



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

SISTEMATIZACIÓN DE EXPERIENCIAS

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

TITULO

**“Revalidación de análisis de demanda química de oxígeno para
aguas residuales en el laboratorio CESECCA”**

Autores:

Cedeño Macías Nahomy Nicolle

Estrada Palma Génesis Lisbeth

Tutor de Titulación:

Ing. Fernando José Veloz Párraga

Manta - Manabí - Ecuador

2025 (2)

**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL.**



SISTEMATIZACIÓN DE EXPERIENCIAS

**“Revalidación de análisis de demanda química de oxígeno para
aguas residuales en el laboratorio CESECCA”**

Sometida a consideración del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí como requisito para obtener el título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Aprobado por el Tribunal Examinador:

DECANO DE LA FACULTAD
Ing.

DIRECTOR
Ing.

JURADO EXAMINADOR

JURADO EXAMINADOR

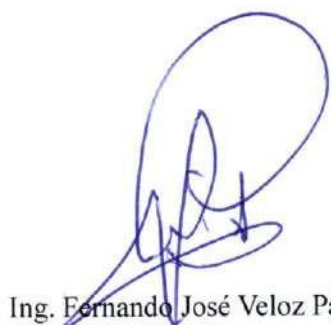
Certificación del Tutor

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de las estudiante **Cedeño Macías Nahomy Nicolle y Estrada Palma Génesis Lisbeth**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Industrial, período académico **2025-2**, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **"Revalidación de análisis de demanda química de oxígeno para aguas residuales en el laboratorio CESECCA"**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad de este, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

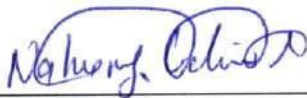
Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.



Ing. Fernando José Veloz Párraga
TUTOR DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE TESIS

Cedeño Macías Nahomy Nicolle y Estrada Palma Génesis Lisbeth, estudiantes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ingeniería Industria y Arquitectura, Carrera de Ingeniería Industrial, libre y voluntariamente declaro que la responsabilidad del contenido del presente trabajo titulado **“Revalidación de análisis de demanda química de oxígeno para aguas residuales en el laboratorio CESECCA.”** Es una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del tutor, Ing. Fernando José Veloz Párraga y la propiedad intelectual de la misma pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.



Cedeño Macías Nahomy Nicolle
C.I. 131689975-4



Estrada Palma Génesis Lisbeth
C.I. 131474902-7



Ing. Veloz Párraga Fernando José
C.I. 130929408-8

Dedicatoria

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida dándome la fe y la fortaleza para culminar con éxito esta etapa universitaria. Este logro lo dedico a Dios y a mí misma en especial por la constancia y la perseverancia demostradas a lo largo de este camino hasta alcanzar esta meta tan importante.

A mis queridos padres César Cedeño y Viviana Macías: gracias por el amor sin condiciones que siempre me han dado y por cada esfuerzo que hicieron solo para verme llegar hasta aquí. Todo lo que soy y cada cosa buena que he logrado lleva su marca; este camino no lo caminé sola lo hice con su amor y su guía en cada paso. No hay palabras que alcancen para decirles lo agradecida que estoy, pero quiero que sepan que cada logro mío también es de ustedes porque sin su amor y su fuerza nada de esto habría pasado.

A mi querido hermano Michael Cedeño gracias por tu apoyo tu cariño y por estar siempre presente en cada etapa de mi vida.

A mi amado abuelo José quien hoy no se encuentra físicamente y fue mi fortaleza mis últimos semestres. Este logro te lo dedico con todo mi corazón sé que desde el cielo me estás mirando orgulloso.

A mi amiga y compañera de toda la carrera Génesis Estrada gracias por tu amistad por las risas compartidas y por los ánimos cuando todo parecía imposible. Cada momento compartido en este camino quedará guardado en mi corazón.

Este título no es solo el fruto de mi esfuerzo también es el resultado del amor la fe y el apoyo inquebrantable de cada persona que creyó en mí y caminó a mi lado durante esta etapa tan importante de mi vida. Con todo mi corazón les dedico este triunfo.

— **Cedeño Macías Nahomy Nicolle**

Primeramente, este logro se lo dedico a Dios por haber guiado cada uno de mis pasos por iluminar mi camino en los momentos de duda y darme la fortaleza necesaria para seguir adelante. A Él por ser mi fuente de fe esperanza y sabiduría.

A Rosa Palma y Silvano Estrada mis papás adorados, ustedes son el verdadero motor de cada paso que doy, por ser mi refugio seguro en los días más duros por enseñarme con su ejemplo a luchar sin rendirme jamás y sobre todo por ese apoyo incondicional que nunca ha fallado este logro lleva su esencia en cada detalle. De hecho, no es solo mío, sino que representa un pedacito enorme de cada uno de ustedes porque sin su amor constante su paciencia infinita y esa fe que siempre me transmitieron nada de esto habría sido posible.

A mis hermanos Jessica, Edison, Irvin y Xavier por acompañarme y confiar en mí, por su respaldo constante su cariño y sus palabras de aliento a lo largo de las etapas más difíciles de todo el proceso.

A mi novio Henry Morales, quien creyó en mí, quien llegó en el momento menos esperado y se convirtió en lo que más necesitaba siendo mi impulso cuando me desvanecía, mi fuerza en momentos de debilidad y mi calma entre tanto ruido.

A Robinsson Palma, mi primo querido, tu presencia sigue siendo mi luz más fuerte incluso desde el cielo. Aunque ya no estés físicamente a mi lado vives en cada latido de mi corazón y en cada paso valiente que me atrevo a dar así que todo el coraje y las lecciones tan profundas que me dejaste en esos momentos compartidos brillan hoy en este trabajo. De hecho, este logro es un pequeño pero sincero tributo a tu legado hermoso y al mayor sueño que siempre tuviste para mí porque gracias a ti sigo adelante con la misma fuerza que me enseñaste.

A mi querida amiga y compañera Nahomy Cedeño, por su invaluable apoyo su confianza y por estar siempre presente en cada paso de este camino por estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos dándome su apoyo incondicional y creyendo en mi incluso cuando yo dudaba.

Este logro brilla con la fuerza de tantos corazones que me sostuvieron en cada momento y hoy lo celebro con toda el alma. Es fruto del esfuerzo constante que puse día tras día del apoyo incondicional que nunca me faltó y de esa confianza absoluta que cada persona me regaló a lo largo de todo el camino, así que con una gratitud inmensa y profunda dedico este triunfo a quienes creyeron en mí desde el primer paso.

— **Estrada Palma Génesis Lisbeth**

Reconocimiento

Al concluir con esta etapa maravillosa quiero extender mi agradecimiento a las personas que hicieron posible este sueño con su ayuda ante mí demostrándome apoyo y confianza.

Agradezco a Dios por darme la fe y la fortaleza para culminar esta etapa universitaria. A mis padres por su amor y cada sacrificio realizado para verme cumplir este sueño; a mi hermano por estar presente en cada etapa; a mi abuelo José quien, aunque ya no está me dio fuerza para seguir; a mi amiga y compañera que juntas logramos culminar nuestra tesis; y a todas las personas que creyeron en mí y me motivaron a nunca rendirme.

Extiendo mi agradecimiento a mi tutor de tesis Ing. Fernando Veloz y a todo el personal del laboratorio CESECCA por su guía paciencia y conocimientos valiosos cuyo apoyo fue fundamental para la realización de esta tesis.

Este logro es fruto del esfuerzo la dedicación y el cariño de todos ustedes a quienes agradezco con gratitud este importante paso en mi vida académica.

- **Cedeño Macías Nahomy Nicolle**

Al finalizar esta etapa tan importante quiero manifestar mi gratitud a quiénes hicieron posible este sueño ofreciéndome su respaldo fe y compañía durante el trayecto.

Agradezco a Dios por ser mi guía en cada paso de este camino. A mis padres por su amor ánimo y confianza en todo este proceso. A mis hermanos por estar presentes en cada etapa de mi vida. A mi novio que sostuvo mi mano en cada momento difícil. A mi primo que, aunque no esté siempre estuvo orgulloso de mi. A mi amiga quien con su fe inquebrantable y corazón amoroso han sido luz en mi camino personal y académico.

Agradezco también a mi tutor de tesis el Ing. Fernando Veloz y al personal del Laboratorio CESSECA por su guía dedicación y los conocimientos valiosos que me proporcionaron mientras trabajaba en este proyecto.

A todos les extiendo mi agradecimiento más puro sincero ya que sin ustedes nada de esto hubiera sido posible. Los llevaré por siempre en mi corazón.

- **Estrada Palma Génesis Lisbeth**

Índice de Contenido

Dedicatoria	5
Reconocimiento.....	7
Índice de Contenido	8
Índice de Tablas	12
Índice de Figuras.....	12
Índice de Anexos.....	13
Resumen Ejecutivo	13
Executive Summary	15
Introducción	16
Planteamiento del problema	18
Formulación del problema.....	20
Pregunta de directrices	20
Objetivos.....	21
Objetivo General.....	21
Objetivos Específicos	21
Justificación	22
Capítulo 1	23
1 Fundamentación Teórica.....	23
1.1 Antecedentes Investigativos	23
1.2 Bases Teóricas.....	30
1.2.1 Demanda Química de Oxígeno	30
1.2.2 Aguas residuales.....	30
1.2.2.1 Aguas residuales industriales	31
1.2.2.2 Aguas servidas	31
1.2.3 Laboratorios de ensayo	33

1.2.4	Análisis químicos del agua	33
1.2.4.1	Alcalinidad total.....	33
1.2.4.2	Dureza total.....	34
1.2.4.3	pH.....	34
1.2.4.4	Cloruros.....	35
1.2.4.5	Temperatura	35
1.2.4.6	Cloro residual libre.....	35
1.2.5	Espectrofotómetro.....	36
1.2.6	Estimación de incertidumbre	36
1.2.7	Validación de métodos	37
1.2.7.1	Validación prospectiva.....	38
1.2.7.2	Validación retrospectiva	38
1.2.8	Revalidación.....	40
1.2.9	Acreditación de ensayos.....	40
1.2.9.1	Ensayo	41
1.2.9.2	Requisitos del proceso	41
1.2.10	Desviación Estándar	42
1.2.11	Repetibilidad y Reproducibilidad	43
1.3	Marco Legal y Ambiental.....	45
1.3.1	NTE INEN ISO 17025:2018.....	45
1.3.2	Normas estandarizadas para DQO	45
1.3.2.1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	45
1.3.2.2	US EPA Method 410.4	45
1.3.2.3	Métodos de fabricantes comerciales (kits)	46
1.4	Marco Metodológico	46
1.4.1	Fuentes de información	46

1.4.1.1	Fuente Primaria	46
1.4.1.2	Fuente Secundaria	47
Capítulo 2		48
2	Descripción de la Experiencia	48
2.1	Presentación de la organización/empresa en donde se desarrolló la experiencia profesional.	48
2.2	Tipo de organización fines objetivos.....	48
2.2.1	Campos Principales de Actividad.....	48
2.2.2	Estructura organizacional.	51
2.2.3	Cadena de valor.....	52
2.2.4	Descripción del área donde se desarrolla la experiencia	52
2.3	Delimitación de la experiencia a sistematizar	54
2.4	Tiempo o período de la experiencia	54
2.5	Descripción del desarrollo de la experiencia. Periodización.....	54
2.5.1	Visión general del desarrollo del proyecto.	54
2.5.2	Etapas desarrolladas: cuadro cronológico.....	55
2.6	Determinación de los problemas presentados en el desarrollo de la experiencia.	58
2.6.1	Selección de los problemas presentados en el desarrollo de la experiencia.....	58
2.6.2	Categorización y jerarquización de los problemas encontrados..	59
2.7	Análisis de los problemas seleccionados.....	59
2.7.1	Aspectos teóricos.....	59
2.7.2	Aspectos metodológicos y estratégicos.	60
2.7.3	Aspectos técnicos.	60
2.7.3.1	Frecuencia de calibración insuficiente	60
2.7.3.2	Interferencia por variaciones en el suministro eléctrico	61

2.7.3.3	Desviaciones en los resultados analíticos	61
Capítulo 3		62
3	Propuesta de mejora	62
3.1	Fase 1: Planificación	62
3.1.1	Principio.....	62
3.1.2	Método.....	62
3.1.3	Borrador del procedimiento	62
3.1.3.1	Preparación de la muestra	62
3.1.3.2	Realización del ensayo	63
3.1.4	Puesta a punto	64
3.1.4.1	Identificación de las variables que intervienen en el método.....	64
3.1.5	Objetivos de la validación	67
3.1.6	Diseño experimental y estadístico.....	68
3.2	Fase 2: Analítica.....	70
3.3	Fase 3: Estadística.....	75
3.3.1	Tratamiento estadístico de los datos obtenidos	75
3.3.1.1	Análisis de varianza.....	76
3.4	Cálculo de Incertidumbre	80
3.4.1	Identificación de la magnitud	80
3.4.2	Identificación y evaluación de las contribuciones	80
3.4.2.1	Diagrama de Ishikawa	80
3.4.2.2	Ecuación que define la incertidumbre estándar	80
3.4.2.3	Ecuación de grados de libertad.....	81
3.4.2.4	Evaluación de correcciones no realizadas	81
3.4.2.5	Ecuación que define la incertidumbre expandida.....	81
3.4.2.6	Evaluación de las contribuciones.....	81
3.4.2.7	Incertidumbre estándar relativa del método	82

3.4.2.8	Factor cobertura	82
3.4.2.9	Incertidumbre expandida del método.....	82
	Conclusiones y Recomendaciones	83
	Conclusiones	83
	Recomendaciones.....	84
	Bibliografía.....	85
	Anexos.....	88

Índice de Tablas

Tabla 1:	<i>Análisis que se realizan en el Área de aguas</i>	52
Tabla 2:	<i>Cuadro cronológico N°1</i>	54
Tabla 3:	<i>Cuadro cronológico N°2</i>	55
Tabla 4:	<i>Cuadro cronológico N°3</i>	55
Tabla 5:	<i>Cuadro cronológico N°4</i>	56
Tabla 6:	<i>Cuadro cronológico N°5</i>	56
Tabla 7:	<i>Identificación de requisitos N°1</i>	65
Tabla 8:	<i>Identificación de requisitos N°2</i>	65
Tabla 9:	<i>Identificación de requisitos N°3</i>	66
Tabla 10:	<i>Fijación de objetivos</i>	66
Tabla 11:	<i>Diseño experimental y estadístico</i>	67

Índice de Figuras

Figura 1:	<i>Estructura organizacional de CESECCA</i>	50
Figura 2:	<i>Cadena de Valor Integral</i>	51
Figura 3:	<i>Línea cronológica de la sistematización de experiencias</i>	57
Figura 4:	<i>Verificación del método DQO - Día N°1</i>	69
Figura 5:	<i>Verificación del método DQO - Día N°2</i>	70
Figura 6:	<i>Verificación del método DQO - Día N°3</i>	71
Figura 7:	<i>Verificación del método DQO - Día N°4</i>	72

Figura 8: Verificación del método DQO - Día N°5	73
Figura 9: Análisis estadísticos de las tres aguas residuales	74
Figura 10: Preparación del patrón de agua residual doméstica	75
Figura 11: Análisis de varianza del agua residual doméstica	75
Figura 12: Preparación del patrón de agua residual municipal	76
Figura 13: Análisis de varianza del agua residual municipal	76
Figura 14: Preparación del patrón de agua residual industrial	77
Figura 15: Análisis de varianza del agua residual industrial	77
Figura 16: Resultados del tratamiento estadístico	78
Figura 17: Diagrama de Ishikawa	79
Figura 18: Correcciones no realizadas en el proceso de medición	80
Figura 19: Evaluación de las contribuciones	80
Figura 20: Incertidumbre relativa al método	81
Figura 21: Factor cobertura	81
Figura 22: Incertidumbre expandida del método	81

Índice de Anexos

Anexo 1: Incorporación de reactivos químicos a la muestra	87
Anexo 2: Digestión térmica de la muestra en tubo de ensayo a $150^{\circ}\text{C} \pm 2$ durante 120 minutos en el termo reactor	87
Anexo 3: Homogeneización vigorosa del contenido del tubo de ensayo	88
Anexo 4: Lectura de la muestra en el Espectrofotómetro	88

Resumen Ejecutivo

Palabras clave: *Demanda Química de Oxígeno, colorimetría, revalidación, incertidumbre*

El propósito de esta investigación es confirmar la efectividad del método de medición de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) mediante colorimetría en el laboratorio CESECCA buscando garantizar la confiabilidad y la validez de los resultados de los análisis realizados. La investigación se llevó a cabo con un enfoque experimental y analítico efectuando pruebas fisicoquímicas en muestras de agua evaluando el rendimiento del método y asegurando su correcta implementación de acuerdo con los protocolos establecidos. Este proyecto realizado en el laboratorio CESECCA de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) tenía como meta fortalecer la calidad del control del método analítico utilizado.

Durante todo el proceso se aplicaron métodos estadísticos sólidos para evaluar a fondo el método colorimétrico de DQO considerando con detalle aspectos clave como la precisión la exactitud los límites de detección y cuantificación el rango operativo y la incertidumbre de medición así que los hallazgos dejaron claro que el método cumple plenamente con los requerimientos técnicos establecidos. Los resultados nos llenan de satisfacción y confianza total porque demostraron que el método colorimétrico se comporta de manera consistente y totalmente reproducible en todos los niveles analizados sin que surgieran diferencias significativas que pudieran generar la menor duda sobre la fiabilidad de los datos obtenidos.

