO presentes.
- Aplicar el protocolo de STOWA para la evaluación de las fracciones de DQO, siguiendo los principios fundamentales del protocolo para la medición de las fracciones de DQO, incluyendo los métodos de muestreo, preparación de muestras y análisis.



- Analizar las fracciones de DQO para medir la incidencia en la eficiencia operativa de la planta de tratamiento.

## 6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Se abordará la importancia y el análisis de las fracciones de DQO, este parámetro es crucial en el estudio y tratamiento de las aguas residuales, y es un indicador esencial para evaluar la carga orgánica ya que mide la cantidad total de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica presente en el agua. Las actividades relacionadas con estos objetivos incluirán la recolección y análisis de muestras, a través de estas actividades, se espera obtener una comprensión más profunda de la dinámica de la DQO en el agua residual y cómo esta información puede ser utilizada para optimizar los procesos de tratamiento mediante metodologías de la aplicación del protocolo STOWA, técnicas de laboratorio, y la interpretación de los resultados para evaluar y mejorar la eficiencia de la planta de tratamiento. Esto es de vital importancia para garantizar la sostenibilidad de nuestros recursos hídricos y la salud de la población.

**Tabla 1**

*Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados*

<b>Objetivos</b>	<b>Actividades</b>	<b>Metodología</b>	<b>Resultado</b>
O.1.- Caracterizar el agua residual del campus a través de la recolección y análisis de muestras de agua residual para determinar las concentraciones de DQO presentes.	Selección del punto de muestreo del Campus Salache. Toma de muestras para el análisis. Determinación de la cantidad de DQO en las muestras de agua residual.	La toma de varias muestras durante el día nos permite formar una muestra compuesta. Este método nos da una representación más precisa para el análisis de la DQO.	Valores de la concentración de DQO y DBO en las muestras de agua residual del campus.
O.2.- Aplicar el protocolo de STOWA para la evaluación de las fracciones de DQO,	Revisión bibliográfica del protocolo de STOWA, y las fracciones de DQO.	Aplicación de los procedimientos detallados en el protocolo de STOWA, para la	Valores de la concentración de las fracciones de DQO.

<p>siguiendo los principios fundamentales del protocolo para la medición de las fracciones de DQO, incluyendo los métodos de muestreo, preparación de muestras y análisis.</p>	<p>Seguimiento de las directrices y preparar las muestras para el análisis según las especificaciones del protocolo de STOWA. Las mediciones de DQO se realiza de acuerdo al método 5220D. Espectrofotometría VIS. Respecto al DBO la STOWA especifica los días de medición, para controlar, el método a usar corresponde al 5210D Respirimetrico.</p>	<p>evaluación de las fracciones de DQO en relación con los elementos presentes en las aguas residuales del campus Salache.</p>	
<p>O.3.- Analizar las fracciones de DQO para medir la incidencia en la eficiencia operativa de la planta de tratamiento.</p>	<p>Se usa diversos instrumentos de laboratorio y reactivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gradilla</li> <li>• HI 839800 Termo reactor de DQO</li> <li>• Espectrofotómetro Nano color VIS.</li> <li>• Viales COD LR Reagent HI93754A-0</li> </ul> <p>Para el procesamiento de datos se usa el software Excel.</p>	<p>Se preparan los viales (inclinación de 45°), agregando 2 ml de la muestra y de agua destilada en el caso del blanco. Se los coloca por 2h en el termo reactor (calentado previamente), para posteriormente dejarlos enfriar en la gradilla por 30min aprox y realizar las lecturas en el espectrofotómetro.</p>	<p>Interpretación de las fracciones DQO en función de su influencia en la eficiencia operativa de la planta.</p>

---

Los datos obtenidos se organizan en un Excel para el cálculo de las fracciones a través de las siguientes expresiones:

$$\mathbf{DQO_{TOTAL} =}$$

$$\mathbf{S_s + S_i + X_s + X_i}$$

$$\mathbf{DQO_s = S_s + S_i}$$

$$\mathbf{S_i = DQO_{s\text{ AFLUENTE}}}$$

$$\mathbf{S_s = DQO_{s\text{ EFLUENTE}} -}$$

$$\mathbf{S_i}$$

$$\mathbf{DQO_B = S_s + X_s}$$

$$\mathbf{X_i = DQO_{TOTAL} - (S_s +}$$

$$\mathbf{S_i + X_s)}$$

---

## **7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA**

### **7.1. Antecedentes**

El desarrollo de la población, la industrialización, las prácticas agrícolas y la urbanización aumentan la demanda de agua. Por lo tanto, la cantidad de aguas residuales generadas está teniendo un impacto negativo al ambiente (Salazar Arias et al., 2020). Las descargas sin tratamiento proveniente de fuentes domésticas, industriales y agrícolas representan los principales contribuyentes a la contaminación en los ríos del Ecuador (Salazar Arias et al., 2020).

El Ecuador, país sudamericano atravesado por la línea ecuatorial, tiene un área territorial de 257.217 km<sup>2</sup> (COIDMAEC, 2023). El 96,8% de su extensión corresponde al territorio continental y el porcentaje restante corresponde al archipiélago de Galápagos, situado a 900 km de la costa pacífica. La división administrativa del país cuenta con 24 provincias y 221 cantones. Su población es de 16.778.994 habitantes, 63,5% urbana y 46,5% rural. (Izurieta et al., 2019) Ecuador enfrenta desafíos significativos en el tratamiento de aguas residuales, solo unas pocas ciudades cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales. Entre ellas, se pueden citar: Jipijapa, Shushufindi, Portoviejo y Cuenca, las que cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales, siendo Cuenca con una alta población en comparación con las demás (Barbecho & Bosquez, 2008). En el país hay un total de 215 municipios, donde solo el 62% tiene la capacidad de tratar sus aguas residuales, el resto de municipios no realiza ningún tipo de tratamiento. La distribución regional de las plantas de tratamiento, la mayoría se ubica en la sierra con un 50% del total nacional. La región costera alberga el 31% de las plantas, mientras que la región amazónica cuenta con el 18,5%. Por último, la región insular solo posee el 0,5% de las plantas de tratamiento del país (Terán et al., 2016).

### **7.2. Importancia del Agua**

El agua es un recurso vital para la vida y el bienestar de todos los seres vivos, la importancia del agua se incrementa debido a su rol en la salud y el sustento de la población. Sin embargo, la contaminación de los ríos es una amenaza directa hacia los ecosistemas acuáticos, que son esenciales para la biodiversidad, la contaminación del agua puede tener efectos devastadores, lo que a su vez puede afectar la calidad de vida de las personas (Súñiga Almache et al., 2022). Según Izurieta et al. (2019), menciona que la contaminación de las aguas superficiales ocurre en todo el país y está relacionada con las fuentes urbanas y agrícolas. Ecuador posee una amplia

red hídrica con ríos de gran importancia como el Guayas y Esmeraldas en la vertiente Pacífica, y el Napo y Pastaza en la vertiente Amazónica. Las fuentes de contaminación a nivel nacional son principalmente los asentamientos humanos y las aguas residuales sin tratamiento que aquéllos arrojan a los ríos.

Citando a Quiroz et al. (2017), sostiene que, desde tiempos ancestrales, los ríos han sido una fuente de prosperidad, el agua es esencial para la supervivencia y el crecimiento desarrollo de las poblaciones humanas, favoreciendo la fertilidad a los suelos para la producción y obtención de alimentos. Sin embargo, el agua de los ríos está disminuyendo su calidad debido principalmente a su uso como depósito de aguas residuales por la población, estas aguas residuales provienen de diversas fuentes, incluyendo las áreas industriales, las actividades agrícolas y ganaderas, y las escorrentías, el grado de la contaminación que posee, puede tener origen físico, químico o biológico.

Por lo tanto, es crucial que se tomen medidas para proteger y preservar la calidad del agua, la importancia del agua no sólo como un recurso esencial para la vida, sino también como un derecho humano y ambiental que debe ser protegido y preservado para las generaciones futuras (Súñiga Almache et al., 2022).

### **7.3. Agua residual**

Las aguas residuales son todas aquellas aguas que han sido utilizadas por actividades humanas y han perdido sus cualidades originales, estas aguas pueden contener una variedad de contaminantes y pueden ser perjudiciales para el medio ambiente y la sociedad si no se tratan adecuadamente antes de ser descargadas al efluente pueden contener cantidades importantes de elementos contaminantes, biológicas, fisicoquímicos, materia orgánica, sólidos en el agua. El tratamiento de aguas residuales es un proceso importante para garantizar la protección del recurso hídrico y la salud pública.

Teniendo en cuenta a Omayra, (2019), afirma que los tipos predominantes son: las aguas residuales municipales, las aguas residuales domésticas y las aguas residuales producidas por las industrias. Las aguas residuales municipales son aguas residuales domésticas o una mezcla de estas aguas residuales con aguas residuales industriales o aguas pluviales. Las aguas residuales domésticas corresponden a las aguas residuales de desecho de áreas residenciales y de servicios siendo, principalmente aguas residuales producidas por el metabolismo humano y las actividades domésticas. Por otro lado, las aguas residuales industriales se refieren a todas las aguas residuales vertidas desde instalaciones dedicadas a cualquier tipo de actividad

comercial o industrial, que son distintas de las aguas residuales domésticas o de escorrentía de aguas pluviales.

#### **7.4. Agua residual domestica**

Las aguas residuales domésticas son aguas que provienen de hogares, edificios residenciales, instituciones, estas aguas se generan por el uso del baño, la cocina, la lavadora y otras actividades diarias pueden contener materia orgánica, nutrientes, patógenos, metales pesados y otros contaminantes que son perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente.

La contaminación predominante en las aguas residuales domésticas incluyen materia orgánica, solidos suspendidos, en general, biodegradables, y cantidades importantes de nitrógeno, fósforo y sales minerales, al igual que otros tipos de aguas residuales, requieren de un sistema especial de canalización, tratamiento y descarga, dado que su falta de tratamiento genera graves problemas de contaminación medioambiental, deben tratarse mediante un sistema de depuración para someterlas a un proceso de depuración o limpieza que permite reintegrarlas al río en las mejores condiciones posibles para que puedan ser reutilizadas (Herrera, 2023).

#### **7.5. Materia Orgánica**

La materia orgánica (MO) en aguas residuales industriales se refieren a los compuestos orgánicos presentes en el agua que es generada por las actividades cotidianas, estas aguas pueden contener sustancias como proteínas, carbohidratos, lípidos causando contaminación ya que su consume oxígeno disuelto lo que puede afectar negativamente a los organismos acuáticos (Fuentes et al., 2015). La materia orgánica se puede analizar mediante la DQO y la DBO donde proporcionan información sobre la cantidad MO biodegradable y no biodegradable en el agua residual (Castro Olarte et al., 2019).

La MO biodegradable se oxida debido a que se usa como sustrato para el crecimiento microbiano, siendo un proceso de los lodos activados en la formación de biomasa, existen diferentes tipos de microorganismos que intervienen en diferentes procesos biológicos; sin embargo, en este caso la materia orgánica esta consumida principalmente por bacterias heterótrofo en condiciones aeróbicas apropiadas como lo mencionan varios autores Henze et al. (2002), determinaron que la concentración de oxígeno disuelto (OD) era menos de 2 mg/L es suficiente para no afectar el crecimiento como se describe microorganismo.

## **7.6. Protocolo de STOWA**

Para calcular el fraccionamiento de la DQO, se aplicó el protocolo de la STOWA que comprenden una serie de pruebas esencialmente físico-químicas, para aproximar las fracciones de DQO para caracterizar las fracciones solubles y particulada, combinado con un análisis de DBO el procedimiento en su conjunto combinado de filtraciones y mediciones de DQO y una prueba de DBO para hallar los componentes, el protocolo ha captado un notable interés debido a su sencillez para su aplicación en la caracterización del agua residual, el proceso elimina diversas pruebas respirométricas (Espinosa & Fall, 2013).

## **7.7. Demanda Química de Oxígeno**

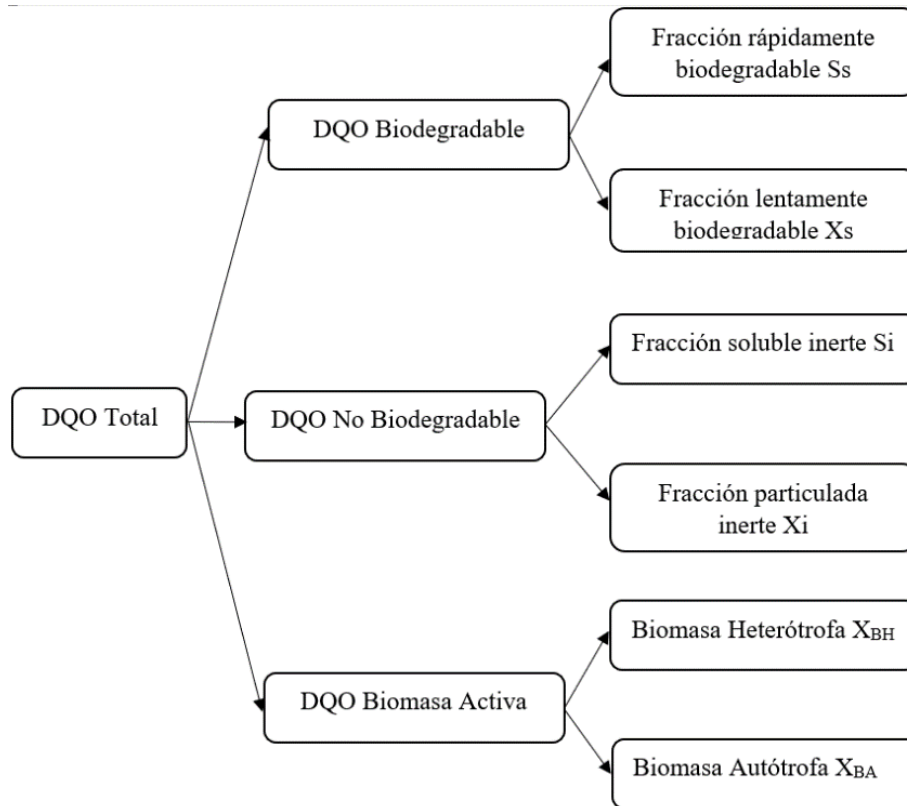
La demanda química de oxígeno también es muy utilizada para la caracterización, donde facilita la determinación de la materia orgánica e inorgánica, fracciones biodegradables y no biodegradables, que pueden oxidarse químicamente, actualmente la DQO se utiliza ampliamente como variable para definir los materiales carbonosos presentes en las aguas residuales, sean biodegradables o no (Menéndez & Dueñas, 2018).

