

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Métodos normalizados para el análisis de agua potable y residual, los procedimientos descritos en estos estándares están destinados al examen de aguas de calidades comprendidas dentro de amplios márgenes, entre los que se incluyen aguas adecuadas para suministros domésticos e industriales, aguas de superficie, aguas subterráneas, aguas de refrigeración o circulación, aguas de calderas, aguas de alimentación de calderas, aguas residuales urbanas o industriales tratadas o no químicamente, y aguas saladas.

La unidad entre los ámbitos del suministro de aguas, del control de su calidad, del tratamiento y la evacuación de aguas residuales se expresa en la presentación de métodos de análisis para cada componente en una sección única para todos los tipos de aguas.

Se ha realizado un considerable esfuerzo para presentar los métodos de aplicación más general. En los casos en los que se hacen necesarios métodos alternativos para muestras de diferente composición, los fundamentos para la elección de la opción más adecuada se explican con la mayor claridad posible. Sin embargo, muestras que contengan concentraciones extremas o que presenten composiciones inusuales pueden plantear dificultades e impedir el empleo directo de estos métodos.

Por ello, puede ser necesario modificar algún procedimiento en casos específicos. Siempre que se modifique uno de tales procedimientos, el analista debe constatar con claridad la naturaleza de la modificación en el informe de resultados.

Algunos procedimientos se destinan a su aplicación en lodos y sedimentos. Una vez más, se ha realizado un importante esfuerzo para presentar los métodos en su más amplio grado de posibles aplicaciones, aunque, cuando se trata de barros o lodos químicos u otras muestras de composición poco habitual, los métodos expuestos en este manual pueden precisar ciertas modificaciones o resultar inapropiados. ¹

¹ <https://es.scribd.com/document/288385775/Metodos-normalizados-para-el-analisis-de-aguas-potables-y-residuales> (Fecha de consulta: 05/11/24)

Desde su creación en el año 2016, el Laboratorio de Hidrosanitaria y Reuso del Agua (LHSyRA), perteneciente al Centro de Investigación del Agua (CIAGUA) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS), ha trabajado de manera constante para poner en funcionamiento el equipamiento especializado que, hasta entonces, no había sido utilizado con fines investigativos ni académicos. Este esfuerzo marcó el inicio de una nueva etapa para el laboratorio, orientada a fortalecer la investigación, la formación profesional y el uso eficiente de los recursos tecnológicos disponibles.

Uno de los hitos más relevantes en este proceso fue la gestión de la acreditación ante el Instituto Boliviano de Metrología (IBMETRO), iniciativa que comenzó en 2018 gracias al impulso del Ing. Mario Gamarra. Esta gestión se realizó en coordinación con la Cooperación Técnica Belga (CTB), el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) y el propio IBMETRO, con el objetivo de garantizar la calidad y confiabilidad de los análisis realizados en el laboratorio.

A lo largo de estos años, el LHSyRA ha desarrollado diversas actividades destacadas, las cuales pueden consultarse en el sitio oficial del CIAGUA: CIAGUA – UAJMS. Estas acciones han contribuido significativamente tanto a la formación de futuros profesionales como a la correcta disposición y uso de los equipos de laboratorio.

Como parte de su evolución, el laboratorio identificó la necesidad de elaborar guías prácticas para la implementación de actividades académicas y de capacitación. Esta tarea fue asumida con el apoyo de los técnicos del CIAGUA, permitiendo así la apertura del laboratorio como un espacio formativo para estudiantes y profesionales del área sanitaria. En este contexto, se destaca la participación del estudiante José Miguel Rodríguez Bedoya, quien, con el respaldo y apoyo técnico del Ing. Mario Gamarra, Ing. Moisés Perales, Ing. Elizabeth Aramayo, Téc. Gisela Subelza e Ing. Natalia Ortega, contribuyó activamente al desarrollo de estas guías y a la consolidación del laboratorio como un referente en el ámbito académico y formación técnica.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema se genera a la nueva infraestructura del laboratorio de Hidrosanitaria y Reuso de agua, el cual requiere la implementación de guías de laboratorio y nuevas prácticas.

El sistema académico tiene que tener una correlación entre laboratorio y asignatura teórica.

Los equipos tienen que estar en constante utilización para que no lleguen a deteriorarse debido al no uso de los mismos.

El tipo de guía tiene que ser didáctica y atractiva para el estudiante o persona afín al laboratorio.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer un material didáctico de apoyo a la enseñanza y el aprendizaje del laboratorio de hidrosanitaria y reuso de agua del Centro de Investigación del Agua (CIAGUA) así mismo que promueva el autoaprendizaje y optimice el uso eficiente del actual equipamiento con el que cuenta el Laboratorio de Hidrosanitaria y Reuso de agua (LHSyRA) del Centro de Investigación del Agua (CIAGUA) de la Facultad de Ciencia y Tecnología (FCyT) de U.A.J.M.S.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Se tienen los siguientes objetivos específicos:

- Realizar prácticas con los equipos y materiales del laboratorio: Medidor Multiparámetro con GPS HI 98290, Cono Imhoff, Balanza analítica, Estufa de secado, Bomba de vacío, Armario termostático, Material de vidrio, Buffers de calibración, Destilador de agua, HI 93754B- 25 reactivo DQO-RM, Material volumétrico, pHmetro, Agitador Magnético, Reactivo Inhibidor de nitrificación, Propipeta, BOD-Sistema Oxi700, Calentador de tubos de ensayo DQO HI 839800, Medidor de DQO y Fotómetro multiparámetro HI 83099.
- Estructurar didácticamente el contenido de cada práctica, para una mejor comprensión y aprovechamiento por los estudiantes.
- Poner a disposición del estudiante fuentes de información actualizadas y de apoyo audiovisual para la mejor comprensión del fenómeno observado en la práctica e incentivar el autoaprendizaje.

- Elaborar un modelo de informe técnico de ingeniería, respetando normativa internacional de referencias bibliográficas para la presentación de los informes de las prácticas de laboratorio.
- Elaborar material gráfico (presentación en Microsoft Power Point), de cada una de las prácticas realizadas.

1.5. JUSTIFICACIÓN

1.5.1. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

Aplicar los conocimientos adquiridos en las asignaturas de sanitaria I y sanitaria II de la carrera de Ingeniería civil para poder encarar los conceptos, principios y metodologías para elaborar un material didáctico de apoyo para la enseñanza y el aprendizaje del Laboratorio de Hidrosanitaria y Reuso de Agua (LHSyRA) del Centro de Investigación del Agua (CIAGUA) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS).

1.5.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

Elaboración de un material didáctico y con implementación de nuevas prácticas para la enseñanza y el aprendizaje en el Laboratorio de Hidrosanitaria y Reuso de Agua (LHSyRA) del centro de investigación del agua, así mismo ampliar los conocimientos en la elaboración de informes técnicos de ingeniería de las prácticas realizadas.

1.5.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Material producido en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho es de acceso libre para todos los estudiantes y docentes del Laboratorio de Hidrosanitaria y Reuso del agua (LHSyRA) del Centro de Investigación del Agua (CIAGUA), el mismo que servirá de base y apoyo en la realización de las diferentes prácticas que puedan desarrollarse a lo largo de la gestión.

1.5.4. JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL

El material didáctico es producido para la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, como así también para el beneficio de otros estudiantes, docentes de diferentes latitudes del país y para todas las personas afines a la sanitaria.

1.6. DELIMITACIÓN

1.6.1. LÍMITE SUSTANTIVO

El presente trabajo se realizó con la finalidad de verificar el manejo de distintos equipos y vincular estos datos experimentales con los conocimientos teóricos que son impartidos en la asignaturas de Ingeniería Sanitaria III, enfocada en el análisis de calidad de aguas (potables y residuales).

Asimismo, la importancia del laboratorio radica en la necesidad del proceso enseñanza-aprendizaje, de la carrera de Ingeniería Civil.

El único material de apoyo que se cuenta para el laboratorio de sanitaria en la actualidad, es un manual del equipo que contiene una serie de parámetros, tanto de agua potable y agua residual, el cual aún en la actualidad se encuentra en uso.

De los parámetros que se tienen en el manual vigente, no se llegan a realizar en su totalidad debido a la falta de reactivos.

1.6.3. LÍMITE GEOGRÁFICO

El proyecto se ubica en Zona de “El Tejar” Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, de la primera sección del Municipio, provincia Cercado del departamento de Tarija.

El Valle central de Tarija se encuentra ubicado a orillas del río Guadalquivir, la provincia Cercado limita hacia el Norte con la provincia de Méndez, hacia el Este con la provincia O'Connor, hacia el Oeste con la Provincia Méndez y Avilés y hacia el sur con la provincia Avilés y Arce.

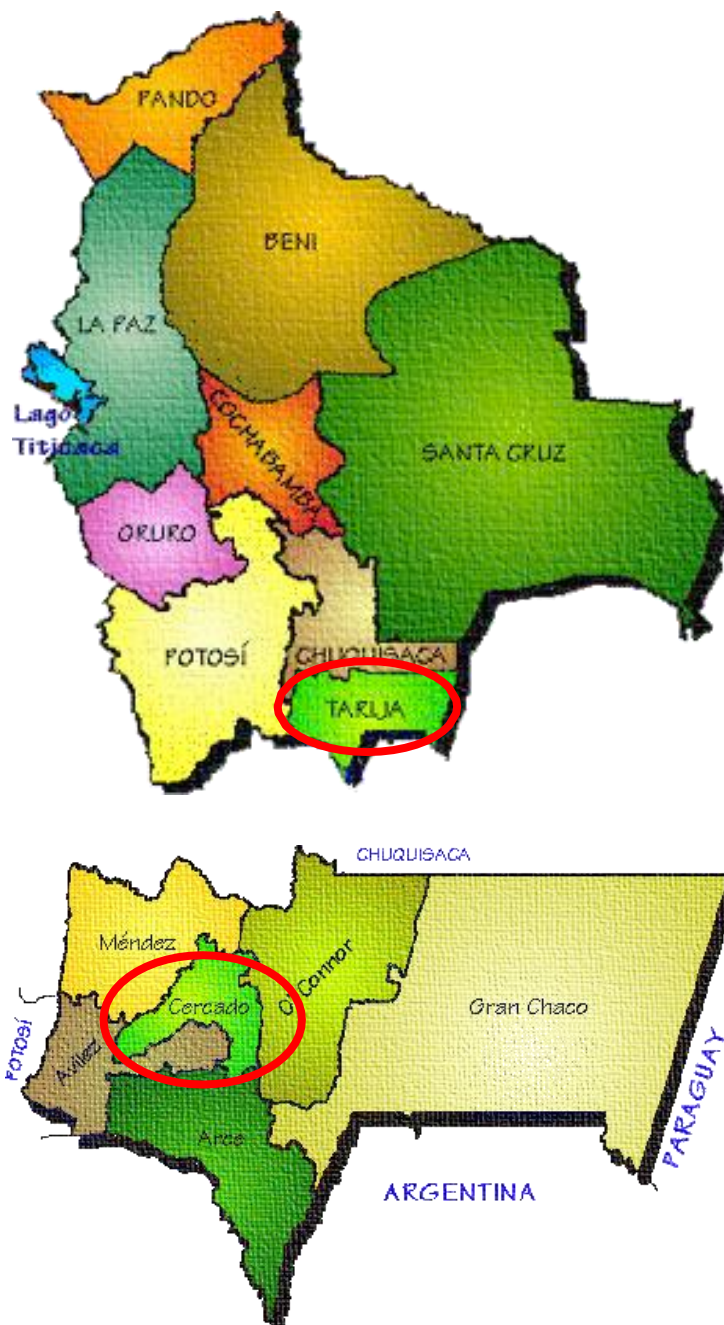


Figura N° 1: Ubicación geográfica de la provincia Cercado Tarija

Fuente: <https://lindamibolivia.blogspot.com>

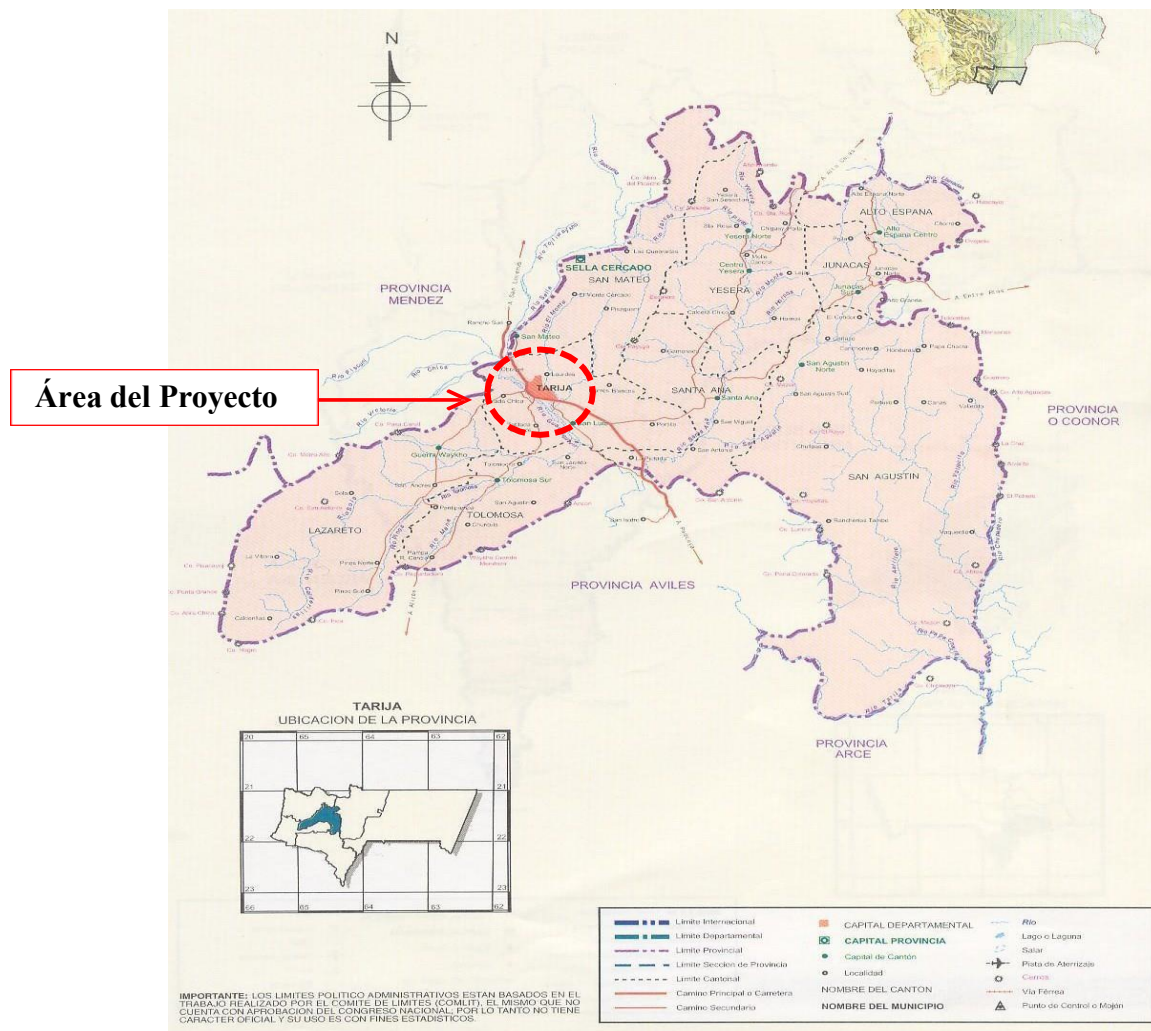


Figura N° 2: Ubicación de la zona de proyecto

Fuente: <https://www.educa.com.bo/geografia/provincia-cercado-tarija-mapa>

Latitud y longitud:

La Zona El Tejar, laboratorio de Sanitaria de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, lugar donde se desarrollará el Proyecto se ubica en las coordenadas:



Figura N° 3: Ubicación Geográfica Del Laboratorio De Sanitaria

Fuente: Google Earth (Elaboración propia)

Longitud Oeste:	64°43'22.29"
Latitud Sur:	21°32'40.48"
Altitud:	1800 m.s.n.m.