En conclusión, los análisis estadísticos que realizamos validaron de forma contundente y clara el método colorimétrico para determinar la Demanda Química de Oxígeno (DQO) dejando en evidencia que es fiable altamente reproducible y completamente adecuado para su uso rutinario. Además, cumple con todos los estándares técnicos y normativos vigentes por lo que los resultados generados refuerzan la garantía de calidad analítica de nuestra instalación y respaldan con total legitimidad los datos que obtenemos en el análisis de aguas.

Executive Summary

Keywords: *Chemical Oxygen Demand, colorimetry, revalidation, uncertainty*

This research fills us with real pride and confidence because it proves once again that rigorous dedicated work truly pays off in the lab! The main purpose of this study was to confirm the effectiveness of the colorimetric method for measuring Chemical Oxygen Demand (COD) in the CESECCA laboratory ensuring full reliability and validity of the analysis results, so we adopted a solid experimental and analytical approach. In fact, we carried out physicochemical tests on water samples thoroughly evaluated the method's performance and verified its correct implementation according to established protocols which means this project conducted at the CESECCA laboratory of Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) is designed to significantly strengthen the quality control of the analytical procedure in use.

The findings give us great assurance because they show the colorimetric COD method is more than ready for everyday confident use! Throughout the entire process robust statistical techniques were applied to deeply examine the colorimetric COD method carefully considering key parameters such as precision accuracy limits of detection and quantification operating range and measurement uncertainty so the results were clear and strong: the method fully meets all defined technical requirements. Moreover, it demonstrated consistent and highly reproducible behavior across all analyzed levels with no significant differences emerging that could raise any doubt about the reliability of the obtained results.

In conclusion this study is fantastic news for the analytical quality of our laboratory and for everyone who relies on its data! The statistical analyses performed conclusively validated the colorimetric method for determining Chemical Oxygen Demand (COD) proving that it is dependable reproducible and perfectly suitable for routine applications. Therefore, since it complies with all current technical and regulatory standards the results generated reinforce the analytical quality assurance of our facility and fully support the legitimacy of the data we obtain in water analysis.

Introducción

La medición de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) sigue siendo una de las herramientas más valiosas y confiables que tenemos para proteger la calidad del agua. Este parámetro nos da una estimación clara y directa de la cantidad de materia orgánica presente gracias a los métodos de oxidación química así que se ha convertido en un análisis imprescindible en la supervisión ambiental y en el control de efluentes industriales. De hecho, su importancia crece cada día más cuando hablamos de conservar nuestros cuerpos de agua y cumplir con las regulaciones ambientales vigentes por lo que el laboratorio CESECCA (Centro de Servicios para el Control de la Calidad) de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) juega un rol clave y muy necesario al realizar estas pruebas con seriedad y compromiso constante. Entender bien cómo funciona el análisis de DQO nos ayuda a confiar plenamente en los resultados que entregamos. El método se basa en oxidar la materia orgánica de la muestra con un agente oxidante potente bajo condiciones muy bien controladas lo que nos permite medir de forma indirecta pero precisa el nivel de contaminación del agua y por eso la exactitud depende directamente de ejecutar correctamente cada etapa del proceso. Además, todo pasa por el manejo cuidadoso de los reactivos y por mantener bajo estricto control las variables operativas durante todo el análisis así que resulta fundamental aplicar el método siguiendo al pie de la letra las pautas técnicas y procedimientos establecidos.

Renovar y confirmar la validez del método de DQO en el laboratorio CESECCA es una oportunidad increíble y emocionante para elevar todavía más el nivel de calidad que ya tenemos y seguir creciendo juntos como equipo. En el laboratorio CESECCA-ULEAM EP identificamos que el procedimiento actual para determinar la Demanda Química de Oxígeno ya completó su ciclo de uso habitual así que surgió esa necesidad urgente y muy positiva de evaluar a fondo su eficacia técnica en este momento. Esta reevaluación nos permitirá demostrar con datos claros y contundentes que el método sigue entregando resultados precisos y consistentes y de esa manera fortalecer la calidad analítica del laboratorio optimizar todos los procesos de control de calidad y mantener intacta la confianza en cada dato que generamos día a día.

Planteamiento del problema

Ecuador a pesar de contar con una abundante disponibilidad de recursos hídricos enfrenta serias deficiencias en su gestión principalmente debido a la ausencia de políticas ambientales eficaces los sistemas comunitarios para el manejo del agua están plenamente reconocidos y apegados al marco jurídico (Cartuche, Cartuche, Neira, & Gonzáles, 2021).

Estos sistemas proveen a una parte de la población demostrando que especialmente en zonas rurales y periféricas el problema no es la falta de agua sino una crisis de gobernabilidad (Cartuche, Cartuche, Neira, & Gonzáles, 2021).

Es urgente y necesario que todos nos unamos ya mismo para transformar los sistemas de drenaje y tratamiento de aguas residuales en Ecuador porque cada mejora que logremos salva directamente nuestros ríos ¡protege la salud de miles de familias y asegura un futuro más sano para las próximas generaciones. Estos sistemas enfrentan problemas graves y persistentes debido a fallas constantes en su funcionamiento y mantenimiento lo que provoca impactos negativos profundos en el medio ambiente y en la calidad de vida diaria de las personas así que la ausencia de drenajes eficientes y plantas de tratamiento adecuadas ha llevado a que muchas viviendas descarguen sus aguas residuales sin procesar directamente en ríos lagunas y otros cuerpos de agua. De hecho, esta práctica no solo daña gravemente el ecosistema al alterar su equilibrio natural, sino que también pone en riesgo la salud humana y favorece la proliferación de insectos y roedores que transmiten enfermedades (Morañes & Loor, 2023).

La ciudad de Quito refleja una realidad similar al igual que en el resto del país las descargas de aguas servidas y residuos industriales aumentan en paralelo al crecimiento poblacional siendo este último uno de los principales factores de presión sobre los cuerpos hídricos en particular los ríos los cuales están contaminados con *Escherichia coli* y coliformes (bacterias fecales humanas y animales) además de químicos y metales como cobre zinc aluminio hierro y manganeso (La Hora, 2023). Para limpiar los ríos es necesario tratar las aguas residuales que se generan en la ciudad en el año 2022 solo una pequeña parte de estas aguas se trataba y en 2023 apenas se mostró una leve mejora el resto

de las aguas servidas que no alcanzaban ser tratadas van a parar en el río Guayllabamba que a su vez desemboca en el río Esmeraldas por ellos la ciudad necesita varias plantas de tratamiento para dejar de contaminar los ríos pero actualmente solo una parte de ellas está en funcionamiento (PRIMICIAS, 2022).

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es esa herramienta que representa la cantidad exacta de oxígeno necesaria para oxidar completamente la materia orgánica en una muestra convirtiéndola en dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) bajo condiciones estrictamente controladas de oxidante fuerte temperatura óptima pH equilibrado y tiempo de reacción definido (Castillo, 2020).

En el laboratorio CESECCA hasta la fecha no se han evidenciado fallas en el método ni desviaciones significativas en los resultados obtenidos se aproxima el fin del ciclo establecido para la revalidación del procedimiento analítico conforme a las buenas prácticas de laboratorio y las exigencias del sistema de gestión de calidad.

Se plantea precisamente como una acción preventiva clave para asegurar que el método siga siendo robusto confiable y completamente adecuado para su propósito considerando que con el paso del tiempo ciertos factores pueden influir sutilmente en su desempeño así que entre los más relevantes destacan la posible sustitución progresiva de reactivos o materiales de referencia el deterioro natural de componentes del equipo como la lámpara del fotómetro y la necesidad de controlar con mucho cuidado cualquier variación mínima que pueda aparecer durante la calibración anual de los instrumentos.

De hecho, aunque estos elementos todavía no han causado consecuencias evidentes su presencia sostenida podría derivar en variaciones en las lecturas afectaciones en la calidad del producto o proceso que depende de esos análisis e incluso en un mayor desgaste del equipo por falta de ajuste oportuno por eso resulta esencial llevar a cabo esta revalidación técnica como una medida anticipada que nos permita detectar y corregir cualquier desviación a tiempo.

Formulación del problema

¿Cómo se puede sistematizar la experiencia práctica en la revalidación del análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO) para aguas residuales en el laboratorio CESECCA del cantón Manta, a fin de fortalecer la confiabilidad de los resultados, optimizar el procedimiento analítico y contribuir al mejoramiento continuo de la calidad del servicio?

Pregunta de directrices

- ¿Qué fundamentos teóricos y técnicos sustentan el proceso de sistematización de experiencias en la revalidación del análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO), y cómo pueden respaldar científicamente la investigación?
- ¿Cómo se desarrolló la experiencia práctica de intervención en la revalidación del análisis de DQO en el laboratorio CESECCA, y cuáles fueron las principales fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora identificadas en el procedimiento analítico?
- ¿Qué resultados se obtuvieron durante el proceso de revalidación del análisis de DQO y qué nivel de precisión, exactitud y confiabilidad presenta el método aplicado en el laboratorio?
- ¿Qué acciones de mejora pueden diseñarse, a partir de los hallazgos obtenidos, para optimizar el proceso analítico y garantizar la calidad y confiabilidad de los resultados emitidos por el laboratorio CESECCA?

Objetivos

Objetivo General

- Sistematizar las experiencias prácticas en la revalidación del análisis de demanda química de oxígeno (DQO) para aguas residuales en el laboratorio CESECCA del cantón Manta, con el propósito de fortalecer la confiabilidad de los resultados, optimizando el procedimiento analítico y contribuir al mejoramiento continuo de la calidad del servicio del laboratorio.

Objetivos Específicos

- Desarrollar un marco teórico que sustente el proceso de sistematización de experiencias en la revalidación del análisis de demanda química de oxígeno, con el fin de fundamentar técnica y científicamente la investigación.
- Describir la experiencia práctica de intervención realizada en la revalidación del análisis de demanda química de oxígeno en el laboratorio CESECCA, para identificar fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora en el procedimiento analítico.
- Evaluar los resultados obtenidos durante el proceso de revalidación del análisis de demanda química de oxígeno, con el propósito de terminar el nivel de precisión, exactitud y confiabilidad del método empleado.
- Diseñar una propuesta de mejora basada en los hallazgos obtenidos, con la finalidad de optimizar el proceso analítico y garantizar la calidad de los resultados emitidos por el laboratorio CESECCA.

Justificación

Desde el punto de vista teórico esta investigación nace de una necesidad urgente y muy real: garantizar que la medición de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas residuales sea confiable precisa y totalmente creíble. Aunque ya existen muchos estudios previos sobre métodos de evaluación de DQO lo que hace este trabajo especialmente valioso es reconocer que la calidad de los resultados no depende solo del procedimiento analítico en sí sino también y en gran medida del buen estado calibración y mantenimiento constante del equipo utilizado así que al revalidar el método colorimétrico en el laboratorio CESECCA estamos atendiendo precisamente ese aspecto crítico que a menudo se pasa por alto con el tiempo pero que puede marcar la diferencia entre datos fiables y desviaciones que comprometen la toma de decisiones ambientales.

En el laboratorio CESECCA el proceso implica llevar a cabo una disolución química que es seguida por un análisis espectrofotométrico usando un fotómetro. Este equipo que mide la cantidad de oxígeno demandado está expuesto al desgaste natural de sus componentes clave tales como la lámpara que puede experimentar alteraciones debido al uso prolongado con el pasar del tiempo.

Estas pequeñas diferencias que van apareciendo con el tiempo pueden terminar generando impactos importantes en la confianza que tenemos en los datos sobre el verdadero estado de nuestras aguas residuales y eso directamente influye en las decisiones que tomamos para proteger el medio ambiente y la salud de las comunidades. Por eso se recomienda realizar procedimientos de revalidación cada cinco o seis años como mínimo o incluso con mayor frecuencia si ya se detectan señales de alerta como resultados inconsistentes o fallas en el equipo así que la ausencia de un programa sistemático y periódico de revalidación podría llevar a que los instrumentos operen fuera de sus rangos óptimos poniendo en riesgo la calidad y la fiabilidad de cada medición.

Capítulo 1

1 Fundamentación Teórica

1.1 Antecedentes Investigativos

Rodríguez et al. (2023) en su tesis titulada “Validación y estimación de la incertidumbre de una metodología analítica para determinar la demanda química de oxígeno (DQO) en aguas residuales por el método colorimétrico de reflujo cerrado” tuvieron como objetivo validar una metodología analítica y estimar su incertidumbre asociada en la determinación de DQO en matrices de aguas residuales. Esta investigación se llevó a cabo con un enfoque experimental bien definido y práctico justo en el corazón del laboratorio ambiental PRONIC donde pudimos aplicar técnicas espectrofotométricas en el rango visible siguiendo al pie de la letra los métodos normalizados y estandarizados que garantizan resultados confiables. Adoptamos un diseño muestral no probabilístico por conveniencia definiendo la población como soluciones preparadas o fortificadas a partir de agua destilada en condiciones totalmente controladas así que la muestra quedó conformada por 20 unidades cuidadosamente seleccionadas: soluciones fortificadas blancos de laboratorio y una muestra de referencia. De hecho, elegimos estas unidades y concentraciones de forma muy intencional precisamente para poner a prueba el método de la manera más completa y realista posible evaluando a fondo parámetros clave como la exactitud la precisión la linealidad los límites de detección y cuantificación el efecto matriz la recuperación y la incertidumbre expandida. Así pudimos obtener una visión clara sólida y muy confiable del comportamiento del método colorimétrico en condiciones que se acercan lo máximo a la rutina diaria del laboratorio. Los resultados fueron realmente alentadores: se cumplen todos los criterios establecidos para la validación analítica con una repetibilidad excelente ausencia de interferencias significativas y valores de incertidumbre completamente aceptables y dentro de lo esperado. A partir de estos hallazgos tan positivos se plantea con total convicción la implementación del método validado como una herramienta confiable reproducible y lista para usarse de forma rutinaria en laboratorios de ensayo dedicados al control de calidad de aguas residuales

contribuyendo de manera directa a generar datos más sólidos para la protección ambiental y el cumplimiento normativo.

Portuguez et al. (2022) en su trabajo titulado “Validación de método para determinación de la demanda química de oxígeno en muestras de aguas en Abges Laboratorio Analítico Ambiental Cía. Ltda.” donde el autor se propuso comprobar la eficacia del método colorimétrico HACH 8000 para medir la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en muestras de agua con el claro objetivo de poder implementarlo de forma segura y rutinaria en el laboratorio. Para lograrlo desarrolló procedimientos bien estructurados en condiciones controladas de laboratorio utilizando agua potable como matriz base y siguiendo normas técnicas reconocidas así que empleó espectrofotometría como técnica principal de medición preparó soluciones patrón y realizó varias repeticiones por día para construir curvas de calibración sólidas. Los resultados fueron positivos en cuanto a linealidad y precisión lo que demuestra que el método tiene un buen potencial de consistencia, pero se detectaron fallas importantes en la exactitud que el autor atribuyó principalmente a la falta de calibración adecuada de los equipos y a cierta inestabilidad durante las lecturas. En sus conclusiones se señaló que el método no ofrecía total confiabilidad en las condiciones en que se aplicó. Finalmente propuso como medida la corrección de estas deficiencias mediante calibración de equipos mantenimiento regular y formalización del procedimiento para su futura aplicación en el laboratorio.

Farfán et al. (2022) titulado “Validación e implementación del análisis de la demanda química de oxígeno en muestras de agua en el Laboratorio de Servicios Químicos Minero-Metalúrgicos y Ambientales (GIMBA UIS)” donde los autores se propusieron evaluar con mucho rigor la exactitud y precisión de dos métodos clave para determinar la Demanda Química de Oxígeno (DQO): el clásico volumétrico con sulfato ferroso amoniacal (FAS) y el colorimétrico por espectrofotometría UV-VIS. Su objetivo principal fue no solo validar estos procedimientos en condiciones controladas sino también implementarlos con éxito en matrices reales y complejas como aguas superficiales residuales domésticas e industriales demostrando que ambos métodos pueden adaptarse con confianza a escenarios prácticos del día a día en un laboratorio ambiental.

La metodología fue de tipo experimental desarrollada en el laboratorio GIMBA mediante el uso de técnicas titrimétricas y espectrofotométricas siguiendo los procedimientos de los métodos SM 5220 C-D; la población estuvo constituida por muestras ambientales y la muestra fue definida por soluciones patrón y aguas reales utilizando un diseño muestral no probabilístico por conveniencia seleccionando intencionalmente las muestras a partir de su representatividad en los rangos de análisis. Los resultados fueron realmente alentadores y dejaron muy claro que ambos métodos el volumétrico con FAS y el colorimétrico por espectrofotometría UV-VIS cumplieron con creces todos los parámetros de desempeño establecidos mostrando una excelente linealidad sensibilidad adecuada límites de detección y cuantificación bien dentro de lo aceptable precisión y exactitud alineadas con los criterios normativos y una incertidumbre expandida que se ajusta perfectamente a los estándares de calidad analítica! Con base en estos hallazgos tan sólidos y consistentes se concluyó que el laboratorio GIMBA aplica estos procedimientos de manera correcta y profesional para determinar la Demanda Química de Oxígeno (DQO) generando resultados confiables reproducibles y listos para usarse con total seguridad en el monitoreo ambiental. Por eso los autores propusieron incorporar ambos métodos al portafolio oficial de servicios del laboratorio y avanzar hacia su acreditación ante los organismos competentes lo que sin duda fortalecería el control de calidad en el sector minero-metalúrgico e industrial.