## **7.8. Fracciones de la Demanda Química de Oxígeno**

Desde el punto de vista de Myszograj et al., (2017), enfatiza que existen dos principales metodologías principales para calcular las fracciones de DQO, una de ellas implica la combinación de la separación física mediante la filtración con análisis de laboratorio estandarizados, como DQO y DBO5 método físico-químico o utilizar métodos respirométricos. Hasta el momento aún no hay una metodología estandarizada, cada investigador se inclina por aquella que le brinda mayor confiabilidad.

**Figura 1**

*Clasificación de fracciones de la Demanda Química de Oxígeno en aguas residuales*



*Nota.* Elaboración propia componentes carbonosos del agua y lodo: Fragmentación de la Demanda Química de Oxígeno. Adaptado de Fall Cheikh (2003)

## 7.9. Conceptos de las fracciones de la Demanda Química de Oxígeno

### 7.9.1. Fracción rápidamente biodegradable $S_s$

Desde el punto de vista de Guerrero & Males (2023), consideran que la fracción rápidamente biodegradable ( $S_s$ ) es decir la biomasa es consumida más rápidamente, se trata de compuestos orgánicos carbonados que proporcionan energía a los microorganismos. Por lo tanto, antes de que puedan ser difundidos y absorbidos por estos microorganismos, deben pasar por un proceso de hidrólisis, los componentes que integran esta fracción son sustancias de bajo peso molecular reducido, como es el caso de azúcares, alcoholes y ácidos grasos.



### **7.9.2. Fracción lentamente biodegradable $X_s$**

La fracción lentamente biodegradable ( $X_s$ ) no se degradan fácilmente por la biomasa ya que posee un elevado peso molecular como, sustancias coloidales y partículas sólidas, estos compuestos requieren ser hidrolizados a formas más simples por enzimas extracelulares para ser asimilado por los microorganismos, esta fracción tiene un gran impacto significativo en la dinámica del proceso de lodos activados, incluyendo la demanda de oxígeno. Además, es uno de los principales parámetros a considerar para el diseño de los sistemas biológicos de eliminación de nitrógeno y fósforo (Pire et al., 2011).

### **7.9.3. Fracción soluble inerte $S_i$**

La DQO no biodegradable, fracción soluble inerte ( $S_i$ ) consiste en compuestos orgánicos que no experimenta ninguna alteración por el contacto con la biomasa, no sufre ningún tipo de variación durante el tratamiento biológico, no se somete a ninguna separación física en los procesos de tratamientos de aguas residuales y sale con el efluente tratado (González, 2020).

### **7.9.4. Fracción particulada inerte $X_i$**

La DQO no biodegradable, fracción soluble inerte partícula ( $X_i$ ) consiste en contaminantes no disueltos, no es consumida por la biomasa, y una gran cantidad de ella se encuentra junto a los lodos, esto resulta en una disminución de la concentración a la salida en relación a la entrada (Guerrero & Males, 2023).

### **7.9.5. Biomasa heterótrofa $X_{BH}$**

El crecimiento de heterótrofos ( $X_{BH}$ ) son los microorganismos que cumplen un papel crucial en la descomposición de la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas como anóxicas en el primer caso, estos microorganismos contribuyen a la nueva generación de biomasa y a la reducción de la DQO, es importante destacar que su acumulación disminuye progresivamente a medida que va descendiendo la concentración de oxígeno (Santa Cruz et al., 2015).

### **7.9.6. Biomasa autótrofa $X_{BA}$**

El crecimiento de autótrofos ( $X_{BA}$ ) crecen exclusivamente en condiciones aeróbicas y son los encargados de oxidar el amoníaco a nitritos cuando hay oxígeno presente, este proceso tiene un impacto significativo sobre el equilibrio de alcalinidad (Santa Cruz et al., 2015).

### **7.10. Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto (OD) es agotado en el crecimiento de los heterótrofos y autótrofos. Según el modelo, el oxígeno no se consume directamente en el proceso de decaimiento sino indirectamente a través de la DQO que es fácilmente biodegradable S<sub>s</sub>, esto permite calcular el consumo de oxígeno ( $r_{O_2}$ ), aunque no se consideran las variaciones en la concentración de oxígeno (Peña Samaniego et al., 2022).

### **7.11. Alcalinidad**

acuerdo con Pérez & Torres, (2008), la alcalinidad es la habilidad del agua residual para neutralizar ácidos. Esta capacidad se debe a la presencia de iones como bicarbonato, carbonato e hidróxido. La alcalinidad es un factor crucial en el control del tratamiento anaerobio, ya que tiene un impacto directo en el pH y la estabilidad del proceso. Se mide en unidades molares y se puede determinar mediante una titulación con ácido clorhídrico. Sin embargo, una alcalinidad excesiva puede provocar inestabilidad y una disminución del pH a valores inferiores a 6, lo que podría afectar significativamente el proceso de nitrificación (Peña Samaniego et al., 2022).

### **7.12. DBO**

La DBO es un indicador frecuentemente empleado para analizar las propiedades de las aguas residuales, esta medida nos permite una estimación de la cantidad de materia orgánica que los microorganismos pueden descomponer en un proceso de tratamiento biológico (Menéndez & Dueñas, 2018).

### **7.13. Biocinética**

Los Modelos ASM están basados en una notación matricial manera estandarizada de presentar la estequiometría de los distintos procesos de un modelo matemático del tratamiento de aguas residuales de los componentes de la biomasa y el sustrato, interrelacionadas por expresiones biocinéticas y coeficientes estequiométricos que describen las transformaciones el proceso que ocurren en una planta de tratamiento de agua residual de Lodos Activados (Bina et al., 2022). Desde el punto de vista de Moya et al., (2023), menciona que las fracciones de la materia orgánica propuestas en el ASM1, establece una relación directa entre biodegradación y consumo de oxígeno, por lo que la denominada “respirometría” así como en la determinación de algunas constantes cinéticas que tienen lugar en el proceso de biodegradación las relaciones

más importantes utilizadas por los expertos para determinar el coeficiente cinético en procesos biológicos de fangos son las ecuaciones de Monod. Otra forma de determinar el coeficiente cinético es optimizarlos mediante modelos matemáticos como el modelo de fangos ASM.

#### **7.14. ASM1**

Según Henze et al., (2015), menciona que el modelo *Activated Sludge Model No.1* ASM1 fue desarrollado en 1987 por la IWA *International Water Association* en español Asociación Internacional del Agua, es un modelo capaz de describir el comportamiento dinámico en la degradación de materia orgánica, y es un proceso clave en el ciclo del nitrógeno de la nitrificación y desnitrificación de un sistema de lodos activados, a base de un conjunto de ecuaciones cinéticas y estequiométricas lo que se presentó no es sólo un modelo, sino también una guía para la caracterización de las aguas residuales.

Los modelos de lodos activados ASM, son técnicas sofisticadas que representan el proceso de lodos activados en el campo de tratamientos de aguas residuales. Los modelos ASM1 y ASM3 son ideales para simular la remoción de materia orgánica, así como los procesos de la nitrificación y desnitrificación, cuando se desea simular la remoción de fósforo se utiliza el modelo ASM2, este proceso es esencial para prevenir la eutrofización, estos modelos se utilizan para predecir los procesos biológicos que ocurren en un PTAR (Henze et al., 2002).

El ASM1 se basa en una serie de ecuaciones que describen la cinética de crecimiento de la biomasa, la producción y consumo de sustratos estas ecuaciones nos permiten optimizar el rendimiento de las plantas de tratamiento así permitiendo evaluar el impacto ambiental de las descargas de efluentes tratados.

#### **7.15. Los componentes del modelo ASM1**

Citando a Espinosa & Fall, (2013), menciona que el modelo ASM 1 tiene 13 componentes que incluyen 7 disueltos (S) y 6 con forma de partículas (X). En la Tabla 2 dentro de los 13 componentes, los primeros 7 están asociados con las sustancias carbonosas presentes en el agua y el lodo, las cuales se miden en DQO. Además, existen 4 componentes nitrogenados, junto con el oxígeno y la alcalinidad. Es importante destacar que la alcalinidad no es un parámetro esencial para el modelo ASM, sino que se añade como información adicional que permite detectar de manera indirecta los posibles cambios en el pH. Cada componente orgánico posee unidades de demanda química de oxígeno, esto facilita la simplificación los coeficientes estequiométricos y reduce la cantidad de factores de conversión.

**Tabla 2***Componentes del modelo ASM1*

Nº	Símbolo	Unidades	Definición
1	S <sub>i</sub>	M(COD)L <sup>-3</sup>	Materia orgánica inerte soluble
2	S <sub>s</sub>	M(COD)L <sup>-3</sup>	Sustrato rápidamente biodegradable
3	X <sub>i</sub>	M(COD)L <sup>-3</sup>	Materia orgánica en partículas inerte
4	X <sub>s</sub>	M(COD)L <sup>-3</sup>	Sustrato lentamente biodegradable en partícula
5	X <sub>BH</sub>	M(COD)L <sup>-3</sup>	Biomasa heterotrófica activa
6	X <sub>BA</sub>	M(COD)L <sup>-3</sup>	Biomasa autotrófica activa
7	X <sub>P</sub>	M(COD)L <sup>-3</sup>	Productos provenientes del decaimiento de biomasa
8	S <sub>O</sub>	M(-COD) L <sup>-3</sup>	Oxígeno disuelto
9	S <sub>ON</sub>	M(N)L <sup>-3</sup>	Nitratos y nitritos solubles
10	S <sub>NH</sub>	M(N)L <sup>-3</sup>	Amoniaco soluble
11	S <sub>ND</sub>	M(N)L <sup>-3</sup>	Nitrógeno orgánico soluble rápidamente biodegradable
12	X <sub>ND</sub>	M(N)L <sup>-3</sup>	Nitrógeno orgánico en partícula biodegradable
13	S <sub>ALK</sub>	Unidades molares	Alcalinidad

Fuente: Información *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3* (2015).

### 7.16. Procesos de transformación del modelo ASM1

Los procesos de la transformación del agua residual como materia prima en diferentes productos también incluyen 8 procesos que se pueden reagrupar en cuatro categorías:

- Tres procesos que están relacionado con el crecimiento.
- Dos procesos que están relacionado con el decaimiento.
- Dos procesos que están relacionado con la hidrólisis de partículas.
- Un proceso que están relacionado con la amonificación.

#### 7.16.1. Crecimiento aerobio de los heterótrofos.

El crecimiento aeróbico de la biomasa heterotrófica es considerado el proceso más crucial para la eliminación de la materia orgánica una parte del sustrato rápidamente biodegradable S<sub>s</sub>, una parte se utiliza para el crecimiento de la biomasa, mientras que el resto se oxida para obtener energía, lo que incrementa la demanda de oxígeno S<sub>O</sub>, el sustrato lentamente biodegradable en

partícula Xi debe pasar por una hidrólisis un poco lenta antes que pueda transformarse en Ss y ser aprovechado por los microorganismos para su cálculo se usa la cinética de Monod. El amoníaco se usa como fuente para la síntesis y se incorpora a la masa celular que también cambia la alcalinidad (Fall, 2003).

#### ***7.16.2. Crecimiento anóxico de los heterótrofos.***

La ausencia de oxígeno en los organismos heterótrofos les permite utilizar los nitratos como receptor de electrones utilizando el sustrato rápidamente biodegradable Ss utilizado sustrato. Este proceso conduce a la producción de biomasa heterótrofa y de nitrógeno gas, un fenómeno también conocido como desnitrificación para la síntesis se utilizan las mismas expresiones cinéticas de Monod en relación con el sustrato asociado (Quintuña & Tigse, 2021).

#### ***7.16.3. Crecimiento aerobio de los autótrofos.***

Es también conocido como un proceso de nitrificación el amoníaco se oxida en nitratos lo que resulta en la producción nueva de biomasa autótrofa, este proceso requiere un consumo adicional de oxígeno, lo que puede tener un impacto significativo en el equilibrio de oxígeno del sistema, Además, la actividad de estos organismos autótrofos también puede tener un efecto marcado en el equilibrio de alcalinidad del sistema. Sin embargo, la formación de lodos es bajo debido a que la tasa de crecimiento de los autótrofos es mínima (Jacome & Suarez, 2017).

#### ***7.16.4. Decaimiento de los heterótrofos.***

Los organismos experimentan un proceso de decaimiento y mueren a cierta velocidad, este proceso de decaimiento incluye fenómenos como la respiración endógena, la muerte natural y la depredación. En el contexto de los sistemas de tratamiento de aguas residuales el enfoque matemático del ASM1 adopta un enfoque matemático tradicional donde se atribuía directamente un consumo de oxígeno al decaimiento y el resto de biomasa muerta se mezcla con el sustrato lentamente biodegradable. El nitrógeno orgánico agrupado con el Xs se convierte en nitrógeno orgánico en partícula (Henze et al., 2015).

