

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE QUÍMICA



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

ASISTENTE DE CONTROL DE CALIDAD EN EL ÁREA DE ANÁLISIS QUÍMICO
EN LA GERENCIA DE ASEGURAMIENTO Y CALIDAD LAS PAVAS, DE LA
ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
(ANDA)

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICAS

ELABORADO POR:
GRICELDA YANETH MENJÍVAR DE MARTÍNEZ

ASESORES
DR. NÉSTOR GUILLERMO ORELLANA VELADO
LIC. JULIO CESAR MARTÍNEZ GONZÁLEZ

AGOSTO, 2023
SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO.AMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
GOBIERNO UNIVERSITARIO



RECTOR

M.SC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

VICE-RECTOR ACADÉMICO

DR. RAÚL ERNESTO AZCÚNAGA LÓPEZ

VICE-RECTOR ADMINISTRATIVO

ING. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

ING. FRANCISCO ALARCÓN

FISCAL

LIC. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARÍN

DEFENSOR DE LOS DERECHOS UNIVERSITARIOS

LIC. LUIS ANTONIO MEJÍA LIPE

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y
MATEMÁTICA AUTORIDADES**



DECANO

LIC. ERNESTO AMÉRICO HIDALGO CASTELLANOS

VICEDECANA

M.SC. ZOILA VIRGINIA GUERRERO

SECRETARIO

LIC. JAIME SALINAS ESPINOZA

DIRECTOR ESCUELA DE QUÍMICA

LIC. NELSON MAURICIO COTO

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

ASISTENTE DE CONTROL DE CALIDAD EN EL ÁREA DE ANÁLISIS QUÍMICO
EN LA GERENCIA DE ASEGURAMIENTO Y CALIDAD LAS PAVAS, DE LA
ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
(ANDA)

REVISADO POR:



Nombre de Asesor interno: Dr. Néstor Guillermo Orellana Velado
(Docente de la Escuela de Química, Universidad de El Salvador)



Nombre de Asesor externo: Julio César Martínez González
(Coordinador del Área de Control de Calidad, Gerencia de
Aseguramiento y Calidad Las Pavas)

MIEMBROS DEL TRIBUNAL CALIFICADOR



Dra. Velia Ruth Sosa Gómez
(Docente de la Escuela de Química, Universidad de El Salvador)



Licda. Jennifer Beatriz Chávez Zamora
(Docente de la Escuela de Química, Universidad de El Salvador)

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, reconozco que ha sido su mano conmigo en todo momento.

También quiero agradecer a mis Asesores el Dr. Néstor Orellana y Lic. Julio Martínez, quien con sus conocimientos y apoyo me guiaron a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscaba. También extendiendo mi más sincero agradecimiento a la Coordinadora de Procesos Académicos de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas Lic. Jennifer Chávez, por su arduo trabajo y apoyo durante todo este proceso.

También quiero agradecer a la Gerencia de Aseguramiento y Calidad Las Pavas, de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). Por abrirme las puertas a su institución, brindarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para la realización de la pasantía. Especialmente al personal de control de calidad que me brindaron su apoyo y su amistad en todo momento durante la realización de las prácticas.

Por último, pero no menos importante quiero agradecer a todos mis compañeros y a mi familia, por apoyarme aun cuando mis ánimos decaían. En especial, quiero hacer mención de mis padres, mis hermanos y mi esposo y mi hija, que siempre estuvieron ahí para darme palabras de apoyo y un abrazo reconfortante para renovar energías.

Con cariño y respeto, muchas gracias a todos.