Farfán et al. (2022) en su trabajo titulado “Validación e implementación del análisis de la demanda química de oxígeno en muestras de agua en el Laboratorio de Servicios Químicos Minero-Metalúrgicos y Ambientales (GIMBA UIS)” tuvieron como objetivo evaluar la exactitud y precisión de los métodos analíticos volumétrico con sulfato ferroso amoniacal (FAS) y colorimétrico por espectrofotometría UV-VIS así como validar e implementar dichos métodos en la determinación de DQO en matrices de aguas superficiales residuales domésticas e industriales. La metodología fue de tipo experimental desarrollada en el laboratorio GIMBA mediante el uso de técnicas titrimétricas y colorimétrica siguiendo los procedimientos de los métodos SM 5220 C-D; la población estuvo constituida por muestras ambientales y la muestra fue definida por soluciones

patrón y aguas reales utilizando un diseño muestral no probabilístico por conveniencia seleccionando intencionalmente las muestras a partir de su representatividad en los rangos de análisis. Los resultados fueron realmente alentadores y confirmaron que ambos métodos el volumétrico con FAS y el colorimétrico por espectrofotometría UV-VIS cumplen con creces los parámetros de desempeño exigidos mostrando una excelente linealidad sensibilidad adecuada límites de detección y cuantificación bien dentro de lo aceptable precisión y exactitud alineadas con los criterios normativos y una incertidumbre expandida que se ajusta perfectamente a los estándares de calidad analítica. Con base en estos hallazgos tan sólidos se llegó a la conclusión de que el laboratorio GIMBA aplica correctamente estos procedimientos para determinar la Demanda Química de Oxígeno (DQO) generando datos confiables reproducibles y listos para ser utilizados con total seguridad en el monitoreo ambiental. Por eso los autores propusieron incorporar estos métodos al portafolio oficial de servicios del laboratorio avanzando hacia su acreditación ante los organismos competentes lo que sin duda fortalecería el control de calidad en el sector minero-metalúrgico e industrial.

Burgos et al. (2018) titulado “Validación de la metodología analítica para la determinación de DQO en agua natural y residual por métodos colorimétrico y titulométrico (reflujo cerrado)” donde los autores desarrollaron un proceso de validación riguroso con el objetivo principal de estandarizar y garantizar la total confiabilidad de dos técnicas analíticas para medir la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en matrices ambientales. La investigación se realizó en el laboratorio de investigación y calidad ambiental del SENA Regional Córdoba precisamente en el marco de los requisitos de acreditación bajo la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005 lo que demuestra un enfoque serio y alineado con estándares internacionales de calidad. La metodología adoptó un enfoque analítico-estadístico con base en protocolos internacionales reconocidos incorporando el análisis titulométrico mediante valoración con sulfato ferroso amoniacal y el método colorimétrico apoyado en espectrofotometría visible. Las muestras fueron tomadas de cuerpos hídricos representativos tanto superficiales como residuales y sometidas a procesos de preservación digestión y lectura

instrumental. Los resultados de esta evaluación fueron muy alentadores y dejaron claro que el trabajo riguroso realmente da frutos confiables. Se analizaron a fondo parámetros clave de validación como linealidad precisión exactitud límites de detección y cuantificación además de la estimación detallada de la incertidumbre aplicando procedimientos estadísticos robustos para cada nivel de concentración y bajo las condiciones operativas específicas del laboratorio así que todo se comprobó con mucho cuidado y transparencia. De hecho, los datos obtenidos demostraron que ambos métodos cumplen plenamente con los criterios técnicos exigidos por entidades reguladoras como el IDEAM lo que permitió concluir con total seguridad que estas metodologías son confiables altamente reproducibles y perfectamente apropiadas para usarse como herramientas sólidas en el control ambiental fortaleciendo la toma de decisiones en monitoreo de calidad del agua. Como propuesta final y culminante de este trabajo se consolidó un protocolo de validación formal bien estructurado y detallado que respalda plenamente la idoneidad del laboratorio para ofrecer servicios analíticos de alto nivel y acreditados. Este protocolo no solo confirma la robustez técnica del método colorimétrico para DQO, sino que también fortalece la capacidad del CESECCA frente a los estándares nacionales (como INEN) e internacionales (como la ISO/IEC 17025) dando un respaldo sólido para avanzar en procesos de acreditación y mejora continua.

Aguilar et al. (2023) en su artículo titulado “Relación importancia y desarrollo de las técnicas analíticas: DQO DBO y COT en agua: una visión general a través del tiempo” tuvieron como objetivo revisar la evolución histórica relación y relevancia de las técnicas analíticas para la determinación de materia orgánica en el agua específicamente Demanda Química de Oxígeno (DQO) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Carbono Orgánico Total (COT). La metodología consistió en una revisión bibliográfica exhaustiva sobre las modificaciones de estas técnicas considerando factores como la rapidez sensibilidad sostenibilidad ambiental y aplicación en diversas matrices acuosas; la técnica empleada fue el análisis documental y crítico y la población y muestra estuvieron constituidas por artículos científicos y reportes técnicos relevantes publicados a lo largo del tiempo. Los resultados destacaron que, aunque las

técnicas han evolucionado con mejoras en la miniaturización reducción del uso de reactivos tóxicos y tiempos de análisis los métodos estandarizados siguen siendo ampliamente utilizados debido a su confiabilidad y robustez. Aunque la tecnología ha avanzado muchísimo en los últimos años con sensores más precisos procesos de oxidación avanzada y métodos espectrofotométricos cada vez más sofisticados lo cierto es que aún no hemos podido dejar atrás por completo los métodos tradicionales para medir parámetros como la DQO y el COT. Los autores concluyen que a pesar de todos estos progresos el Carbono Orgánico Total (COT) es el que ha experimentado la mayor evolución tecnológica y se ha posicionado como una alternativa más madura y confiable en muchos casos así que no todo lo nuevo reemplaza automáticamente lo clásico. Por eso Aguilar-Torrejón et al. (2023) proponen algo muy sensato y práctico: evaluar con rigor estas nuevas alternativas a través de estudios de validación detallados análisis costo-beneficio y pruebas de eficacia analítica real antes de decidir si vale la pena implementarlas de forma rutinaria en laboratorios ambientales.

En mi revisión de antecedentes he podido identificar que la mayoría de las investigaciones relacionadas con la determinación de DQO en aguas residuales se enfocan en validar métodos analíticos bajo normas técnicas evaluando parámetros como exactitud precisión linealidad e incertidumbre. Todas aplican enfoques experimentales bien estructurados utilizando técnicas título métricas o colorimétricas con espectrofotometría siguiendo protocolos reconocidos. Otro aspecto que realmente destaca en estos estudios y que me parece clave es el uso inteligente de muestras reales o fortificadas combinado con análisis estadísticos sólidos para verificar de verdad la confiabilidad de los métodos. Este enfoque técnico riguroso y totalmente estandarizado muestra cómo los investigadores no se conforman con pruebas superficiales, sino que ponen a prueba los procedimientos en condiciones lo más cercanas posible a la realidad del laboratorio midiendo con precisión parámetros como recuperación efecto matriz o incertidumbre.

Los antecedentes investigativos que revisé dejan muy en claro una cosa esencial: validar y revalidar los métodos analíticos para determinar la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas residuales no es un lujo técnico sino una

necesidad absoluta para asegurar resultados precisos exactos y confiables que realmente ayuden a proteger nuestros recursos hídricos. Todos estos estudios coinciden en destacar la importancia de aplicar protocolos estandarizados que incluyan la estimación cuidadosa de la incertidumbre analítica junto con un mantenimiento y calibración constante y rigurosa de los equipos para minimizar cualquier error en las mediciones. La validación de métodos volumétricos y colorimétricos en matrices tan variadas como aguas superficiales residuales domésticas o industriales ofrece un marco sólido y probado para evaluar el desempeño real del análisis. Además, el cumplimiento estricto de normativas internacionales y la adopción de buenas prácticas de laboratorio fortalecen la calidad general y abren la puerta a la acreditación de los servicios analíticos. Finalmente, la evolución y mejora continua de estas técnicas tradicionales para medir la materia orgánica en el agua subrayan lo crucial que es realizar procesos de revalidación periódicos algo que me motiva enormemente en mi propio proyecto porque confirma que mantener el método actualizado robusto y bien controlado es la mejor forma de generar datos sólidos que apoyen decisiones ambientales responsables y sostenibles.

1.2 Bases Teóricas

1.2.1 Demanda Química de Oxígeno

La demanda química de oxígeno conocida como DQO es la cantidad de oxígeno requerido para llevar a cabo la transformación química de la materia orgánica en el agua. Este indicador es comúnmente utilizado para medir el grado de contaminación presente en el agua y en las aguas residuales. Se aplica frecuentemente para evaluar la presencia de contaminantes orgánicos dado que estos son los más simples de oxidar. Las técnicas comunes para evaluar la DQO utilizan un potente oxidante como el dicromato potásico junto a otros compuestos que participan en la metodología como sales de mercurio y plata además de ácido sulfúrico. La oxidación puede efectuarse en un sistema de reflujo abierto o cerrado y la DQO puede determinarse a través de técnicas de volumetría o por espectrofotometría en el rango UV-Visible. Sin embargo, estos métodos tienen como desventaja que son bastante laboriosos y requieren reactivos que son caros y tóxicos (Vilasó, Fernández, Rodríguez, & Arada, 2022).

1.2.2 Aguas residuales

Se generan como consecuencia del uso de agua limpia a la cual se le incorporan diferentes sustancias durante diversos procesos modificando sus propiedades fisicoquímicas y haciéndola inadecuada para su reutilización. Este tipo de agua al haber sufrido alteraciones en sus propiedades iniciales se denomina agua residual y sus características pueden cambiar considerablemente según el tipo de actividad o proceso que la generó. (Quiroz, Menéndez, & Izquierdo, 2019).

La producción de desechos derivados de las acciones humanas es bastante común. Existen diversos elementos que influyen en el volumen y calidad de esas aguas. No todas las personas o negocios generan residuos en la misma cantidad. La magnitud y naturaleza de los desechos producidos en los hogares varía según los hábitos modos de vida y circunstancias de los residentes, así como por las normativas técnicas y legales aplicables. En las viviendas una gran parte de los desechos se transforma en residuos sólidos y líquidos y existen múltiples maneras de modificar la cantidad y la clase de estos residuos. El sector

industrial enfrenta problemas análogos (López, Buitrón, García, & Cervantes, 2020).

La manera en que se gestiona el sistema de desagüe tiene un efecto significativo en la calidad del agua residual. En muchos países en vías de desarrollo se utilizan sistemas de saneamiento que operan de forma separada. En tales situaciones el agua pluvial es dirigida a través de canales zanjias o tuberías. A veces las infraestructuras urbanas más antiguas mezclan sistemas de drenaje que manejan distintos tipos de aguas residuales. En un sistema combinado una porción (que puede ser menor o mayor) del total de aguas residuales se vertía en cuerpos de agua adyacentes frecuentemente sin recibir ningún tratamiento previo (López, Buitrón, García, & Cervantes, 2020).

1.2.2.1 Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales se combinan con las aguas negras lo que incrementa la concentración del líquido. La presencia conjunta de compuestos orgánicos y residuos químicos en estas aguas complica la remoción de los contaminantes debido a la pérdida de oxigenación esencial para su degradación adecuada. (Quispe, Piñas, Del Valle, & Chávez, 2020).

1.2.2.2 Aguas servidas

Las aguas residuales generadas por el consumo doméstico son aquellas que se mezclan con los líquidos cloacales incorporando restos provenientes de actividades como el lavado la preparación de alimentos el uso de los baños entre otras. Entender bien cómo se comportan las sustancias en las aguas residuales es clave para medir con precisión la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y tomar decisiones que realmente protejan nuestros cuerpos de agua. Estas sustancias pueden aparecer en diferentes estados: disueltas en el agua suspendidas flotando o en una forma intermedia conocida como coloidal lo que hace que su detección y eliminación sea todo un desafío. Además, no siempre vienen de los hogares; muchas veces provienen de actividades industriales o comerciales y pueden ser de naturaleza mineral u orgánica. En el caso de los contaminantes minerales estos suelen originarse en el uso doméstico o industrial de productos cotidianos como pinturas aceites detergentes fuertes productos químicos de limpieza o incluso restos de fertilizantes y metales pesados que

terminan descargándose en los sistemas de alcantarillado y si no se tratan adecuadamente afectan gravemente la calidad del agua en ríos lagunas y ecosistemas (Quispe, Piñas, Del Valle, & Chávez, 2020).

Las aguas residuales que generamos todos los días terminan muchas veces en un camino preocupante: suelen ser vertidas a través de sistemas de alcantarillado que no siempre están en condiciones óptimas y en demasiados casos se descargan directamente en el entorno natural sin ningún tratamiento previo. Esto significa que ríos lagunas esteros y costas reciben cargas de contaminantes orgánicos e inorgánicos que alteran el equilibrio ecológico afectan la biodiversidad y ponen en riesgo la salud de las comunidades que dependen de esos cuerpos de agua. Su composición varía considerablemente y presenta características fisicoquímicas y biológicas alteradas lo que las hace inapropiadas para el consumo humano sin un adecuado tratamiento. Entre los principales componentes presentes en las aguas residuales domésticas se incluyen sólidos suspendidos totales compuestos orgánicos biodegradables elementos inorgánicos disueltos metales pesados nutrientes y contaminantes orgánicos prioritarios. La caracterización completa de las aguas residuales es fundamental para entender realmente qué tan contaminadas están y cómo afectan el medio ambiente porque nos obliga a medir una amplia gama de parámetros físicos y químicos que nos dan una foto clara y detallada de su calidad. Entre los parámetros físicos más importantes se analizan el olor (que puede alertar sobre descomposición orgánica o sustancias químicas) el color (indicador de materia orgánica metales o tintes) la temperatura (que influye en la solubilidad de oxígeno y la velocidad de reacciones) la densidad (refleja concentraciones de sólidos disueltos) y la turbidez (clave para detectar partículas suspendidas que interfieren en mediciones como la DQO). A esto se suman los parámetros químicos esenciales como la concentración de sólidos totales la presencia de nitratos sulfatos cloruros diversos metales pesados y el nivel de pH que juntos ayudan a determinar el grado de contaminación el origen de los contaminantes y el riesgo que representan para los cuerpos de agua receptores (Osorio, 2021).

1.2.3 Laboratorios de ensayo

En los análisis de laboratorio se identifican las propiedades ya sean físicas o químicas del producto que se examina siguiendo unos procedimientos específicos. Aunque esta expresión pueda parecer distante los análisis son utilizados continuamente en la producción y en distintas industrias para garantizar que los productos cumplan con los estándares de calidad (SAE, 2016).

Por ejemplo, imagínate una fábrica de ropa donde cada lote de tela que llega tiene que pasar pruebas estrictas antes de convertirse en camisetas o pantalones. Allí realizan análisis químicos y físicos en los tejidos para confirmar que los materiales son de buena calidad. Durante el proceso de confección también se realizan análisis para poder ajustar errores de forma o de diseño a tiempo. Una vez que el producto está finalizado las compañías efectúan el control de calidad donde también se realizan análisis (SAE, 2016).

Los análisis se llevan a cabo en otros campos como en la creación de prototipos y nuevos materiales en institutos de investigación. Además, son fundamentales los análisis que se efectúan para proteger el medio ambiente como el monitoreo de ríos emisiones de chimeneas de fábricas y contaminantes de vehículos. Los laboratorios que realizan actividades de análisis y calibración deben operar conforme a la norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2006 que establece los requisitos generales para su competencia técnica y la confiabilidad de sus resultados. De acuerdo con esta norma el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) verifica tanto la capacidad operativa como la competencia técnica de ambos tipos de laboratorios. (SAE, 2016).

1.2.4 Análisis químicos del agua

1.2.4.1 Alcalinidad total

La alcalinidad total del agua se refiere a la concentración combinada de hidróxidos carbonatos y bicarbonatos expresada en términos de carbonato de calcio. Este parámetro mide la capacidad del agua para neutralizar ácidos. Su medición es esencial en el tratamiento del agua ya que la dosificación de los productos químicos depende de su concentración. Las aguas superficiales

suelen poseer una alcalinidad natural adecuada para reaccionar con el sulfato de aluminio en el proceso de tratamiento (FUNASA, 2013).

No obstante, si la alcalinidad es baja o inexistente se debe añadir sustancias alcalinas como cal hidratada o carbonato de sodio para generar alcalinidad artificial. Cuando la alcalinidad es excesivamente alta se debe acidificar el agua hasta obtener una concentración adecuada que permita su reacción con el sulfato de aluminio u otros productos empleados en el tratamiento (FUNASA, 2013).