#### ***7.16.5. Decaimiento de los autótrofos.***

El proceso se modeliza de la misma manera que para los heterótrofos

#### ***7.16.6. Amonificación del nitrógeno orgánico soluble.***

El nitrógeno orgánico soluble se transforma en amoníaco a través de la activación de los microorganismos, este proceso a menudo se omite en las versiones reformadas del ASM1 debido a su alta velocidad de reacción (Jacome & Suarez, 2017).

#### ***7.16.7. Hidrólisis de la materia orgánica.***

La materia orgánica particulada lentamente biodegradable  $X_s$ , cumple un papel crucial en los sistemas de tratamiento de aguas residuales esta materia orgánica se encuentra atrapada en los flocs biológicos, la materia orgánica en este lugar se descompone de manera extracelular, estas enzimas rompen las moléculas complejas de la materia orgánica en moléculas más pequeñas y solubles produciendo el sustrato soluble fácilmente biodegradable que se utiliza luego en el crecimiento, esto ocurre bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas la velocidad de la hidrólisis es menor en un ambiente anóxico (Henze et al., 2015).

#### ***7.16.8. Hidrólisis del nitrógeno orgánico particulado.***

El nitrógeno orgánico que es rápidamente biodegradable se transforma en nitrógeno orgánico soluble. Por lo tanto, la velocidad a la que se hidroliza el primero está determinada por la velocidad de hidrólisis ( $r_7$ ) del segundo componente (Henze et al., 2015).

### **7.17. Muestreo**

Es recomendable consultar la norma NTE INEN 2176:2013. "CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS", en situaciones específicas; como en el caso del agua residual, el recipiente para evaluar la calidad del agua es importante donde proteja la composición de la muestra de pérdidas evitando los compuestos volátiles y la adsorción, así como de la contaminación por sustancias extrañas, al seleccionar el recipiente para recoger y almacenar la muestra, se deben considerar varios factores, como su resistencia a temperaturas extremas, la durabilidad del rotulado, la facilidad para abrir y cerrar, el tamaño, la forma, el peso, la disponibilidad, el costo, y la facilidad para lavar y reutilizar (Serna, 2019).

### ***7.17.1. Toma De Muestras***

La toma de muestras se llevó a cabo siguiendo protocolos y estándares métodos y técnicas establecidas, de la NTE INEN 2176:2013 para obtener una muestra representativa de las aguas residuales.

### ***7.17.2. Tipo De Muestra***

Para evaluar la calidad del agua, debemos seguir la norma NTE INEN 2176:2013. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO, esta norma nos guía sobre cómo tomar muestras de agua y qué técnicas usar. Los datos que obtenemos de estas muestras nos dan información sobre diferentes aspectos del agua, como la cantidad de materia orgánica e inorgánica minerales, químicos, gases y sedimentos presentes en el agua. Estos datos se pueden recoger en un lugar específico o a intervalos de tiempo. Según Sierra Ramírez (2021), es importante separar las muestras que se van a usar para análisis químicos, microbiológicos y biológicos. Esto se debe a que cada tipo de análisis requiere un proceso y equipo de recolección y manejo de muestras diferente.

#### **- Muestra Instantánea**

Según Sette Ramalho, (2021), considera que, durante la toma de muestras de aguas residuales, se debe tener en cuenta factores como el tiempo, la ubicación adecuada del punto de muestreo, el caudal, la manipulación de los recipientes de muestra, el volumen, el rotulado detallado de la información relevante. Además, es importante seguir los procedimientos de seguridad y protección personal para garantizar la integridad del personal que realiza la toma de muestras. Una muestra instantánea depende del flujo del agua residual al instante de su recolección. Este tipo de muestras son recomendables en situaciones como:

Cuando las descargas de aguas residuales no son constantes con su caudal es común en muchos procesos industriales donde los residuos no se liberan de manera continua, sino que se almacenan o simplemente varían a lo largo del día (Chalarca Rodríguez et al., 2007).

#### **- Muestra compuesta**

Las muestras compuestas pueden ser recolectadas de forma manual o automática para su respectivo análisis, sin importar el tipo de muestreo que sea dependiendo del flujo, tiempo, volumen o ubicación. Se toman continuamente las muestras instantáneas que se reúnen para obtener muestras compuestas. Estas muestras compuestas (alícuotas) son una parte de la

muestra compuesta que se toman para el análisis. Por lo tanto, antes de combinar las muestras, se debe asegurar que esa es la información requerida o que los parámetros de interés no cambian de manera significativa durante el período de muestreo (Sette Ramalho, 2021).

### ***7.17.3. Manejo y conservación de las muestras de aguas residuales***

Es esencial seguir las directrices de la NTE INEN 2176:2013. "CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS". Esta norma proporciona un conjunto de técnicas y procedimientos adecuados para seleccionar y preparar los recipientes para el muestreo de aguas residuales es necesario tomar precauciones para asegurar que los recipientes utilizados se limpien adecuadamente, utilizar recipientes de muestreo de un solo uso siempre que sea posible, estos recipientes se desechan después de cada uso, eliminando el riesgo de contaminación cruzada, para evitar la contaminación de las muestras posteriores.

#### **- Tipos de Recipientes**

La NTE INEN 2176:2013. "CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS". Especifica que las botellas adecuadas deben ser de polietileno este material es resistente a la mayoría de los ácidos, bases y solventes para la toma de muestras, en las que se recolectara para el análisis de los parámetros físicos y químicos de las aguas residuales. La tapa de las botellas debe ser de boca angosta y anchas se debe acoplar a los recipientes de plástico. Si las muestras son transportadas en el cooler al laboratorio para los análisis, la tapa debe prevenir el aflojamiento de las botellas, lo que puede producir derramamientos o contaminación de la muestra.

#### **- Preparación de recipientes**

Es muy importante escoger y preparar los recipientes las muestras de aguas residuales.

#### **- Recipientes de muestras para análisis fisicoquímicos**

Los recipientes de muestras para análisis fisicoquímicos son contenedores especializados utilizados para recolectar y almacenar muestras de agua, estos recipientes deben ser de materiales que no reaccionen ni interfieran con la muestra ni con los análisis a realizar. Es esencial que el volumen de la muestra recolectada debe ser suficiente para los análisis necesarios, para cualquier repetición del análisis, el uso de volúmenes pequeños de muestra puede resultar ser no representativos (Rivera Castro et al., 2020).



### - **Llenado del recipiente**

En este caso, los recipientes deben llenarse completamente, evitando la presencia de burbujas de aire. Para las muestras instantáneas, se utiliza una botella de 250 ml, mientras que, para las muestras compuestas, el volumen es de 50 ml. De acuerdo con la NTE INEN 2176:2013 'CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS', los frascos que se utilizarán para determinar los parámetros físicos-químicos deben llenarse completamente y taparse de tal manera que no haya aire sobre la muestra.

Esto previene la interacción con la fase gaseosa, la agitación durante el transporte puede modificar el contenido del dióxido de carbono y la variación del valor del pH. De esta manera, se evita que los bicarbonatos se conviertan en carbonatos precipitables y que el hierro tienda a oxidarse, limitando las variaciones de color.

### - **Rotulado**

El etiquetado es un aspecto crucial para asegurar la precisión y utilidad de los resultados del análisis. Según la NTE INEN 2176:2013, 'CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS', es esencial que los recipientes que contienen las muestras estén claramente y permanentemente marcados. En el momento del muestreo, se deben anotar todos los detalles que puedan contribuir a una interpretación correcta de los resultados, como la fecha y hora del muestreo, el nombre de la persona que realizó, cantidad de los conservantes añadidos, y el tipo de análisis que se va a realizar.

### - **Refrigeración y congelación de las muestras**

De acuerdo con la NTE INEN 2176:2013, 'CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS', la refrigeración de las muestras es efectiva si se realiza inmediatamente después de su recolección, es esencial que las muestras se almacenen a temperaturas más bajas que la temperatura a la que se recolecto. Para ello, se deben utilizar refrigerantes o hielos a temperaturas generalmente entre 2°C y 5°C es importante almacenar las muestras en un lugar oscuro, suficiente para conservar la muestra durante el traslado al laboratorio y comenzar el análisis lo más pronto posible después de la recolección. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el enfriamiento de las muestras no debe considerarse como un método de almacenamiento a largo plazo, especialmente en el caso de las aguas residuales domésticas e industriales.

### - Transporte de las muestras

Los recipientes que almacenan las muestras de agua deben estar adecuadamente protegidos y sellados para evitar daños o pérdidas durante el transporte. Según la NTE INEN 2176:2013, 'CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS', el empaque debe proteger los recipientes de cualquier contaminación externa y prevenir la rotura del recipiente, especialmente cerca del cuello de la botella, y no ser una fuente de contaminación. Durante el traslado, las muestras deben mantenerse en un ambiente fresco y protegidas de la luz, de ser posible, cada muestra debe colocarse en un recipiente individual a prueba de agua.

## 8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS.

¿Cómo varían las fracciones de DQO en el agua residual del campus Salache a lo largo del tiempo?

Los resultados indicaron que el agua residual del campus contiene una proporción mayor de DQO biodegradable en comparación con la no biodegradable. En este sentido, las fracciones biodegradables predominan, con una cantidad significativa de fracciones lentamente biodegradables (Xs), representando aproximadamente el 50% del contenido del agua residual. Le sigue la fracción soluble inerte (Si) con un 23%, la fracción rápidamente biodegradable con un 14%, y finalmente, la fracción particulada inerte con un 13%.

¿Cómo afectan estas variaciones al rendimiento de la planta de tratamiento?

La presencia de una cantidad significativa (50%) de fracción lentamente biodegradable (Xs), puede tener un impacto considerable en el rendimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del campus. Aunque estas fracciones son biodegradables, su descomposición es lenta. Esto significa que pueden requerir un tiempo de retención más largo en la planta de tratamiento para asegurar su completa descomposición. Si el tiempo de retención no es suficiente, estas fracciones pueden no ser completamente descompuestas, lo que podría resultar en un efluente tratado de menor calidad. Además, dado que estas fracciones son biodegradables, pueden contribuir a la producción de biomasa en la planta de tratamiento. Sin embargo, si la cantidad de estas fracciones es demasiado alta, podría llevar a un crecimiento excesivo de biomasa, lo que podría causar problemas operacionales, como la formación de lodos y la obstrucción de los sistemas de tratamiento.

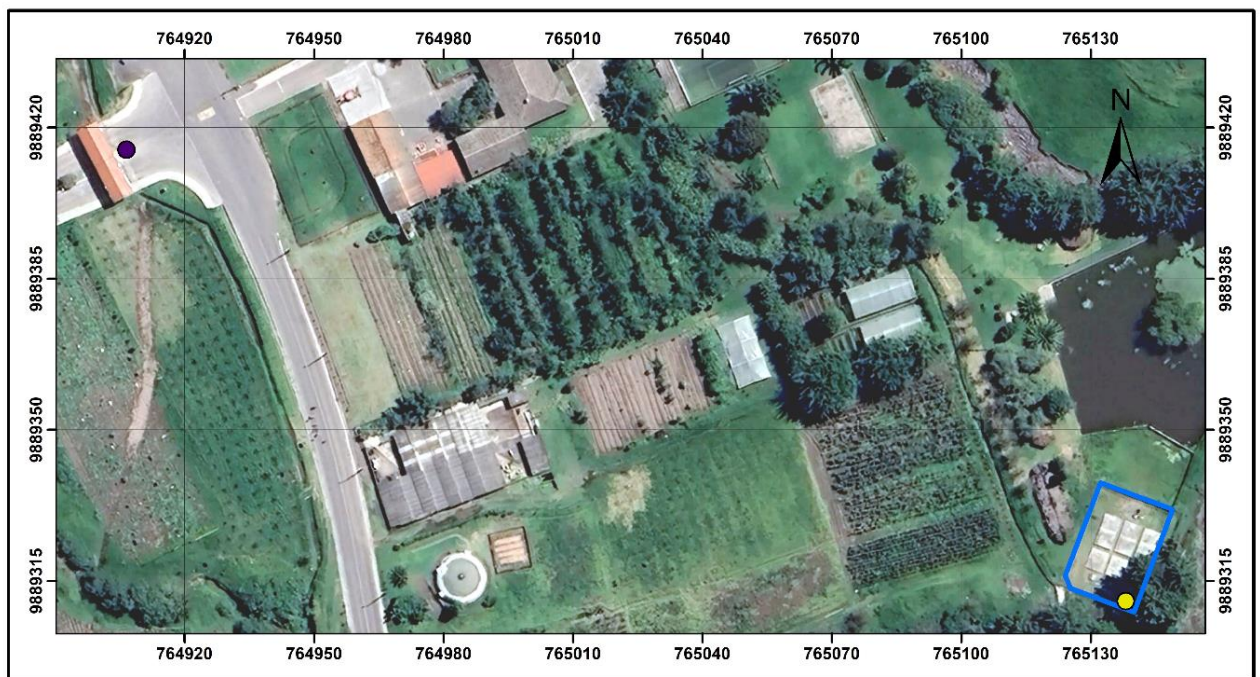
## 9. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

### 9.1. Área de Estudio

La presente investigación se desarrolló en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN) de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Esta institución está situada en el suroeste de la provincia de Cotopaxi, específicamente en el Cantón Latacunga, a una distancia de 1.9 km de la carretera E35, en el barrio Salache bajo, perteneciente a la parroquia Eloy Alfaro.