Límites de la Zona:

La zona El Tejar, se encuentra entre los límites del barrio Fátima y San Gerónimo. Y limita por la quebrada El Monte.

1.7. ALCANCE DEL TRABAJO

El alcance de esta investigación tiene las siguientes etapas:

Etapas 1:

- Recolección de la información existente de las universidades del país y de otras universidades del mundo.
- Selección de la información recolectada en función del equipo disponible.

Las prácticas que serán realizadas son las siguientes:

1. Tipos de Muestreo
 2. Oxígeno Disuelto
 3. Conductividad
 4. pH
 5. Turbiedad
 6. DQO
 7. DBO
 8. Sólidos Suspendidos
 9. Sólidos Disueltos
 10. Sólidos Sedimentables
- Análisis de la información seleccionada de acuerdo a la práctica a realizar y equipo disponible.
 - Elaboración del contenido: Objetivos, Fundamentación teórica, Campo de aplicación, Materiales y equipos, Procedimiento de la práctica, Preguntas de análisis sobre las prácticas.
 - Realización y formulación de cada una de las prácticas.
 - Verificación de los datos obtenidos en la ejecución de la práctica mediante una planilla electrónica.
 - Realización de las presentaciones de todas las prácticas en formato PPT.

Etapas 2:

1.7.1. Validación del proyecto

Para la validación del material didáctico de apoyo a la enseñanza y el aprendizaje del Laboratorio de Hidrosanitaria y reuso de agua, se aplicarán cuestionarios a estudiantes y

docentes de la asignatura de Sanitaria III, con el fin de evaluar su eficacia, utilidad y relevancia para el aprendizaje.

1.7.2. Material para el estudiante

Todo lo propuesto en el alcance de este proyecto para el beneficio de los estudiantes consta de los siguientes puntos:

- Guía didáctica, como material base de apoyo para la realización de cada práctica.
- Conceptos fundamentales a emplearse en las prácticas.
- Formato estándar de presentación de informes técnicos de ingeniería.
- Hoja de levantamiento de datos.
- Tabla de resultados
- Sitios web para ampliar la información, (videos).
- Aplicaciones prácticas en la Ingeniería Civil.

1.4.3. Material para el docente

El material para el beneficio del docente consta de:

- Ordenamiento y/o estructuración de acuerdo al avance curricular de la asignatura teórica.
- Presentaciones en Microsoft Power Point de cada práctica realizada, como material de apoyo audiovisual.
- Elaboración de planillas electrónicas de cálculo.

1.4.4. Material para el laboratorio

En el laboratorio de hidráulica se tendrán los siguientes beneficios.

- Optimizar el uso del equipamiento actual. Servicio a los estudiantes, investigaciones, proyectos de grado, tesis de maestría y/o doctorado.
- Contar con material actualizado de acuerdo a las características particulares del laboratorio.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. LABORATORIOS DE INGENIERÍA SANITARIA

Un laboratorio es el lugar dotado de los medios necesarios para realizar investigaciones, experimentos, prácticas y trabajos de carácter científico, tecnológico o técnico; está equipado con instrumentos de medida o equipos con que se realizan experimentos, investigaciones o prácticas diversas, según la rama de la ciencia a la que se dedique. También puede ser un aula o dependencia de cualquier centro docente.

Su importancia, sea en investigaciones o a escala industrial y en cualquiera de sus especialidades (química, dimensional, electricidad, biología, etc.), radica en el hecho de que las condiciones ambientales están controladas y normalizadas, de modo que:

1. Se puede asegurar que no se producen influencias extrañas (a las conocidas o previstas) que alteren el resultado del experimento o medición: control.
2. Se garantiza que el experimento o medición es repetible, es decir, cualquier otro laboratorio podría repetir el proceso y obtener el mismo resultado: normalización.

2.1.1. LABORATORIOS DE CALIDAD DE AGUA

En los laboratorios de calidad de agua se analiza el agua tanto desde el punto de vista químico, como también biológico, para detectar contaminantes perjudiciales a la salud. Existen una variada gama de laboratorios especializados en el análisis del agua, desde los más simples que se instalan junto a las plantas de potabilización y a las plantas de tratamiento de las aguas servidas.²

2.2. AGUAS RESIDUALES

Se consideran Aguas Residuales a los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias de una ciudad y son transportadas mediante un sistema de alcantarillado sanitario.

Podemos definir al agua residual como la combinación de los desechos líquidos procedentes de viviendas, instituciones y establecimientos comerciales e industriales, junto con las aguas subterráneas, superficiales y pluviales que puedan agregarse a las anteriores.

² Zertuche, 2014, pág. 25

2.2.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las Aguas residuales pueden caracterizarse de la siguiente manera:

2.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

La característica física más importante del agua residual es su Contenido Total de Sólidos, los cuales comúnmente se clasifican en: suspendidos, disueltos y sedimentables. Otras características físicas son la temperatura, color y olor.

2.2.3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en el agua residual. La medición del contenido de la materia orgánica se realiza por separado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

La materia orgánica de las aguas residuales es una combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, de las sustancias que están presentes en las aguas residuales, los compuestos orgánicos son los de mayor importancia. Para medir de forma general el contenido de materia orgánica presente en un agua residual se utilizan los siguientes parámetros habitualmente: la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO5) “que indica la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua residual y la demanda química de oxígeno (DQO)” que representa la cantidad de oxígeno consumido al oxidar químicamente las sustancias orgánicas y algunas inorgánicas (biodegradables y no biodegradables) que están presentes en el agua residual, sin intervención de los microorganismos.

2.2.4. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

Las características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano, y por el papel activo y fundamental de las bacterias y otros microorganismos dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica, bien sea en el medio natural o en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Debido a la importancia de las características biológicas de un agua residual, se hace necesario conocer los principales grupos de

microorganismos que originan dichas características, estos grupos están conformados por bacterias, hongos, algas, protozoos, y virus.³

2.3. BASES CONCEPTUALES DE LOS PARÁMETROS A USAR

2.3.1. TIPOS DE MUESTREO DE AGUA POTABLE

La determinación de los parámetros físicoquímicos, bacteriológicos y radiológicos de caracterización del agua potable, son esenciales para el control de la calidad y permiten garantizar la salud pública.

La actividad de muestreo y las frecuencias de control, deben ser confiables y representativas, siendo una de las etapas más importantes dentro del proceso de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano.

Para realizar el muestreo se deben elegir grifos de instalaciones domiciliaria o pública en perfectas condiciones de funcionamiento.

El registro y ubicación de los puntos de muestreo debe ser controlado mediante la planilla detallada.

Todas las muestras deben ir claramente identificadas, llevando una etiqueta con los datos detallados.

Se deberá realizar la toma de muestras en las unidades de salida de la Planta de tratamiento de agua potable y/o tanques de almacenamiento de agua potable.⁴

2.3.2. DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO (OD)

El oxígeno es esencial para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de Oxígeno Disuelto (OD) puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal de un determinado ecosistema. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

Entre otros factores que influyen en la solubilidad del oxígeno están los siguientes:

³ Quispe, 2018, pág. 7-12

⁴ NB496, 2005, pág. 14

- La temperatura y la salinidad: Ambos influyen de igual manera, es decir, una menor temperatura y salinidad puede almacenar más oxígeno en ella, que el agua más caliente y más salada, a mayor temperatura y salinidad, menor capacidad de retención de oxígeno.
- La actividad biológica: En el caso de las aguas naturales superficiales, tales como lagos, lagunas, ríos, entre otros, el oxígeno proviene de los organismos vegetales que contienen clorofila o cualquier otro pigmento capaz de efectuar la fotosíntesis. Los pigmentos facultan a las plantas, tanto inferiores como superiores a utilizar la energía radiante del sol y convertir el Dióxido de Carbono CO₂ en compuestos orgánicos. La energía lumínica procedente del sol, permite que el agua y el Dióxido de Carbono (como única fuente de carbono) reaccionen para producir un azúcar simple (glucosa), desprendiéndose oxígeno como subproducto.
- La turbulencia de la corriente también puede aumentar los niveles de OD debido a que el aire queda atrapado bajo el agua que se mueve rápidamente y el oxígeno del aire se disolverá en el agua. ⁵

2.3.3. DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad. Por ello, el valor de la conductividad es muy usado en análisis de aguas para obtener una estimación rápida del contenido de sólidos disueltos. La forma más usual de medir la conductividad del agua es mediante instrumentos comerciales de lectura directa en $\mu\text{mho}/\text{cm}$ a 25 °C con un error menor del 1 %. La conductividad leída es igual a la conductividad eléctrica de la muestra medida entre caras opuestas de un cubo de 1 cm. La resistencia específica de un conductor es función de sus dimensiones y puede expresarse como:

$$C = \frac{RA}{L}$$

⁵ (Rodriguez,2011, pág. 1)

Donde:

C = resistencia específica, en ohm x cm

R = resistencia eléctrica, en ohm

A = área de la sección transversal del conductor, en cm²

L = longitud del conductor, en cm

La conductancia específica de un conductor es igual al inverso de su resistencia específica:

$$K = \frac{1}{C} = \frac{L}{RA}$$

Dónde: K = conductancia específica, mho/cm

La conductancia es la medida de la facilidad con la que una corriente eléctrica fluye a través de un material o un circuito eléctrico. Es lo opuesto a la resistencia eléctrica.

En otras palabras, la conductancia específica, es la conductancia de un conductor de 1 cm de longitud y una sección transversal de 1 cm², por lo tanto, numéricamente es igual a la conductividad. Como en el agua dulce el valor de la conductividad es muy pequeño, se expresa en (μmho/cm) o en unidades del sistema internacional (μsiemens/cm).⁶

2.3.4. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

El pH es una unidad de medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia.

Se expresa como el logaritmo negativo de base de 10 en la actividad de iones de hidrógeno. como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{pH} = -\log \text{H}^+ \text{ or } \text{H}^+ = 10^{-\text{pH}}$$

$$\text{pOH} = -\log \text{OH}^- \text{ or } \text{OH}^- = 10^{-\text{pOH}}$$

⁶ Vázquez,2012, pág. 18-19

Cuando se obtiene mediante una medida de pH que un producto, sustancia o elemento es ácido, quiere decir que posee una alta o baja cantidad de iones de hidrógeno (dependiendo del nivel). Por su parte, que la medición arroje que una sustancia es alcalina (base), significa que no cuenta con estas concentraciones de iones de hidrógeno. Por lo tanto el pH no es más que el indicador del potencial de hidrógenos⁷



Figura N° 4: Escala del pH

Fuente: <https://concepto.de/ph/#ixzz5VXh9Pbni>

2.3.5. DETERMINACIÓN DE LA TURBIEDAD

A pesar de que la turbiedad no resulta nociva para la salud, salvo que el material que la produzca sean microorganismos patógenos vivos, es de una consideración muy importante en abastecimientos públicos de agua por varias razones.

Una de estas razones es el aspecto estético, ya que el consumidor demanda agua libre de turbiedad porque el agua turbia es automáticamente asociada con una posible contaminación por aguas negras y con los peligros ocasionados por esto. En la industria la medida de la turbiedad es importante cuando el producto es destinado para consumo humano y el agua forma parte de dicho producto, como es el caso de las industrias que producen alimentos y bebidas y en las plantas de tratamiento para abastecimiento municipal. En plantas de tratamiento de agua el proceso de filtración resulta más difícil y costoso conforme la turbiedad aumenta. En el proceso de desinfección la turbiedad excesiva reduce la efectividad del desinfectante sobre todo en los casos en que la turbiedad es causada por partículas de aguas residuales domésticas, ya que, gran parte de los microorganismos patógenos, pueden quedar encerrados dentro de las partículas y ser protegidos contra el desinfectante.

⁷ <https://concepto.de/ph/#ixzz5VXh9Pbni> (Fecha de consulta: 06/11/24)

La turbiedad causada en los cuerpos de agua receptores (ríos, lagos, mar, etc.) por descargas de aguas residuales domésticas o industriales también es de consideración importante, ya que, ofrece peligro al sistema ecológico. La turbiedad excesiva reduce la penetración de la luz, afectándose de esta manera la fotosíntesis de los organismos fitoplanctónicos así como la vegetación que se desarrolla en el lecho y que a su vez sirve de alimento a la fauna acuática.⁸

2.3.6. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua. La DQO se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/L). Cuanto mayor es la DQO más contaminante es la muestra. Las concentraciones de DQO en las aguas residuales industriales pueden tener unos valores entre 50 y 2000 mgO₂/L, aunque es frecuente, según el tipo de industria, valores de 5000, 1000 e incluso más altos.

Propiedad	Máximo	Promedio	Mínimo
pH	7,5	7,2	6,8
Sólidos totales (mg L ⁻¹)	640	453	322
Sólidos totales volátiles (mg L ⁻¹)	503	340	225
Sólidos suspendidos (mg L ⁻¹)	258	145	83
Sólidos suspendidos volátiles (mg L ⁻¹)	208	120	62
DQO (mg L ⁻¹)	436	288	159
DBO (mg L ⁻¹)	276	158	75
Cloruros (mg L ⁻¹)	45	35	25

Tabla N° 1: Características promedio de un residual municipal.

Fuente: Márquez Canosa, 2015

2.3.7. DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO)

La DBO es “la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas facultativas: Pseudomonas, Escherichia, Aerobacter, Bacillus), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra”.

⁸ García, 2019, pág. 12

La DBO se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO_2/L). Como el proceso de descomposición varía según la temperatura, este análisis se realiza en forma estándar durante cinco días a 20°C ; esto se indica como DBO_5 .

Cuanto mayor sea la contaminación, mayor será la DBO.

La DBO proporciona una medida sólo aproximada de la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales.

Agua Pura 0 - 20 mg/l

Agua Levemente Contaminada 20 - 100 mg/l

Agua Medianamente Contaminada 100 - 500 mg/l

Agua Muy Contaminada..... 500 - 3000 mg/l

Agua Extremadamente Contaminada .. 3000 - 15000 mg/l

RELACIÓN ENTRE LA DQO Y LA DBO

El valor de la DQO siempre será superior al de la DBO debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente. La diferencia es que los gramos o miligramos de oxígeno se refieren, en el caso de la DBO, a los requeridos por la degradación biológica de la materia orgánica; mientras que en el caso de la DQO representan los necesarios para la degradación química de la materia orgánica.