1.2.4.2 Dureza total

La dureza total del agua se calcula sumando las concentraciones de iones de calcio y magnesio expresadas como carbonato de calcio. La dureza del agua puede clasificarse en temporal o permanente. La dureza temporal también llamada dureza de carbonatos es provocada por la presencia de bicarbonatos de calcio y magnesio (FUNASA, 2013).

La dureza temporal del agua es esa que nos da más problemas en la práctica diaria porque es resistente a la acción de los jabones y puede formar incrustaciones molestas en tuberías calderas y equipos. Se le llama “temporal” precisamente porque desaparece cuando el agua se calienta: los bicarbonatos (los principales responsables de esta dureza) se descomponen bajo el efecto del calor liberando gas carbónico convirtiéndose en agua y precipitando como carbonatos insolubles que se depositan y forman esas capas duras y blancas que todos conocemos. Por otro lado, la dureza permanente o dureza de no carbonatos es producida por la presencia de sulfatos cloruros y nitratos de calcio y magnesio. Aunque también resiste la acción de los jabones no provoca incrustaciones debido a que sus sales son muy solubles en agua y no se descomponen con el calor (FUNASA, 2013).

1.2.4.3 pH

El pH es un indicador de la concentración de iones de hidrógeno en una solución siendo un parámetro fundamental en los procesos de tratamiento del agua. En las plantas de tratamiento de agua el control y ajuste del pH es una práctica fundamental ya que permite mejorar la eficiencia de procesos como la

coagulación y la floculación además de asegurar que la desinfección se realice de manera adecuada. El pH se representa mediante una escala que va de 0 a 14 en la cual los valores menores a 7 indican un medio ácido los mayores a 7 corresponden a un medio alcalino y el valor 7 representa una condición neutra. La medición de este parámetro se realiza comúnmente mediante equipos como potenciómetros o colorímetros los cuales se encuentran disponibles comercialmente (FUNASA, 2013).

1.2.4.4 Cloruros

Los cloruros están presentes en aguas crudas y tratadas con concentraciones que varían desde niveles traza hasta cientos de mg/l. Estas concentraciones dependen del origen del agua y los procesos industriales o domésticos que influyen en su composición. Se encuentran en forma de cloruro de sodio calcio y magnesio. El agua de mar tiene una concentración elevada de cloruros que ronda los 26000 mg/l. Niveles altos de cloruros pueden limitar el uso del agua debido al sabor que aportan y al efecto laxante que pueden ocasionar. Los métodos convencionales de tratamiento de agua no eliminan los cloruros, pero su remoción se puede lograr mediante técnicas como la ósmosis inversa o electrólisis (intercambio de iones) (FUNASA, 2013).

1.2.4.5 Temperatura

La temperatura actúa como un factor determinante en los procesos de tratamiento de agua ya que incide en la dinámica de consumo en la eficiencia de la incorporación de fluoruros en la solubilidad la ionización de los coagulantes utilizados las fluctuaciones del pH y la eficiencia de la desinfección entre otros parámetros clave. (FUNASA, 2013).

1.2.4.6 Cloro residual libre

El cloro es una sustancia química utilizada comúnmente para desinfectar el agua debido a su capacidad para eliminar microorganismos patógenos y prevenir enfermedades. Su medición es esencial para regular la cantidad aplicada y para monitorear su comportamiento a lo largo del proceso de tratamiento (FUNASA, 2013).

1.2.5 Espectrofotómetro

El espectrofotómetro es un dispositivo que emite luz a través de una muestra y evalúa la absorbancia (la cantidad de luz que la muestra retiene) o la transmitancia (la cantidad de luz que pasa a través de la muestra que es la inversa de la absorbancia). La cantidad de luz que se recibe o se deja pasar en una longitud de onda particular se vincula con la cantidad del material que está presente. Si un material no puede absorber luz por sí solo se puede combinar con otros reactivos para formar a través de una reacción química específica una solución que sea capaz de capturar luz (García, 2018). Los espectrofotómetros modernos son capaces de analizar casi cualquier tipo de material incluyendo líquidos plásticos papel metales y textiles lo que resalta su adaptabilidad y aplicación en varias áreas. Las funciones principales de los espectrómetros incluyen la determinación de la concentración de sustancias disueltas en diversas muestras como el hierro presente en sangre o el cobre en tejidos biológicos. Asimismo, estos equipos permiten la identificación de estructuras moleculares debido a que cada compuesto presenta un comportamiento de absorbancia característico frente a la radiación. De igual manera los espectrómetros se emplean en el análisis de contaminantes en el aire y el agua en la detección de impurezas en alimentos y reactivos en la determinación de constantes de disociación de indicadores ácido-base y en la estandarización del color de materiales como plásticos y pinturas (García, 2018).

1.2.6 Estimación de incertidumbre

La incertidumbre de medida es un parámetro siempre positivo que representa el grado de dispersión de los valores atribuidos a una magnitud medida en función de los datos disponibles para su estimación. Este parámetro es esencial para la trazabilidad de las mediciones ya que posibilita la verificación de la conformidad con especificaciones demostrables a través de los resultados obtenidos en las mediciones (Pérez, 2021).

Los ejemplos de estos parámetros pueden incluir una desviación estándar (o un factor de esta) así como la mitad del rango de un intervalo especificado como nivel de confianza. La revisión de la duda abarca varios componentes. Ciertos elementos de este tipo pueden analizarse mediante la distribución numérica de

los resultados de varias mediciones y pueden representarse a través de desviaciones estándar obtenidas de experimentos. Otros componentes que también se definen por desviaciones estándar se estudian bajo la suposición de distribuciones de probabilidad basadas en conocimientos previos o en información adicional disponible (Ortiz, 2011).

El resultado de una medición se entiende como la mejor estimación posible del valor medido considerando que todos los factores asociados a la incertidumbre incluidos aquellos originados por efectos sistemáticos como ajustes instrumentales y patrones de referencia contribuyen a su variabilidad (Ortiz, 2011).

1.2.7 Validación de métodos

La adopción de un enfoque cuantitativo y analítico se basa en una serie de etapas secuenciales que van desde la definición del problema analítico y la recogida de muestras hasta el análisis de datos y la presentación de resultados. En el transcurso de estas etapas la confirmación de un método es fundamental para garantizar que cada fase del proceso analítico empleado en un experimento específico sea adecuada para sus objetivos (Ortiz, 2011). La validación es un aspecto esencial de las Normas de Buenas Prácticas de Laboratorio además de ser un elemento esencial del sistema de garantía de calidad y por lo tanto de la fiabilidad de los resultados obtenidos. Por consiguiente, es necesario verificar o revisar los métodos analíticos:

- Después de que se han desarrollado y antes de que se utilicen en análisis rutinarios.
- Cuando se producen cambios en los factores de funcionamiento del procedimiento.
- Cada vez que cambien las circunstancias bajo las cuales se aprobó el método como cuando se usa una matriz diferente y se emplea otro equipo.
- Si el control de calidad evidencia que el método genera resultados fuera de los límites establecidos como aceptables se requiere una revisión inmediata del procedimiento para identificar posibles errores o desviaciones en su aplicación.

Una vez que se ha elegido o formulado el método en función del problema analítico a abordar se lleva a cabo su validación. En primer lugar, se establecen los parámetros del método y la validación completa requiere un control de calidad y una evaluación de idoneidad de preferencia utilizando MRC para obtener datos exactos acerca de la variabilidad de los resultados habituales. Una vez que se ha escogido o creado el método en relación con la cuestión analítica que necesita solución se procede con su validación (Ortiz, 2011). Una vez finalizado el proceso de validación resulta indispensable dejar constancia escrita de los procedimientos de modo que el método pueda reproducirse de manera consistente cada vez que sea requerido. Esta documentación debe incluir un procedimiento detallado que integre un resumen de los parámetros evaluados durante la validación los criterios de aceptación establecidos los controles de calidad aplicados y las pruebas de idoneidad realizadas. La correcta redacción y organización de esta información dará lugar a un Procedimiento Normalizado de Trabajo (Ortiz, 2011).

1.2.7.1 Validación prospectiva

Este enfoque de verificación se lleva a cabo antes de que un producto entre al mercado asegurando que se satisfacen las condiciones fijadas para un procedimiento o método analítico. Se aplica en el desarrollo de nuevos enfoques analíticos y es habitual en laboratorios enfocados en investigación y desarrollo adaptándose a un producto particular (Castillo, 2020).

1.2.7.2 Validación retrospectiva

Este proceso ocurre cuando se evalúa la adecuación de un método o proceso analítico basado en la evidencia obtenida a partir de los datos analíticos de productos que ya han sido comercializados. Se utiliza para métodos que no habían sido validados anteriormente y que cuentan con un registro extenso de resultados. Este tipo de validación se aplica a técnicas como la cromatografía líquida métodos espectrofotométricos y volumétricos (Castillo, 2020).

1.2.7.2.1 ¿Por qué validar?

El impacto de las validaciones es considerable ya que proporcionan confianza en las mediciones métodos y procedimientos que proponen. A diario millones de experimentos son realizados en laboratorios de todo el mundo que han sido

reconocidos por su validez y su comprensión es fácil gracias a la conexión directa con los datos que producen. La validación de un método analítico garantiza la calidad del producto analizado y es esencial porque: El impacto de las validaciones es considerable ya que proporcionan confianza en las mediciones métodos y procedimientos que proponen. A diario millones de experimentos son realizados en laboratorios de todo el mundo que han sido reconocidos por su validez y su comprensión es fácil gracias a la conexión directa con los datos que producen. La validación se relaciona con una variedad infinita de aplicaciones como la evaluación de formulaciones farmacéuticas el soporte a la salud la supervisión del medio ambiente la alimentación la composición de materiales y el análisis forense entre otros todos los cuales requieren respaldo de metodologías analíticas que garantizan la relevancia de los resultados para la toma de decisiones (Castillo, 2020).

La validación de un método analítico va mucho más allá de cumplir con un protocolo: es lo que realmente nos da la tranquilidad de saber que el producto analizado en este caso los resultados de DQO en aguas residuales es de calidad confiable y representa fielmente lo que está pasando en la muestra. Ofrece un nivel muy alto de certeza y seguridad sobre cómo funciona el método y sobre la calidad de cada dato que generamos porque nos permite entender a fondo su comportamiento las condiciones óptimas de operación y los límites reales en los que da resultados fiables así que al final refuerza enormemente la confianza de todo el equipo y de quienes usan esos informes. Asimismo, una validación realizada de manera adecuada contribuye significativamente a la reducción de errores evita la repetición innecesaria de ensayos y favorece el uso eficiente de reactivos tiempo y recursos del laboratorio.

Esto permite entregar los resultados de los análisis dentro de los plazos establecidos sin comprometer la precisión ni el rigor técnico. Por otro lado, los procesos de validación permiten conocer el desempeño de los métodos aplicados y estimar sus incertidumbres lo cual fortalece los procedimientos internos y promueve la mejora continua dentro de la organización. De acuerdo con los objetivos relacionados con la validación se pueden descubrir diversas propuestas que apoyan la estandarización de los análisis efectuados. Por

ejemplo, en determinados sectores es necesario identificar un componente valioso o esencial en un producto lo que permite confirmar si cumple con sus especificaciones internas o las de los organismos reguladores. En otras iniciativas se evalúa si hay cualquier sustancia cuya presencia pueda perjudicar la calidad de un producto o de recursos naturales como la contaminación debida a un agente químico (Castillo, 2020). Los procesos de validación cobran gran relevancia y uso cuando la prueba forma parte del análisis de numerosas muestras para nuevas metodologías analíticas derivadas de investigaciones que serán implementadas en un sistema innovador para la supervisión continua de los controles de calidad en la producción de una variedad de artículos en diferentes variantes pero con similitudes en las características mencionadas así como la realización de mediciones Inter laboratorio que constatan que los métodos son reproducibles al ser analizados por diferentes analistas equipos días condiciones ambientales (Castillo, 2020).

1.2.8 Revalidación

La adición de un ajuste que afecte la eficacia del procedimiento analítico validado puede necesitar una revalidación completa o en parte de ese procedimiento. Los elementos para evaluar se determinan de acuerdo con el tiempo en que se realizó la modificación (Castillo, 2020). Las causas que exigen una nueva validación abarcan:

- Cambios importantes en la fórmula del producto.
- Cambios significativos en el procedimiento analítico.
- Variaciones en las especificaciones.

1.2.9 Acreditación de ensayos

Los laboratorios de ensayos juegan un papel muy importante dentro del Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) ya que permiten determinar o verificar las propiedades de los productos de acuerdo con reglamentos y normas establecidas.

La acreditación de un laboratorio de ensayos no es solo un sello o un certificado bonito en la pared: es la garantía real de que todo nuestro sistema de calidad funciona a la perfección y cumple con estándares internacionales serios. Este

proceso se fundamenta en una evaluación integral y minuciosa del cumplimiento del Sistema de Gestión de la Calidad mediante la verificación de que los componentes administrativos como la documentación de procedimientos la capacitación del personal y la gestión de quejas así como los aspectos técnicos entre ellos la calibración de equipos la validación de métodos la trazabilidad de las mediciones y el control de la incertidumbre cumplan de manera estricta con los requisitos establecidos en una norma de referencia de reconocimiento internacional como la ISO/IEC 17025.

Los requisitos para la acreditación que debe cumplir un laboratorio de ensayos o de calibración han sido continuamente revisados y adaptados a la normativa internacional. Los criterios empleados en la evaluación de la conformidad de estos requisitos se establecen en la norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2018 “Requisitos generales para la competencia de los Laboratorios de ensayo y calibración” (SAE, 2024).

1.2.9.1 Ensayo

Operación técnica que consiste en la determinación de una o varias características de un diseño de producto proceso o servicio dado basándose en un procedimiento específico (SAE, 2021).

1.2.9.2 Requisitos del proceso

Para laboratorios de ensayo que involucren mediciones analíticas dependiendo del caso debe considerarse las siguientes características de desempeño del método según sea aplicable:

1. Selectividad / Especificidad.
2. Límite de detección.
3. Límite de cuantificación.
4. Intervalo de trabajo incluyendo: Linealidad.
5. Sensibilidad analítica.
6. Veracidad / Sesgo: Error / Recuperación
7. Precisión: Repetibilidad / Precisión intermedia / Reproducibilidad.
8. Estimación de la incertidumbre de la medición.

9. Robustez / Robustez contra las influencias externas sensibilidad contra la interferencia de la matriz de la muestra o el objeto de prueba.
10. Otro parámetro según criterios específicos de acreditación para técnicas particulares para la comprobación del desempeño en métodos cualitativos acorde a las condiciones particulares para la confiabilidad de los resultados.

1.2.10 Desviación Estándar

La desviación estándar es una de las herramientas más útiles y poderosas en estadística porque nos dice de forma sencilla y directa cuánto se dispersan o varían los datos alrededor de su valor promedio (la media). En palabras simples: si los resultados de tus mediciones de DQO están muy juntitos y cercanos a la media la desviación estándar será baja y eso nos da mucha tranquilidad porque significa que el método es consistente y los datos tienen poca variabilidad. En cambio, si los números se alejan bastante unos de otros y se esparcen por todo lado la desviación estándar sube y nos alerta de que hay mucha dispersión lo que podría indicar problemas como errores en la ejecución interferencias en la muestra o inestabilidad del equipo. Primero se halla la media del conjunto de datos al sumar todos los elementos y dividir por la cantidad total de ellos (Majka, 2024).

Luego se determina la diferencia de cada dato con respecto a esa media restando la media del valor específico posteriormente se calcula el promedio de las diferencias al cuadrado resultando en la varianza. Para finalizar se toma la raíz cuadrada de la varianza dando como resultado la desviación estándar. Este método puede ser expresado matemáticamente de la siguiente manera:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}}$$

Donde:

σ = Representa la desviación estándar

x_i = Son los puntos de datos individuales "i"

μ = Es la media de los puntos de datos

N = Es el número de puntos de datos

La desviación estándar ayuda a los analistas y a quienes toman decisiones a realizar evaluaciones más informadas sobre el riesgo el rendimiento y la estabilidad. Su habilidad para condensar la variabilidad de los datos en una cifra única la hace esencial para estudios ya sean sencillos o detallados (Majka, 2024).

1.2.11 Repetibilidad y Reproducibilidad

Los estudios de repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones determinan que parte de la variación observada en el proceso se debe al sistema de medición usado. (Portuondo & Portuondo, 2010).

La repetibilidad puede ser expresada de forma numérica en relación con la variabilidad característica de los resultados. Según el Vocabulario Internacional de Metrología se define como la cercanía de acuerdo entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo objeto bajo idénticas circunstancias de medición donde:

1. Estas circunstancias se conocen como condiciones de repetibilidad.
2. Las condiciones de repetibilidad comprenden: El mismo método de medición el mismo observador el mismo instrumento de medición empleado bajo las mismas circunstancias el mismo lugar y repeticiones en un breve lapso.

La reproducibilidad también se define como la cercanía de acuerdo entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo objeto bajo circunstancias de medición que varían. Donde:

1. Una declaración de reproducibilidad válida necesita que se especifiquen las circunstancias que cambian.
2. Las circunstancias que varían pueden incluir: el principio de medición el método de medición el observador el instrumento de medición el patrón de referencia el lugar las condiciones de uso y el tiempo.