#### Figura 2

*Área de Estudio*



### 9.2. Enfoque

#### 9.2.1. Enfoque Cuantitativo

El enfoque cuantitativo permite al investigador recopilar y analizar datos numéricos para responder preguntas de investigación. El enfoque se complementa con métodos estadísticos y técnicas de análisis. En la investigación se centra en comprender a fondo la complejidad de los procesos y las interacciones que influyen en la composición de las muestras.

### ***9.2.2. Enfoque Cualitativo***

El enfoque cualitativo permite obtener información detallada sobre la calidad del agua, de manera organoléptica color olor, identificar características físicas sólidos suspendidos, comprender los factores que afectan la calidad del agua residual.

## **9.3. Técnicas**

### ***9.3.1. Observación directa***

Permitió la recopilación precisa de información relevante para complementar los datos cuantitativos obtenidos a través del protocolo STOWA. Esta técnica permite prestar especial atención a posibles cambios en la apariencia del cuerpo de agua, así como a eventos o actividades en el medio ambiente que puedan afectar la calidad de las aguas residuales.

### ***9.3.2. Análisis estadístico***

Permitió evaluar las diferencias potencialmente significativas entre muestras y períodos de muestreo, a través de análisis desviación estándar y coeficiente de variación.

## **9.4. Métodos**

### ***9.4.1. Toma de muestras***

Se siguieron las generalidades y disposiciones establecidas en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013. La toma de muestras se en el horario de 07:00 am a 17:00 pm, teniendo un total de 5 muestras compuestas, 20 muestras simples y una muestra total diariamente por 5 días. Los puntos de muestreo fueron seleccionados de acuerdo al criterio necesitado, para el afluente se necesitó un punto donde se concentren mayor cantidad de descargas de agua residual, y para el efluente el criterio fue donde se realizará la descarga del agua tratada en la planta. Con forme a lo descrito anteriormente se tuvo como el punto del afluente la caja de revisión ubicada en la caseta de guardias del campus, pues es allí donde desembocan las descargas de agua provenientes de las oficinas y aulas de la facultad. En el caso del efluente se seleccionó un desahogue que desemboca directamente en el rio de forma que simule el agua tratada que es descargada por la planta de tratamiento (Anexo 4 y 5).

#### 9.4.2. *Protocolo STOWA*

El protocolo de STOWA (*Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer*), o también conocido como Asociación Holandesa de Investigación Aplicada al Agua, se basa en una serie de pruebas físico-químicas. Este protocolo se utiliza para caracterizar el agua residual y determinar la cantidad de materia orgánica que puede ser biodegradada por los microorganismos. Para su aplicabilidad es necesario medir la DQO total y solubles en el afluente y efluente comprometido en el estudio, esto permitirá hallar las fracciones Ss, Si, Xs y Xi (Roeleveld & van Loosdrecht, 2002). El protocolo integra una evaluación de DBO (calculada en función del tiempo, hasta 14 días) con el propósito de identificar la porción biodegradable de DQO en la entrada (Ss +Xs) (Montes de Oca, 2006). La STOWA, se guía en la hipótesis de que la biomasa heterótrofa inicial en las aguas residuales es nula ( $X_{h0} = 0$ ), suponiendo que las aguas residuales no contienen microorganismos vivos. Se trata de una simplificación que hace que el modelo sea más fácil de manejar, pero que no siempre se corresponde con la realidad. En algunos casos, las aguas residuales pueden contener una cantidad importante de biomasa heterótrofa. Por ejemplo si provienen de una fuente industrial o si llevan mucho tiempo en el alcantarillado. En tales situaciones, la biomasa heterótrofa inicial debe estimarse a partir de mediciones o datos de la literatura.

#### 9.4.3. *Medición de DQO*

Se lo realizó en los laboratorios de CAREN, bajo las directrices indicadas en *Standard Methods* 5220D y la guía establecida por HANNA instruments (Método comercial de digestión a reflujo cerrado y espectrofotometría):

- Se añadió 2 ml de muestra a los viales de DQO (reactivos: Ácido sulfúrico, Sulfato de Mercurio (II), Dicromato de Potasio y Sulfato de plata) (Anexo 8) con una inclinación de 45° y se los agito levemente agarrándolo desde la tapa debido a la reacción exotérmica que se produce en el vial. Para el blanco se procedió de la misma forma reemplazando solamente la muestra por agua destilada.
- Con los viales preparados y etiquetados se procedió a colocarlos en el termo reactor (HI 839800 HANNA Instruments) previamente calentado. Los viales permanecieron a una temperatura constante de 150°C por 2 horas, concluido este tiempo se las coloco en una bureta hasta que tuvieran una temperatura ambiente esperando aproximadamente 30 minutos (Anexo 6).

- Para la lectura de datos (DQO), se utilizó el espectrofotómetro (Nano color VIS), y se configuro bajo el test DQO 60 (0221). En primera instancia se calibro el instrumento colocando primero el vial blanco que previamente se limpió con papel de cocina evitando la agitación del mismo, posteriormente se colocó el vial con la muestra siguiendo el mismo protocolo (Anexo 7).

Para obtener la DQO soluble se mantiene la misma línea de proceso, sin embargo, la muestra es previamente filtrada con membrana de 0.45  $\mu\text{m}$  de poro.

#### **9.4.4. Medición de DBO**

La determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se llevó a cabo conforme a la *Standard Methods* 5210-D, utilizando el método de respirometría. Este método implica la medición de la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos aeróbicos presentes en una muestra de agua durante un período de incubación (Standard Methods, 2017). Los pasos seguidos fueron:

- Se comprobó que el pH de las muestras no esté entre 6.0 y 8.0, de ser así se procedió a ajustar la temperatura de la muestra a  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ , luego ajuste el pH a entre 6.5 y 7.5 usando una solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  o  $\text{NaOH}$  lo suficientemente fuerte como para no diluir la muestra en  $> 0.5\%$ .
- Se llevo la muestra y el agua de dilución a la temperatura de prueba deseada ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) antes de realizar diluciones o transferirlas a recipientes de prueba. Para la dilución de la muestra se usó agua destilada, para posteriormente agregar con ayuda de una pipeta volumétrica el agua de dilución para llevar la muestra a aproximadamente el 80% del volumen final deseado.
- El agua de dilución se preparó en 1 litro de agua destilada y se agregó 1 ml de solución de cloruro de calcio, solución de cloruro férrico, sulfato de magnesio y solución tampón de fosfato, también conocido como buffer de fosfato.
- Posteriormente se llevó a los recipientes de prueba a la temperatura deseada ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) durante el período de tiempo deseado, que en este caso fueron a los 2, 5, 8, 10 y 14 días como especifica Montes de Oca (2006).
- Se procedió a medir la concentración de oxígeno disuelto (OD) en los recipientes de prueba inicialmente y después de la incubación (para cada periodo especificada).
- Se cálculo la DBO final restando el OD inicial del OD final.

#### 9.4.5. Ecuaciones para calcular las fracciones de DQO

##### - DQO total

Asumiendo la hipótesis de STOWA, de  $X_{B,H} = 0$  y  $X_{B,A} = 0$ , para el afluente se tiene las siguientes ecuaciones:

$$DQO_{TOTAL} = S_s + S_i + X_s + X_i \quad (1)$$

Donde:

**S<sub>s</sub>**: Fracción rápidamente biodegradable

**S<sub>i</sub>**: Fracción soluble inerte

**X<sub>s</sub>**: Fracción lentamente biodegradable

**X<sub>i</sub>**: Fracción particulada inerte

##### - DQO Soluble

$$DQO_s = S_s + S_i \quad (2)$$

##### - Fracción soluble inerte (S<sub>i</sub>)

De acuerdo a lo propuesto por Montes de Oca (2006), se obtiene directamente al medir la DQO soluble del efluente por lo que se puede expresar de la siguiente manera:

$$S_i = DQO_{S \text{ AFLUENTE}} \quad (3)$$

##### - Fracción rápidamente biodegradable (S<sub>s</sub>)

Esta fracción se la obtiene despejando la ecuación correspondiente a la DQO soluble:

$$S_s = DQO_{S \text{ EFLUENTE}} - S_i \quad (4)$$

##### - Fracción lentamente biodegradable (X<sub>s</sub>) y DQO<sub>b</sub>

La fracción X<sub>s</sub> compone la DQO biodegradable en conjunto con la fracción S<sub>s</sub>, por lo que su ecuación sería:

$$DQO_b = S_s + X_s \quad (5)$$

Con respecto al valor de DQO<sub>b</sub>, este se obtiene a partir de los valores de DBO obtenidos con el método Respirométrico. Indican Menéndez & Dueñas (2018), que este valor se puede estimar

a partir de una expresión cinética de primer orden que describe la degradación de la DBO y determina la relación entre el valor de DBO total ( $DBO_u$ ) y su valor en cualquier momento ( $t$ ) a una temperatura determinada.

$$DBO_t = DBO_u (1 - 10^{-kt}) \quad (6)$$

Donde:

$DBO_u$  (mg/L): DBO última o total, momento en que todo el material orgánico se ha descompuesto por completo.

$t$  (días): es el tiempo para el que se desea calcular la DBO.

$k$  ( $\text{días}^{-1}$ ): Constante de degradación de la DBO.

Para hallar los valores de  $DBO_u$  y  $k$ , se procedió a graficar los valores de DBO obtenidos en función del tiempo (días), mismos que se ajustaron a partir de la ecuación 6 de la curva de DBO, para posteriormente aplicar el método de mínimos cuadrados (regresión no lineal). Los autores destacan que el valor de  $k$  se encuentra en función de la temperatura y la correlación de DQO (Lentamente biodegradable y biodegradable), por lo que se consideró el factor corrección ( $f_{DBO}$ ), obteniendo la siguiente expresión:

$$DQO_b = \frac{1}{1-f_{DBO}} DBO_u \quad (7)$$

El valor recomendado por Roeleveld & van Loosdrecht (2002), para el factor de corrección es de 0,15.

#### - Fracción particulada inerte ( $X_i$ )

Al ser la última fracción esta se puede obtener del despeje de la expresión para calcular la  $DQO_{TOTAL}$ :

$$X_i = DQO_{TOTAL} - (S_s + S_i + X_s) \quad (8)$$

## 10. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 10.1. Origen de la carga orgánica de las aguas residuales

El campus universitario cuenta con varias infraestructuras, mismas que son fuentes de generación de aguas residuales, entre las cuales se destacan el bloque universitario A y B, los laboratorios, el -bar estudiantil, la planta de producción de la carrera de agroindustrias y el



bloque perteneciente al estudio de granos andinos. Entre estas infraestructuras se tienen diversos aparatos sanitarios que aportan una unidad de desagüe (UD) (Tabla 3).

**Tabla 3**

*Número de aparatos sanitarios por infraestructura*

<b>Lugar</b>	<b>Aparato Sanitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>UD</b>	<b>Total</b>
Laboratorios	Inodoro con fluxómetro	5	8	40
Laboratorios	Lavabo	5	1	5
Sala de maestros	Inodoro con fluxómetro	10	8	80
Sala de maestros	Lavabo	5	1	5
Bloque A	Inodoro con fluxómetro	14	10	140
Bloque A	Lavabo	13	2	26
Bloque A	Urinarios	6	2	12
Bloque B	Inodoro con fluxómetro	9	10	90
Bloque B	Lavabo	7	2	14
Bloque B	Urinarios	3	2	6
Planta Agroindustrial	Lavabo	10	2	20
Bar	Lavabo	2	2	4
Granos Andinos	Lavabo	1	2	2
Granos Andinos	Inodoro con fluxómetro	1	2	2

Quishpe (2021) destaca que las unidades de desagüe, una medida estándar en la ingeniería sanitaria, representan el flujo máximo de agua que puede ser descargado por un aparato sanitario en un instante específico. En el marco de este estudio, estas unidades de desagüe se convierten en una herramienta crucial para identificar las fuentes de materia orgánica. Cada unidad de desagüe, una vez identificada, se asigna un número específico de unidades basado en su capacidad máxima de descarga de agua.

**Tabla 4**

*Unidades de desagüe por aparato sanitario*

<b>Aparato Sanitario</b>	<b>UD total</b>
Inodoros con fluxómetro	350
Lavabo	76
Urinarios	18
<b>Total</b>	<b>444</b>

Estas unidades de desagüe pueden ser conceptualizadas como afluentes individuales que aportan a un cuerpo de agua más grande, en este caso, el sistema de aguas residuales del campus. Cada uno de estos afluentes puede tener un perfil único de DQO, que varía en función de su

uso y de los compuestos orgánicos que se descargan en él. En este contexto, se puede afirmar que las descargas que contribuyen con la mayor carga orgánica provienen de los inodoros con fluxómetro, ya que sus unidades de descarga totales ascienden a 350. Le siguen los lavabos y, finalmente, los urinarios con 18 unidades (Tabla 4).

## 10.2. DQO Total

El análisis se realizó para los cinco días de la semana, descartando fin de semana, pues al ser una comunidad universitaria la actividad es nula en esos días.

**Tabla 5**

*Resultados de la DQO<sub>TOTAL</sub>*

<b>Hora</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>
9:00	212	209	328	152	150
11:00	187	211	343	159	156
13:00	210	211	348	155	160
15:00	213	210	343	162	163
17:00	192	211	345	161	157
<b>Compuesta</b>	207	212	348	161	163
<b>Media</b>	209	211	344	160	159
<b>DE</b>	12	1	8	4	5

Con respecto a la DQO<sub>TOTAL</sub> los resultados obtenidos revelan que el día miércoles existió mayor cantidad de material orgánico, a diferencia del día jueves y viernes que mantuvieron un valor total de DQO de 160 y 159 (mg/l), respectivamente (Tabla 5). Esto se debe a que el día miércoles en el campus Salache se presentó un evento deportivo correspondiente a la carrera de Comunicación, por lo que hubo mayor afluencia de gente. Es esta particular que nos permite decir que los valores tomados ese día serían atípicos, por lo cual no se usaron para los cálculos posteriores.