$(\text{DBO}_5/\text{DQO})$

- DBO_5/DQO entre 0,3 y 0,8 = ARD
- $\text{DBO}_5/\text{DQO} > 0,5$ tratamiento biológico.
- $\text{DBO}_5/\text{DQO} < 0,3$ constituyentes tóxicos y/o aclimatación.

Figura N° 5: Relación entre la DBO_5 y la DQO

Fuente: <https://es.slideshare.net/vitoly12/1-tratamiento-agua-residual-diapositivas>

La relación entre la DBO_5 y la DQO nos da una idea del nivel de contaminación de las aguas.

DBO₅/DQO entre 0.3 y 0.8 = ARD (Agua Residual Doméstica) Esto se debe a que las aguas residuales domésticas suelen contener una cantidad significativa de materia orgánica biodegradable (alta DBO) en comparación con la materia orgánica total (DQO).

Si la relación (DBO₅/DQO)>0,5 entonces hablamos de unos vertidos de naturaleza urbana, o clasificables como urbanos y tanto más biodegradables, conforme esa relación sea mayor. Estas aguas residuales, pueden ser tratadas mediante tratamientos biológicos.⁹

Si la relación (DBO₅/DQO)<0,3 entonces hablamos de unos vertidos de naturaleza industrial, poco biodegradables y son convenientes los tratamientos físico-químicos.

2.3.8. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

También denominados residuos no filtrables o material no disuelto son determinados por filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un filtro Gooch puesto a masa constante. El filtro con su contenido se seca a 180°C; el incremento del incremento de masa, sobre la masa inicial, representa el contenido de sólidos o residuo no filtrable.

2.3.9. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)

También llamados residuo filtrable, son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos suspendidos y los sólidos totales. Si la determinación es directa, se filtra la muestra a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un filtro Gooch; el filtrado se evapora en una cápsula de peso conocido sobre un baño María y el residuo de la evaporación se seca a 103 – 105°C. El incremento de peso sobre el de la cápsula vacía dividido entre el volumen de muestra, representa los sólidos disueltos o residuo filtrable en mg/L.

2.4.0. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES (SS)

Ésta denominación se aplica a los sólidos en suspensión que se sedimentan, bajo condiciones tranquilas, por acción de la gravedad. La determinación se hace llenando un cono Imhoff de un litro y midiendo el volumen de material sedimentado en el cono al cabo de una hora, en ml/L. La determinación de sólidos sedimentables es básica para el diseño de tanques de sedimentación, y en la operación para cuantificar su eficiencia.¹⁰

⁹ http://www.kenbi.eu/kenbipedia_3.php (Fecha de consulta: 08/11/24)

¹⁰ Vázquez, 2024, pág. 7

CAPÍTULO 3: ELABORACIÓN DE LAS GUÍAS DE LABORATORIO

En este capítulo se detallan las guías de laboratorio elaboradas para las prácticas de Ingeniería Sanitaria. Con sus respectivas modificaciones y complementos para optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje. El enfoque principal es proporcionar una metodología clara y completa para la determinación de parámetros clave en agua potable y aguas residuales, siguiendo las normativas.

3.1. PRÁCTICA 1. TIPOS DE MUESTREO DE AGUA POTABLE

Esta práctica es fundamental para asegurar la representatividad de las muestras de agua, un paso crítico en la determinación de la calidad del agua potable para salvaguardar la salud pública. Se ha estructurado y complementado para brindar una guía detallada sobre la selección de puntos de muestreo, técnicas de preservación y procedimientos específicos para análisis microbiológicos, fisicoquímicos y de metales pesados.

Los cambios y mejoras más relevantes que se realizaron para optimizar esta práctica y garantizar su exhaustividad son:

- Estructuración general del contenido: Se ha organizado el contenido de manera lógica y coherente, desde la definición de objetivos hasta la retroalimentación del aprendizaje.
- Introducción y aplicaciones en Ingeniería Sanitaria: Al inicio de la práctica, se ha implementado una breve introducción y se han destacado las aplicaciones prácticas en el campo de la Ingeniería Sanitaria para contextualizar su relevancia.
- Definición de objetivos: Se han definido de forma clara el objetivo general de la práctica, orientando el aprendizaje del estudiante.
- Fundamentación teórica detallada: Se agregaron explicaciones detalladas sobre conservación de muestras Tabla 1, que es crucial para la correcta preservación y normativas (NB 496, APHA).

- Listado completo de materiales y equipos: Se ha incluido una lista exhaustiva de todos los materiales, instrumentación y equipos necesarios para el desarrollo de la práctica, incluyendo ilustraciones cuando sea pertinente para facilitar su identificación.
- Procedimiento experimental: Se han definido de manera específica y detallada los pasos a seguir para el procedimiento experimental. Se han diferenciado claramente los procedimientos para muestreo microbiológico, fisicoquímico y de metales pesados.
- Ampliación de planillas: Se ha diseñado una planilla de levantamiento de datos adaptable para múltiples mediciones y una planilla de resultados que facilite la organización y el análisis de la información obtenida.
- Apartado de reforzamiento y retroalimentación: Para consolidar el aprendizaje, se ha implementado un apartado que incluye:
 - Preguntas de repaso y análisis: Diseñadas para evaluar la comprensión y promover la reflexión sobre los fenómenos observados.
 - Direcciones electrónicas (sitios web): Proporcionando material audiovisual de apoyo para una mejor visualización y comprensión de los conceptos.
- Referencias bibliográficas: Se han citado las referencias bibliográficas utilizadas para la elaboración de la práctica, brindando respaldo y la posibilidad de profundizar en la información.

3.2. PRÁCTICA 2. DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD

Esta práctica se enfoca en la determinación de la conductividad eléctrica del agua, un parámetro crucial que indica la concentración total de sustancias ionizadas disueltas y su capacidad para conducir corriente eléctrica. La conductividad es un indicador rápido y útil de la calidad del agua, permitiendo una estimación de los sólidos disueltos y siendo fundamental en estudios hidrogeológicos y de impacto ambiental.

Las modificaciones y mejoras más relevantes que se realizaron para optimizar esta práctica y garantizar su exhaustividad son:

- Estructuración general del contenido: Se ha organizado el contenido de manera lógica y coherente, desde la definición de objetivos hasta la retroalimentación del aprendizaje, garantizando una secuencia didáctica clara.
- Introducción y aplicaciones en Ingeniería Sanitaria: Al inicio de la práctica, se ha implementado una breve introducción y se han destacado las aplicaciones específicas de la conductividad en la Ingeniería Sanitaria, como el control de calidad del agua potable, la evaluación de aguas superficiales y subterráneas, y el impacto ambiental.
- Definición de objetivos: Se han definido de forma clara el objetivo general de la práctica, orientando el aprendizaje del estudiante hacia la comprensión del concepto y su aplicación en la calidad del agua.
- Fundamentación teórica detallada y contextualizada: Se ha enriquecido la fundamentación teórica con la explicación detallada de la conductividad, su relación con la temperatura y la concentración de iones. Se han presentado las ecuaciones clave para la resistencia y conductancia específica, con la definición clara de cada variable y sus unidades correspondientes. Se ha enfatizado la importancia del valor de la conductividad en $\mu\text{mho/cm}$ o $\mu\text{siemens/cm}$.
- Listado completo de materiales y equipos con ilustraciones: Se ha incluido una lista exhaustiva de todos los materiales, instrumentación y equipos necesarios para el desarrollo de la práctica, incluyendo ilustraciones para facilitar su identificación y comprensión, como el Medidor Multiparamétrico Portátil HI 9829, la Sonda de Registro Autónomo HI7629829 y el Sensor de Conductividad (C.E) HI7609829-3.
- Procedimiento experimental claro y detallado: Se han definido de manera específica y detallada los pasos a seguir para el procedimiento experimental, incluyendo la preparación del equipo, un procedimiento de calibración riguroso con múltiples puntos ($147 \mu\text{S/cm}$, $1413 \mu\text{S/cm}$, $12880 \mu\text{S/cm}$) y la metodología para la medición de la muestra, enfatizando las precauciones para asegurar la precisión de las lecturas.
- Ampliación de planillas de levantamiento de datos y resultados: Se ha diseñado una planilla de levantamiento de datos que permite registrar múltiples mediciones (al

menos tres por muestra) de conductividad y temperatura, así como una planilla de resultados que facilita la organización, el análisis y la comparación con límites máximos admisibles (NB 512, LEY 1333).

- Apartado de reforzamiento y retroalimentación: Para consolidar el aprendizaje, se ha implementado un apartado que incluye:
 - Preguntas de repaso y análisis: Diseñadas para evaluar la comprensión de los principios teóricos y prácticos de la conductividad y las precauciones en su medición.
 - Direcciones electrónicas (sitios web): Proporcionando material audiovisual de apoyo para una mejor visualización del funcionamiento del equipo y el procedimiento (como el video interactivo del medidor multiparamétrico HI 9829).
- Referencias bibliográficas actualizadas y relevantes: Se han citado las referencias bibliográficas utilizadas para la elaboración de la práctica, brindando respaldo y la posibilidad de profundizar en la información, incluyendo manuales de equipo y métodos estandarizados.

3.3. PRÁCTICA 3. DETERMINACIÓN DE pH

Esta práctica se centra en la determinación del pH del agua, una medida de la intensidad de sus condiciones ácidas o alcalinas. El pH es un parámetro crítico que influye directamente en la corrosividad, la toxicidad de ciertos contaminantes, la eficacia de los tratamientos de agua y la supervivencia de la vida acuática. Un control preciso del pH es indispensable en plantas de tratamiento para optimizar procesos como la coagulación, la desinfección y el control de la corrosión.

Las modificaciones y mejoras más relevantes implementadas en esta práctica para optimizar su claridad y aplicabilidad son:

- Estructuración general del contenido: Se ha organizado el contenido de manera lógica y coherente, desde la definición del objetivo hasta la retroalimentación del aprendizaje, garantizando una secuencia didáctica fluida.

- **Introducción y aplicaciones en Ingeniería Sanitaria:** Al inicio de la práctica, se ha implementado una breve introducción y se han destacado las aplicaciones cruciales del pH en la Ingeniería Sanitaria, enfatizando su rol en los tratamientos de agua potable y residual, la corrosión de tuberías y la efectividad de desinfectantes.
- **Definición de objetivos:** Se han definido de forma clara el objetivo general de la práctica, orientando al estudiante hacia la comprensión del concepto de pH y su aplicación en la evaluación de la calidad del agua.
- **Fundamentación teórica detallada y explicada:** Se ha enriquecido la fundamentación teórica con una descripción exhaustiva del concepto de pH, su origen histórico y su relación con la disociación del agua. Se han presentado las ecuaciones fundamentales ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ y $\text{pH} = -\log \text{H}^+$) detallando cada variable y sus unidades. Se ha incluido una clara explicación del rango de pH, la acidez y basicidad, y la importancia del control del pH en diversos procesos de tratamiento.
- **Listado completo de materiales y equipos con ilustraciones:** Se ha incluido una lista exhaustiva de todos los materiales, instrumentación y equipos necesarios para el desarrollo de la práctica, incluyendo ilustraciones para facilitar su identificación y comprensión, como el Multiparámetro Portátil HI 9829 y el Sensor de pH (HI 7609829-0).
- **Procedimiento experimental claro y detallado:** Se han definido de manera específica y detallada los pasos a seguir para el procedimiento experimental. Esto incluye la preparación del equipo, un procedimiento de calibración riguroso con tres puntos (pH 7,01, pH 4,01 y pH 10,01) y la metodología para la medición de la muestra, con énfasis en las precauciones para evitar interferencias y asegurar la precisión de las lecturas.
- **Ampliación de planillas de levantamiento de datos y resultados:** Se ha diseñado una planilla de levantamiento de datos que permite registrar múltiples mediciones de pH y temperatura, así como una planilla de resultados que facilita la organización, el análisis y la comparación con límites máximos admisibles (NB 512, LEY 1333).

- Apartado de reforzamiento y retroalimentación: Para consolidar el aprendizaje, se ha implementado un apartado que incluye:
 - Preguntas de repaso y análisis: Diseñadas para evaluar la comprensión de los principios teóricos del pH, su medición y las implicaciones de sus variaciones.
 - Direcciones electrónicas (sitios web): Proporcionando material audiovisual de apoyo para una mejor visualización del funcionamiento del equipo y el procedimiento (como el video interactivo del medidor multiparamétrico HI 9829).
- Referencias bibliográficas actualizadas y relevantes: Se han citado las referencias bibliográficas utilizadas para la elaboración de la práctica, brindando respaldo y la posibilidad de profundizar en la información.

3.4. PRÁCTICA 4. DETERMINACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO

Esta práctica se enfoca en la medición del oxígeno disuelto (OD) en muestras de agua, un indicador fundamental de la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos. Un nivel adecuado de OD es vital para la vida acuática y para la eficiencia de los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales. Se busca comprender los factores que influyen en la solubilidad del oxígeno y aplicar la metodología para su determinación precisa.

Las modificaciones y mejoras más relevantes implementadas en esta práctica para optimizar su claridad y aplicabilidad son:

- Estructuración general del contenido: Se ha organizado el contenido de manera lógica y coherente, desde la definición de objetivos hasta la retroalimentación del aprendizaje, garantizando una secuencia didáctica fluida y completa.
- Introducción y aplicaciones en Ingeniería Sanitaria: Al inicio de la práctica, se ha implementado una breve introducción y se han destacado las aplicaciones cruciales del oxígeno disuelto en la Ingeniería Sanitaria, como su importancia en el diseño y operación de procesos biológicos aerobios (lodos activados, filtros percoladores, lagunas aireadas) y como indicador de la salud ecológica de cuerpos de agua.

- Definición de objetivos: Se ha definido de forma clara el objetivo general de la práctica, orientando al estudiante a realizar la medición del OD, aplicar los procedimientos de calibración y comprender el funcionamiento del sensor electroquímico.
- Fundamentación teórica detallada y contextualizada: Se ha enriquecido la fundamentación teórica con una descripción exhaustiva del concepto de oxígeno disuelto, su importancia para la vida acuática y su relación con la contaminación. Se han detallado los factores clave que influyen en la solubilidad del oxígeno, como la temperatura, la salinidad, la actividad biológica (fotosíntesis) y la turbulencia de la corriente.
- Principio del método profundizado con ilustraciones: Se ha expandido la explicación del principio de funcionamiento del sensor galvánico de oxígeno disuelto (O.D.) HI 7609829-2, detallando sus componentes (membrana permeable de HDPE, cátodo de plata, ánodo de zinc) y explicando la reacción electroquímica espontánea que genera una corriente proporcional a la concentración de oxígeno.
- Listado completo de materiales y equipos con ilustraciones: Se ha incluido una lista exhaustiva de todos los materiales, instrumentación y equipos necesarios para el desarrollo de la práctica, incluyendo ilustraciones para facilitar su identificación y comprensión, como el Multiparámetro Portátil HANNA 9829, la Sonda de Registro Autónomo HI7629829, el Sensor galvánico de oxígeno disuelto (O.D.) HI 7609829-2 y el Vaso de Calibración para Medidor Portátil Multiparámetro HI9829.
- Procedimiento experimental claro y detallado: Se han definido de manera específica y detallada los pasos a seguir para el procedimiento experimental. Esto incluye la preparación del equipo (verificación del estado de la membrana y solución electrolítica), un procedimiento de calibración riguroso en dos puntos (100% de saturación y 0% de saturación con buffer de oxígeno cero), y la metodología para la medición de la muestra, con énfasis en la correcta inmersión de la sonda y la prevención de burbujas de aire.