3. La reproducibilidad puede ser expresada de manera numérica en relación con la variabilidad característica de los resultados.
4. Se entiende que los resultados normalmente son ajustados.

1.3 Marco Legal y Ambiental

1.3.1 NTE INEN ISO 17025:2018

“Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración” esta norma es aplicable para la acreditación de la actividad de muestreo realizado por los laboratorios de ensayo acreditados cuando efectúen el muestreo de sustancias materiales o productos que luego ensayen conforme a métodos normalizados.

1.3.2 Normas estandarizadas para DQO

1.3.2.1 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

Método 5220 D – Colorimetric Method

Referencia: Standard Methods 23rd / 24th Edition

Principio: Digestión con dicromato potásico en medio ácido (H_2SO_4) y catalizador (sulfato de plata) calentado a 150 °C durante 2 horas. Luego se mide la absorbancia del Cr^{3+} formado proporcional a la DQO.

Longitud de onda: Comúnmente entre 600-620 nm (depende del kit).

Es ideal para reactores digestores y espectrofotómetro o colorímetro.

Aplicabilidad: Aguas residuales industriales domésticas aguas naturales.

1.3.2.2 US EPA Method 410.4

Título: “The Determination of Chemical Oxygen Demand by Semi-Automated Colorimetry”

Principio similar al anterior pero adaptado para flujo continuo o espectrofotometría automatizada.

Recomendado para laboratorios con equipos HACH o similares.

Citado por la Environmental Protection Agency (EPA) como referencia para cumplimiento normativo.

1.3.2.3 Métodos de fabricantes comerciales (kits)

Usados frecuentemente en laboratorios de campo o con bajo volumen de muestras:

HACH Method 8000 (High Range): 20–1500 mg/L

HACH Method 8007 (Low Range): 3–150 mg/L

CHEMetrics COD Vials (colorimétricos): métodos equivalentes EPA y APHA.

Todos estos kits están basados en el método colorimétrico del dicromato (EPA 410.4 / SM 5220 D) y son válidos si el laboratorio documenta la trazabilidad y validación.

1.4 Marco Metodológico

1.4.1 Fuentes de información

1.4.1.1 Fuente Primaria

Son aquellas obtenidas directamente de los actores involucrados en la experiencia.

- Entrevistas semiestructuradas con técnicos beneficiarios y responsables del proceso.

Formato utilizado: Guía de entrevista + registros en actas o grabaciones.

- Observación directa de actividades realizadas

Formato utilizado: Ficha de observación estructurada con campos por dimensión (técnico operativo participativo).

- Grupos focales o talleres participativos

Formato utilizado: Plantillas de registro de opiniones matrices de priorización papelógrafos.

- Registros fotográficos y audiovisuales

Formato utilizado: Carpetas digitales clasificadas por actividad con fecha y lugar.

1.4.1.2 Fuente Secundaria

Corresponden a documentos previos o producidos durante la ejecución del proyecto o experiencia.

- Informes técnicos o de avance

Formato utilizado: Informes mensuales planes operativos memorandos.

- Documentos institucionales

Formato utilizado: Convenios actas de compromiso resoluciones.

- Bases de datos o registros estadísticos

Formato utilizado: Hojas Excel o bases en Google Sheets con indicadores de impacto beneficiarios tiempos etc.

- Materiales de capacitación o difusión

Formato utilizado: Presentaciones trípticos guías metodológicas.

Capítulo 2

2 Descripción de la Experiencia

2.1 Presentación de la organización/empresa en donde se desarrolló la experiencia profesional.

El Centro de Servicios para el Control de la Calidad (CESECCA) es un lugar realmente especial y con muchísimo potencial dentro de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Me llena de orgullo que mi proyecto se haya desarrollado justo ahí en la Facultad de Ingeniería Industrial.

Desde marzo de 2024 el centro cuenta con una gestión financiera más sólida gracias a la Empresa Pública Estudios y Construcciones ULEAM EP lo que ha permitido mejorar su funcionamiento y enfocarse mejor en lo esencial. CESECCA se dedica por completo al control y aseguramiento de la calidad realizando análisis fisicoquímicos y microbiológicos con métodos estandarizados y protocolos bien validados siempre siguiendo las normas del INEN y otros organismos nacionales.

Día a día

el centro ofrece un apoyo técnico valioso tanto a la comunidad universitaria como a las empresas y el sector productivo de Manabí y la región. Además, juega un rol importante en la formación de los estudiantes: al incluir prácticas preprofesionales en un ambiente controlado normado y muy enfocado en el aprendizaje práctico les da la oportunidad de trabajar en condiciones reales de la industria y desarrollar capacidades analíticas de verdad.

2.2 Tipo de organización fines objetivos.

2.2.1 Campos Principales de Actividad.

El CESECCA se dedica a realizar ensayos Físicos Químicos y Microbiológicos de alimentos efluentes industriales aire aguas y otros al sector productivo nacional y a la comunidad en general y con proyecciones en la investigación utilizando métodos de análisis confiables con personal altamente calificado y

motivado con oportunidades de carrera sobre una base financiera sólida de crecimiento rentable.

Operando con equipos de alta tecnología preservando el ecosistema para el presente y el futuro cumpliendo con normas y regulaciones legales y ambientales nacionales y extranjeras de tal manera que se reconozca la pertinencia del Centro en la estructura de la sociedad a través de la prestación de servicios de calidad para mejorar la competitividad y productividad empresarial.

Misión

La Misión del Centro de Servicio para el Control de la Calidad entidad adscrita a la facultad de Ingeniería Industrial de la U.L.E.A.M. es realizar ensayos físicos químicos y microbiológicos de alimentos efluentes industriales aguas en general para el sector productivo nacional microempresas y emprendedores.

Con proyecciones en la investigación utilizando métodos de análisis validados certificados y confiables con personal altamente calificado y motivado con oportunidades de carrera sobre una base financiera sólida de crecimiento rentable. Operando con equipos de alta tecnología preservando el ecosistema para el presente y el futuro cumpliendo con normas y regulaciones legales y ambientales Nacionales y Extranjeras de tal manera que se reconozca la pertinencia del Centro en la estructura de la sociedad otorgando la certificación de los productos para mejorar la calidad de vida de la sociedad.

Visión

Ser LIDER en servicios de análisis de laboratorio como entidad evaluadora de la conformidad con reconocimiento de la Comunidad Económica Europea y de la F.D.A (Food Drugs Administración) garantizando la solvencia y certificación de la calidad de nuestros servicios al sector productivo y proyectándonos a desarrollar investigación de nuevos productos y validando nuevos métodos analíticos con eficiencia eficacia y efectividad.

Política de Calidad

El Centro de Servicios para el Control de Calidad Laboratorio CESECCA es una unidad de autogestión independiente adscrita a la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí tiene como actividad principal el brindar servicios de ensayos físico-químicos y microbiológicos a los alimentos aguas efluentes industriales y ambiente garantizando la calidad de los ensayos que realiza con un personal competente que labora en función de la excelencia y la mejora continua de sus actividades y servicios aplicando buenas prácticas profesionales y utilizando estándares nacionales e internacionales.

La dirección de CESECCA establece implementa y mantiene una política de calidad que garantiza la eficacia del Sistema de Gestión de Calidad a través de la mejora continua en sus actividades apoyados en el cumplimiento de la norma internacional de laboratorios de ensayo y calibración NTE INEN-ISO/IEC 17025:2018.

El CESECCA tiene como principal compromiso el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- Lograr la satisfacción del cliente atendiendo todas aquellas necesidades de ensayos a los sectores productivos.
- Asegurar la competencia y la capacidad de generar resultados válidos y confiables.
- Proporcionar a la medida de lo posible los recursos materiales y humanos que sean necesarios para ofrecer un servicio con eficiencia eficacia y efectividad.
- Cumplir con las normativas y los requisitos legales vigentes aplicables a la actividad que se desarrolla en el laboratorio
- Promover la formación continua del personal en los temas técnicos y de Gestión de Calidad con el objetivo de garantizar su cualificación en los procedimientos requeridos y su participación en el control de la calidad de los ensayos.
- Establecer una adecuada estructura de distribución de las funciones y responsabilidades en cuanto a la elaboración de contratos ejecución de

ensayos manejo con clientes y proveedores comprometiéndonos con la imparcialidad y la confidencialidad.

- Planificar y revisar anualmente los objetivos de calidad del laboratorio para impulsar a la mejora continua del Sistema de Gestión.
- Comunicar la política a todo el personal del laboratorio para su conocimiento y aplicación, así como estar disponible para todas las partes interesadas y mantenerse en revisión periódicamente por la dirección.

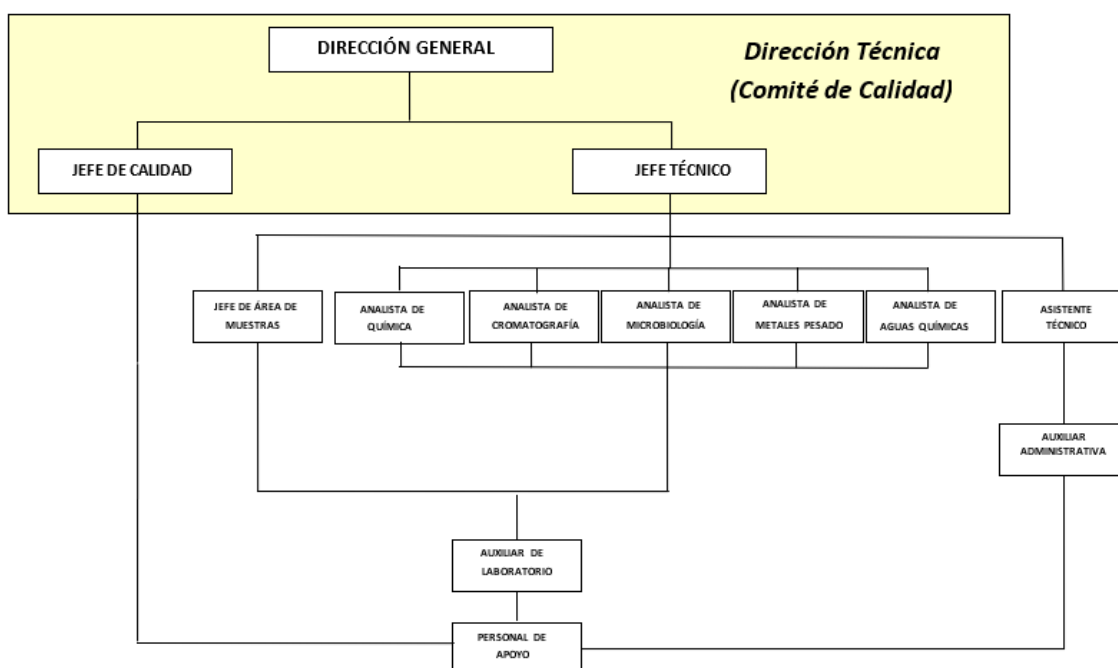
Ing. Fernando Veloz Párraga

DIRECTOR DE CESECCA

2.2.2 Estructura organizacional.

Figura 1:

Estructura organizacional de CESECCA



Nota: Estructura organizacional fue obtenida del Laboratorio CESECCA

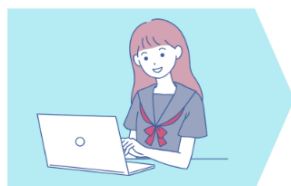
2.2.3 Cadena de valor

Figura 2:

Cadena de Valor Integral

CADENA DE VALOR

(Actividades primarias y de apoyo)



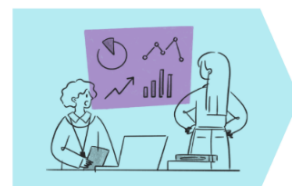
FASE PREANALÍTICA

- Recepción y registro de muestras
- Calibración y verificación de instrumentos
- Compra de insumos, reactivos y estándares



FASE ANALÍTICA

- Ejecución de ensayos físicos, químicos y microbiológicos
- Uso de equipos instrumentales (cromatografía, espectrofotometría, etc.)



FASE POSANALÍTICA

- Generación y reportes técnicos.
- Servicio al cliente
- Entrega de resultados al cliente
- Servicio informático

Nota: Elaboración propia

2.2.4 Descripción del área donde se desarrolla la experiencia

La experiencia práctica se llevó a cabo en el área de análisis de aguas del laboratorio CESECCA asociado con la Facultad de Ingeniería Industria y Construcción de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. En esta sección del laboratorio se desarrollan actividades analíticas orientadas a la evaluación de la calidad del agua mediante la determinación de parámetros fisicoquímicos entre ellos la Demanda Química de Oxígeno (DQO) como indicador clave del contenido de materia orgánica presente en muestras de agua residual potable y superficial.

En esta área del CESECCA es donde todo comienza realmente: aquí llegan las muestras de agua para ser analizadas con todo el cuidado y la precisión que merecen y el proceso se hace con un compromiso total por obtener resultados que realmente cuenten. Dependiendo de lo que requiera cada estudio o cliente las muestras se someten a análisis de química del agua siguiendo procedimientos normalizados y bien establecidos que incluyen pasos clave como la digestión química para oxidar la materia orgánica la medición espectrofotométrica (en el caso del método colorimétrico de DQO) y un estricto

control de calidad en cada etapa. De esta forma se garantiza que los datos sean confiables reproducibles y útiles para evaluar el grado de contaminación de las aguas residuales o superficiales y sobre todo para verificar si se cumple con las normativas ambientales vigentes

Tabla 1:

Análisis que se realizan en el Área de aguas

Acreditados	No acreditados	
Sólidos totales disueltos	Fosfato	Cobre
Sólidos solubles totales	Cloro	Aluminio
Sólidos totales	Cloro residual	Fluoruro
DQO	Níquel	Cloruro
DBO 5	Hierro	Sodio
pH	Manganeso	

Nota: Elaboración propia

2.3 Delimitación de la experiencia a sistematizar

La sistematización de la experiencia se delimita a las actividades desarrolladas en el área de análisis de aguas enfocándose en la revalidación del método analítico para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) mediante espectrofotometría. Este proceso se lleva a cabo considerando el tiempo transcurrido desde la validación inicial del método, así como los cambios recientes en la infraestructura y en las condiciones operativas del laboratorio.

La revalidación del método es esa pieza clave que nos da la tranquilidad absoluta de que todo sigue funcionando como debe: garantiza que la validez la exactitud y la confiabilidad de los resultados analíticos se mantengan intactas a lo largo del tiempo incluso cuando pasan los meses o cambian algunos factores en el laboratorio. Los datos que obtenemos no son solo números en un informe; provienen de ensayos experimentales bien pensados y ejecutados con mucho cuidado en el laboratorio CESECCA siempre siguiendo al pie de la letra los requisitos técnicos y de calidad que establece la norma NTE INEN-ISO/IEC 17025:2018.

2.4 Tiempo o período de la experiencia

La ejecución práctica se llevó a cabo desde el 15 de diciembre del 2025 hasta el 23 de enero del 2026 con un horario de ingreso a las 8:00am y salida 16:00pm de lunes a viernes sumando así un total de 200 horas.

2.5 Descripción del desarrollo de la experiencia. Periodización.

2.5.1 Visión general del desarrollo del proyecto.

El proyecto se orienta a la revalidación del método analítico para la determinación de sólidos solubles mediante espectrofotometría considerando el periodo transcurrido desde su validación inicial y las recientes adecuaciones realizadas en la infraestructura del laboratorio. Estas condiciones hacen necesaria la verificación del desempeño actual del método bajo las nuevas circunstancias operativas.

La revalidación tiene como finalidad comprobar que el procedimiento continúe cumpliendo con los criterios de calidad exactitud y precisión establecidos

garantizando la confiabilidad y validez de los resultados analíticos obtenidos. El estudio se desarrollará bajo un enfoque técnico y experimental fundamentado en normativas vigentes lo que permitirá preservar la integridad del proceso analítico y asegurar la confianza en los datos generados.

2.5.2 Etapas desarrolladas: cuadro cronológico.

Tabla 2:

Cuadro cronológico N°1

DÍA (SEMANA) Del 15 al 19 de diciembre	HORA DE ENTRADA: 8:00 am	HORA DE SALIDA: 16:00 pm
• Capacitación inicial sobre las normas internas del laboratorio seguridad y bioseguridad uso adecuado de reactivos correcta manipulación del material volumétrico sistema de rotulación gestión documental y descripción general de los análisis a ejecutar. • Revisión y recopilación de normativas técnicas AOAC y NTE INEN relacionadas con la determinación de DQO. • Ajuste y verificación del procedimiento analítico mediante la preparación de reactivos selección de materiales y comprobación del correcto funcionamiento de los equipos.		

Nota: Elaboración propia

Tabla 3:

Cuadro cronológico N°2

DÍA (SEMANA)	HORA DE ENTRADA:	HORA DE SALIDA:
Del 22 al 26 de diciembre	8:00 am	16:00 pm
ACTIVIDADES		
• Registro de la verificación y control metrológico de la balanza analítica asegurando su correcto funcionamiento previo a los ensayos. • Verificación y registro del estado operativo del espectrofotómetro garantizando condiciones adecuadas para la lectura de absorbancia a la longitud de onda establecida.		