Gricelda Menjívar

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

RESUMEN-----	PÁGINA 7
INTRODUCCIÓN -----	PÁGINA 8
OBJETIVOS -----	PÁGINA 9
METODOLOGÍA-----	PÁGINA 10-13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	PÁGINA 14-30
CONCLUSIONES-----	PÁGINA 31
RECOMENDACIONES-----	PÁGINA 32-33
REFERENCIAS-----	PÁGINA 34
ANEXOS-----	PÁGINA 35-44

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1-----	PÁGINA 11
TABLA 2 -----	PÁGINA 12
TABLA 3 -----	PÁGINA 18
TABLA 4 -----	PÁGINA 20
TABLA 5 -----	PÁGINA 22
TABLA 6 -----	PÁGINA 23
TABLA 7 -----	PÁGINA 24
TABLA 8 -----	PÁGINA 25
TABLA 9 -----	PÁGINA 26
TABLA 10 -----	PÁGINA 27
TABLA 11 -----	PÁGINA 28
TABLA 12 -----	PÁGINA 30

ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA 1-----	PÁGINA 10
FIGURA 2 -----	PÁGINA 12-13
FIGURA 3 -----	PÁGINA 18
FIGURA 4 -----	PÁGINA 19
FIGURA 5 -----	PÁGINA 21
FIGURA 6 -----	PÁGINA 21
FIGURA 7 -----	PÁGINA 29

Resumen

Este informe final recoge el proceso de aprendizaje y presenta los resultados académicos correspondientes a 6 meses de la Pasantía de práctica profesional, realizada en la Gerencia de Aseguramiento y Calidad de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), ubicada en el Caserío Las Pavas en el municipio de San Pablo Tacachico La Libertad, El informe permite evaluar el cumplimiento, por parte del estudiante, de los objetivos planteados los cuales establecen fortalecer y potenciar las competencias profesionales, aplicando el conocimiento teórico, técnicas y métodos instrumentales a problemas o situaciones específicos en un laboratorio de control de calidad. Las actividades desarrolladas fueron actividades de análisis fisicoquímicos y microbiológicos para el control de calidad en los procesos de potabilización de agua, en el laboratorio de control de calidad de agua de la planta Torogoz de ANDA, en el 2021. También se realizó una validación de un procedimiento analítico para la determinación de Aluminio residual en agua potable mediante espectrofotometría visible. Los resultados obtenidos en dicha validación demuestran que las características de desempeño del método cumplen con los requisitos para la aplicación analítica prevista.

Introducción

Este trabajo está orientado en mostrar las actividades realizadas por la pasante en el laboratorio de Control de Calidad en el área de Análisis Químico en la Gerencia de Aseguramiento y Calidad de ANDA, como parte de la pasantía de práctica profesional de trabajo de grado. Así también, es deseable que el estudiante universitario participe en el desarrollo de actividades propias de una empresa, que vayan acorde a la formación académica de la especialidad recibida. ya que permite poner en práctica los conocimientos adquiridos que servirán de base para enfrentar situaciones reales propias del campo de trabajo. Todo ello con el fin de mejorar habilidades y destrezas , para un mejor desempeño como futuros profesionales. (Rueda Rodríguez, 2014) con el fin de cumplir los objetivos planteados , se trabajó durante 6 meses, 5 días a la semana y 8 horas diarias en diferentes actividades propias de cada área del laboratorio (físicoquímico, microbiología, documentación que más adelante se describen con detalle). Al finalizar las prácticas y ya con los objetivos concluidos de forma satisfactoria se da por terminado dicho proceso en cual se evalúan los aprendizajes y beneficios obtenidos por las partes involucradas.

Objetivos

Objetivo general

- Fortalecer y potenciar las competencias profesionales del estudiante de la licenciatura en ciencias químicas en el Laboratorio de control de calidad de ANDA de la planta potabilizadora Torogoz en el municipio de San Pablo Tacachico, La Libertad, El Salvador.

Objetivos específicos

- Identificar y aplicar las metodologías y técnicas de análisis físico químico y microbiológico en muestras de agua cruda y tratada en la planta potabilizadora Torogoz, para el control de calidad en el proceso de potabilización de agua superficial.
- Validar el método analítico de Eriocromo Cianina R, para la determinación de aluminio residual en agua potable por espectrofotometría visible.
- Apoyar al equipo multidisciplinario que trabaja en el Laboratorio de Control de Calidad de la Planta Potabilizadora Torogoz.