De manera estadística se puede comprobar a través de un diagrama de caja y bigotes (figura 3), en este adicionamos los límites generados por cercos internos, a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Rango intercuartílico} \rightarrow \text{RIC} = Q3 - Q1$$

Cerco inferior  $\rightarrow$  Q1 (Cuartil 1)  $- 1.5 * RIC$

Cerco superior  $\rightarrow$  Q3 (Cuartil 3)  $+ 1.5 * RIC$

Para los valores medios obtenidos en los 5 días de estudio se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 6.

**Tabla 6**

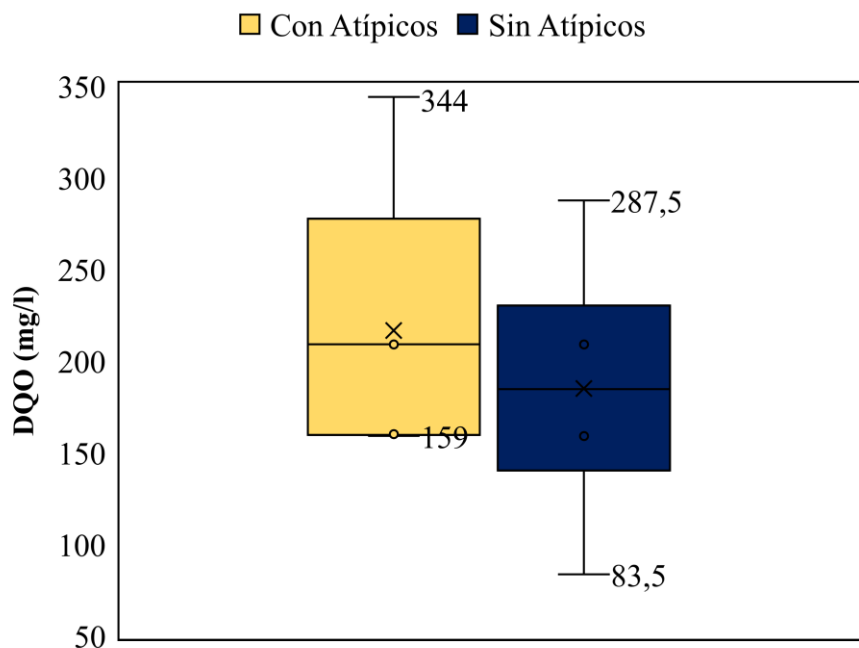
*Valores referenciales para identificar atípicos*

	Valores (mg/l)
RIC	51
Superior	83,5
Inferior	287,5

A partir de estos resultados y como lo indica Vargas (2007) y Santibáñez (2019), los valores que se encuentren por debajo del rango superior o por encima del rango inferior, indican que existe mayor dispersión en el conjunto de datos, es decir que el valor se considera atípico. Por lo cual, en nuestro caso los valores obtenidos el día miércoles presentan una media de 344, siendo superior al corte inferior, por lo que no se toma en cuenta para el estudio, pues el valor mantiene mayor dispersión en el conjunto de datos.

**Figura 3**

*Diagramas de caja y bigotes para resultados con y sin valores atípicos*



Continuando con el análisis, sin valores atípico la desviación estándar nos indica que la carga orgánica vario en 29 mg/l con respecto a la media. De forma general los resultados (Tabla 7), apuntan que entre semana la media de la  $DQO_{TOTAL}$  es de 184 mg/l, y entre los valores hallados no se presenta diferencias significativas según el porcentaje del coeficiente de variación.

**Tabla 7**

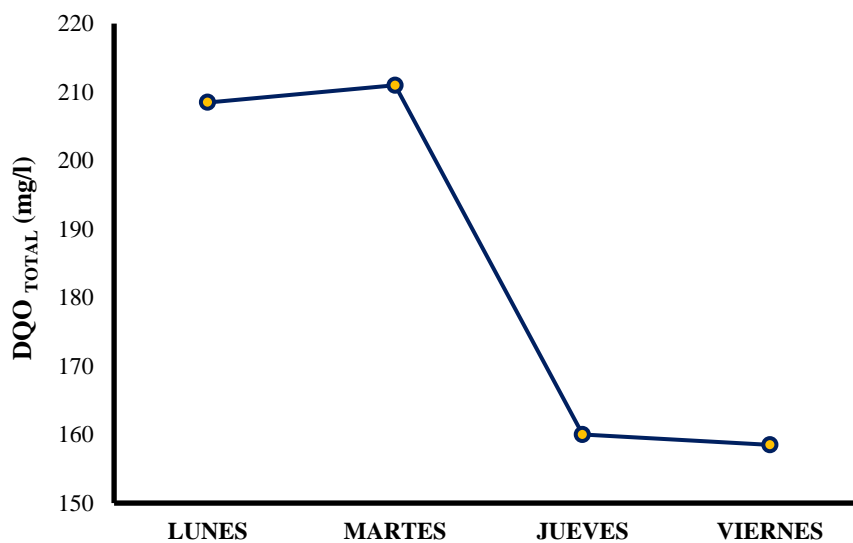
*Comparación de medias obtenidas para los días de muestreo*

<b>Días</b>	<b>Media</b>
<b>Lunes</b>	209
<b>Martes</b>	211
<b>Jueves</b>	160
<b>Viernes</b>	159
<b>Medidas de Dispersión</b>	
<b>Media</b>	184
<b>DE</b>	29
<b>Mínimo</b>	159
<b>Máximo</b>	211
<b>Coficiente de Variación (%)</b>	16

Desde un análisis semanal en la figura 4 se visualiza que la carga orgánica del afluente se mantiene constante en los días lunes-martes, descendiendo de 211 a 160 mg/l para mantenerse constante otra vez jueves-viernes.

**Figura 4**

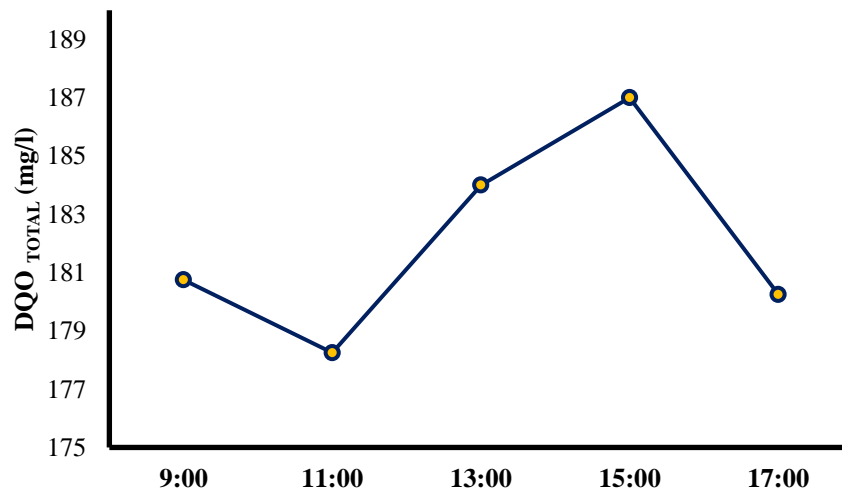
*Comportamiento de la  $DQO_{TOTAL}$*



Visto desde una variación diaria, como se observa en la figura 5, cada dos horas a partir de las 11 de la mañana la materia orgánica aumenta significativamente siendo su punto más alto a las 15:00 horas, es a partir de este que se observa un descenso abrupto. La razón de estos resultados se debe a que entre la 13:00 y 15:00, hay gran abundancia de estudiantes debido a la terminación de clases de la jornada matutina e inicio de la jornada vespertina. Con respecto al descenso es posible que la reducción de las descargas sanitarias entre las 15:00 y 17:00 pm, se deba a que la comunidad universitaria se encuentra recibiendo clases.

**Figura 5**

*Comportamiento diario de la  $DQO_{TOTAL}$*



### 10.3. DQO Soluble

A diferencia de los datos anteriores estos muestran una dispersión moderada, según se deduce de la desviación estándar calculada. Esto implica que, aunque hay variaciones, los valores tienden a concentrarse de manera razonable alrededor de la media. Aunque existe cierta dispersión, no es particularmente alta, como se puede apreciar en la Tabla 8.

**Tabla 8***Resultados de la DQO<sub>SOLUBLE</sub>*

<b>Hora</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>
9:00	72	82	60	59
11:00	73	86	60	61
13:00	70	83	61	67
15:00	75	85	50	70
17:00	70	80	52	62
<b>Compuesta</b>	73	82	60	56
<b>Media</b>	72	83	60	61
<b>DE</b>	2	2	5	5

En la tabla 9 se observan los valores de manera general, donde se indica un coeficiente de variación de 16% de la media, lo que significa que el conjunto de datos es homogéneo, presentando poca variabilidad, pues como revela también la dispersión estándar los datos de la DQO<sub>SOLUBLE</sub> tienden a variar en  $\pm 11$  unidades respecto a la media.

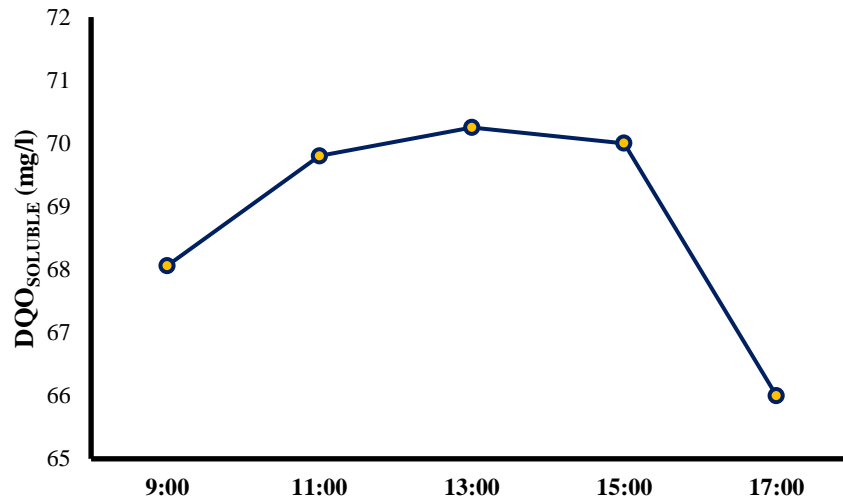
**Tabla 9***Comparación de medias de la DQO<sub>SOLUBLE</sub> obtenidas para los días de muestreo*

<b>Días</b>	<b>Media</b>
<b>Lunes</b>	72
<b>Martes</b>	83
<b>Jueves</b>	60
<b>Viernes</b>	61
<b>Medidas de Dispersión</b>	
<b>Media</b>	67
<b>DE</b>	11
<b>Mínimo</b>	60
<b>Máximo</b>	83
<b>Coeficiente de Variación (%)</b>	16

A diferencia de la DQO<sub>TOTAL</sub>, el comportamiento de la DQO<sub>SOLUBLE</sub> varía constantemente, pues como se visualiza en la figura 6, cada dos horas los valores aumentan sucesivamente, sin embargo a partir de las 15:00 horas, el valor decae abruptamente 4 puntos para las 17:00 horas.

**Figura 6**

*Comportamiento diurno de la DQO<sub>SOLUBLE</sub>*



#### 10.4. DQO Particulada

Como ya se mencionó el valor de esta DQO no se obtuvo en el laboratorio, sino que se obtuvo a través de una expresión matemática, misma que se indica en la metodología. Los valores de DQO<sub>PARTICULADA</sub>, obtenidos se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10**

*Resultados de la DQO<sub>PARTICULADA</sub>*

Hora	Lunes	Martes	Jueves	Viernes
9:00	140	127	92	91
11:00	114	125	99	95
13:00	140	128	94	93
15:00	138	125	112	93
17:00	122	131	109	95
<b>Compuesta</b>	134	130	101	107
<b>Media</b>	136	128	100	94
<b>DE</b>	12	2	9	2

Desde una vista general se puede observar poca dispersión entre los datos obtenidos para las distintas DQO, pues los coeficientes de variación rondan entre 15% - 18%. Con respecto a la DQO<sub>PARTICULADA</sub>, su porcentaje de variación es el más alto, pues el valor mínimo obtenido es de 94 mg/l, mientras que el máximo es de 136 mg/l, reflejando una brecha considerable entre

los valores obtenidos, sin embargo, sigue siendo homogéneo con relación a su media que es de 114 mg/l (Tabla 11).