- Ampliación de planillas de levantamiento de datos y resultados: Se ha diseñado una planilla de levantamiento de datos que permite registrar múltiples mediciones de OD (% de saturación) y temperatura. Asimismo, se ha provisto una planilla de resultados que facilita la organización, el análisis y la comparación con límites máximos admisibles, establecidos por la LEY 1333 para el control de la calidad ambiental en Bolivia.
- Apartado de reforzamiento y retroalimentación: Para consolidar el aprendizaje, se ha implementado un apartado que incluye:
 - Preguntas de repaso y análisis: Diseñadas para evaluar la comprensión de los principios teóricos y prácticos de la determinación del OD, incluyendo su mantenimiento, la relación con la temperatura y la calibración.
 - Direcciones electrónicas (sitios web): Proporcionando material audiovisual de apoyo para una mejor visualización del funcionamiento del equipo y el procedimiento de calibración (como el video interactivo sobre la calibración del oxígeno disuelto en el medidor multiparamétrico).
- Referencias bibliográficas actualizadas y relevantes: Se han citado las referencias bibliográficas utilizadas para la elaboración de la práctica, brindando respaldo y la posibilidad de profundizar en la información, incluyendo el manual del equipo, métodos estandarizados y literatura relevante.

3.5. PRÁCTICA 5. DETERMINACIÓN DE LA TURBIEDAD

Esta práctica se enfoca en la determinación de la turbiedad en muestras de agua, una propiedad óptica crucial para evaluar su calidad y potabilidad. La turbiedad, causada por la presencia de partículas suspendidas y coloidales, no solo afecta el aspecto estético del agua, sino que también influye en la eficiencia de los procesos de tratamiento y en la efectividad de la desinfección, representando un factor clave en la salud pública y la preservación de ecosistemas acuáticos.

Las modificaciones y mejoras más relevantes implementadas en esta práctica para optimizar su claridad y aplicabilidad son:

- Estructuración general del contenido: Se ha organizado el contenido de manera lógica y coherente, abarcando desde la definición de objetivos hasta la retroalimentación del aprendizaje. Esto asegura una secuencia didáctica clara y completa para el estudio de la turbiedad.
- Introducción y aplicaciones en Ingeniería Sanitaria: Al inicio de la práctica, se ha implementado una breve introducción que destaca la importancia de la turbiedad en la Ingeniería Sanitaria, resaltando su impacto en la calidad del agua para consumo humano, la eficiencia de los tratamientos (coagulación, sedimentación, filtración, desinfección) y su relación con la salud ecológica de cuerpos de agua receptores.
- Definición de objetivos: Se ha definido de forma clara el objetivo general de la práctica, centrado en la conceptualización de la turbiedad, su impacto en la calidad del agua según su uso, y el conocimiento del método para su medición, basándose en las normativas (NB 512, LEY 1333).
- Fundamentación teórica detallada y explicada: Se ha enriquecido la fundamentación teórica con una descripción exhaustiva del concepto de turbiedad, su naturaleza (dispersión y absorción de luz), y los tipos de partículas que la causan (orgánicas e inorgánicas). Se ha profundizado en el impacto de la turbiedad en abastecimientos públicos, la industria alimentaria, los procesos de tratamiento de agua y los ecosistemas acuáticos, enfatizando los riesgos estéticos, operativos y sanitarios.
- Principio del método nefelométrico: Se ha expandido la explicación del principio de funcionamiento del método nefelométrico, detallando cómo el sensor de turbiedad del equipo Hanna Instruments HI9829 emite luz infrarroja a 860 nm y mide la intensidad de la luz dispersada a 90°, convirtiendo esta medición en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (NTU).
- Listado completo de materiales y equipos con ilustraciones: Se ha incluido una lista exhaustiva de todos los materiales, instrumentación y equipos necesarios para el desarrollo de la práctica, incluyendo ilustraciones para facilitar su identificación y comprensión, como el Medidor Multiparamétrico Portátil HI 9829, la Sonda de Registro Autónomo HI7629829 y el Sensor de turbiedad (HI 7609829-0).

- Procedimiento experimental claro y detallado: Se han definido de manera específica y detallada los pasos a seguir para el procedimiento experimental. Esto incluye la preparación del equipo, un procedimiento de calibración riguroso con tres puntos (0 NTU, 20 NTU y 200 NTU) utilizando soluciones estándar, y la metodología para la medición de la muestra, destacando la importancia de evitar burbujas y la limpieza adecuada del material para prevenir interferencias.
- Ampliación de planillas de levantamiento de datos y resultados: Se ha diseñado una planilla de levantamiento de datos que permite registrar múltiples mediciones de turbiedad (NTU) y temperatura. Adicionalmente, se ha provisto una planilla de resultados que facilita la organización, el análisis y la comparación de los valores obtenidos con el Límite Máximo Permisible establecido por la norma boliviana NB 512.
- Apartado de reforzamiento y retroalimentación: Para consolidar el aprendizaje, se ha implementado un apartado que incluye:
 - Preguntas de repaso y análisis: Diseñadas para evaluar la comprensión de los principios teóricos y prácticos de la determinación de la turbiedad, incluyendo sus causas, impacto y métodos de calibración.
 - Direcciones electrónicas (sitios web): Proporcionando material audiovisual de apoyo para una mejor comprensión del funcionamiento del equipo y el procedimiento.
- Referencias bibliográficas actualizadas y relevantes: Se han citado las referencias bibliográficas utilizadas para la elaboración de la práctica, brindando respaldo y la posibilidad de profundizar en la información, incluyendo manuales de equipos y métodos estandarizados.

3.6. PRÁCTICA 6. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Esta práctica se enfoca en la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en muestras de agua residual, un indicador rápido y fundamental de la contaminación orgánica

e inorgánica oxidable. La DQO es esencial para el control y la operación eficiente de plantas de tratamiento de aguas residuales, permitiendo evaluar el grado de eliminación de materia contaminante y su impacto en los cuerpos receptores.

Las modificaciones y mejoras más relevantes implementadas en esta práctica para optimizar su claridad y aplicabilidad son:

- Estructuración general del contenido: Se ha organizado el contenido de manera lógica y coherente, desde los objetivos hasta la retroalimentación, lo que facilita una comprensión integral de la práctica y su propósito en la Ingeniería Sanitaria.
- Introducción y aplicaciones en Ingeniería Sanitaria: Al inicio de la práctica, se ha implementado una breve introducción y se han destacado las aplicaciones cruciales de la DQO en la Ingeniería Sanitaria. Esto incluye su uso como indicador de contaminación orgánica en aguas residuales y su relevancia en el diseño y operación de plantas de tratamiento municipales e industriales para evaluar la eficiencia de los procesos de depuración.
- Definición de objetivos: Se ha definido de forma clara el objetivo general de la práctica, orientando al estudiante a determinar la DQO en muestras de agua residual utilizando el método de oxidación con dicromato de potasio y lectura colorimétrica en el fotómetro Hanna Instruments HI 83099.
- Fundamentación teórica detallada y contextualizada: Se ha enriquecido la fundamentación teórica con una descripción exhaustiva del concepto de DQO, explicando que cuantifica la cantidad de materia orgánica e inorgánica susceptible de ser oxidada. Se ha detallado el método de dicromato de potasio como oxidante fuerte, la reacción química que transforma el ión dicromato (naranja) en ión cromo (III) (verde), y la relación directa con la materia oxidable. Se enfatiza la complementariedad con la DBO y la ventaja de la rapidez de la DQO para el control operativo de las plantas.
- Principio del método profundizado con estándares: Se ha profundizado en el principio del método colorimétrico de dicromato, indicando que se basa en la intensidad del

color resultante de la reacción. Se ha resaltado el cumplimiento con la norma USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), lo que garantiza la validez y reconocimiento del método a nivel internacional.

- Identificación clara de interferencias: Se han detallado las posibles interferencias que pueden afectar la precisión de la medición de DQO, como los sólidos en suspensión (recomendando homogeneización o filtración) y las altas concentraciones de cloruros, explicando cómo estos pueden generar resultados falsamente elevados.
- Listado completo de materiales y equipos con ilustraciones: Se ha incluido una lista exhaustiva de todos los materiales y equipos necesarios para el desarrollo de la práctica, con ilustraciones para facilitar su identificación. Esto abarca el Multiparámetro de mesa fotómetro HI 83099, el Reactor HI 839800, viales, pipetas, y el adaptador de DQO.
- Procedimiento experimental claro y detallado: Se han definido de manera específica y detallada los pasos a seguir para el procedimiento experimental. Esto incluye la toma y preservación de muestras, el procedimiento de oxidación térmica con el reactor (calentamiento a 150 °C durante 2 horas, manejo de viales exotérmicos, homogeneización y enfriamiento), y el procedimiento de lectura colorimétrica con el fotómetro, incluyendo la calibración del blanco y la lectura de las muestras. Se recalcan las precauciones de seguridad.
- Ampliación de planillas de levantamiento de datos y resultados: Se ha diseñado una planilla de levantamiento de datos que permite registrar la fecha, hora y el valor de DQO (mg/l) para múltiples muestras. Adicionalmente, se ha provisto una planilla de resultados que facilita la organización, el análisis y la comparación de los valores obtenidos con el límite máximo permisible para descargas líquidas en mg/l establecido por la LEY 1333.
- Apartado de reforzamiento y retroalimentación: Para consolidar el aprendizaje, se ha implementado un apartado que incluye:

- Preguntas de repaso y análisis: Diseñadas para evaluar la comprensión de los principios teóricos y prácticos de la determinación de la DQO, incluyendo su significado, la importancia del blanco y la relación con la DBO.
- Direcciones electrónicas (sitios web): Proporcionando material audiovisual de apoyo para una mejor visualización del funcionamiento del equipo y el procedimiento (como el video interactivo sobre el HI 83099).
- Referencias bibliográficas actualizadas y relevantes: Se han citado las referencias bibliográficas utilizadas para la elaboración de la práctica, brindando respaldo y la posibilidad de profundizar en la información, incluyendo manuales de equipos, métodos estandarizados y literatura especializada en Ingeniería de Aguas Residuales.

3.7. PRÁCTICA 7. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO

Esta práctica se enfoca en la determinación de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5) en muestras de agua residual o natural. La DBO es un indicador esencial de la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua, cuya descomposición por microorganismos consume oxígeno. La medición de la DBO_5 es crucial para evaluar la carga contaminante de las aguas, el impacto en los cuerpos receptores y el diseño y control de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Las modificaciones y mejoras más relevantes implementadas en esta práctica para optimizar su claridad y aplicabilidad son:

- Estructuración general del contenido: Se ha consolidado el formato de toda la práctica para asegurar una presentación uniforme y lógica, facilitando la comprensión y el seguimiento de cada etapa, desde los objetivos hasta la retroalimentación.
- Introducción y aplicaciones en Ingeniería Sanitaria: Al inicio de la práctica, se ha implementado una breve introducción y se ha destacado la relevancia de la DBO_5 en la Ingeniería Sanitaria. Se explica cómo la DBO es un parámetro clave para establecer la carga contaminante, diseñar sistemas de tratamiento y medir la eficiencia de plantas de tratamiento de aguas residuales.

- Definición de objetivos: Se ha definido con precisión el objetivo general de la práctica, centrando al estudiante en la determinación de la DBO de una muestra de agua residual o natural mediante el Sistema OxiDirect, evaluando el oxígeno consumido por microorganismos en condiciones aerobias (5 días, 20°C).
- Fundamentación teórica detallada y contextualizada: Se ha conservado y ampliado la fundamentación teórica, añadiendo la descripción detallada de la reacción bioquímica que ocurre durante la biodegradación de la materia orgánica, explicando cómo los microorganismos utilizan el oxígeno disuelto. Se ha enfatizado la importancia del pH óptimo (6,5-7,5), la temperatura estándar de 20 °C y el periodo de incubación de 5 días (DBO₅) como estándares para asegurar la representatividad de la prueba. Se ha incluido una explicación del efecto de la nitrificación en las mediciones y la importancia de su inhibición para obtener valores precisos de DBO carbonácea, especialmente en efluentes tratados.
- Principio del método respirométrico con explicaciones claras: Se ha detallado el principio fundamental del método respirométrico utilizado por el sistema OxiDirect. Se explica cómo el equipo mide la disminución de la presión parcial de oxígeno en un frasco cerrado debido a la actividad microbiana, y cómo esta diferencia de presión es directamente proporcional a la DBO₅ de la muestra.
- Identificación exhaustiva de interferencias: Se han descrito las interferencias más comunes que pueden afectar la precisión de la medición de DBO₅, incluyendo el pH fuera de rango, la presencia de sólidos gruesos, el contacto con hidróxido de potasio, desviaciones de la temperatura estándar, la presencia de sustancias tóxicas (pesticidas, pH extremos, metales pesados, desinfectantes) y la exposición a la luz, destacando la importancia de la oscuridad para evitar el crecimiento de algas.
- Implementación del listado de materiales y equipos con ilustraciones: Se ha proporcionado un listado completo de todos los materiales y equipos necesarios para la práctica, como el Sistema DBO OxiDirect, pHmetro, incubadora, frascos para DBO, agitador magnético, carcajes, pipetas, y reactivos, incluyendo ilustraciones para facilitar su identificación.

- Procedimiento experimental complementado y ampliado: Se han complementado y detallado los pasos a seguir para el procedimiento experimental. Esto abarca la correcta toma y preservación de muestras (volumen mínimo, refrigeración, homogeneización), la preparación de la muestra (medición y ajuste de pH con ácido sulfúrico o hidróxido de sodio), la selección del volumen de muestra según la DBO esperada (con una tabla de referencia y dosificación de inhibidor de nitrificación), la preparación del frasco de medición (barra agitadora, carcaj, KOH para absorción de CO₂), el acondicionamiento a 20°C, y la configuración e incubación del sistema OxiDirect durante 5 días en oscuridad, con indicaciones para el registro de resultados.
- Ampliación de planillas de levantamiento de datos y resultados: Se ha ampliado la planilla de levantamiento de datos para registrar la fecha, hora y los valores de DBO (mg/l) para múltiples mediciones. Asimismo, se ha diseñado una planilla de resultados que permite presentar los datos de manera tabular y compararlos con el límite máximo permisible para descargas líquidas en mg/l de la LEY 1333.
- Apartado de retroalimentación optimizado: Para reforzar el aprendizaje, se ha optimizado el apartado de retroalimentación, que incluye:
 - Preguntas de repaso y análisis: Diseñadas para evaluar la comprensión del estudiante sobre la importancia de la DBO, el rol del pH, la función del inhibidor de nitrificación, el principio del método respirométrico y la estandarización de la DBO₅.
 - Direcciones electrónicas de sitios web: Ofreciendo material de apoyo audiovisual para una mejor visualización de los fenómenos observados y el manejo del equipo (como el video interactivo sobre el Sistema OxiDirect).
- Referencias bibliográficas actualizadas y relevantes: Se han incluido las referencias bibliográficas utilizadas, brindando el respaldo teórico y metodológico de la práctica.