Metodología

El proceso de potabilización de agua en la planta potabilizadora Torogoz inicia desde la captación de agua del río Lempa a través de una bocatoma, donde es enviada a unos rotofiltros que retienen partículas arriba de 0.5 mm, luego esta pasa a un tanque llamado clarificador donde es tratada con permanganato de potasio (KMnO_4 , carbón activado y sulfato de aluminio y potasio ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$). Se mezcla todo en este tanque y empiezan a formarse flóculos que son pequeñas bolas de lodo, formadas por la unión de las partículas que lograron pasar los rotofiltros, pasa a los decantadores en los que el floculo cae por su por gravedad en el fondo de la cisterna, el agua más limpia pasa por rebose a los filtros de piedra, grava y arena, al pasar por estos filtros el agua queda totalmente clara pero aun no es potable. Luego pasa a través del tanque de cloración donde son eliminadas las bacterias. Luego pasa a los equipos de bombeo y estos impulsan el agua que será distribuida a través de la red de acueductos. (ANDA, 2021)

Figura 1: Diagrama de proceso de potabilización de agua en la planta Torogoz



Las actividades desarrolladas de parte del Laboratorio de Control de Calidad en la Gerencia de Aseguramiento y Calidad Las Pavas. Constan de una serie análisis realizados por profesionales tanto analistas y técnicos para asegurar la calidad del agua potable que será enviada a la población salvadoreña. Dichos análisis están basados en el Método Estándar para el Análisis de Agua y Aguas Residuales. (Rodger Baird, 2017) el cual establece distintos parámetros fisicoquímicos y también análisis microbiológicos, algunos parámetros son medidos in situ como la temperatura, y el resto son analizados en el laboratorio, cada resultado es registrado y al final del análisis se elabora un reporte de las muestras analizadas.

El muestreo se realiza en distintos puntos claves del proceso de potabilización,(Ver Figura 1) iniciando en bocatoma es el punto donde se recolecta agua cruda del rio Lempa, el siguiente punto de muestreo es donde finaliza el proceso de filtración del agua, el tercer punto es donde se hace la desinfección del agua utilizando cloro, llamado clarificadores y el muestreo se finaliza en EB1 (Estación de Bombeo 1) es donde el agua ya es potable y es almacenada y posteriormente enviada por la red de acueductos. (ANDA, 2021)

Los parámetros evaluados en las muestras de agua tanto cruda como durante el proceso de tratamiento y el agua potable final se describen en la siguiente tabla:

Tabla 1: parámetros microbiológicos evaluados en el laboratorio de ANDA.

Análisis Microbiológicos	
Parámetro	Técnica
Bacterias coliformes totales	Tubos múltiples
Bacterias coliformes fecales o termotolerantes	Tubos múltiples
<i>Escherichia coli</i>	Placa vertida/Tubos múltiples

Tabla 2: Parámetros Físicoquímicos evaluados en el laboratorio de ANDA.

Análisis Físicoquímicos	
Parámetro	Técnica/Método
Color aparente	comparación visual
pH	método potenciométrico
cloro residual libre	método colorimétrico
solidos totales disueltos	método gravimétrico
Turbidez	método nefelométrico
Temperatura	método de laboratorio
Aluminio	método eriocromo cianina R
dureza total como (CaCO ₃)	método de volumétrico
Fluoruros	método de ion selectivo
Sulfatos	método turbidimétrico
Hierro	método de fenantrolina
Manganeso	método del persulfato
nitrate (NO ₃)	método del electrodo de nitrato
Cloruros	método argentométrico
Calcio	método volumétrico
Conductividad	método de laboratorio
Alcalinidad	método volumétrico

A continuación, se presentan las actividades realizadas en el laboratorio durante la pasantía de práctica profesional.

Figura 2: Diagrama de descripción de las actividades desarrolladas durante la pasantía



Colaboración en la toma de muestras de agua en los distintos puntos del proceso del tratamiento de agua, para su respectivo análisis.



Colaboración en la realización de los análisis físicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua tomadas durante el proceso de tratamiento de la misma.



Cumplimiento del reglamento interno y buenas prácticas de laboratorio.



Preparación de materiales y reactivos para la realización de los análisis.