**Tabla 11**

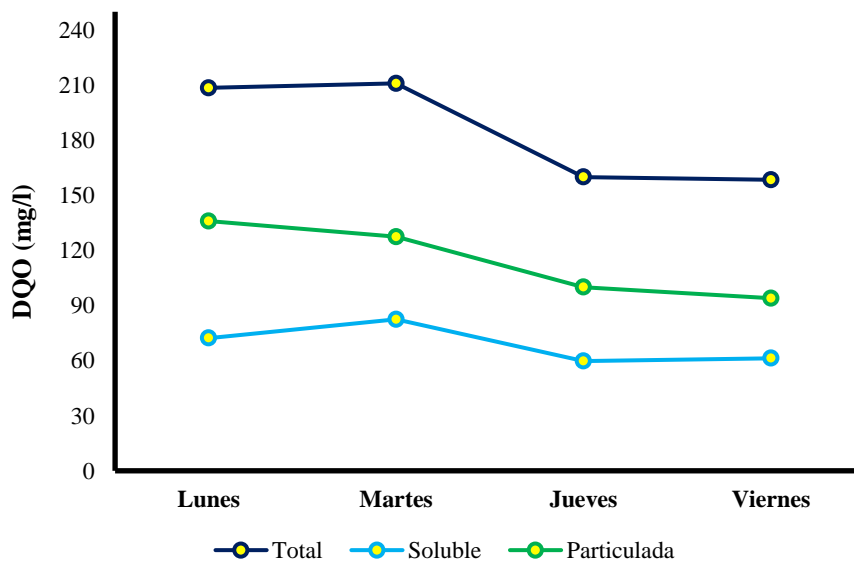
*Comparativa general de la composición de la DQO*

Días	Total	Soluble	Particulada
<b>Lunes</b>	209	72	136
<b>Martes</b>	211	83	128
<b>Jueves</b>	160	60	100
<b>Viernes</b>	159	61	94
Medidas de Dispersión			
<b>Media</b>	185	69	114
<b>DE</b>	29	11	21
<b>Mínimo</b>	159	60	94
<b>Máximo</b>	211	83	136
<b>CV (%)</b>	16	15	18

En la figura 7 se observa un comportamiento similar tanto para la parte soluble como para la particulada. Desde el análisis referente a la caracterización del agua residual de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN), se puede mencionar que estas contienen mayormente DQO particulada que soluble.

**Figura 7**

*Comportamiento de las distintas DQO*

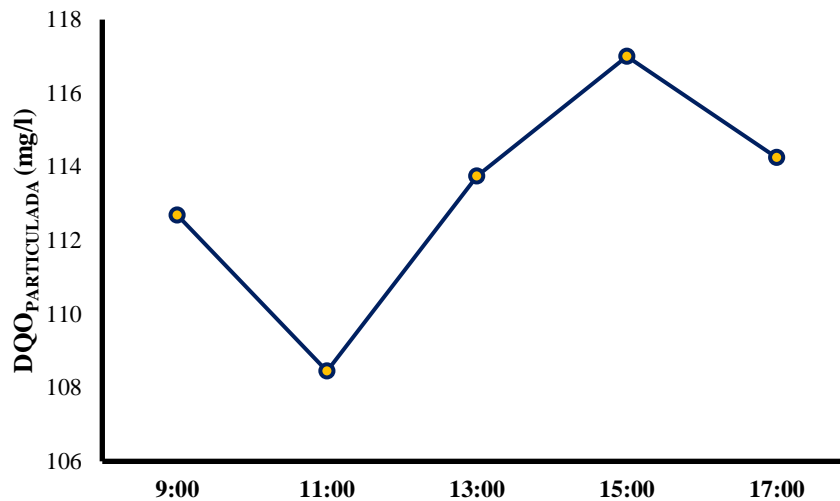




La variabilidad diaria de la  $DQO_{PARTICULADA}$  mantiene valores casi constantes, pues en promedio mantiene valores entre 108 – 117 mg/L, donde los únicos descensos de 1 mg/l son a las 11:00 am y 17:00 pm (Figura 8).

**Figura 8**

*Comportamiento diario de la  $DQO_{PARTICULADA}$*



#### 10.4. Fracción soluble inerte (Si)

Teniendo en cuenta que la planta de tratamiento del campus no se encuentra en funcionamiento se tomó como efluente el canal de descarga cercano a la terminación de la planta.

**Tabla 12**

*Resultados de la Fracción soluble inerte*

Días	Si Efluente	Duplicado
Lunes	43	42
Martes	45	45
Jueves	43	43
Viernes	42	42
Medidas de Dispersión		
Media	43	43
DE	1	1
CV (%)	3	3

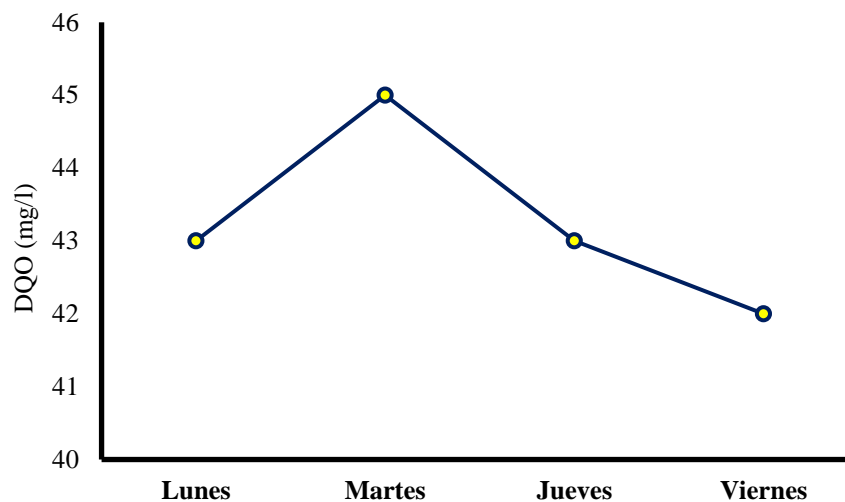
Este efluente se filtró y se procedió a la medición de la DQO soluble teniendo los valores homogéneos con relación a su media pues su coeficiente de variación es de 3% que significa que los datos son poco variables (Tabla 12).

Para esta fracción recomienda Vásquez (2007), realizar una prueba en simultaneo del licor mixto, pues al tratarlo con métodos de aireación y aclimatación el resultado mostrara únicamente la fracción inerte de la muestra, ya que los macroorganismos consumirán la materia orgánica en su totalidad. Sin embargo, en el campus la planta de tratamiento no se encuentra en funcionamiento por lo que no se tiene licor mixto del mismo, por lo que se obtiene únicamente un valor simulado del efluente para poder continuar los cálculos del protocolo de STOWA.

Los valores de la DQO soluble del efluente (Si), no muestran variaciones significativas, pues entre la semana el valor tope es de 45 mg/l, mientras que el menor corresponde a 42 mg/l, manteniendo una diferencia entre  $\pm 1$  mg/l diariamente (Figura 9).

**Figura 9**

*Comportamiento de la Fracción soluble inerte*



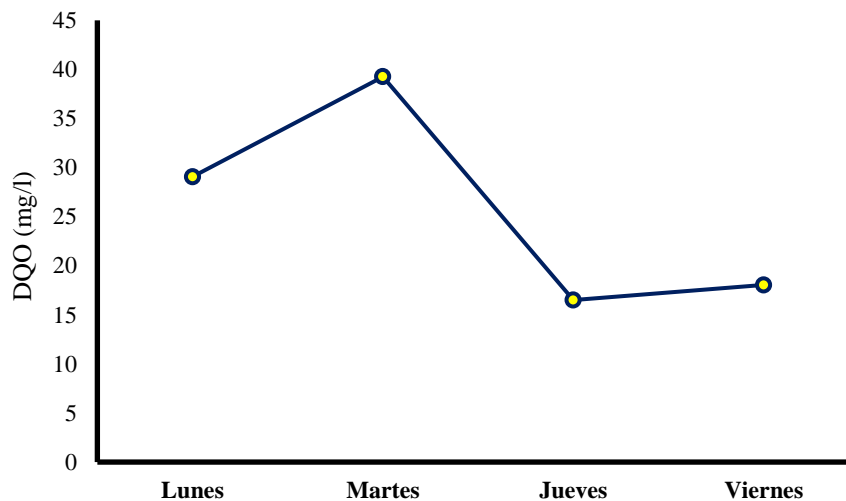
### 10.5. Fracción rápidamente biodegradable (Ss)

Para el cálculo de la siguiente fracción se usó el valor de la media obtenida por día correspondiente a la  $DQO_{SOLUBLE}$  del afluente y la Media de la fracción soluble inerte. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 13.

**Tabla 13***Resultados de la Fracción rápidamente biodegradable*

Días	DQOs Afl	Si (mg/l)	Ss (mg/l)
<b>Lunes</b>	72,31	43,25	29,06
<b>Martes</b>	82,50	43,25	39,25
<b>Jueves</b>	59,76	43,25	16,51
<b>Viernes</b>	61,29	43,25	18,04
<b>Medidas de Dispersión</b>			
<b>Media</b>	69	-	26
<b>DE</b>	11	-	11
<b>CV %</b>	15	-	41

Los resultados mostrados para la fracción en cuestión presentan diferencias significativas con un porcentaje del 41%, es decir que los valores son heterogéneos en relación a su media (Tabla 13). En la figura 10 se muestra de mejor manera el porqué de esta dispersión de datos, como se observa el valor tope es de 39 mg/l, sin embargo presentando la misma dinámica de la  $DQO_{TOTAL}$  este valor decae precipitadamente con un valor de 17 mg/l para el día jueves, subiendo solamente 1 mg/l para viernes.

**Figura 10***Comportamiento de la Fracción rápidamente biodegradable*

### 10.6. Fracción lentamente biodegradable ( $X_s$ ) y $DQO_B$

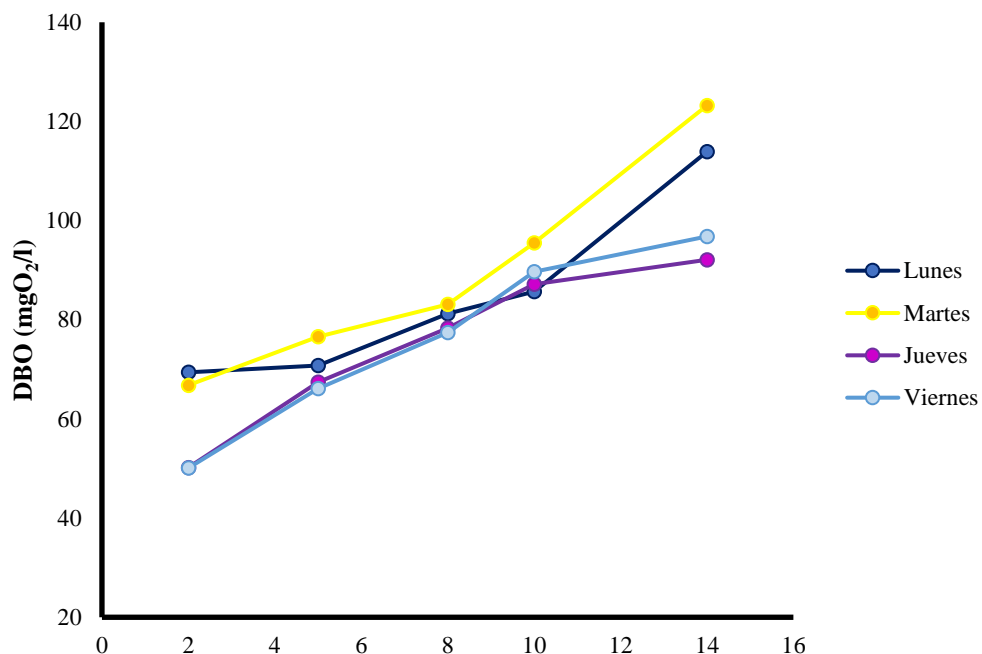
Como se explicó previamente para hallar los valores de  $X_s$  y  $DQO_b$ , se necesita analizar los valores de la DBO, en función de su tiempo. Los valores de DBO obtenidos para los días 2, 5, 8, 10 y 14 se muestran en la tabla 14.

**Tabla 14***Resultados de la DBO a 2, 5, 8, 10 y 14 días*

Días	DBO <sub>2</sub>	DBO <sub>5</sub>	DBO <sub>8</sub>	DBO <sub>10</sub>	DBO <sub>14</sub>
<b>Lunes</b>	69,4	70,8	81,2	85,7	113,9
<b>Martes</b>	66,8	76,6	83,1	95,5	123,2
<b>Jueves</b>	50,2	67,4	78,3	87,2	92,1
<b>Viernes</b>	50,1	66,1	77,4	89,7	96,8

Menciona Casale & Palomino (2021), que en este método pueden surgir valores atípicos debido a varias razones, entre las que destacan la presencia de sustancias tóxicas en la muestra que pueden inhibir el crecimiento de los microorganismos afectando a la cantidad de oxígeno consumido. También mencionan que debido a la complejidad del método se pueden dar errores de mediciones, ya sea por problemas con el equipo de medición o errores en la lectura de los resultados.

El más importante es la variabilidad en las condiciones de la muestra como la temperatura, la concentración de microorganismos, o la cantidad de materia orgánica presente. Esta última razón resulto ser de gran preocupación, pues al ser un centro universitario se prevé que la cantidad de materia orgánica variara teniendo días con una cantidad relativamente baja que no permitiera realizar la lectura de la DBO.

**Figura 11***Comportamiento de la DBO*

Según Petrucci et al. (2011), el análisis de DBO se rige por una reacción de primer orden, lo que significa que está directamente relacionada con la concentración. Esto respalda las observaciones anteriores de Vásquez (2007), que destacan la relación proporcional entre la velocidad de la reacción y la cantidad de materia orgánica en las muestras, que será utilizada por los microorganismos. Cuando los microorganismos alcanzan un estado de equilibrio con mínimas fluctuaciones, la velocidad de la reacción está determinada por la cantidad de nutrientes disponibles para los microorganismos.

En la figura 11 se muestra como la DBO mantuvo un aumento constante en los 14 días, siendo las muestras del día martes las que mayores valores de DBO registraron. Con los resultados obtenidos se procedió a determinar la  $DBO_{ULTIMA}$  y la constante cinética por el método de mínimos cuadrados, para posteriormente realizar un ajuste en la curva (regresión no lineal), teniendo los siguientes resultados (Tabla 15). Los valores obtenidos mantienen poca variabilidad entre ellos, pues el coeficiente de variación mantiene un porcentaje del 10%, lo que significa que son homogéneos con relación a la media (100 mg/l).