Nota: Elaboración propia

Tabla 4:

Cuadro cronológico N°3

DÍA (SEMANA)	HORA DE ENTRADA:	HORA DE SALIDA:
Del 5 al 9 de enero	8:00 am	16:00 pm
ACTIVIDADES		
• Colaboración en el proceso de pesaje preciso de muestras garantizando la correcta preparación para la ejecución de los servicios analíticos. • Preparación y acondicionamiento de reactivos químicos empleados en el análisis de muestras de aguas residuales. • Verificación calibración y control del estado de los materiales volumétricos asegurando la exactitud y confiabilidad de las mediciones durante el procedimiento analítico.		

Nota: Elaboración propia

Tabla 5:

Cuadro cronológico N°4

DÍA (SEMANA)	HORA DE ENTRADA:	HORA DE SALIDA:
Del 12 al 16 de enero	8:00 am	16:00 pm
ACTIVIDADES		
• Preparación y caracterización de las muestras de aguas residuales antes de realizar los ensayos de Demanda Química de Oxígeno (DQO). • Realización de varias rondas de análisis de DQO en distintos días con el objetivo de recolectar los datos suficientes para desarrollar y revalidar el método de determinación de DQO en aguas residuales. • Preparación de las curvas de calibración para DQO y análisis de las muestras con el fin de obtener los resultados analíticos del estudio.		

Nota: Elaboración propia

Tabla 6:

Cuadro cronológico N°5

DÍA (SEMANA)	HORA DE ENTRADA:	HORA DE SALIDA:
Del 19 al 23 de enero	8:00 am	16:00 pm
ACTIVIDADES		
• Realización de análisis estadísticos de los resultados obtenidos en el estudio mediante la aplicación del método de análisis de varianza (ANOVA) para la evaluación y comparación de los datos experimentales.		

Nota: Elaboración propia.

Línea cronológica de la sistematización de experiencias prácticas en el laboratorio CESECCA.

Figura 3:

Línea cronológica de la sistematización de experiencias



Nota: Elaboración propia

2.6 Determinación de los problemas presentados en el desarrollo de la experiencia.

2.6.1 Selección de los problemas presentados en el desarrollo de la experiencia.

En el laboratorio CESECCA el método para determinar la Demanda Química de Oxígeno (DQO) ya superó el período establecido desde su validación inicial. Esto hace necesario realizar una revalidación para confirmar que los resultados sigan siendo confiables precisos y reproducibles.

Las interferencias energéticas del entorno (como fluctuaciones de voltaje o picos eléctricos) pueden afectar el funcionamiento y la durabilidad de los equipos analíticos. En particular generan desviaciones en las lecturas del espectrofotómetro y ponen en riesgo la exactitud de los valores obtenidos.

Aunque la calibración de los equipos se hace anualmente según los procedimientos establecidos esta frecuencia puede quedar corta cuando hay alta carga de trabajo o condiciones ambientales variables (temperatura humedad

polvo etc.). En esos casos el rendimiento del instrumento se ve influido y la calidad de las mediciones puede disminuir.

2.6.2 Categorización y jerarquización de los problemas encontrados.

- Desviaciones en los resultados analíticos obtenidos durante el proceso de medición.
- Presencia de interferencias asociadas a variaciones energéticas que afectan el desempeño del equipo espectrofotométrico.
- Incremento o variabilidad en la estimación de la incertidumbre del método analítico.

La falta de revalidación del método para determinar la Demanda Química de Oxígeno (DQO) puede comprometer seriamente la confiabilidad de los resultados. Esto impacta directamente en la calidad la exactitud y el respaldo técnico de las decisiones que se toman con base en esos datos analíticos.

2.7 Análisis de los problemas seleccionados.

2.7.1 Aspectos teóricos.

La determinación colorimétrica de DQO se basa en medir la absorbancia de la muestra a una longitud de onda específica con el espectrofotómetro y relacionar esa señal directamente con la concentración del analito mediante la ley de Beer-Lambert. Sin embargo, este método es bastante delicado y se ve afectado por cosas como la estabilidad del instrumento si los reactivos se prepararon bien la temperatura del laboratorio o incluso cómo es la muestra en sí. Por eso es clave que el espectrofotómetro esté bien calibrado y que siempre trabajemos en condiciones controladas sin dejar nada al azar.

Si los intervalos de calibración no se ajustan al uso diario del equipo o a los cambios del ambiente (por ejemplo, subidas o bajadas de temperatura humedad variable) el método empieza a perder estabilidad y el riesgo de errores sistemáticos sube bastante. Lo mismo ocurre con problemas en la electricidad como fluctuaciones o cortes breves que pueden desajustar el espectrofotómetro y hacer que los resultados ya no sean confiables. Desde el punto de vista teórico

las fallas que encontramos tocan directamente los fundamentos del método: precisión exactitud repetibilidad y el control de la incertidumbre.

2.7.2 Aspectos metodológicos y estratégicos.

Desde un enfoque metodológico la revisión y actualización de los métodos analíticos es un componente clave dentro de los sistemas de gestión de calidad conforme a lo establecido en normativas internacionales como la ISO/IEC 17025:2017. Dicha norma exige que los procedimientos utilizados en laboratorios acreditados sean objeto de evaluación periódica y de revalidación cuando se produzcan cambios en las condiciones de operación que puedan incidir en su desempeño. En este marco es necesario aplicar diversas acciones orientadas a asegurar la confiabilidad del método tales como:

- Realizar controles sistemáticos del desempeño de los equipos adicionales a la calibración anual.
- Evaluar cómo los factores ambientales (temperatura humedad polvo vibraciones voltaje) afectan la precisión y repetibilidad de los resultados de DQO.
- Implementar un plan claro de mantenimiento preventivo y correctivo para los equipos clave con cronograma y registros.
- Reforzar la capacitación continua del personal en detección de desviaciones control de calidad y trazabilidad metrológica

Desde una visión estratégica se vuelve prioritario promover una cultura organizacional basada en la mejora continua con el propósito de garantizar resultados analíticos confiables y dar cumplimiento a los requisitos de los organismos de acreditación, así como a las expectativas de los usuarios del servicio.

2.7.3 Aspectos técnicos.

.

2.7.3.1 Frecuencia de calibración insuficiente

Aunque la calibración anual del espectrofotómetro cumple con los requisitos técnicos y normativos en laboratorios con uso intensivo o en entornos donde las

condiciones ambientales varían mucho (temperatura humedad polvo etc.) puede no ser suficiente para mantener la precisión a lo largo del tiempo. Por eso es recomendable hacer verificaciones intermedias cada mes o cada quince días usando soluciones patrón certificadas de concentración conocida. De esta manera se detectan a tiempo cualquier deriva o desviación del equipo y se asegura que los resultados sigan siendo confiables entre una calibración oficial y la siguiente.

2.7.3.2 Interferencia por variaciones en el suministro eléctrico

Las variaciones o caídas de voltaje en la red eléctrica pueden dañar los componentes electrónicos del espectrofotómetro lo que termina afectando su precisión y por ende la fiabilidad de los resultados de los análisis. Para evitar estos problemas es muy recomendable instalar un regulador de voltaje (estabilizador) o mejor aún un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS). Estos equipos mantienen un suministro estable y protegen el instrumento contra picos bajones o cortes momentáneos de luz.

2.7.3.3 Desviaciones en los resultados analíticos

Es fundamental definir rangos de aceptación claros para los resultados obtenidos y establecer protocolos bien documentados que indiquen cuándo rechazar una medición o repetir el análisis completo si se detectan valores fuera de los límites establecidos. De esta forma se refuerza el control de calidad interno y se minimizan los riesgos de reportar datos no confiables.

Capítulo 3

3 Propuesta de mejora

3.1 Fase 1: Planificación

3.1.1 Principio

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) representa una medida indirecta del contenido de materia orgánica presente en una muestra de agua cuantificando el oxígeno equivalente requerido para su oxidación mediante un agente químico de alta capacidad oxidante. En este método la muestra se digiere en un medio muy ácido usando dicromato de potasio como oxidante principal. Para evitar que los cloruros interfieran se añade sulfato de mercurio que los enmascara.

Durante la digestión el cromo hexavalente (Cr^{6+}) se reduce a cromo trivalente (Cr^{3+}) al oxidar la materia orgánica de la muestra. Este cambio hace que la solución cambie de color de forma clara —de naranja-amarillo a verde— y justo eso es lo que usamos para medir fotométricamente en el rango visible.

El dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) absorbe mucho alrededor de los 400 nm mientras que el Cr^{3+} tiene su pico máximo de absorción entre 600 y 605 nm. Por eso para concentraciones medias de DQO lo habitual es medir el aumento de absorbancia del Cr^{3+} a 600–605 nm. Si la muestra trae una DQO muy alta la diluimos antes para no saturar el método; en cambio si es baja preferimos medir cuánto dicromato residual queda a longitudes más cortas cerca de los 400 nm.

3.1.2 Método

El laboratorio cuenta con un solo método de ensayo para determinar la DQO.

3.1.3 Borrador del procedimiento

3.1.3.1 Preparación de la muestra

La preparación de la muestra comprende la preservación homogenización y tratamiento adecuado según el tipo de agua residual con el fin de garantizar resultados representativos.

- A. Aguas residuales domésticas (150 mg/L): Se homogeneiza muy bien la muestra agitando manualmente o con agitador mecánico hasta que quede completamente uniforme.
- B. Aguas residuales municipales (700 mg/L): Primero se homogeneiza la muestra y si es necesario se diluye para que la concentración quede dentro del rango de trabajo del método.
- C. Aguas residuales industriales (1300 mg/L): Se homogeneiza la muestra y en caso de ser necesario se hacen las diluciones adecuadas para evitar que se sature el método o se salga del intervalo lineal.

3.1.3.2 Realización del ensayo

- Se utiliza hidrógeno aftalato de potasio (KHP) como patrón primario para la preparación de soluciones estándar de Demanda Química de Oxígeno (DQO) debido a su estabilidad y pureza.
- El KHP se seca previamente en estufa a una temperatura de 110 ± 2 °C durante un tiempo de 20 minutos con el fin de eliminar humedad residual y garantizar la exactitud del pesaje.
- Una vez seco el reactivo se deja enfriar en desecador y se pesan 085 g de KHP utilizando una balanza analítica de precisión.
- El KHP pesado se transfiere cuantitativamente a un matraz aforado de 500 mL se disuelve completamente con agua destilada tipo I y se afora hasta la marca obteniéndose una solución madre con una concentración teórica de 2000 mg/L de DQO.
- A partir de la solución madre se preparan las soluciones estándar de 100 400 600 1000 y 1400 mg/L de DQO mediante diluciones sucesivas. Para esto se usan matraces aforados de 100 mL y pipetas calibradas.
- Estas soluciones estándar se preparan recién en cada ronda de análisis justamente para garantizar que la curva de calibración sea lo más confiable posible.
- El análisis se lleva a cabo en tubos de ensayo con tapa de rosca de 16 mm de diámetro que se lavan previamente y se revisan con cuidado para confirmar que no tengan restos de impurezas orgánicas.

- En cada tubo de ensayo se adicionan 030 mL de la solución A y 230 mL de la solución B de acuerdo con el método colorimétrico de digestión cerrada para DQO.
- Posteriormente se incorporan 30 mL de la muestra o de la solución estándar correspondiente al intervalo de medición de 100 a 1500 mg/L de DQO y el tubo se cierra herméticamente.
- El contenido del tubo se agita vigorosamente para asegurar la homogeneización del sistema y la correcta suspensión del sedimento formado.
- Los tubos de ensayo se colocan en un termo reactor previamente precalentado a 150 ± 2 °C.
- La digestión térmica se realiza durante 120 minutos permitiendo la oxidación de la materia orgánica presente en la muestra.
- Finalizado el proceso de digestión los tubos se retiran del termo reactor y se dejan enfriar hasta alcanzar temperatura ambiente.
- Una vez enfriadas las muestras se mide la absorbancia en un fotómetro a una longitud de onda de 605 nm.
- Tanto las muestras como los estándares se analizan por triplicado y se registra el valor promedio de las absorbancias obtenidas.
- Los valores de absorbancia de los estándares se emplean para la construcción de la curva de calibración de DQO.
- Las absorbancias medidas en las muestras se interpolan directamente en la curva de calibración para obtener la concentración final de DQO que se expresa siempre en mg/L.

3.1.4 Puesta a punto

3.1.4.1 Identificación de las variables que intervienen en el método

Identificación de matrices afines. - El método se aplica sin complicaciones a aguas residuales de tipo doméstico municipal o industrial con concentraciones habituales cercanas a 150 700 y 1300 mg/L de DQO. Todos esos valores quedan cómodamente dentro del rango que validamos con la curva de calibración que va desde 100 hasta 1400 mg/L.

Puesta a punto del equipo. - Antes de comenzar con los análisis es indispensable comprobar que el bloque digestor funcione correctamente: debe alcanzar y estabilizar la temperatura en 148 °C. También se verifica el buen estado y operación del espectrofotómetro. Para confirmar todo se realizan pruebas con blancos y con soluciones patrón de DQO conocidas.

Preparación de la muestra. - Cada muestra debe homogenizarse muy bien antes de tomar la alícuota para el análisis. Es fundamental mantener en suspensión la fracción particulada ya que esta contribuye de manera importante a la carga orgánica total que se mide como Demanda Química de Oxígeno (DQO).

3.1.4.1.1 Identificación de requisitos

Tabla 7:

Identificación de requisitos N°1

Equipos	U calibración	Corrección de la calibración	Deriva	Utilidad
Termo reactor	Sí	Sí	Sí	Digestión de las muestras
Micropipeta	Sí	Sí	Sí	Medición de volúmenes
Espectrofotómetro	Sí	Sí	Sí	Lectura de absorbancia
Balanza analítica de precisión	Sí	Sí	Sí	Pesaje de reactivos

Nota: Elaboración propia

Tabla 8:

Identificación de requisitos N°2

Materiales	U calibración	k: de la calibración	Deriva	Utilidad
Matraz balón aforado de 500 mL	Sí	Sí	Sí	Preparación de soluciones
Matraz aforado de 100 mL	Sí	Sí	Sí	Preparación de diluciones
Pipeta graduada de 5 mL	Sí	Sí	Sí	Medición de volúmenes
Pipeta graduada de 19 mL	Sí	Sí	Sí	Medición de volúmenes
Tubo de ensayo tapa rosca 16 mm	No	No	No	Contención de muestras

Nota: Elaboración propia

Tabla 9:*Identificación de requisitos N°3*

Reactivos	Valor	U	Lote de preparación	Fecha de caducidad	Método de análisis	Utilidad
Solución A	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Reactivo
Solución B	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Reactivo
Potasio						
hidrógeno	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Patrón
ftalato						
Agua						Preparación de
destilada	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	n de
tipo I						soluciones

Nota: Elaboración propia**3.1.5 Objetivos de la validación****Tabla 10:***Fijación de objetivos*

PARÁMETRO	OBJETIVO ESTABLECIDOS
ANOVA	$F_{cal} \leq F_{tab}$
Precisión (repetibilidad y/o reproducibilidad)	CVr: $\leq 10\%$ CVR: $\leq 10\%$
Incertidumbre	$\leq 25\%$
Recuperación	90 - 110%

Nota: Elaboración propia

3.1.6 Diseño experimental y estadístico

Tabla 11:

Diseño experimental y estadístico

Diseño experimental	Se realizó la validación del método de Demanda Química de Oxígeno (DQO) mediante el análisis de soluciones patrón preparadas a partir de hidrógeno ftalato de potasio y muestras reales de aguas residuales. El estudio se llevó a cabo en diferentes niveles de concentración con repeticiones bajo condiciones de repetibilidad y reproducibilidad con el fin de evaluar la precisión exactitud linealidad e incertidumbre del método.
Muestras	Se emplearon soluciones patrón de DQO con niveles de: • 150mg/L Doméstica • 700mg/L Municipales • 1400 mg/L Industriales
Curva de calibración	De cada nivel de concentración y de cada muestra real se prepararon (100 400 800 1000 y 1400 mg/L.) las cuales fueron analizadas por triplicado para garantizar la confiabilidad de los resultados.
Procedimiento	Se realizó mediante el método colorimétrico de digestión cerrada. La calibración se efectuó utilizando hidrógeno aftalato de potasio (KHP) como patrón primario secado a 110 ± 2 °C durante 20 minutos preparando una solución madre de 2000 mg/L a partir de 085 g aforados a 500 mL con agua destilada tipo I de la cual se obtuvieron por dilución estándares de 100 a 1400 mg/L. En tubos de ensayo de tapa rosca se adicionaron 030 mL de solución A 230 mL de solución B y 30 mL de muestra o estándar; las mezclas se digirieron en un termo reactor a 150 ± 2

	°C durante 120 minutos se dejaron enfriar y la absorbancia se midió a 605 nm realizándose las determinaciones por triplicado y expresando los resultados en mg/L.
Lectura	Finalizada la digestión y una vez enfriadas las muestras se midió la absorbancia utilizando un espectrofotómetro a una longitud de onda de 405 nm registrando una lectura por cada submuestra.
Función de respuesta	La respuesta analítica del método fue la absorbancia medida en cada muestra que se relacionó directamente con la concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO) usando la curva de calibración construida a partir de las soluciones patrón.
Interpolación y cálculos	Las concentraciones de DQO en las muestras se calcularon por interpolación en la curva de calibración utilizando la ecuación de la recta ajustada (con su pendiente y su intercepto). Todos los resultados se reportaron en mg/L de DQO.
Tratamiento estadísticos	Se aplicó análisis de varianza para evaluar la precisión por niveles de concentración. Además, se determinaron los parámetros de validación: linealidad exactitud (% recuperación) repetibilidad (Sr CVr) reproducibilidad (SR CVR) límite de cuantificación intervalo de trabajo validado e incertidumbre asociada al método.