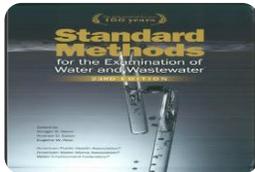
verificación y calibración interna de todos los equipos utilizados en el trabajo analítico.



Validación de un procedimiento analítico para la determinación de Aluminio residual en agua potable mediante espectrofotometría visible.



Colaboración en la limpieza y desinfección de la cristalería y áreas de trabajo del laboratorio de control de calidad.



Actualización de los procedimientos para análisis fisicoquímicos y microbiológicos del estándar método edición 23.



Traducción de la Norma NSF/ANSI 60 - Productos químicos para el tratamiento del agua potable:-efectos sobre la salud 2016.

Resultados y Discusión

Al finalizar el periodo de la pasantía de práctica profesional en el Laboratorio de Control de Calidad. El pasante ha adquirido experiencia no solo en el análisis químico sino en el trabajo grupal y cumplimiento de metas. Así también se ha desarrollado la habilidad en la calibración, manejo y limpieza de algunos equipos utilizados en el laboratorio para los análisis fisicoquímicos como el Conductivímetro, pH metro, y turbidimétrico también se reforzó la habilidad en el manejo del equipo de espectrofotometría ultravioleta visible (UV-VIS) para las mediciones de concentraciones de analitos como el Aluminio, Hierro, y manganeso. Además, se adquirió experiencia en el área de muestreo y conservación de la muestra para análisis de agua las cuales deben ser tomadas cumpliendo con ciertos requerimientos indicados en las metodologías descritas en el método estándar de análisis de agua y aguas residuales. Se reforzó la habilidad en la determinación de analitos como calcio, cloruros y los parámetros de alcalinidad y dureza, a través de métodos volumétricos, realizados en el área fisicoquímica. En el área microbiológica, se adquirió conocimiento en la preparación de medios de cultivos, en siembras o inóculos, de muestras de agua, se mejoró en la habilidad de lectura o recuentos microbianos y en la habilidad de redactar informes de resultados de análisis físico-químicos y microbiológicos, uno de los mayores logros como pasante fue adquirir experiencia en la validación de una metodología para la determinación de Aluminio residual en agua potable por espectrofotometría visible (Método de Cianina Eriocromo R) , el cual se desarrolló a lo largo de la pasantía. Dando como resultado que dicha validación cumplen con los requisitos necesarios para la aplicación analítica prevista dentro del laboratorio.

INFORME DE VALIDACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE ALUMINIO RESIDUAL EN AGUA POTABLE MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA VISIBLE (MÉTODO DE CIANINA ERIOCROMO R).

Introducción

El sulfato de aluminio y potasio $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (alumbre) se utiliza en los procesos de tratamiento de agua para hacer flocular las partículas en suspensión, pero pueden dejar un residuo de aluminio en el agua tratada, la presencia de aluminio en aguas naturales está controlada por el pH y por partículas minerales muy finamente suspendidas. El catión Al^{3+} predomina a pH menores a 4. Por encima de pH neutro, la forma predominante disuelta es $Al(OH)_4^-$. La Organización de las Naciones Unidas recomienda que, para la Agricultura y la Alimentación, las aguas de riego deben tener 5 mg /L de aluminio, ya que se ha planteado la posibilidad de un enlace entre los niveles elevados de aluminio en los tejidos cerebrales y la enfermedad de Alzheimer. (Suay Llopis, 2002). Por otro lado, la norma salvadoreña de agua del CONACYT ha recomendado un nivel de contaminación máximo de 0.2 mg/L de aluminio para el agua potable. (CONACYT, 2019).