**Tabla 15**

*Resultados de la  $DBO_{ULTIMA}$*

<b>Días</b>	<b><math>DBO_{última}</math></b>	<b>k</b>	<b><math>R^2</math></b>
<b>Lunes</b>	101,38	0,31	0,9662
<b>Martes</b>	113,78	0,26	0,9814
<b>Jueves</b>	89,93	0,37	0,9429
<b>Viernes</b>	96,60	0,29	0,9728
<b>Medidas de Dispersión</b>			
<b>Media</b>	100	0,308	1
<b>DE</b>	10	0,045	0,017
<b>CV %</b>	10	15	2

A partir de la  $DBO_{ULTIMA}$  calculada se procedió a hallar la  $DQOb$ , este parámetro mide la cantidad de oxígeno que se necesita para descomponer la materia orgánica que puede ser descompuesta por los microorganismos (Menéndez & Dueñas, 2018).

La DBO última y la  $DQOb$  están estrechamente relacionadas, ya que ambas miden la cantidad de oxígeno consumido para descomponer la materia orgánica biodegradable en el agua. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la DBO última puede ser menor que la  $DQOb$ , ya que con el tiempo, la cantidad de materia orgánica disponible para la descomposición disminuye y los microorganismos están muriendo, lo que reduce la demanda de oxígeno (Muñoz et al.,

2000). Esta singularidad se observa en la tabla 16, pues el valor promedio de la DBO última es de 100 mg/l, mientras que para la DQOb es de 118 mg/l siendo este valor relativamente más alto que el de DBO.

**Tabla 16**

*Resultado de la DQO biodegradable*

<b>Días</b>	<b>DBO<sub>última</sub></b>	<b>K</b>	<b>DQOb</b>
<b>Lunes</b>	101,38	0,31	119,27
<b>Martes</b>	113,78	0,26	133,86
<b>Jueves</b>	89,93	0,37	105,80
<b>Viernes</b>	96,60	0,29	113,65
<b>Medidas de Dispersión</b>			
<b>Media</b>	100	0,31	118
<b>DE</b>	10	0,0450	12
<b>CV %</b>	10	15	10

De acuerdo a lo planteado en la metodología la fracción lentamente biodegradable ( $X_s$ ), se obtiene a partir de los valores de la fracción rápidamente biodegradable y la DQO biodegradable, usando la siguiente expresión:

$$DQO_b = S_s + X_s \quad \text{despejamos} \quad X_s = DQO_b - S_s$$

La tabla 17 muestra los valores de  $X_s$  calculados a partir de las variables mencionadas anteriormente, un punto a destacar es la casi nula diferencia significativa que presentan los resultados obtenidos. La fracción lentamente biodegradable mantiene un valor promedio de 92 mg/l.

**Tabla 17**

*Resultados de la Fracción lentamente biodegradable*

<b>Días</b>	<b>DQOb</b>	<b>Ss</b>	<b>Xs</b>
<b>Lunes</b>	119,27	29,06	90,21
<b>Martes</b>	133,86	39,25	94,61
<b>Jueves</b>	105,80	16,51	89,29
<b>Viernes</b>	113,65	18,04	95,61
<b>Medidas de Dispersión</b>			
<b>Media</b>	118	26	92
<b>DE</b>	12	10,616	3,142
<b>CV %</b>	10	41	3

La fracción particulada lentamente biodegradable es importante para los procesos ejecutados en cada etapa del PTAR, ya que puede influir en varios de ellos, uno de ellos según menciona Menéndez & Dueñas (2018), es el procesos de lodos activados, pues si existe una gran cantidad de esta fracción en el agua residual, puede requerir un tiempo de retención más largo en el sistema de tratamiento para asegurar su descomposición completa.

También en la fase del tratamiento biológico como afirman Baquero & Lara (2014), los procesos biológicos dependen de los microorganismos para descomponer la materia orgánica en el agua residual, la presencia de la fracción en mención puede afectar la eficiencia de estos procesos, si en dado caso los microorganismos no pueden descomponer completamente esta fracción, puede resultar en una mayor concentración de materia orgánica en el efluente tratado.

### 10.7. Fracción particulada inerte (Xi)

La última incógnita revelo una media de 23 mg/l, es preciso mencionar que el coeficiente de variación indica que los valores obtenidos son muy variables en relación a su media, pues como se muestra en la desviación la fracción varia 20 mg/l con respecto a su valor medio (Tabla 18).

**Tabla 18**

*Resultados de la Fracción particulada inerte*

<b>Días</b>	<b>Xi</b>
<b>Lunes</b>	46,23
<b>Martes</b>	32,14
<b>Jueves</b>	11,20
<b>Viernes</b>	2,85
<b>Medidas de Dispersión</b>	
<b>Media</b>	23
<b>DE</b>	20
<b>CV %</b>	85

En forma de resumen con todas las fracciones halladas se puede observar en la tabla 19, que la fracción que más caracteriza a las aguas residuales del campus Salache es la fracción lentamente biodegradable (Xs) con un porcentaje promedio de 52%. En cuanto a la DQO no Biodegradable en general se observa que caracterizan tan solo el 36% del agua, siendo superada con el 54% correspondiente a la parte biodegradable.

**Tabla 19***Vista general de los valores del Fraccionamiento de la DQO*

<b>Días</b>	<b>DQO total</b>	<b>DQO<sub>Biodegradable</sub></b>		<b>DQO<sub>No biodegradable</sub></b>	
		<b>Ss</b>	<b>Xs</b>	<b>Si</b>	<b>Xi</b>
<b>Lunes</b>	208,50	29,06	90,21	43,00	46,23
<b>Martes</b>	211,00	39,25	94,61	45,00	32,14
<b>Jueves</b>	160,00	16,51	89,29	43,00	11,20
<b>Viernes</b>	158,50	18,04	95,61	42,00	2,85
<b>Medidas de Dispersión</b>					
<b>Media</b>	185	26	92	43	23
<b>Porcentaje</b>	100%	14%	50%	23%	13%
<b>DE</b>	29	11	1	3	20
<b>CV %</b>	16	41	1	7	85

La fracción lentamente biodegradable (Xs) en las aguas residuales domésticas es la parte de la materia orgánica que se degrada a un ritmo más lento valga la redundancia, esto se debe a que está compuesta por compuestos más complejos y resistentes a la degradación, como los lípidos y las proteínas.

Mencionan How et al. (2020), que la presencia de la fracción Xs en las aguas residuales domésticas puede causar problemas en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, ya que puede dificultar la eliminación de la materia orgánica y aumentar la producción de lodos. Además, esta fracción puede contribuir a la formación de biopelículas en las tuberías y equipos de tratamiento, lo que puede reducir la eficiencia del sistema. También mencionan que las aguas que mantienen un porcentaje alto de esta fracción están conformadas por compuestos orgánicos resistentes a la biodegradación, que pueden incluir ciertos tipos de detergentes, productos de limpieza y otros productos químicos domésticos.

## **11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)**

### **- Impactos técnicos**

El conocimiento detallado de las características de las aguas residuales, incluidas las fracciones de DQO, es importante en términos de modelado y optimización de procesos bioquímicos en sistemas modernos y rentables de lodos activados para eliminación biológica de nutrientes (BNR). Menciona Drewnowski et al. (2020), que al comprender las diferentes fracciones de DQO en las aguas residuales domésticas puede ayudar a las plantas de tratamiento de aguas



residuales a optimizar sus procesos de tratamiento. Por ejemplo, el conocimiento del sustrato lentamente biodegradable (Xs) puede ayudar en el diseño de biorreactores de lodos activados más eficientes.

#### - **Impactos sociales**

Con respecto a este aspecto se tiene un impacto positivo en la salud pública al contribuir a la reducción de la contaminación del agua, lo que a su vez puede beneficiar a la comunidad universitaria y a las poblaciones cercanas. Además de fomentar la conciencia ambiental entre la comunidad universitaria al resaltar la importancia del tratamiento adecuado de las aguas residuales.

Visto desde las plantas de tratamientos grandes menciona Wu et al. (2014), que esto puede ayudar a optimizar los procesos de tratamiento de aguas residuales y reducir los costos asociados. Además, puede proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en políticas públicas relacionadas con el tratamiento de aguas residuales y la protección del medio ambiente.

#### - **Impactos ambientales**

La determinación de las fracciones de la DQO puede ayudar a evitar daños a la vida acuática al garantizar un tratamiento adecuado de las aguas residuales antes de su liberación en fuentes de agua. Por ejemplo, una alta fracción rápidamente biodegradable (Ss) puede agotar rápidamente el oxígeno disuelto en cuerpos de agua receptores, lo que puede afectar negativamente al ecosistema.

#### - **Impactos Económicos**

La gestión efectiva de las aguas residuales puede tener implicaciones económicas significativas. El tratamiento de aguas residuales con alta DQO puede requerir inversiones significativas en infraestructura y operación. El caracterizar la parte carbonosa del agua residual del Campues puede ayudar a la universidad a tomar decisiones informadas sobre las inversiones necesarias para el tratamiento de aguas residuales.

## **12. PRESUPUESTO**

El presupuesto presentado es un aproximado de lo invertido en el presente proyecto (Tabla 20).

**Tabla 20***Presupuesto para la elaboración del proyecto.*

<b>Elemento</b>	<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>
Reactivos químicos	Reactivos para 25 tests de DQO 0-150 mg	140,64
	Ensayos de DBO – Método Respirimetrico, Laboratorio CICAM	125
Equipamiento	Espectrofotómetro para análisis de DQO	-
	Pipetas y material de laboratorio	317,5
Personal técnico	Salario de químico analista por mes	621
	Salario de técnico de laboratorio por mes	500
Otros gastos	Consumibles adicionales (guantes, frascos, etc.)	150
	Transporte para muestras	15
Costos indirectos	Alquiler de espacio de laboratorio	-
	Costos de electricidad y agua	75
<b>Total</b>		<b>1944,14</b>

### 13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 13.1. Conclusiones

La caracterización del agua residual mostro concentraciones de DQO total promedio de 185 mg/L, misma que está conformada por valores de DQO soluble que variaron entre 60 mg/L y 83 mg/L, y concentraciones de DQO particulada que variaron entre 94 mg/L y 136 mg/L. Este rango de variación es esperado para este tipo de sistemas y muestra la necesidad de realizar un seguimiento constante de la calidad del agua.

El análisis realizado siguiendo el protocolo de STOWA proporcionó información crucial sobre las diferentes fracciones de DQO presentes en el agua residual bajo estudio. Se observaron variaciones en las concentraciones de las diferentes fracciones: la fracción soluble inerte (Si) osciló entre 42 mg/L y 45 mg/L, la fracción rápidamente biodegradable (Ss) mostró valores entre 16 mg/L y 39 mg/L, mientras que la fracción lentamente biodegradable (Xs) registró un rango de 89 mg/L a 95 mg/L. Por último, la fracción particulada inerte (Xi) presentó una variación de 2 mg/L a 46 mg/L. Al analizar los resultados obtenidos, se evidenció una diferencia significativa en los datos de las fracciones Ss y Xi, por lo que se sugiere que esta discrepancia podría atribuirse al método Respirimétrico utilizado, aunque dicho método está especificado

en el protocolo, los autores del mismo han indicado que podría no ser el más idóneo. No obstante, su empleo proporciona una mayor flexibilidad en la calibración de las fracciones, lo que podría justificar las variaciones observadas.

Finalmente, se analizaron las fracciones de DQO para medir su incidencia en la eficiencia operativa de la planta de tratamiento, indicando que la eficiencia de la planta de tratamiento puede ser afectada por las variaciones en las fracciones de DQO, especialmente la fracción lentamente y rápidamente biodegradable ( $X_s$  y  $S_s$ ), ya que en conjunto conforma la DQO biodegradable y según el estudio estos son los más representativos, pues conforma más del 50% de las aguas residuales del campus, señalando que se debe mejorar el sistema dirigido al tratamiento biológico para reducir la cantidad de material biodegradable para mejorar la calidad de las descargas.

### **13.2. Recomendaciones**

En el protocolo de STOWA, de acuerdo a la bibliografía se indica que en el procedimiento con el método de respirometría se pueden presentar errores, pues no se mide los mismos parámetros que la prueba de DBO estándar. Es posible que la respirometría no refleje con precisión la DBO de las muestras, especialmente si la muestra contiene materia orgánica lentamente biodegradable como es el caso de las aguas residuales del campus, es por ello que se sugiere realizar análisis con mayor profundidad y acompañarlos con análisis en base al método de DBO a cinco días.

La caracterización de las aguas residuales del campus Salache reveló que contiene mayor fracciones biodegradables liderando la de lenta biodegradabilidad, este hallazgo tiene implicaciones importantes para el tratamiento de aguas residuales, por lo que se sugiere la necesidad de optimizar los procesos de tratamiento para manejar eficientemente esta fracción, como el aumentar el tiempo de retención hidráulica, optimizar los procesos biológicos, implementar procesos de pretratamiento y considerar tratamientos terciarios o avanzados.