3.8. PRÁCTICA 8. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Esta práctica se centra en la determinación de la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en muestras de agua residual o superficial. La medición de SST es un indicador

clave de cantidad de materia que no se disuelve ni se mezcla homogéneamente con el agua, fundamental para evaluar la calidad del recurso hídrico y la eficiencia de los procesos de tratamiento físico-químicos en Ingeniería Sanitaria, como la sedimentación, coagulación, floculación y filtración.

Las modificaciones y mejoras realizadas en esta práctica para optimizar su claridad y aplicabilidad son:

- Estructuración del contenido: Se ha consolidado el formato de toda la práctica para garantizar una presentación uniforme y lógica, facilitando la comprensión y el seguimiento de cada etapa, desde los objetivos hasta la retroalimentación.
- Introducción y aplicaciones en Ingeniería Sanitaria: Al inicio de la práctica, se ha ampliado la introducción y se ha destacado su relevancia en la Ingeniería Sanitaria. Se explica cómo la determinación de SST es esencial para garantizar la calidad del agua potable, monitorear la composición de aguas residuales domésticas e industriales, evaluar la eficiencia de tratamientos y controlar los efluentes para cumplir con las normativas ambientales.
- Definición respectiva del objetivo general: Se ha definido con precisión el objetivo general de la práctica, orientando al estudiante a determinar la concentración de SST en una muestra de agua mediante el método gravimétrico (secado a 105°C), para evaluar la calidad del agua y su impacto en procesos de tratamiento.
- Implementación en la fundamentación teórica: Se ha enriquecido la fundamentación teórica con una descripción detallada de los sólidos, incluyendo la materia suspendida, sedimentable, coloidal y disuelta. Se explica cómo los SST pueden afectar negativamente la calidad del agua y se profundiza en su composición (orgánica e inorgánica) y la naturaleza coloidal que dificulta su eliminación, resaltando la necesidad de coagulantes y floculantes. Se ha añadido la ecuación para el cálculo de SST, definiendo claramente cada variable:

A = peso del filtro + residuo seco en mg.

B = peso del filtro en mg; Vol. Muestra = volumen de muestra en ml.

Además, se especifican las unidades correspondientes para cada variable, y se presenta una clasificación de los sólidos según el tamaño de partícula, brindando al estudiante un marco conceptual más completo para la comprensión de los procesos involucrados.

- Principio del método gravimétrico claramente expuesto: Se ha explicado de forma concisa el principio del método gravimétrico, destacando que se filtra una muestra bien mezclada a través de un filtro de fibra de vidrio, y el residuo retenido se seca a peso constante a 105 °C, siendo el aumento de peso del filtro la representación de los sólidos totales en suspensión.
- Identificación clara de interferencias: Se han descrito las interferencias más comunes, como la presencia de partículas gruesas flotables que deben ser eliminados y la necesidad de lavar meticulosamente el filtro en muestras ricas en sólidos disueltos para evitar resultados elevados por obturación del filtro.
- Implementación del listado de materiales y equipos con ilustraciones: Se ha proporcionado un listado completo de todos los materiales y equipos necesarios para la práctica, como el equipo de filtración, embudo Büchner, estufa de secado, balanza analítica, desecador, bomba de vacío, matraz Kitasato, pinzas, probeta, cápsula de porcelana, y filtros de microfibras de vidrio, incluyendo ilustraciones para facilitar su identificación.
- Procedimiento experimental ampliado y detallado: Se han ampliado y complementado los pasos a seguir para el procedimiento experimental. Esto abarca la correcta toma y preservación de muestras (recipientes limpios, sellado, registro de datos, refrigeración a 4°C por no más de 24 horas, homogeneización), el acondicionamiento del filtro y la cápsula de porcelana (calentamiento a 105°C y pesaje inicial), el armado del dispositivo de filtración (conexión del embudo Büchner al matraz Kitasato y bomba de vacío, colocación y humedecimiento del filtro), la filtración de la muestra, lavados sucesivos con agua destilada, y finalmente, el secado del filtro y la cápsula a 105°C y pesaje final. Se enfatiza la importancia de comparar resultados entre múltiples muestras.

- Ampliación de planillas de levantamiento de datos: Se ha ampliado la planilla de levantamiento de datos para registrar la fecha, hora, peso de la cápsula + filtro + sólidos retenidos, peso de la cápsula + filtro y el volumen de la muestra para múltiples mediciones. Asimismo, se ha provisto una planilla de resultados que permite presentar los datos de manera tabular y compararlos con el límite máximo admisible para Sólidos Suspendidos Totales en cuerpos receptores clasificados como clase B.
- Retroalimentación de la práctica mejorada: Para consolidar el aprendizaje, se ha mejorado el apartado de retroalimentación, que incluye:
 - Preguntas de repaso y análisis: Diseñadas para evaluar la comprensión del estudiante sobre la necesidad del secado inicial, la importancia de determinar los SST, la función del desecador, las implicaciones de una alta concentración de SST en el agua de riego, y la función del filtro.
 - Direcciones electrónicas de sitios web: Ofreciendo material de apoyo audiovisual para una mejor visualización de los fenómenos observados y el procedimiento (como el video interactivo sobre la determinación de Sólidos Suspendidos Totales).
- Referencias bibliográficas actualizadas y relevantes: Se han incluido las referencias bibliográficas utilizadas, brindando el respaldo teórico y metodológico de la práctica.

3.9. PRÁCTICA 9. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

Esta práctica se enfoca en la determinación de la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) en muestras de agua residual o superficial. Los SDT representan la cantidad de materia soluble (sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica) que permanece en el agua después de la filtración. La medición de los SDT es un indicador esencial para evaluar la calidad del agua, su aptitud para consumo humano y riego agrícola, y para comprender su impacto en los procesos de tratamiento.

Las modificaciones y/o implementaciones realizadas en esta práctica para optimizar su claridad y aplicabilidad son las siguientes:

- Estructuración a un solo formato de manera similar a las anteriores prácticas: Se ha unificado el formato de toda la práctica, asegurando una presentación coherente y facilitando la comprensión y el seguimiento de cada etapa, desde los objetivos hasta la retroalimentación.
- Introducción y aplicaciones en Ingeniería Sanitaria: Al inicio de la práctica, se ha añadido una introducción concisa y se ha destacado su relevancia en la Ingeniería Sanitaria. Se explica cómo los SDT son fundamentales para evaluar la calidad del agua potable, residual, superficial y subterránea, siendo indicadores de contaminación y factores clave en la calidad del agua de riego.
- Definición y mejoramiento del objetivo general: Se ha definido con precisión el objetivo general de la práctica, orientando al estudiante a determinar la concentración de SDT en muestras de agua mediante el método gravimétrico (secado a 180°C), para evaluar la calidad del agua y comprender su impacto en los procesos de tratamiento.
- Implementación de la descripción de variables en las ecuaciones expuestas, como enriquecimiento de la teoría: Se ha enriquecido la fundamentación teórica con una descripción detallada de los sólidos disueltos, incluyendo la definición de residuo sólido filtrable y los principales iones que los componen (calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros, sulfatos). Se ha incorporado la ecuación para el cálculo de SDT, definiendo claramente cada variable:

$A = \text{peso cápsula a } 105^{\circ}\text{C} + \text{residuo seco del filtrado a } 180^{\circ}\text{C (mg)}.$

$B = \text{peso cápsula a } 105^{\circ}\text{C (mg); Vol. Muestra} = \text{volumen de muestra (ml)}).$

También se ha incluido la clasificación de los sólidos según el tamaño de partícula, lo que permite una mejor comprensión de cómo se dividen (o fraccionan) los distintos tipos de sólidos en el agua, facilitando su análisis y tratamiento adecuado.

- Principio del método gravimétrico: Se ha detallado el principio fundamental del método gravimétrico para SDT. Se explica cómo se filtra una muestra, el filtrado se evapora en una cápsula de porcelana, y el residuo se seca a peso constante a 180°C,

siendo el aumento de peso de la cápsula la representación de los sólidos totales disueltos.

- Identificación clara de interferencias: Se han descrito las interferencias más comunes, como la absorción de humedad del ambiente por el residuo seco (que requiere enfriamiento en desecador) y la necesidad de un secado cuidadoso y prolongado a 180°C para muestras ricas en bicarbonato, asegurando su conversión completa a carbonato.
- Implementación de la lista de materiales y equipos a utilizar para el desarrollo de la práctica: Se ha proporcionado un listado completo de todos los materiales y equipos necesarios, como el equipo de filtración, estufa de secado, balanza analítica, bomba de vacío, matraz Kitasato, pinzas, pipeta, propipeta, cápsula de porcelana, filtros de microfibra de vidrio y agua destilada, para facilitar su identificación y preparación.
- Definición específica y detallada de los pasos a seguir para el procedimiento experimental y el procesamiento de cálculo de los datos: Se han detallado los pasos a seguir para el procedimiento experimental. Esto incluye la correcta toma y preservación de muestras (recipientes limpios, sellado, registro de datos, refrigeración), la preparación de la cápsula de porcelana (calentamiento a 105°C y pesaje inicial), la filtración de la muestra (homogeneización, uso de probeta, filtrado a través de papel de filtro con bomba de vacío, lavados con agua destilada y recolección del filtrado en matraz Kitasato), la transferencia de la alícuota a la cápsula y el secado final a 180°C con enfriamiento en desecador y pesaje final. Se enfatiza la importancia de comparar resultados entre múltiples muestras.
- Ampliación de la planilla de levantamiento de datos: Se ha ampliado la planilla de levantamiento de datos para registrar la fecha, hora, peso de la cápsula a 105°C + residuo seco a 180°C, peso de la cápsula a 105°C y el volumen de la muestra para múltiples mediciones. Asimismo, se ha provisto una planilla de resultados que permite presentar los datos y compararlos con el límite máximo admisible de la LEY 1333 para Uso en Riego Agrícola – Clase B (≤ 1000 mg/L).

- Retroalimentación de la práctica: Para consolidar el aprendizaje, se ha mejorado el apartado de retroalimentación. Esto incluye:
 - Preguntas de repaso y análisis: Diseñadas para evaluar la comprensión del estudiante sobre las características del filtro, el rango aceptable de SDT en agua, la razón de la temperatura de 180°C, la función del desecador y la importancia de determinar los SDT en una planta de tratamiento de aguas residuales.
 - Direcciones electrónicas de sitios web: Ofreciendo material de apoyo audiovisual para una mejor visualización de los fenómenos observados y el procedimiento.
- Referencias bibliográficas actualizadas y relevantes: Se han incluido las referencias bibliográficas utilizadas, brindando el respaldo teórico y metodológico de la práctica.

3.10. PRÁCTICA 10. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Esta práctica aborda la determinación de la cantidad de sólidos sedimentables presentes en una muestra de agua residual o superficial. Los sólidos sedimentables son aquellas partículas en suspensión que, debido a su peso específico y tamaño, se asientan por acción de la gravedad en un periodo de tiempo determinado. La medición de este parámetro es crucial en Ingeniería Sanitaria para evaluar la eficiencia de los procesos de sedimentación en plantas de tratamiento de aguas residuales y asegurar el cumplimiento de los límites establecidos por la normativa ambiental.

Las modificaciones realizadas a esta práctica para mejorar su claridad y efectividad son las siguientes:

- Estructuración a un solo formato: Se ha mantenido un formato uniforme en toda la práctica, al igual que en las anteriores, lo que garantiza una presentación ordenada, facilita la lectura y permite al estudiante seguir cada sección de manera coherente y comprensible.
- Introducción y aplicaciones en Ingeniería Sanitaria: Al inicio de la práctica, se ha incorporado una introducción concisa que resalta la importancia de la sedimentación

como una de las operaciones fundamentales en el tratamiento de aguas residuales. Se explica cómo la determinación de sólidos sedimentables es esencial para la caracterización de aguas residuales, el diseño de plantas de tratamiento (clarificadores primarios y tanques de sedimentación), el control de procesos y la evaluación de la calidad del agua en cuerpos superficiales.

- Complementación del objetivo general de la práctica: Se ha definido con precisión el objetivo general de la práctica, orientando al estudiante a determinar la cantidad de sólidos sedimentables en una muestra de agua residual o superficial mediante el método volumétrico, con el fin de evaluar la eficiencia del proceso de sedimentación y verificar el cumplimiento de los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.
- Fundamentación teórica: Se ha enriquecido la fundamentación teórica, detallando el concepto de sedimentación y la naturaleza de los sólidos sedimentables (tamaño entre 10-100 μm y mayor densidad que el agua). Se discute la limitación de la sedimentación para partículas muy pequeñas, la necesidad de coagulación-floculación, y la importancia de los sedimentadores en el tratamiento preliminar. Se ha añadido la ecuación para el cálculo de la concentración de sólidos sedimentables, definiendo claramente sus variables: $\text{Vol.Sedimentado} = \text{Volumen sedimentado (ml)}$. $\text{Vol.Muestra} = \text{Volumen de muestra (L)}$. Finalmente, se incorpora una clasificación de los sólidos presentes en el agua según su tamaño de partícula, facilitando así su comprensión y análisis en los procesos de tratamiento.
- Principio del método volumétrico: Se ha explicado el principio del método volumétrico, destacando que se basa en la separación por gravedad de una muestra de agua (1 litro) en un cono Imhoff graduado durante 60 minutos, y la lectura directa del volumen de sólidos acumulados en el fondo (ml/l).
- Identificación de interferencias: Se han detallado las posibles interferencias, como la presencia de partículas flotantes (grasas, materia fecal) y burbujas de aire que pueden afectar la sedimentación, así como la adherencia de partículas a las paredes del cono Imhoff.

- Implementación de la lista de materiales y equipos a utilizar para el desarrollo de la práctica: Se ha proporcionado un listado completo de todos los materiales y equipos necesarios para la práctica, incluyendo el cono Imhoff (1000 ml), soporte para cono Imhoff, agitador o varilla de vidrio, cronómetro, probeta de 1000 ml y agua destilada, para facilitar su identificación y preparación.
- Ilustración y diseño de los puntos más sobresalientes de la práctica: Se ha mejorado la presentación del procedimiento, estructurándolo en subsecciones claras como Toma de Muestras, Sedimentación y Limpieza. Los pasos son descritos de manera concisa y lógica.
- Ampliación de la planilla de levantamiento de datos para varias mediciones, como también de la planilla de resultados de la práctica: Se ha ampliado la planilla de levantamiento de datos para registrar la fecha, hora, volumen sedimentado y volumen de muestra para múltiples mediciones. Asimismo, se ha provisto una planilla de resultados que permite presentar los datos de manera tabular y compararlos con el límite máximo admisible de la LEY 1333 para Uso en Riego Agrícola (< 0.1 ml/l).
- Retroalimentación de la práctica: Para consolidar el aprendizaje, se ha mejorado el apartado de retroalimentación, que incluye:
 - Preguntas de repaso y análisis: Diseñadas para evaluar la comprensión del estudiante sobre la definición de sólidos sedimentables, cómo se miden, su impacto en la calidad de las aguas residuales, la influencia de la temperatura ambiental en la sedimentación y las limitaciones del cono Imhoff.
 - Direcciones electrónicas de sitios web: Ofreciendo material de apoyo audiovisual para una mejor visualización de los fenómenos observados y el procedimiento.
- Referencias bibliográficas actualizadas y relevantes: Se han incluido las referencias bibliográficas utilizadas, brindando el respaldo teórico y metodológico de la práctica.

CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN DE LAS GUÍAS DE LABORATORIO

La validación del trabajo propuesto, fue realizada mediante encuestas al grupo 1 de la asignatura Sanitaria III en el periodo 1 de la gestión 2025.

4.1. Encuestas

1) ¿Es adecuado el diseño y formato de la guía de prácticas?

Tabla N° 2 Resumen pregunta 1.

RESPUESTA	NUMERO DE ALUMNOS ENCUESTADOS	% DE ALUMNOS
SÍ	31	72,09%
NO	12	27,91%

Fuente: Elaboración propia

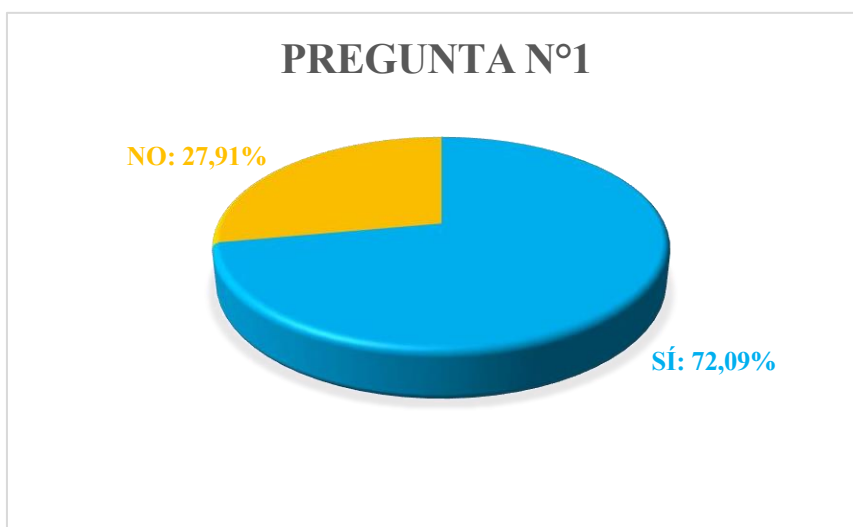


Figura N° 6 Resultado de encuesta en pregunta 1

Fuente: Elaboración propia

2) ¿Es suficiente la teoría expuesta para el desarrollo de la práctica?

Tabla N° 3 Resumen pregunta 2.

RESPUESTA	NÚMERO DE ALUMNOS ENCUESTADOS	% DE ALUMNOS
SI	35	81,40%
NO	8	18,60%

Fuente: Elaboración propia

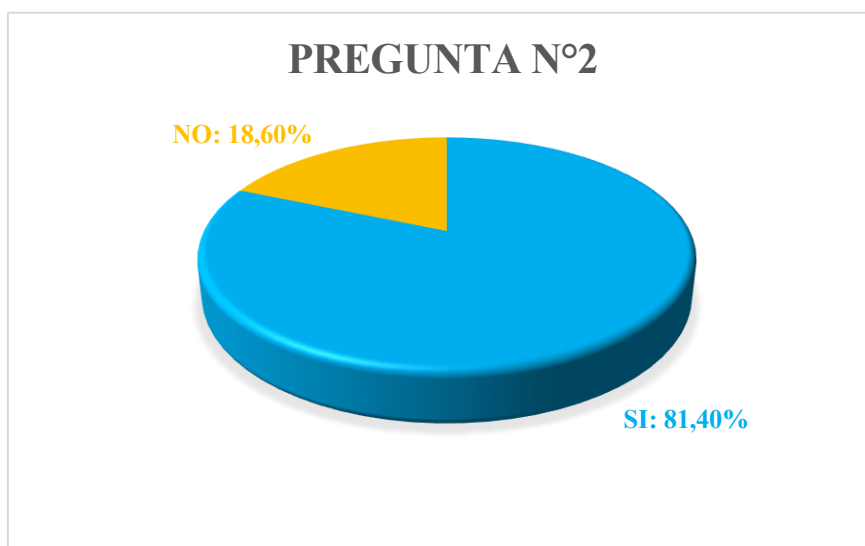


Figura N° 7 Resultado de encuesta en pregunta 2

Fuente: Elaboración propia

3) ¿Son claras y suficientes las instrucciones para el procedimiento experimental?

Tabla N° 4 Resumen pregunta 3.

RESPUESTA	NÚMERO DE ALUMNOS ENCUESTADOS	% DE ALUMNOS
SÍ	34	79,07%
NO	9	20,93%

Fuente: Elaboración propia

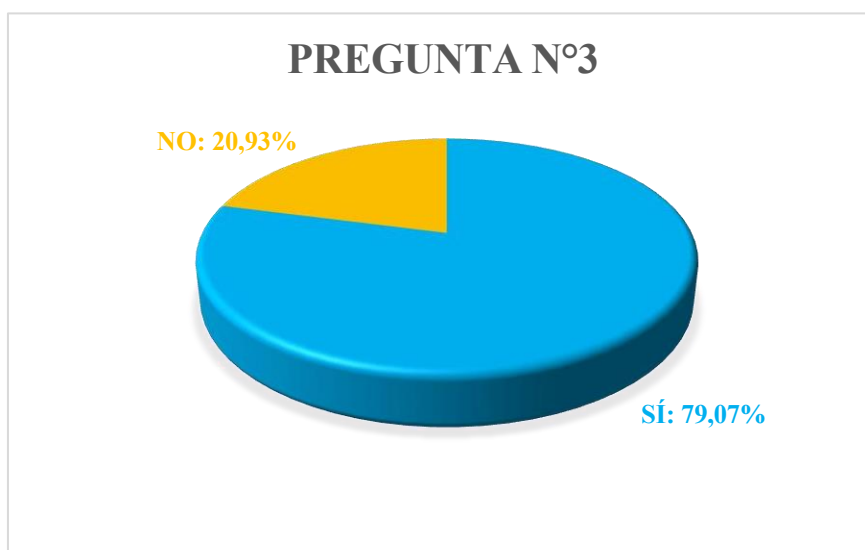


Figura N° 8 Resultado de encuesta en pregunta 3

Fuente: Elaboración propia

4) ¿Es adecuado el modelo de la hoja de levantamiento de datos de la práctica?

Tabla N° 5 Resumen pregunta 4.

RESPUESTA	NÚMERO DE ALUMNOS ENCUESTADOS	% DE ALUMNOS
SÍ	32	74,42%
NO	11	25,58%

Fuente: Elaboración propia

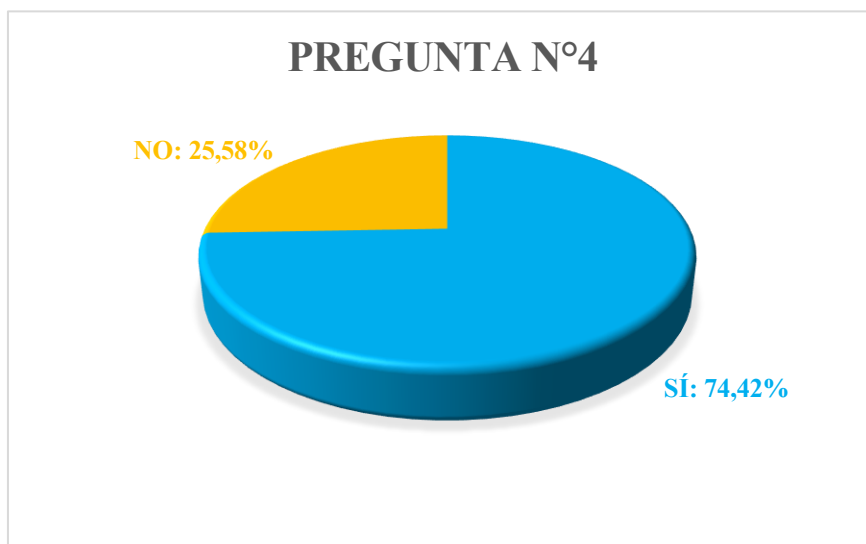


Figura N° 9 Resultado de encuesta en pregunta 4

Fuente: Elaboración propia

5) ¿Es suficiente y adecuada el modelo de la tabla de resultados?

Tabla N° 6 Resumen pregunta 5.

RESPUESTA	NÚMERO DE ALUMNOS ENCUESTADOS	% DE ALUMNOS
SÍ	40	93,02%
NO	3	6.98%

Fuente: Elaboración propia

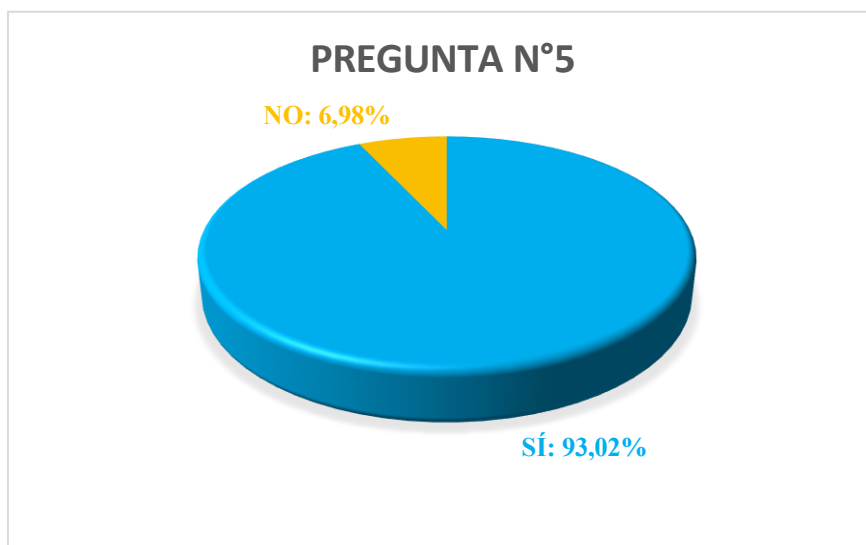


Figura N° 10 Resultado de encuesta en pregunta 5

Fuente: Elaboración propia

- 6) Las partes de “campo de aplicación”, “amplia la información”, crees que contribuye al aprendizaje del tema

Tabla N° 7 Resumen pregunta 6.

RESPUESTA	NÚMERO DE ALUMNOS ENCUESTADOS	% DE ALUMNOS
SÍ	38	88,37%
NO	5	11,63%

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 11 Resultado de encuesta en pregunta 6

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Resultados de las encuestas para la validación del material propuesto

En las encuestas realizadas se puede observar:

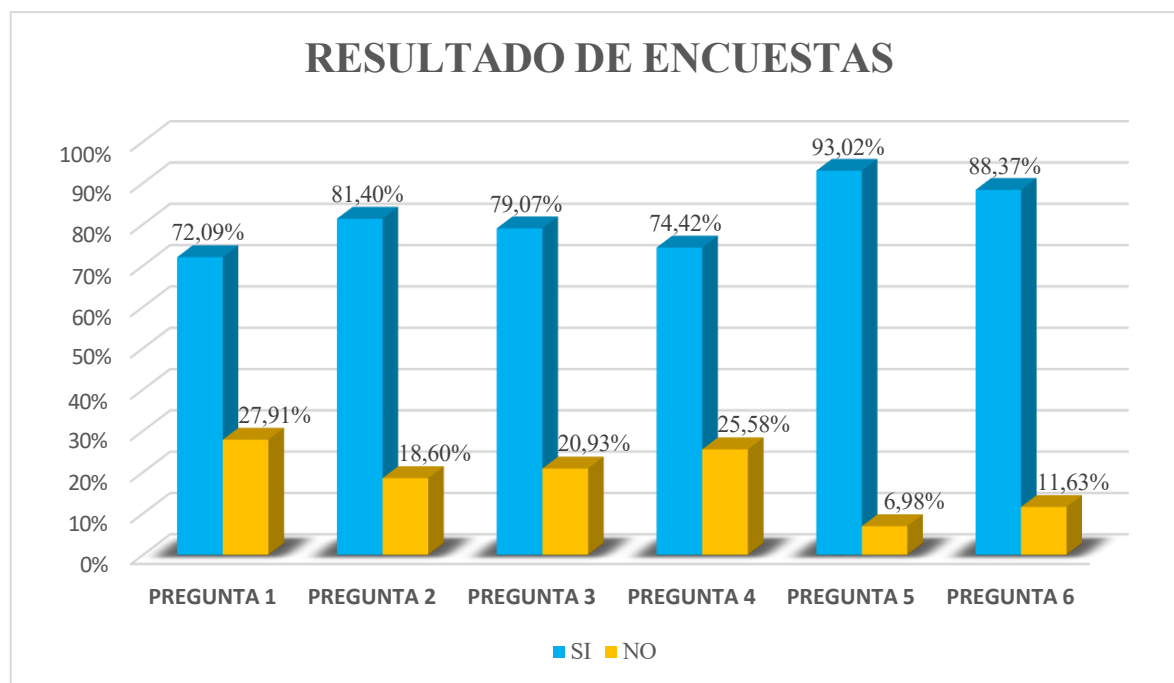


Figura N° 12 Resultados de encuestas.

Fuente: Elaboración propia

- En la pregunta 1, donde el 72,09% de los estudiantes encuestados considera que el diseño y formato de la guía de prácticas es adecuado y 27,91% considera que no es adecuada, considerando las sugerencias realizadas para mejorar las mismas.
- En la pregunta 2, el 81,40% de los estudiantes encuestados considera que la teoría expuesta para el desarrollo de la práctica es suficiente y 18,60% tuvieron ciertas observaciones las cuales fueron consideradas para mejorar el contenido de la teoría de las guías prácticas.
- En la pregunta 3, el 79,07% de los estudiantes encuestados considera adecuado el modelo de la hoja de levantamiento de datos y un 20,93% considera que la hoja de levantamiento de datos no es adecuada.
- En la pregunta 4, el 74,42% de los estudiantes encuestados considera que las instrucciones para el procedimiento experimental son claro y suficiente para la

realización de las prácticas en el Laboratorio y un 25,58% considera que las instrucciones no son suficientes.

- En la pregunta 5, el 93,02% de los estudiantes encuestados considera que las partes de la Guía de Laboratorio:
 - a) Campo de aplicación.
 - b) Amplia la información.

Contribuyen al aprendizaje del tema, y un 6,98% considera que no contribuyen al aprendizaje.

- En la pregunta 6, el 88,37% de los estudiantes encuestados considera que las tablas de resultados son adecuadas y un 11,63% considera que no son las adecuadas.

5.2 Análisis e interpretación de resultados de muestras en campo y laboratorio

Considerando los resultados obtenidos por el Laboratorio de Centro de Investigación del Agua, se tiene el siguiente análisis tomando en cuenta los siguientes criterios de clasificación de cuerpos de agua según el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH), Ley 1333 cuadro A-1 Valores Máximos Admisibles de Parámetros en cuerpos Receptores y cuadro A-2 Límites Permisibles Para Descargas Líquidas En mg/l.