Nota: Elaboración propia

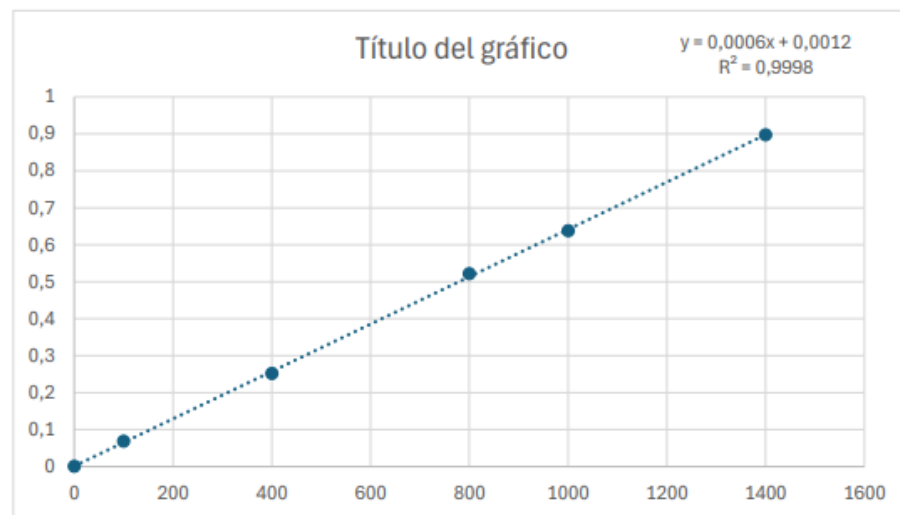
3.2 Fase 2: Analítica

Los datos que se muestran a continuación corresponden a los datos originales de los ensayos realizados.

Figura 4:

Verificación del método DQO - Día N°1

CONCENTRACIÓN	ABSORBANCIA	MUESTRA	DILUCIÓN	ABSORBANCIA	RESULTADO
0	0,000	150 mg/l	n/a	0,105	162,0
100	0,068	150 mg/l	n/a	0,101	156,3
400	0,252	150 mg/l	n/a	0,102	157,9
800	0,522	150 mg/l	n/a	0,099	153,2
1000	0,638	700 mg/l	n/a	0,455	709,1
1400	0,897	700 mg/l	n/a	0,457	711,2
		700 mg/l	n/a	0,461	718,0
		700 mg/l	n/a	0,468	728,9
		1300 mg/l	n/a	0,812	1266,1
		1300 mg/l	n/a	0,819	1277,0
		1300 mg/l	n/a	0,835	1302,5
		1300 mg/l	n/a	0,827	1289,0
PENDIENTE	0,0006				
INT. EJE	0,0012				

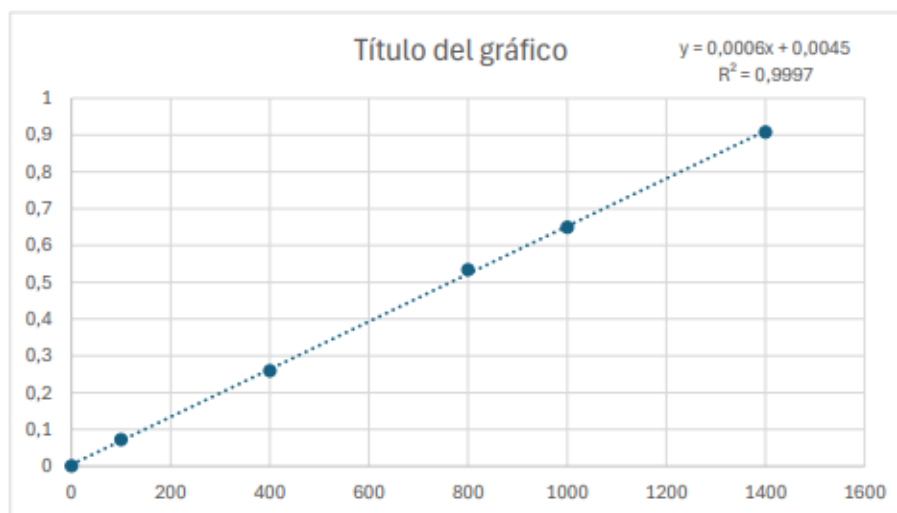


Nota: Los datos presentados fueron obtenidos del Laboratorio CESECCA.

Figura 5:

Verificación del método DQO - Día N°2

CONCENTRACIÓN	ABSORBANCIA	MUESTRA	DILUCIÓN	ABSORBANCIA	RESULTADO
0	0,001	150 mg/l	n/a	0,108	159,3
100	0,072	150 mg/l	n/a	0,104	153,6
400	0,260	150 mg/l	n/a	0,103	152,1
800	0,534	150 mg/l	n/a	0,098	144,9
1000	0,649	700 mg/l	n/a	0,465	710,4
1400	0,908	700 mg/l	n/a	0,467	714,0
PENDIENTE	0,0006	700 mg/l	n/a	0,469	717,1
INT. EJE	0,0045	700 mg/l	n/a	0,458	700,1
		1300 mg/l	n/a	0,832	1277,4
		1300 mg/l	n/a	0,849	1303,7
		1300 mg/l	n/a	0,856	1314,0
		1300 mg/l	n/a	0,837	1284,6

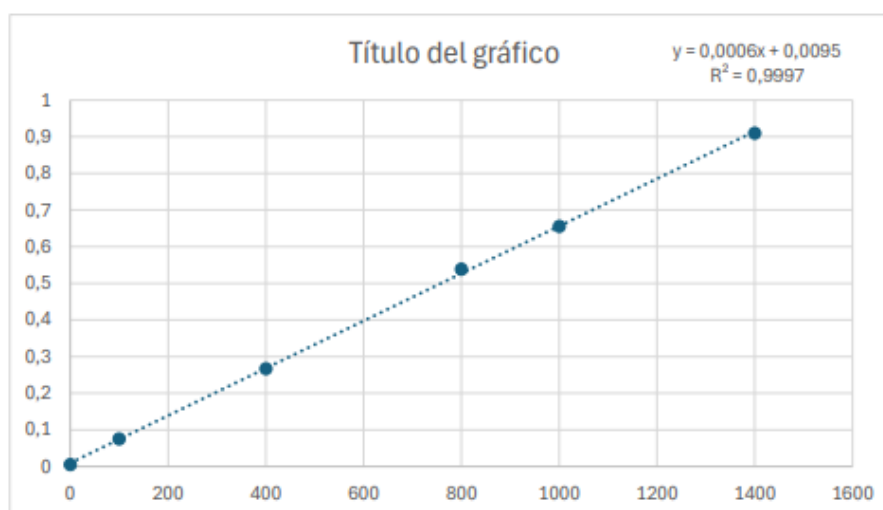


Nota: Los datos presentados fueron obtenidos del Laboratorio CESECCA.

Figura 6:

Verificación del método DQO - Día N°3

CONCENTRACIÓN	ABSORBANCIA	MUESTRA	DILUCIÓN	ABSORBANCIA	RESULTADO
0	0,005	150 mg/l	n/a	0,105	147,8
100	0,075	150 mg/l	n/a	0,105	148,3
400	0,267	150 mg/l	n/a	0,105	147,8
800	0,538	150 mg/l	n/a	0,103	144,7
1000	0,655	700 mg/l	n/a	0,466	705,6
1400	0,909	700 mg/l	n/a	0,469	710,8
PENDIENTE	0,0006	700 mg/l	n/a	0,465	704,6
INT. EJE	0,0095	700 mg/l	n/a	0,468	709,2
		1300 mg/l	n/a	0,842	1287,7
		1300 mg/l	n/a	0,852	1303,7
		1300 mg/l	n/a	0,858	1312,9
		1300 mg/l	n/a	0,857	1310,4

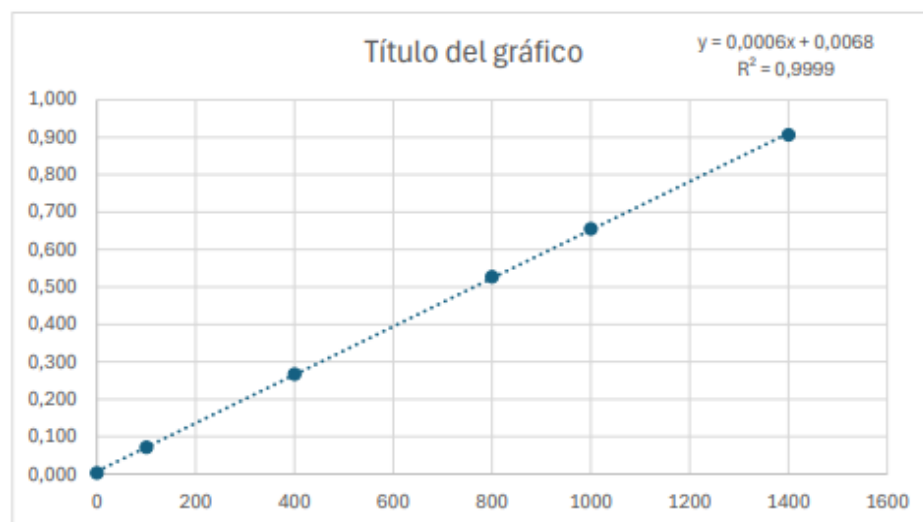


Nota: Los datos presentados fueron obtenidos del Laboratorio CESECCA.

Figura 7:

Verificación del método DQO - Día N°4

CONCENTRACIÓN	ABSORBANCIA	MUESTRA	DILUCIÓN	ABSORBANCIA	RESULTADO
0	0,003	150 mg/l	n/a	0,108	156,7
100	0,072	150 mg/l	n/a	0,103	148,9
400	0,267	150 mg/l	n/a	0,108	156,7
800	0,527	150 mg/l	n/a	0,110	159,8
1000	0,655	700 mg/l	n/a	0,458	698,8
1400	0,906	700 mg/l	n/a	0,471	718,9
PENDIENTE	0,0006	700 mg/l	n/a	0,476	726,6
INT. EJE	0,0068	700 mg/l	n/a	0,458	698,8
		1300 mg/l	n/a	0,852	1309,0
		1300 mg/l	n/a	0,851	1307,4
		1300 mg/l	n/a	0,823	1264,6
		1300 mg/l	n/a	0,868	1333,8

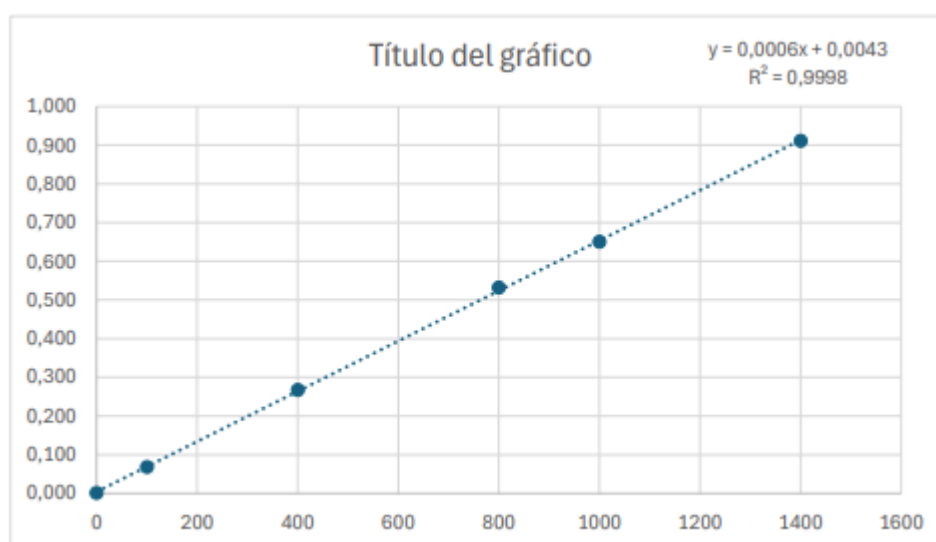


Nota: Los datos presentados fueron obtenidos del Laboratorio CESECCA.

Figura 8:

Verificación del método DQO - Día N°5

CONCENTRACIÓN	ABSORBANCIA	MUESTRA	DILUCIÓN	ABSORBANCIA	RESULTADO
0	0,001	150 mg/l	n/a	0,103	152,0
100	0,068	150 mg/l	n/a	0,099	145,9
400	0,267	150 mg/l	n/a	0,111	161,3
800	0,532	150 mg/l	n/a	0,113	164,4
1000	0,650	700 mg/l	n/a	0,468	714,8
1400	0,910	700 mg/l	n/a	0,481	734,4
PENDIENTE	0,0006	700 mg/l	n/a	0,466	711,7
INT. EJE	0,0043	700 mg/l	n/a	0,478	729,7
		1300 mg/l	n/a	0,832	1278,0
		1300 mg/l	n/a	0,881	1353,9
		1300 mg/l	n/a	0,883	1357,0
		1300 mg/l	n/a	0,878	1349,2



Nota: Los datos presentados fueron obtenidos del Laboratorio CESECCA.

3.3 Fase 3: Estadística

3.3.1 Tratamiento estadístico de los datos obtenidos

Una vez verificada la confiabilidad del método DQO se procedió al tratamiento estadístico de los datos obtenidos de tres tipos de aguas residuales:

Doméstica (150 mg/L)

Municipal (700 mg/L)

Industrial (1300 mg/L)

Figura 9:

Análisis estadísticos de las tres aguas residuales

	1	2	3	4	5
150 mg/l	162,02	159,28	147,75	156,68	152,04
	156,30	153,62	148,27	148,93	145,88
	157,86	152,07	147,75	156,68	161,32
	153,18	144,87	144,66	159,77	164,42
	1	2	3	4	5
700 mg/l	709,12	710,37	705,60	698,75	714,76
	711,20	713,98	710,76	718,89	734,37
	717,97	717,06	704,57	726,63	711,66
	728,90	700,08	709,21	698,75	729,73
	1	2	3	4	5
1300 mg/l	1266,11	1277,43	1287,69	1308,97	1278,00
	1277,04	1303,67	1303,67	1307,43	1353,89
	1302,55	1313,96	1312,95	1264,58	1356,99
	1289,01	1284,63	1310,37	1333,76	1349,24

Nota: Los valores presentados corresponden a datos estadísticos que fueron obtenidos del Laboratorio CESECCA.

3.3.1.1 Análisis de varianza

Figura 10:

Preparación del patrón de agua residual doméstica

	1	2	3	4	5	Resultados	
150 mg/l	162,024992	159,275614	147,752086	156,676726	152,04227	Media general :	153,6674
	156,298953	153,6154	148,26766	148,932788	145,880673	DCMW:	29,0564
	157,8606	152,071705	147,752086	156,676726	161,323089	DCMB:	66,4560
	153,17566	144,867796	144,658641	159,774301	164,420664	SL2:	7,4799
Valor medio	157,34	152,46	147,11	155,52	155,92	Sr:	5,3904
Sr	3,6808	5,9324	1,6506	4,6248	8,5104	SR:	6,0445
$\Sigma(X-Xm)^2$	40,6457	105,5799	8,1739	64,1664	217,2795	% CVr:	3,5078
Varianza	13,5486	35,1933	2,7246	21,3888	72,4265	% CVR:	3,9335
Numero total de datos:	20,00					%R:	102,4449
Número de grupos:	5						

Nota: Los valores presentados corresponden a datos estadísticos que fueron obtenidos del Laboratorio CESECCA.

Figura 11:

Análisis de varianza del agua residual doméstica

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	4	629,360205	157,340051	13,5485608
Columna 2	4	609,830514	152,457629	35,1932858
Columna 3	4	588,430473	147,107618	2,72461996
Columna 4	4	622,060541	155,515135	21,3887942
Columna 5	4	623,666696	155,916674	72,4265013

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>n</i> de las variacima de cuadrados de libertad	di	o de los cuac	F	Probabilidad	lor crítico para
Entre grupos	265,824043	4	66,4560109	2,28714224	0,10801438
Dentro de los	435,845286	15	29,0563524		3,05556828
Total	701,66933	19			

Nota: Los valores que se presentan corresponden a los análisis de varianza (ANOVA) realizados con los datos obtenidos en el Laboratorio CESECCA.

Conclusión: Dado que el valor de F calculado (2,28714224) resultó menor que el valor crítico de F (3,0556828) se acepta la hipótesis nula. Esto significa que no se detectan diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de datos analizados.