#### 14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baquero, A., & Lara, J. (2014). Experiencias y resultados de la operación y modelación de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales domesticas en Bogotá. XXXIV Congreso interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 9. <https://doi.org/10.13140/2.1.2338.5286>
- Barbecho, V., & Bosquez, C. (2008). Estudio de prefactibilidad del tratamiento de aguas residuales del colector norte, en la ciudad de Puyo [EPN]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/992/1/CD-1294.pdf>
- Bina, B., Nikzad, N., Ghodsi, S., Momeni, S. A., Attar, H. M., Janati, M., & Mohammadi, F. (2022). Investigation, biokinetic calculation, and modelling of a real combined industrial wastewater biological treatment process by activated sludge models. *Environmental Health Engineering and Management*, 9(4), 329–338. <https://doi.org/10.34172/EHEM.2022.35>
- Borzooei, S., Simonetti, M., Scibilia, G., & Zanetti, M. C. (2021). Critical evaluation of respirometric and physicochemical methods for characterization of municipal wastewater during wet-weather events. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(3), 105238. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2021.105238>
- Casale, S., & Palomino, H. (2021). Sistema de medición de DBO por respirometria SM 5210 D. *Avántika*. [https://avantika.com.co/wp-content/uploads/2021/09/Webinar-Sistema-de-medicion-de-DBO-por-respirometria-SM-5210-D\\_\\_compressed.pdf](https://avantika.com.co/wp-content/uploads/2021/09/Webinar-Sistema-de-medicion-de-DBO-por-respirometria-SM-5210-D__compressed.pdf)
- Castro Olarte, J., Cabrera, Y. C., Jesús, T., Huamán, G., & Sumarriva Bustinza, L. (2019). Remoción de materia orgánica en reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente en el tratamiento de aguas residuales del camal de Huancavelica. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 85(3), 362–375.
- Chalarca Rodríguez, D. A., Mejía Ruiz, R., & Aguirre Ramírez, N. J. (2007). Aproximación a la determinación del impacto de los vertimientos de las aguas residuales domésticas del municipio de Ayapel, sobre la calidad del agua de la ciénaga. <https://doi.org/2422-2844>
- COIDMAEC. (2023). Oficina de Información Diplomática Ficha País República del Ecuador. [https://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/ECUADOR\\_FICHA\\_PAIS.pdf](https://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/ECUADOR_FICHA_PAIS.pdf)

- Delanka-Pedige, H., Munasinghe-Arachchige, S. P., Abeysiriwardana-Arachchige, I. S. A., & Nirmalakhandan, N. (2021). Wastewater infrastructure for sustainable cities: assessment based on UN sustainable development goals (SDGs). *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 28(3), 203–209. <https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1795006>
- Drewnowski, J., Szeląg, B., Xie, L., Lu, X., Ganesapillai, M., Deb, C. K., Szulżyk-Cieplak, J., & Łagód, G. (2020). The Influence of COD Fraction Forms and Molecules Size on Hydrolysis Process Developed by Comparative OUR Studies in Activated Sludge Modelling. *Molecules*, 25(4), 929. <https://doi.org/10.3390/molecules25040929>
- Espinosa, M., & Fall, C. (2013). Optimización de la producción de lodos en un sistema de lodos activados a través de la calibración del modelo ASM1. <https://doi.org/1405-7743>
- Fall, C. (2003). Agua Potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. [http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo\\_22.pdf](http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_22.pdf)
- Fuentes, Rosa María, Ramos, José Alfredo, Jiménez, María del Carmen, & Esparza, Mario. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 253-264.
- González, J. (2020). Modelos de procesos para el tratamiento de aguas residuales [UNIVERSIDAD PONTIFICIA]. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/42917/TFG-GarcAaGonzAlezJoseIgnacio.pdf?sequence=1>
- Guerrero, J., & Males, J. (2023). Evaluación del comportamiento del biorreactor de la PTAR Quitumbe, en función del fraccionamiento de DQO y material nitrogenado, considerando como variable controlada la edad del lodo [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25627/1/TTS1435.pdf>
- Habibur, R., & Rokeya, A. (2020). Importance of Safe Drinking Water for Human Life. *Research: Molecular & Cellular Clinical Biochemist*, 1(1). [https://www.researchgate.net/publication/341539508\\_Importance\\_of\\_Safe\\_Drinking\\_Water\\_for\\_Human\\_Life](https://www.researchgate.net/publication/341539508_Importance_of_Safe_Drinking_Water_for_Human_Life)

- Henze M., Gujer W., Mino T., Van Loosdrecht, M.C.M. Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, London UK, IWA Scientific and Technical Report 9, 2002, pp. 1-121.
- Henze, M., Gujer, W., Mino, T., & van Loosedrecht, M. (2015). Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. *Water Intelligence Online*, 5(0), 9781780402369-9781780402369. <https://doi.org/10.2166/9781780402369>
- Herrera, J. S. (2023). Guía para el predimensionamiento de plantas de tratamiento de agua residual doméstica en sistemas descentralizados (PTARDSD) [Universidad Libre]. [https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/26833/Trabajo de grado.pdf?sequence=1](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/26833/Trabajo_de_grado.pdf?sequence=1)
- How, S. W., Sin, J. H., Wong, S. Y. Y., Lim, P. B., Mohd Aris, A., Ngoh, G. C., Shoji, T., Curtis, T. P., & Chua, A. S. M. (2020). Characterization of slowly-biodegradable organic compounds and hydrolysis kinetics in tropical wastewater for biological nitrogen removal. *Water Science and Technology*, 81(1), 71-80. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.077>
- INEN. (2013). Agua. Calidad Del Agua. Muestreo. Manejo Y Conservación De Muestras. Norma Tecnica Ecuatoriana, 26.
- Izurieta, R., Campaña, A., Calles, J., Estévez, E., & Ochoa, T. (2019). Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades (G. Roldán, J. Tundisi, B. Jiménez, K. Vammen, H. Vaux, E. González, M. Doria, & U.-I. para L. y el Caribe (eds.)). *The Inter-American Network of Academies of Sciences (IANAS)*. <https://www.researchgate.net/publication/335686525>
- Jacome, A., & Suarez, J. (2017). Modelación Dinámica De Fangos Activos: ASM 1 - IWA.
- Menéndez, C., & Dueñas, J. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *The Biological processes of wastewater treatment from a non-conventional vision*, 163(991), 232-284. <https://doi.org/10.1098/RSPB.1965.0070>
- Molina, A., Pozo, M., & Serrano, J. C. (2018). Agua, saneamiento e higiene: medición de los ODS en Ecuador. Instituto Nacional de Estadística y Censos y UNICEF (INEC-UNICEF).

- Montes de Oca, E. (2006). Evaluación de la variabilidad diurna de las fracciones de la DQO del ASM1 en aguas residuales municipales de Toluca [Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/94529>
- Moya-Llamas, M. J., Pacazocchi, M. G., & Trapote, A. (2023). Respirometric tests in a combined UASB-MBR system treating wastewater containing emerging contaminants at different OLRs and temperatures: Biokinetic analysis. *Journal of Environmental Management*, 345, 118643. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2023.118643>
- Muñoz, H., Mejía, G., Chaverra, M., & Vasquez, E. (2000). Una aproximación al estimativo la DBO y la DQO de aguas residuales por medio de la medida del carbono orgánico total. *Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Antioquia*, 20, 20-28. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.325840>
- Myszograj, S., Płuciennik-Koropczuk, E., & Jakubaszek, A. (2017). Cod Fractions - Methods of Measurement and Use in Wastewater Treatment Technology. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 24(1), 195–206. <https://doi.org/10.1515/ceer-2017-0014>
- NTE INEN. (2013). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176 : 2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO. Instituto Ecuatoriano de Normalización, First Edit, 1–15.
- Omayra, J. (2019). Tratamiento de aguas residuales de una empresa industrial de congelados. <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/be5fdfe4-76cc-454d-a3b9-c89402a4f18f/content>
- Peña Samaniego, B., Katherine Bach SOLIS HUAROC, A., & Anthony, Y. (2022). Influencia del oxígeno disuelto y tiempo sobre la tasa de crecimiento de microorganismos en el tratamiento de agua residual. [Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Pérez, A., & Torres, P. (2008). Índices de alcalinidad para el control del tratamiento anaerobio de aguas residuales fácilmente acidificables. 10, n, 13. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291323482002>
- Petrucci, R., Herring, F., Madura, J., & Bissonnette, C. (2011). *Química General* (10 ed.). Pearson.

- Pire, M., Rodríguez, K., Fuentemayor, M., Fuentemayor, Y., Acebedo, H., Carrasquero, S., & Díaz, A. (2011). Biodegradabilidad De Las Diferentes Fracciones De Agua Residual Producidas En Una Tenería. 21(2), 16. <https://doi.org/0124-8170>
- Quintuña, H., & Tigse, E. (2021). Implementación del modelo de lodos activados No1 usando diagramas de bloques y validación con un reactor biológico de lodos activos mezcla completa a escala piloto [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19927/1/UPS - TTS299.pdf>
- Quiroz, L., Menéndez, E., & Menéndez, C. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(3), 41–51.
- Quishpe, D. (2021). Estudio Hidrosanitario. Distrito Metropolitano de Quito. [https://www7.quito.gob.ec/mdmq\\_ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Comisiones%20del%20Concejo%20Metropolitano/Areas%20Hist%C3%B3ricas%20y%20Patrimonio/2022/2022-01-17/Documentos%20para%20tratamiento/2.%20Proyecto%20Maji%20Chimbolema/6-c\\_memoria\\_t%C3%A9cnica\\_iihh-signed.pdf](https://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Comisiones%20del%20Concejo%20Metropolitano/Areas%20Hist%C3%B3ricas%20y%20Patrimonio/2022/2022-01-17/Documentos%20para%20tratamiento/2.%20Proyecto%20Maji%20Chimbolema/6-c_memoria_t%C3%A9cnica_iihh-signed.pdf)
- Rivera Castro, C. A., Letelier Pino, J. A., Acevedo Pizarro, B., Tobar Correa, T. del P., Loreto Torres Lepe, C., Cataldo Figueroa, A. M., Rudolph Geisse, A., Rivera Castro, M. Á., Rivera Castro, C. A., Letelier Pino, J. A., Acevedo Pizarro, B., Tobar Correa, T. del P., Loreto Torres Lepe, C., Cataldo Figueroa, A. M., Rudolph Geisse, A., & Rivera Castro, M. Á. (2020). CALIDAD DEL AGUA DEL ESTERO EL SAUCE, VALPARAÍSO, CHILE CENTRAL. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(2), 261–273. <https://doi.org/10.20937/RICA.53465>
- Roeleveld, P. J., & van Loosdrecht, M. C. M. (2002). Experience with guidelines for wastewater characterisation in The Netherlands. *Water Science & Technology*, 45(6), 77-87. <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0095>
- Salazar Arias, J. P., Guanoquiza Tello, L. L., Borges Garcia, M., Lasluisa Cabascango, E. W., & Ortiz Bustamante, V. M. (2020). Impactos Ambientales Negativos De La Urbanización En La Localidad Residencial Del Río Quevedo, Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(3), 6-12.



- Santa Cruz, J. A., Scenna, N. J., & Mussati, M. C. (2015). Reducción del modelo ASM1 mediante invariantes de reacción. Aplicación a etapas batch. <https://44jaiio.sadio.org.ar/sites/default/files/sii13-24.pdf>
- Santibáñez, J. (2019). Conceptos básicos de la inferencia estadística. Departamento de Probabilidad y Estadística UNAM. [https://sigma.iimas.unam.mx/jsantibanez/Cursos/Inferencia/2019\\_1/notas/u2.pdf](https://sigma.iimas.unam.mx/jsantibanez/Cursos/Inferencia/2019_1/notas/u2.pdf)
- Serna, M. (2019). ¿Cómo mejorar el muestreo en estudios de porte medio usando diseños con métodos mixtos? Aportes desde el campo de estudios de elites. 187-210. <https://doi.org/10.5944/empiria.43.2019.24305>
- Sette Ramalho, R. (2021). Tratamiento de aguas residuales. Academic Press, Inc. (LONDON) LTD. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=T9MfEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=Tipos+de+muestra+de+agua&ots=3kETkr7pvg&sig=vQ7PFAtPtJhuFh2RfFpnAjvTbk#v=onepage&q=Tipos de muestra de agua&f=false>
- Sierra Ramírez, C. A. (2021). Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico (1° edición). Digiprint Editores E.U. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2fAYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=Toma+De+Muestras+de+agua&ots=ceVQQo4Gai&sig=p-NTJ36nW6csK43qeNLZarJCFBs#v=onepage&q=Toma De Muestras de agua&f=false>
- Standard Methods Committee of the American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. (2017). 5210 BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND (BOD). En Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater (1-0). American Public Health Association. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.102>
- Súñiga Almache, A. N., Cando Almache, R. M., Peniafiel Palacios, A. J., & Nivel Ortega, S. E. (2022). Contaminación del Agua En El Río Jujan Hídrica-Ecuador. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 2, 71–78.
- Terán, C., Cando, C., Murgueitio, M. J., & Nabernegg, M. (2016). Directora de Estadísticas Agropecuarias y Ambientales: Coordinador de Producción Estadística.
- Ubillús Farfán, S. W., Contreras Rivera, R. J., López Sánchez, R. N., Patiño Ramírez, S., & Sáenz Avila, J. C. (2022). Políticas públicas y la gestión de la calidad ambiental para la

- descontaminación de ríos. In *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* (Vol. 6, Issue 6). [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i6.3586](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3586)
- Vargas, A. K. N., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M., Núñez, D. A., Vargas, A. K. N., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M., & Núñez, D. A. (2020). Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(2), 315–322. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000200315>
- Vargas, V. (2007). *Estadística descriptiva para ingeniería ambiental con SPSS*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52004>
- Vásquez, G. (2007). *Evaluación del protocolo de la STOWA para la determinación de las fracciones de DQO del modelo ASM1 en aguas residuales municipales de Toluca [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]*. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/94528>
- Werkneh, A. A., & Gebru, S. B. (2023). Development of ecological sanitation approaches for integrated recovery of biogas, nutrients and clean water from domestic wastewater. *Resources, Environment and Sustainability*, 11, 100095. <https://doi.org/10.1016/J.RESENV.2022.100095>
- Wu, J., Yan, G., Zhou, G., & Xu, T. (2014). Wastewater COD biodegradability fractionated by simple physical–chemical analysis. *Chemical Engineering Journal*, 258, 450-459. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.07.106>