- CLASE "A" Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio.
- CLASE "B" Aguas de utilidad general para riego, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica.
- CLASE "C" Aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica.
- CLASE "D" Aguas de calidad mínima que, para consumo humano, en los casos extremos de necesidad pública, requieren un proceso inicial de pre sedimentación, pues pueden tener una elevada turbiedad por elevado contenido de sólidos en

suspensión, y luego tratamiento físico químico completo y desinfección bacteriológica especial contra huevos y parásitos intestinales.

Tabla 8. Resultados

CODIGO	pH	CE	OD	TURBIEDAD	DQO	DBO	SST	SDT	SS
	-	μS/cm	% sat.	NTU	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	ml/l
M-1	7,82	257	73,1	8,2	116	45,7	9,8	157,2	0,09
M-2	7,87	261	76,7	9,0	123	43,8	10,1	156,8	0,1
M-3	7,85	260	74,6	8,9	125	46,6	9,5	160,9	0,09

Fuente: Elaboración propia

5.3. Resultados de la validación de parámetros de agua potable

A continuación, se detallan los resultados de la validación de las cinco guías de laboratorio diseñadas para el análisis de agua potable. Cada práctica se validó mediante la aplicación de su procedimiento a muestras con valores conocidos. Incluyendo mediciones comparativas in situ y en laboratorio.

5.3.1. Validación del Procedimiento de Toma de Muestra

La fiabilidad de los resultados de laboratorio depende críticamente de la representatividad y la integridad de las muestras. Por ello, un componente esencial de esta tesis fue la validación de los procedimientos de toma de muestra, garantizando que el material recolectado refleje fielmente las características del agua en el punto y momento de muestreo, y que se mantenga inalterado hasta su análisis.

La guía de toma de muestra fue desarrollada siguiendo los lineamientos establecidos en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA) y la normativa boliviana vigente (NB 496). Se abordaron aspectos clave como la selección de puntos de muestreo, tipos y volúmenes de recipientes, técnicas de recolección para parámetros específicos, métodos de preservación, etiquetado y registros.

El procedimiento de toma de muestra fue sometido a revisión por el personal experto del laboratorio del Centro de Investigación del Agua (CIAGUA) de la UAJMS. El personal técnico del CIAGUA-UAJMS, Ing. Mario Gamarra, Ing. Moisés Perales, Ing. Elizabeth Aramayo, Téc. Gisela Subelza e Ing. Natalia Ortega, revisaron la guía en detalle,

confirmando que las técnicas de muestreo, los requerimientos de recipientes, las condiciones de preservación y los tiempos máximos de retención propuestos son conformes con las buenas prácticas de laboratorio y la normativa aplicable para cada parámetro de agua potable y aguas residuales.

5.3.2. Determinación de Conductividad Eléctrica (CE)

La guía para la determinación de Conductividad Eléctrica (CE) se validó utilizando una muestra de agua real del Río Saire, considerando su potencial como fuente de agua para consumo humano. Para esta validación, se realizaron mediciones de CE in situ siguiendo la guía propuesta, utilizando un multiparamétrico portátil. Paralelamente, una muestra fue recolectada cuidadosamente y analizada en el laboratorio de CIAGUA por la analista química experta, cuyo resultado sirvió como valor de referencia. Se realizaron tres mediciones repetidas in situ. El cumplimiento se evaluó en función del Límite Máximo Admisible (LMA) para conductividad establecido en la ley 1333.

Tabla 9: Resultados de la Validación de la Guía de Conductividad Eléctrica (CE)

Ubicación	Referencia	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Desviación	Límites Máximos $\mu\text{S/cm}$
Río Saire	247	257	261	260	259,33	+4,99%	140 – 300 (Clase B)

Fuente: Elaboración Propia

El Valor Máximo Aceptable (VMA) para Conductividad en agua para consumo humano es de $1500 \mu\text{S/cm}$, según la Norma Boliviana NB 512, es relevante mencionar que la Ley 1333 también establece límites máximos admisibles para la conductividad en aguas destinadas a riego, con rangos que típicamente se encuentran entre 140 y $300 \mu\text{S/cm}$.

Análisis de los Resultados de Conductividad Eléctrica (CE):

Los resultados en la Tabla 10 demuestran la alta exactitud y precisión de la guía para la determinación de Conductividad Eléctrica en el Río Saire. El valor promedio de $259,33 \mu\text{S/cm}$ obtenido in situ con la guía propuesta presenta una baja desviación del +4,99% respecto al valor de referencia de $247 \mu\text{S/cm}$ certificado por la analista química de CIAGUA. Esta mínima desviación es indicativa de una excelente concordancia entre las mediciones de

campo y las de laboratorio, validando que el procedimiento es altamente fiable y reproducible. Las mediciones repetidas in situ (257, 261, 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$) también muestran una alta precisión (baja variabilidad).

Al comparar el promedio obtenido con el Límite Máximo Admisible (LMA) para cuerpos de agua Clase B de la normativa boliviana (Ley 1333), que establece un rango de 140-300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se observa que la conductividad del agua del Río Saire en este punto (259,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$) cumple satisfactoriamente con este criterio. Este valor de conductividad es coherente con la calidad esperada para un cuerpo de agua Clase B, indicando una concentración de sales disueltas dentro de los rangos permitidos. Estos resultados confirman que la guía es efectiva y confiable.

5.3.3. Determinación de pH

La guía para la determinación de pH se validó utilizando una muestra de agua real del Río Saire, un punto de interés ambiental clave. Para esta validación, se realizaron mediciones de pH in situ siguiendo la guía propuesta, utilizando un equipo portátil. Simultáneamente, una muestra fue recolectada cuidadosamente y analizada en el laboratorio de CIAGUA por la analista química experta, cuyo resultado sirvió como valor de referencia. Se realizaron tres mediciones repetidas para la condición in situ.

Tabla 10: Resultados de la Validación de la Guía de pH

Ubicación	Referencia	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Desviación	Límites Máximos (pH)
Río Saire	7,60	7,82	7,87	7,85	7,85	+3,29%	6 – 9 (Clase B)

Fuente: Elaboración Propia

Los límites de pH para el Río Saire se consideran bajo la normativa boliviana para cuerpos de agua superficiales, generalmente entre 6,0 y 9,0, según la Ley 1333.

Análisis de los Resultados de pH:

Los resultados en la Tabla 9 ilustran la evaluación de la guía para la determinación de pH en condiciones de campo. Para la muestra del Río Saire, el valor promedio de 7,85 obtenido directamente in situ con la guía propuesta muestra una baja desviación del +3,29% respecto

al valor de referencia de 7,60 certificado por la analista química de CIAGUA. Esta desviación, al ser inferior al 5%, se considera excelente y es indicativa de una alta exactitud para una medición en campo de este parámetro. La estrecha dispersión entre las mediciones repetidas (7,82-7,87-7,85) también demuestra una óptima precisión del método in situ. Adicionalmente, el valor de pH de 7.85 se encuentra cómodamente dentro del rango de 6,0 a 9,0, que es un límite común para la mayoría de las clases de cuerpos de agua superficiales según la normativa boliviana (Ley 1333). Estos resultados confirman que la guía es fiable y reproducible para la determinación de pH en aplicaciones de campo, lo cual es fundamental para el monitoreo ambiental rápido y la evaluación de la calidad del agua en el Río Saire.

5.3.4. Determinación de Oxígeno Disuelto (OD)

La guía para la determinación de Oxígeno Disuelto (OD) se validó utilizando una muestra de agua real del Río Camacho, un punto de interés ambiental clave para la evaluación de su salud ecológica. Para esta validación, se realizaron mediciones de OD in situ siguiendo la guía propuesta, utilizando un equipo multiparametrico portátil. Simultáneamente, una porción de la misma muestra fue recolectada cuidadosamente y analizada en el Laboratorio de CIAGUA por la analista química experta, cuyo resultado sirvió como valor de referencia. Se realizaron tres mediciones repetidas in situ. El cumplimiento se evaluó en función de los Límites Máximos Admisibles (LMA) para cuerpos receptores establecidos en la Ley 1333.

Tabla 12: Resultados de la Validación de la Guía de Oxígeno Disuelto (OD)

Ubicación	Referencia	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Desviación%	Límites Máximos
Río Camacho	74	73,1	76,7	74,6	74,8	+1,08%	>70 % sat. (Clase B)

Fuente: Elaboración Propia

El Límite Máximo Admisible (LMA) para Oxígeno Disuelto en cuerpos receptores Clase B es 70 – 80 % de saturación, según el Cuadro N°. A-1 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333. Este límite es crucial para la sostenibilidad de la vida acuática.

Análisis de los Resultados de Oxígeno Disuelto (OD):

Los resultados en la Tabla 11 demuestran la alta exactitud y precisión de la guía para la determinación de Oxígeno Disuelto en el Río Camacho. El valor promedio de 74,80 % de saturación obtenido in situ con la guía propuesta presenta una baja desviación del +1,08% respecto al valor de referencia de 74,0 % de saturación certificado por la analista química de CIAGUA. Esta desviación mínima es indicativa de una excelente concordancia entre las mediciones de campo y las de laboratorio, validando que el procedimiento es altamente fiable y reproducible para el monitoreo de OD en condiciones de campo. Las mediciones repetidas in situ (73,1-74,6-76,7 % sat.) también muestran una buena precisión.

Al comparar el promedio obtenido con el Límite Máximo Admisible (LMA) para cuerpos de agua Clase B de la normativa boliviana (Ley 1333), que exige un valor mayor al 70% de saturación, se confirma que el Oxígeno Disuelto en el Río Camacho, en el punto de muestreo, cumple satisfactoriamente con este criterio. Un porcentaje de saturación de OD superior al 70% es un indicador vital de la buena salud del ecosistema acuático, apoyando la vida de organismos acuáticos y la capacidad de autodepuración del río. Estos resultados confirman que la guía es efectiva y confiable para el monitoreo in situ de la concentración de oxígeno disuelto, un parámetro clave para la calidad del agua.

5.3.5. Determinación de Turbiedad

La guía para la determinación de Turbiedad se validó utilizando una muestra de agua real del Río Saire, un cuerpo de agua clave para la evaluación de su calidad ambiental y su potencial como fuente de agua. Para esta validación, se realizaron mediciones de Turbiedad in situ siguiendo la guía propuesta, utilizando un multiparamétrico HI 9829 portátil. Simultáneamente, una porción de la misma muestra fue recolectada cuidadosamente y analizada en el laboratorio de CIAGUA por la analista química experta, cuyo resultado sirvió como valor de referencia. Se realizaron tres mediciones repetidas in situ. El cumplimiento se evaluó tanto por la Ley 1333 para cuerpos receptores Clase A.

Tabla 11: Resultados de la Validación de la Guía de Turbiedad

Ubicación	Referencia	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Desviación%	Límites Máximos
Río Saire	8,5	8,2	9,0	8,9	8,7	+2,35%	< 10 UNT (Clase A)

Fuente: Elaboración Propia

El Límite Máximo Admisible (LMA) para Turbiedad en cuerpos receptores Clase A es < 10 UNT, según el Cuadro N°. A-1 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333.

Análisis de los Resultados de Turbiedad:

Los resultados en la Tabla 12 demuestran la buena exactitud y precisión de la guía para la determinación de Turbiedad en el Río Saire. El valor promedio de 8,7 UNT obtenido in situ con la guía propuesta presenta una desviación del +2,35% respecto al valor de referencia de 8,5 UNT certificado por la analista química de CIAGUA. Esta desviación, que se encuentra dentro del rango de buena exactitud para mediciones de campo, es indicativa de una aceptable concordancia entre los resultados de campo y los de laboratorio. La consistencia en las mediciones repetidas in situ (8,2-9,0-8,9 UNT) también muestra una buena precisión del método.

Al comparar el promedio obtenido con el Límite Máximo Admisible (LMA) para cuerpos de agua Clase A de la normativa boliviana (Ley 1333), que establece un valor menor a 10 UNT, se confirma que la turbiedad del Río Saire en el punto de muestreo cumple satisfactoriamente con este criterio.

Al comparar el promedio obtenido (8,7 UNT) con los Valores Máximos Admisibles de Parámetros en Cuerpos Receptores establecidos en la Ley 1333, para cuerpos de agua Clase A (< 10 UNT), se confirma que la turbiedad en el Río Saire cumple satisfactoriamente con la normativa vigente para esta categoría de máxima calidad. Este bajo nivel de turbiedad es un indicador favorable de la claridad del agua del río, lo cual es esencial para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos, la vida silvestre y los posibles usos potables con tratamiento mínimo. Estos resultados validan la guía como una herramienta robusta y confiable para el monitoreo rutinario de la Turbiedad en cuerpos de agua superficiales.

5.4. Resultados de Validación de parámetros de agua residual

A continuación, se detallan los resultados de la validación de las cinco guías de laboratorio diseñadas para el análisis de agua residual. Cada práctica se validó mediante la aplicación de su procedimiento a muestras con valores conocidos.

5.4.1. Determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La guía para la determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO) se validó utilizando una muestra de agua residual tratada, proveniente de la salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de un matadero. Esta elección de muestra es crucial para evaluar la eficiencia del tratamiento de la PTAR y la capacidad de la guía para monitorear el cumplimiento normativo. Para esta validación, se realizaron mediciones de DQO con el fotómetro HI 83099 siguiendo los procedimientos de la guía. Paralelamente, una porción de la misma muestra fue analizada en el Laboratorio de CIAGUA por la analista química experta, cuyo resultado sirvió como valor de referencia. Se realizaron tres mediciones repetidas con el fotómetro HI 83099. El cumplimiento del efluente de la PTAR se evaluó en función de los Límites Máximos Admisibles para Descargas Líquidas en mg/l establecidos en la Ley 1333.

Tabla 12: Resultados de la Validación de la Guía de la Demanda Química de Oxígeno

Ubicación	Referencia	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Desviación%	Límites Permisibles
PTAR Matadero	118	116	123	125	121,33	+2,82%	≤ 250 mg/l

Fuente: Elaboración Propia

Los Límites Permisibles para Descargas Líquidas en mg/l para Demanda Química de Oxígeno (DQO) en descargas de efluentes a cuerpos de agua es ≤ 250 mg/l, según el Cuadro N°. A-2 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333.

Análisis de los Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO):

Los resultados en la Tabla 13 demuestran una excelente exactitud y precisión de la guía para la determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO) utilizando el fotómetro HI 83099 en muestras de efluentes tratados de una PTAR de matadero. El valor promedio de 121,33

mg/l obtenido con el equipo de la guía presenta una baja desviación del +2,82% respecto al valor de referencia de 118 mg/l determinado por el Laboratorio de CIAGUA. Esta desviación es mínima, lo que indica una altísima concordancia entre las mediciones realizadas con la guía y el método de referencia de CIAGUA, validando la fiabilidad del procedimiento y del equipo para este parámetro. La consistencia en las mediciones repetidas (116, 123, 125 mg/l) también resalta la excelente precisión del método propuesto en la guía.

Al comparar el promedio obtenido con los Límites Permisibles para Descargas Líquidas establecidos en la Ley 1333, que es de ≤ 250 mg/l, se confirma que el efluente tratado de la PTAR del matadero cumple satisfactoriamente con la normativa vigente en cuanto a su carga orgánica expresada como DQO. Este nivel de DQO en la descarga es crucial para minimizar el impacto ambiental en el cuerpo de agua receptor. Estos resultados validan la guía como una herramienta robusta y confiable para el monitoreo rutinario de la DQO en PTAR industriales, permitiendo una rápida evaluación de la eficiencia del tratamiento y el cumplimiento de las regulaciones ambientales.