Figura 12:

Preparación del patrón de agua residual municipal

	1	2	3	4	5	Resultados	
700 mg/l	709,121945	710,374659	705,603187	698,752414	714,756553	Media general :	713,6193
	711,204141	713,976613	710,758927	718,886653	734,37453	DCMW:	93,6281
	717,971278	717,064003	704,572039	726,630592	711,658978	DCMB:	147,0302
	728,902806	700,08336	709,212205	698,752414	729,728167	SL2:	10,6804
Valor medio	716,80	710,37	707,54	710,76	722,63	Sr:	9,6762
Sr	8,9091	7,3854	2,9279	14,2160	11,1156	SR:	10,2132
$\Sigma(X-X_m)^2$	238,1160	163,6322	25,7178	606,2824	370,6725	% CVr:	1,3559
Varianza	79,3720	54,5441	8,5726	202,0941	123,5575	% CVR:	1,4312
Numero total de datos:	20,00					%R:	101,9456
Número de grupos:	5						

Nota: Los resultados presentados corresponden a datos estadísticos que fueron obtenidos del Laboratorio CESECCA.

Figura 13:

Análisis de varianza del agua residual municipal

RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
Columna 1	4	2867,20017	716,800042	79,3719854	
Columna 2	4	2841,49863	710,374659	54,5440768	
Columna 3	4	2830,14636	707,53659	8,57258474	
Columna 4	4	2843,02207	710,755518	202,094121	
Columna 5	4	2890,51823	722,629557	123,557489	

ANÁLISIS DE VARIANZA						
n de las variacima de cuadrados de libertadio de los cuac						
			F	Probabilidad	lor crítico para	
Entre grupos	588,120656	4	147,030164	1,57036446	0,23317423	3,05556828
Dentro de los ξ	1404,42077	15	93,6280514			
Total	1992,54143	19				

Nota: Los valores que se presentan corresponden a los análisis de varianza (ANOVA) realizados con los datos obtenidos en el Laboratorio CESECCA.

Conclusión: Dado que el valor de F calculado (1,57036446) resultó menor que el valor crítico de F (3,0556828) se acepta la hipótesis nula. Esto significa que no se detectan diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de datos analizados.

Figura 14:

Preparación del patrón de agua residual industrial

	1	2	3	4	5	Resultados	
1300 mg/l	1266,10933	1277,42522	1287,68627	1308,97476	1277,99901	Media general :	1304,0960
	1277,04086	1303,66803	1303,66906	1307,42597	1353,8896	DCMW:	582,7860
	1302,54776	1313,95933	1312,9494	1264,57618	1356,98718	DCMB:	1427,6581
	1289,01348	1284,62913	1310,37153	1333,75536	1349,24324	SL2:	168,9744
Valor medio	1283,68	1294,92	1303,67	1303,68	1334,53	Sr:	24,1410
Sr	15,6764	16,8423	11,3504	28,7269	37,8213	SR:	27,4183
$\Sigma(X-X_m)^2$	737,2449	850,9935	386,4973	2475,7030	4291,3517	% CVr:	1,8512
Varianza	245,7483	283,6645	128,8324	825,2343	1430,4506	% CVR:	2,1025
Numero total de datos:						%R:	100,3151
Número de grupos:							

Nota: Los resultados presentados corresponden a datos estadísticos que fueron obtenidos del Laboratorio CESECCA.

Figura 15:

Análisis de varianza del agua residual industrial

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	4	5134,71142	1283,67786	245,748312
Columna 2	4	5179,6817	1294,92042	283,664503
Columna 3	4	5214,67625	1303,66906	128,832436
Columna 4	4	5214,73227	1303,68307	825,234318
Columna 5	4	5338,11902	1334,52976	1430,45057

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>n</i> de las variacima de cuadrados de libertad	<i>de los cuac</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>lor crítico para</i>
Entre grupos	5710,63232	4	1427,65808	2,44971226
Dentro de los ξ	8741,79043	15	582,786029	0,09131177
Total	14452,4228	19		

Nota: Los valores que se presentan corresponden a los análisis de varianza (ANOVA) realizados con los datos obtenidos en el Laboratorio CESECCA.

Conclusión: Dado que el valor de F calculado (2,44971226) resultó menor que el valor crítico de F (3,0556828) se acepta la hipótesis nula. Esto significa que no se detectan diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de datos analizados.

Figura 16:

Resultados del tratamiento estadístico

	150 mg/l	700 mg/l	1300 mg/l
Media general :	153,67	713,62	1304,10
DCMW:	29,06	93,63	582,79
DCMB:	66,46	147,03	1427,66
SL2:	7,48	10,68	168,97
Sr:	5,39	9,68	24,14
SR:	6,04	10,21	27,42
% CVr:	3,51	1,36	1,85
% CVR:	3,93	1,43	2,10
%R:	102,44	101,95	100,32

Nota: Los valores que se muestran a continuación corresponden al resumen final de los datos estadísticos obtenidos en el Laboratorio CESECCA.

3.4 Cálculo de Incertidumbre

3.4.1 Identificación de la magnitud

$$X = \left(\frac{y - b}{m} \right)$$

Donde:

X = Concentración (mgO₂/L)

y = Absorbancia

m = Pendiente

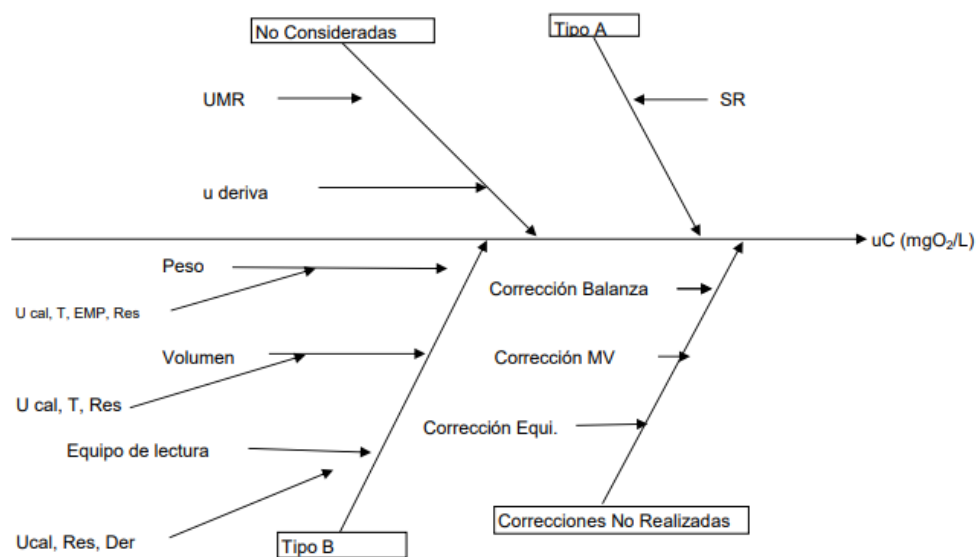
b = Intercepto

3.4.2 Identificación y evaluación de las contribuciones

3.4.2.1 Diagrama de Ishikawa

Figura 17:

Diagrama de Ishikawa



Nota: El diagrama de Ishikawa presentado corresponde a información técnica proporcionada por el Laboratorio CESSECA.

3.4.2.2 Ecuación que define la incertidumbre estándar

$$\frac{u(x)}{x} = \sqrt{\left(\frac{u_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{u_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{u_{MV}}{MV}\right)^2 + SR^2 + \left(\frac{u_{MR}}{C_{MR}}\right)^2}$$

x = Concentración (mgO₂/L)

3.4.2.3 Ecuación de grados de libertad

k : 2

3.4.2.4 Evaluación de correcciones no realizadas

Figura 18:

Correcciones no realizadas en el proceso de medición

Corrección en la pesada de la muestra por efecto de corrección de la balanza	No Existe
Corrección en el volumen por efecto de la corrección del material volumétrico	Se establece de la calibración
Corrección en el valor esperado del equipo	Esta incluida en la calibración
Corrección por la exactitud del Método	Se establece de la validación

Nota: La información presentada corresponde a información técnica proporcionada por el Laboratorio CESSECA.

3.4.2.5 Ecuación que define la incertidumbre expandida

$U = 2 \cdot u(x) + \text{Correcciones no realizadas relativos}$

3.4.2.6 Evaluación de las contribuciones

Figura 19:

Evaluación de las contribuciones

Equipo:	u certificado	u T	u Resolución:	u Empuje	u dCl(Ccmáx-Ccmín)	u estándar
Micropipeta 1000 mL QC-MV/209	0,003700	0,000866	0,577350		0,000000	0,577363
Termoreactor QC-EI/247	0,00100	-	0,57735		0,000000	0,577351

Equipo:	o	u estándar	u relativa
Micropipeta 1000 mL QC-MV/209	100	0,577363	0,005774
Termoreactor QC-EI/247	180	0,577351	0,003208

SR estándar	150 mgL	700 mgL	1300 mgL
SR	0,03934	0,01431	0,02102
SESGO	0,02444948	0,0194561	0,00315079

Nota: Los valores en la figura fueron calculados y proporcionados por el Laboratorio CESECCA.

3.4.2.7 Incertidumbre estándar relativa del método

Figura 20:

Incertidumbre relativa al método

	150 mgL	700 mgL	1300 mgL
u método	0,04678	0,02504	0,02226

Nota: Los valores de la figura fueron calculados y proporcionados por el Laboratorio CESECCA.

3.4.2.8 Factor cobertura

Figura 21:

Factor cobertura

k:	2
----	---

Nota: El valor del factor de cobertura mostrado en la figura corresponde al Laboratorio CESECCA.

3.4.2.9 Incertidumbre expandida del método

Figura 22:

Incertidumbre expandida del método

	150 mgL	700 mgL	1300 mgL
U método relativa	0,09357	0,05008	0,04452
U método %	9,36	5,01	4,45

Nota: Los valores de la figura fueron calculados y proporcionados por el Laboratorio CESECCA.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

El estudio confirmó que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) sigue siendo un parámetro clave y muy representativo de la carga de materia orgánica en aguas residuales. Al mismo tiempo quedó claro que su determinación requiere seguir criterios técnicos estrictos y bien definidos. Además, se vio con claridad que el control cuidadoso de las variables externas como el ambiente del laboratorio y las etapas críticas del procedimiento es fundamental para obtener resultados confiables y poder interpretarlos de forma correcta.

Las herramientas estadísticas empleadas en la revalidación del método demostraron ser apropiadas y efectivas para evaluar su comportamiento real. Gracias al análisis de los ensayos llevados a cabo pudimos examinar en detalle la precisión la repetibilidad la reproducibilidad y la estabilidad del procedimiento ante las variaciones normales que ocurren en el día a día del laboratorio. Todo esto permitió concluir que el método se mantiene consistente y predecible siempre que se ejecute respetando las condiciones establecidas.

Los resultados de la revalidación del análisis de Demanda Química de Oxígeno muestran que el método ofrece un desempeño estable y robusto cuando se trabaja bajo condiciones operativas controladas. La incertidumbre estimada se sitúa dentro del límite aceptable de $\%U \text{ (con } K=2) \leq 20 \%$ lo cual confirma que cumple satisfactoriamente con los requisitos técnicos exigidos y resulta plenamente apto para su uso rutinario en el laboratorio CESECCA.

Recomendaciones

1. Control de las condiciones ambientales en el laboratorio

Es muy recomendable llevar un control riguroso de la temperatura y la ventilación en el área donde se realizan los análisis. Cualquier cambio importante en estas condiciones puede alterar la estabilidad de las reacciones durante la digestión o modificar la respuesta del espectrofotómetro lo que termina afectando directamente la reproducibilidad de los valores de Demanda Química de Oxígeno.

2. Estandarización del tiempo entre digestión y medición

Hay que controlar y registrar con mucha precisión el tiempo que pasa desde que termina la digestión de las muestras hasta el momento en que se realiza la lectura en el espectrofotómetro. Si este intervalo varía demasiado el complejo coloreado puede perder estabilidad y los resultados pierden exactitud.

3. Mantenimiento y seguimiento de los equipos

Lo ideal es contar con un programa regular y bien documentado de mantenimiento y calibración de todos los equipos involucrados sobre todo del espectrofotómetro y los bloques o sistemas de digestión. Esto permite minimizar errores de instrumento mantener la confiabilidad de las mediciones a lo largo del tiempo y de paso alargar la vida útil de los aparatos.

4. Evaluación de la precisión intermedia

Se sugiere efectuar determinaciones de DQO en distintos días laborales y con diferentes analistas participando. De esta forma se puede evaluar la precisión intermedia del método y comprobar que se mantiene estable ante las variaciones normales del día a día en el laboratorio tal como lo establece la norma ISO/IEC 17025:2018.

Bibliografía

- Cartuche V. Cartuche D. Neira C. & Gonzáles L. (24 de Diciembre de 2021). La gobernanza y la gestión integrada de los recursos hídricos: un desafío para las comunidades indígenas. *CEDAMAZ* pág. 107. Obtenido de <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v11i2.1178>
- Castillo J. (05 de Marzo de 2020). Aportes analíticos al estudio de aguas residuales y potables. pág. 32. Obtenido de <https://doi.org/10.35985/9789585583214>
- FUNASA. (2013). Manual práctico de análisis de agua. En *Fundación Nacional de la salud* (págs. 43 - 67). Brasil. Obtenido de https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_practico_analisis_agua_4_ed.pdf
- García R. (30 de Diciembre de 2018). ¿Qué es y para qué sirve un espectrofotómetro? *Instrumentos que revolucionaron la química: la historia del espectrofotómetro* pág. 1. Obtenido de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/87008>
- La Hora*. (5 de Septiembre de 2023). Obtenido de El tratamiento de aguas residuales en Quito esperará hasta 2025.: https://www.lahora.com.ec/pais/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-quito-esperara-hasta-2025/#google_vignette
- López C. Buitrón G. García H. & Cervantes F. (2020). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios modelación y diseño. En *El origen de las aguas residuales* (pág. 35). Obtenido de <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/30973>
- Majka M. (2024). En *Comprensión de la desviación estándar en la gestión de riesgos* (pág. 3). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/383360684_Understanding_Standard_Deviation_in_Risk_Management

- Morañes J. & Loor K. (30 de Junio de 2023). Diseño de biofiltro para eliminación de contaminantes de aguas residuales de la comunidad Ballagán Ecuador. *REVISTA CIENTÍFICA ECOCIENCIA* págs. 96-97. Obtenido de <https://revistas.ecotec.edu.ec/index.php/ecociencia/article/view/801>
- Ortiz J. (2011). Manual de métodos físicos - químicos básicos para el análisis de agua para consumo humano. *Validación de métodos* págs. 33 - 36. Obtenido de <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/Manual-analisis-fisico-quimico-aguas.pdf>
- Osorio M. (01 de Marzo de 2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. pág. 2. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7926905.pdf>
- Pérez W. (22 de Marzo de 2021). *Política para la estimación de la incertidumbre de la medición*. Obtenido de <https://www.acreditacion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/04/PL02-R04-Politica-incertidumbre.pdf>
- Portuondo Y. & Portuondo J. (2 de Agosto de 2010). LA REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS PROCESOS DE MEDICIÓN. pág. 118. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543770014>
- PRIMICIAS. (5 de Marzo de 2022). Obtenido de Solo el 35% de las aguas residuales en Quito recibe tratamiento.: <https://www.primicias.ec/primicias-tv/sociedad/quito-plantas-tratamiento-aguas-contaminadas/>
- Quiroz S. Menéndez C. & Izquierdo E. (2019). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. En *Tratamiento de agua y aguas residuales* (pág. 34). Portoviejo Manabí Ecuador: UTM. Obtenido de <https://utm.edu.ec/ediciones/libros-de-texto/729-tratamiento-de-aguas-residuales>
- Quispe M. Piñas L. Del Valle J. & Chávez F. (2020). Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales. pág. 36. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=834109>

- SAE. (20 de Octubre de 2016). *El nuevo Ecuador*. Obtenido de Ensayos calibración y clínicos: Qué funciones cumplen estos laboratorios: <https://www.acreditacion.gob.ec/?s=ensayos%2C+calibracion>
- SAE. (2021). En *ACREDITACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN SEGÚN NTE INEN- ISO/IEC 17025:2018*. (págs. 3-8). Obtenido de <https://www.acreditacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/10/CR-GA01-R07-Criterios-Generales-Acreditacion-de-laboratorios-de-ensayo-y-calibracion-segun-NTE-INEN-ISO-IEC-17025-2018.pdf>
- SAE. (3 de Abril de 2024). Obtenido de El INEN y su acreditación en laboratorios de ensayos impulsan la calidad y confiabilidad de los productos: <https://www.normalizacion.gob.ec/?s=El+INEN+y+su+acreditaci%C3%B3n+en+laboratorios+de+ensayos+impulsan+la+calidad+y+confiabilidad+de+los+productos>
- Vilasó J. Fernández D. Rodríguez H. & Arada M. (2 de Noviembre de 2022). Método voltamperométrico para la demanda química de oxígeno en aguas residuales de una lechería utilizando instrumentación mínima casera. NTS. *Scopus* pág. 4. Obtenido de Demanda química de oxígeno y materia orgánica: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85164955493&doi=10.55815%2f413408&origin=inward&txGid=09269b90dddb476bd813cf0c61d9cfe7>

Anexos

Anexo 1:

Incorporación de reactivos químicos a la muestra



Anexo 2:

Digestión térmica de la muestra en tubo de ensayo a $150^{\circ}\text{C} \pm 2$ durante 120 minutos en el termo reactor



Anexo 3:

Homogeneización vigorosa del contenido del tubo de ensayo



Anexo 4:

Lectura de la muestra en el Espectrofotómetro