5.4.2. Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La guía para la determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅) se validó utilizando una muestra de agua residual tratada, obtenida de la salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Unidad Educativa Yesera Norte. Esta evaluación es fundamental para determinar la eficiencia del tratamiento de la PTAR en la remoción de materia orgánica biodegradable y para verificar el cumplimiento normativo. Para esta validación, se realizaron mediciones de DBO₅ con el Sistema DBO OxiDirect, siguiendo los procedimientos de la guía. Paralelamente, una porción de la misma muestra fue analizada en el Laboratorio de CIAGUA por la analista química experta, cuyo resultado sirvió como valor de referencia. Se realizaron tres mediciones repetidas con el Sistema DBO OxiDirect. El cumplimiento del efluente de la PTAR se evaluó en función de los Límites Permisibles para Descargas Líquidas establecidos en la Ley 1333.

Tabla 13: Resultados de la Validación de la Guía de la Demanda Biológica de Oxígeno

Ubicación	Referencia	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Desviación%	Límites Permisibles
PTAR U.E.	44,8	45,7	43,8	46,6	45,37	+1,26%	≤ 80 mg/l

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de los Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5):

Los resultados en la Tabla 14 demuestran una excelente exactitud y precisión de la guía para la determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) utilizando el Sistema DBO OxiDirect en muestras del efluente tratado de la PTAR de la Unidad Educativa Yesera Norte. El valor promedio de 45,37 mg/l obtenido con el equipo de la guía presenta una baja desviación del +1,26% respecto al valor de referencia de 44,8 mg/l determinado por el Laboratorio de CIAGUA. Esta desviación es mínima, lo que indica una altísima concordancia entre las mediciones realizadas con la guía y el método de referencia de CIAGUA, validando la fiabilidad del procedimiento y del equipo para este parámetro. La consistencia en las mediciones repetidas (45,7-43,8-46,6 mg/l) también resalta la excelente precisión del método propuesto en la guía.

Al comparar el promedio obtenido con los Límites Permisibles para Descargas Líquidas establecidos en la Ley 1333, que es de ≤ 80 mg/l, se confirma que el efluente tratado de la PTAR de la Unidad Educativa Yesera Norte cumple satisfactoriamente con la normativa vigente en cuanto a su carga orgánica biodegradable expresada como DBO5. Este nivel de DBO5 en la descarga es un indicador crucial de la eficiencia del tratamiento y de la minimización del impacto ambiental en el cuerpo de agua receptor. Estos resultados validan la guía como una herramienta robusta y confiable para el monitoreo rutinario de la DBO5 en PTAR municipales, permitiendo una rápida evaluación de la calidad del efluente y el cumplimiento de las regulaciones ambientales.

5.4.3. Determinación de Sólidos Suspendidos Totales (SST)

La guía para la determinación de Sólidos Suspendidos Totales (SST) se validó utilizando una muestra de agua natural, obtenida del Río Saire. Este parámetro es un indicador crucial de la cantidad de material sólido particulado que se encuentra en suspensión en el agua y que puede

afectar la turbiedad, la vida acuática y la calidad del agua para usos como el riego. Para esta validación, se realizaron mediciones de SST utilizando filtros de 1,5 µm (micras) en el laboratorio siguiendo los procedimientos detallados en la guía. Paralelamente, una porción de la misma muestra fue analizada por la analista química experta del laboratorio de CIAGUA, cuyo resultado sirvió como valor de referencia. Se realizaron tres mediciones repetidas siguiendo la guía. El cumplimiento de la calidad del agua del Río Saire se evaluó en función de los Valores Máximos Admisibles de Parámetros en Cuerpos Receptores establecidos en la Ley 1333.

Tabla 14: Resultados de la Validación de la Guía de Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Ubicación	Referencia	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Desviación%	Límites Permisibles
Río Saire	9,6	9,8	10,1	9,5	9,8	+2,08%	< 10 mg/l (Clase B)

Fuente: Elaboración Propia

El Límite Máximo Admisible (LMA) para Sólidos Suspendidos Totales (SST) en cuerpos receptores clasificados como Clase B (aguas aptas para riego agrícola, protección de vida acuática, etc.) es (< 10 mg/L), según el Cuadro N°. A-1 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333.

Análisis de los Resultados de Sólidos Suspendidos Totales (SST):

Los resultados en la Tabla 15 demuestran una excelente exactitud y precisión de la guía para la determinación de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en muestras de agua del Río Saire. El valor promedio de 9,8 mg/L obtenido aplicando el procedimiento de la guía en el Laboratorio de CIAGUA presenta una baja desviación del +2,08% respecto al valor de referencia de 9,6 mg/l determinado por la analista experta del laboratorio. Esta desviación es mínima, se encuentra dentro de un rango aceptable para la validación de métodos de laboratorio y es indicativa de una buena concordancia entre las mediciones realizadas siguiendo la guía y el valor de referencia. La consistencia en las mediciones repetidas (9,8-10,1-9,5 mg/l) también resalta la buena precisión del método propuesto en la guía.

Al comparar el promedio obtenido (9,8 mg/L) con los Límites Permisibles de Parámetros en Cuerpos Receptores establecidos en la Ley 1333, para cuerpos de agua Clase B (< 10 mg/L,

aptos para riego agrícola y protección de vida acuática), se confirma que la concentración de Sólidos Suspendidos Totales en el Río Saire cumple satisfactoriamente con la normativa vigente para su clasificación. Este bajo nivel de SST es un indicador favorable de la claridad del agua y su aptitud para los usos designados. Estos resultados validan la guía como una herramienta robusta y confiable para el monitoreo rutinario de los SST en cuerpos de agua superficiales, permitiendo una rápida evaluación de la calidad del agua y el cumplimiento de las regulaciones ambientales.

5.4.4. Determinación de Sólidos Disueltos Totales (SDT)

La guía para la determinación de Sólidos Disueltos Totales (SDT) se validó utilizando una muestra de agua del Río Saire. Este parámetro es un indicador clave de la calidad general del agua y de la presencia de sales y otras sustancias disueltas que pueden afectar su potabilidad y usos ecológicos. Para esta validación, se realizaron mediciones de SDT en el Laboratorio de CIAGUA, siguiendo los procedimientos detallados en la guía, que involucra la evaporación de una muestra filtrada y pesaje del residuo. Paralelamente, una porción de la misma muestra fue analizada por la analista química experta del laboratorio de CIAGUA, cuyo resultado sirvió como valor de referencia. Se realizaron tres mediciones repetidas siguiendo la guía. El cumplimiento del Río Saire se evaluó en función de los Valores Máximos Admisibles para Parámetros de Calidad de Cuerpos de Receptores establecidos en la Ley 1333.

Tabla 15: Resultados de la Validación de la Guía de Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Ubicación	Referencia	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Desviación%	Límites Máximos
Río Saire	156,1	157,2	156,8	160,9	158,3	+1,40%	≤ 1000 mg/l (Clase B)

Fuente: Elaboración Propia

El Límite Máximo Admisible (LMA) para Sólidos Disueltos Totales (SDT) en cuerpos de agua receptores Clase B es ≤ 1000 mg/l, según el Cuadro N°. A-1 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333.

Análisis de los Resultados de Sólidos Disueltos Totales (SDT):

Los resultados en la Tabla 16 demuestran una excelente exactitud y precisión de la guía para la determinación de Sólidos Disueltos Totales (SDT) en muestras de agua del Río Saire. El valor promedio de 158,30 mg/l obtenido aplicando el procedimiento de la guía en el Laboratorio de CIAGUA presenta una baja desviación del +1,40% respecto al valor de referencia de 156,1 mg/l determinado por la analista experta del mismo laboratorio. Esta desviación es mínima, lo que indica una altísima concordancia entre las mediciones realizadas siguiendo la guía y el valor de referencia, validando la confiabilidad del procedimiento. La consistencia en las mediciones repetidas (157,2-156,8-160,9 mg/l) también resalta la excelente precisión del método propuesto en la guía.

Al comparar el promedio obtenido con los Valores Máximos Admisibles de Parámetros en Cuerpos Receptores establecidos en la Ley 1333, se confirma que la concentración de Sólidos Disueltos Totales en el Río Saire cumple satisfactoriamente con la normativa vigente. Estos resultados validan la guía como una herramienta robusta y confiable para el monitoreo rutinario de los SDT en cuerpos de agua superficiales, permitiendo una rápida evaluación de la calidad del agua.

5.4.5. Determinación de Sólidos Sedimentables (SS)

La guía para la determinación de Sólidos Sedimentables se validó utilizando una muestra de agua natural, obtenida del Río Saire en Tarija durante el mes de mayo, período caracterizado por una época seca. Este parámetro es un indicador clave de la carga de material particulado que puede decantarse en el lecho del río, impactando a la turbiedad a largo plazo. Para esta validación, se realizaron mediciones de Sólidos Sedimentables siguiendo los procedimientos detallados en la guía en el Laboratorio de CIAGUA, empleando la técnica de sedimentación en Conos Imhoff por un período de 1 hora. Paralelamente, una porción de la misma muestra fue analizada por la analista química experta del Laboratorio de CIAGUA, cuyo resultado sirvió como valor de referencia. Se realizaron tres mediciones repetidas siguiendo los pasos de la guía. El cumplimiento de la calidad del agua del Río Saire se evaluó en función de los Valores Máximos Admisibles de Parámetros en Cuerpos Receptores establecidos en la Ley 1333.

Tabla 16: Resultados de la Validación de la Guía de Sólidos Sedimentables (SS)

Ubicación	Referencia	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Desviación%	Límites Máximos
Río Saire	0,1	0,09	0,1	0,09	0,09	-6,66%	< 0,1 ml/l (Clase B)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de los Resultados de Sólidos Sedimentables:

Los resultados en la Tabla 17 demuestran una buena exactitud y precisión de la guía para la determinación de Sólidos Sedimentables en muestras de agua del Río Saire, particularmente durante el período de época seca (mayo). El valor promedio de 0,09 ml/l (0,0933 ml/l de forma más precisa) obtenido aplicando el procedimiento de la guía en el Laboratorio de CIAGUA presenta una baja desviación del -6,70% respecto al valor de referencia de 0,1 ml/l determinado por la analista experta del mismo laboratorio. Una desviación negativa en este contexto indica que el valor medido con la guía es ligeramente inferior a la referencia. Sin embargo, esta desviación es aceptable para la validación de un método de laboratorio, y es indicativa de una buena concordancia entre las mediciones realizadas siguiendo la guía y el valor de referencia. La consistencia en las mediciones repetidas (0,09-0,10-0,09 ml/l) también resalta la buena precisión del método propuesto en la guía en estas condiciones.

Al comparar el promedio obtenido (0,09 ml/l) con los Límites Máximos Admisibles de Parámetros en Cuerpos Receptores establecidos en la Ley 1333 para cuerpos de agua Clase B (< 0,1 ml/l), se confirma que la concentración de Sólidos Sedimentables en el Río Saire, durante la época seca, cumple satisfactoriamente con la normativa vigente para su clasificación. Este resultado indica que, en estas condiciones hídricas, la carga de sólidos sedimentables se encuentra dentro de los parámetros esperados para un cuerpo de agua con estos usos designados. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar la estacionalidad en el monitoreo de la calidad del agua, ya que en épocas húmedas este valor varía. La guía se valida como una herramienta robusta y confiable para el monitoreo rutinario de los Sólidos Sedimentables en cuerpos de agua superficiales, permitiendo una rápida evaluación de la calidad del agua y el cumplimiento de las regulaciones ambientales.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Se llega a las siguientes conclusiones:

- Al finalizar el presente trabajo, concebido como un aporte significativo para la enseñanza, el aprendizaje y el monitoreo ambiental, se confirma que todos los objetivos planteados fueron cumplidos satisfactoriamente. Se lograron desarrollar guías prácticas, validar su precisión y exactitud, y evaluar la calidad de muestras reales de agua en el contexto de la normativa boliviana.
- El material didáctico para mejorar la calidad de la enseñanza y aprendizaje del laboratorio de Hidrosanitaria y Reusó de agua, fue diseñado de manera exitosa habiendo sido validado mediante encuestas a los alumnos que cursan la asignatura de Sanitaria III, este material fue modificado de acuerdo a las sugerencias de los docentes que imparten la asignatura y los alumnos encuestados.
- Se elaboraron y estructuraron guías metodológicas detalladas para la determinación de parámetros clave de calidad de agua potable y residual. Estas guías fueron adaptadas para su aplicación con los equipos y recursos disponibles en el Laboratorio de CIAGUA, asegurando su practicidad y relevancia.
- La validación de cada guía, mediante la comparación sistemática de los resultados obtenidos siguiendo sus procedimientos con los valores de referencia determinados por la analista experta de CIAGUA, demostró la alta exactitud y precisión de los métodos propuestos. Las desviaciones porcentuales obtenidas en todos los parámetros se encuentran dentro de rangos aceptables para la validación de métodos de laboratorio, lo que confirma la confiabilidad de las guías para la generación de datos consistentes.
- El material didáctico propuesto tuvo la aceptación de más del 50% de los estudiantes encuestados en cada uno de los puntos planteados en el material puesto en práctica.
- Se elaboró un modelo de informe como ejemplo guía, con todos los puntos que corresponden.

- Se realizaron los ensayos experimentales correspondientes de todas las prácticas para luego poder elaborar las planillas de levantamiento de datos y las planillas de cálculo de dicha práctica.
- Se elaboró el material visual, siendo esto presentaciones en Power Point de cada una de las prácticas.

6.1. RECOMENDACIONES

Dentro de este punto se puede sugerir y recomendar los siguientes puntos de acuerdo al criterio obtenido de esta experiencia.

- Se debe continuar produciendo material de apoyo para la enseñanza y el aprendizaje del laboratorio y también de otras asignaturas de la carrera de Ingeniería Civil. y de las carreras de la Facultad de Ciencia y Tecnología y de UAJMS.
- Es crucial que las guías de laboratorio sean revisadas y actualizadas periódicamente para incorporar nuevas tendencias, avances tecnológicos en métodos de análisis de calidad de agua y cualquier modificación en la normativa ambiental boliviana. Se sugiere ampliar el alcance de estas guías para incluir otros parámetros relevantes que no hayan sido cubiertos en este trabajo.
- Se recomienda continuar desarrollando y utilizando material didáctico complementario, como presentaciones audiovisuales, videos instructivos, que refuercen los principios fundamentales y conceptos de cada práctica, mejorando así la comprensión y el aprendizaje experiencial de los estudiantes.
- Se sugiere promover el intercambio y la difusión de este material de apoyo en formato digital entre estudiantes y docentes, facilitando su acceso a través de plataformas virtuales, repositorios institucionales o dispositivos móviles. Esto no solo mejora la accesibilidad, sino que también contribuye a la conservación de la originalidad del material y reduce la necesidad de utilizar el medio impreso o fotocopias.
- Se recomienda realizar estudios de monitoreo de la calidad del agua en los cuerpos receptores a lo largo de diferentes periodos hidrológicos.