El método colorimétrico de cianina eriocromo R, proporciona un medio para estimar el aluminio con instrumentación sencilla y de manera rápida. Al utilizar este método se deben diluir soluciones tamponadas de aluminio, a un pH de 6.0 se produce un complejo de color rojo a rosa que exhibe una máxima absorción a 535 nm. La intensidad del color desarrollado está influenciada por la concentración del aluminio, tiempo de reacción, temperatura, pH, alcalinidad y concentración de otros iones en la muestra. Para compensar el color y turbidez, el aluminio es acomplejado con EDTA en una porción de muestra para proporcionar un blanco. La interferencia de hierro y manganeso, dos elementos que se encuentran comúnmente en el agua cuando el aluminio está presente, se eliminan mediante la adición de ácido ascórbico. El rango de aluminio óptimo se encuentra entre 20 y 300 $\mu g/L$, pero se puede extender mediante la dilución de la muestra. (Rodger Baird, 2017).

Los parámetros evaluados para este método normalizado fueron: linealidad, precisión, límite de cuantificación, límite de detección, exactitud e incertidumbre con base en la guía de validación de métodos analíticos fisicoquímicos de la Organización de Acreditación Salvadoreña (OSA).

Linealidad:

El parámetro de la linealidad define la capacidad del método para obtener resultados de la prueba proporcionales a la concentración del analito y esta se evalúa como **intervalo de trabajo e intervalo lineal**. El intervalo de trabajo es el intervalo en el cual el método proporciona resultados con una incertidumbre aceptable. El intervalo lineal es la capacidad del método analítico para dar resultados que son directamente proporcionales a la concentración del analito dentro de un intervalo dado. (OSA, 2021).

Criterios de aceptación Intervalo lineal

1. Comportamiento lineal en la gráfica de concentración vs respuesta analítica.
2. Datos aleatorios en el gráfico de residuales.
3. El intervalo de confianza del intercepto debe incluir el cero, cuando se incluyan concentraciones bajas en la curva.

Criterios de aceptación Intervalo de trabajo

1. $r \geq 0.98$
2. El intervalo de confianza de la pendiente debe incluir la unidad.

precisión:

Es el grado de concordancia entre los resultados de pruebas individuales obtenido bajo condiciones establecidas. La precisión depende solo de la distribución de errores aleatorios y no se relaciona con el valor verdadero, y es medida mediante la repetibilidad, reproducibilidad y precisión intermedia.

La repetibilidad estudia la variabilidad del método, efectuando una serie de análisis sobre la misma muestra en las mismas condiciones operativas es decir (mismo método, sobre objetos de prueba idénticos, en el mismo laboratorio, por el mismo analista usando el mismo equipo y dentro de intervalos de tiempo cortos). (OSA, 2021).

Límite de detección y límite de cuantificación:

El límite de detección corresponde a una concentración mínima de un analito que se puede detectar con fiabilidad a través de un método o un instrumento, y el límite de cuantificación corresponde a una concentración mínima de un analito que puede medirse con fiabilidad dentro de los límites especificados. (Guía EURACHEM).

Exactitud:

Es la proximidad de concordancia entre el resultado de una medición y el valor de referencia aceptado. Para verificar la exactitud se utiliza un material de referencia, se determina la media y la desviación estándar de una serie de réplicas de una prueba y se compara contra el valor caracterizado del material de referencia (Guía EURACHEM).

Incertidumbre:

Es una medida cuantitativa de la calidad del resultado de medición que permite que los resultados de medida sean comparados con otros resultados, referencias, especificaciones o normas. Para la estimación de la incertidumbre se deben considerar todos los efectos reconocidos que operan en el resultado. (OSA, 2021).

Procedimiento del método

- Preparación de la curva de calibración

De la solución estándar de Aluminio (1000 mg/L) se prepara la siguiente serie de soluciones estándar, se toman los volúmenes indicados con una micropipeta y se transfiere a balones volumétricos de 25 mL.

Tabla 3: Patrones de Al preparados para la curva de calibración. En la columna a) se presentan los volúmenes tomados del estándar de Al de 1000 mg/L y en la columna b) se presentan las concentraciones obtenidas para 25 mL.

Volumen (μL) de patrón de 1000 mg/L	Concentración del estándar (mg/L)
0.0	0.00
2.5	0.10
5.0	0.20
7.5	0.30

Figura 3: Diagrama del procedimiento de análisis de los estándares para la curva de calibración

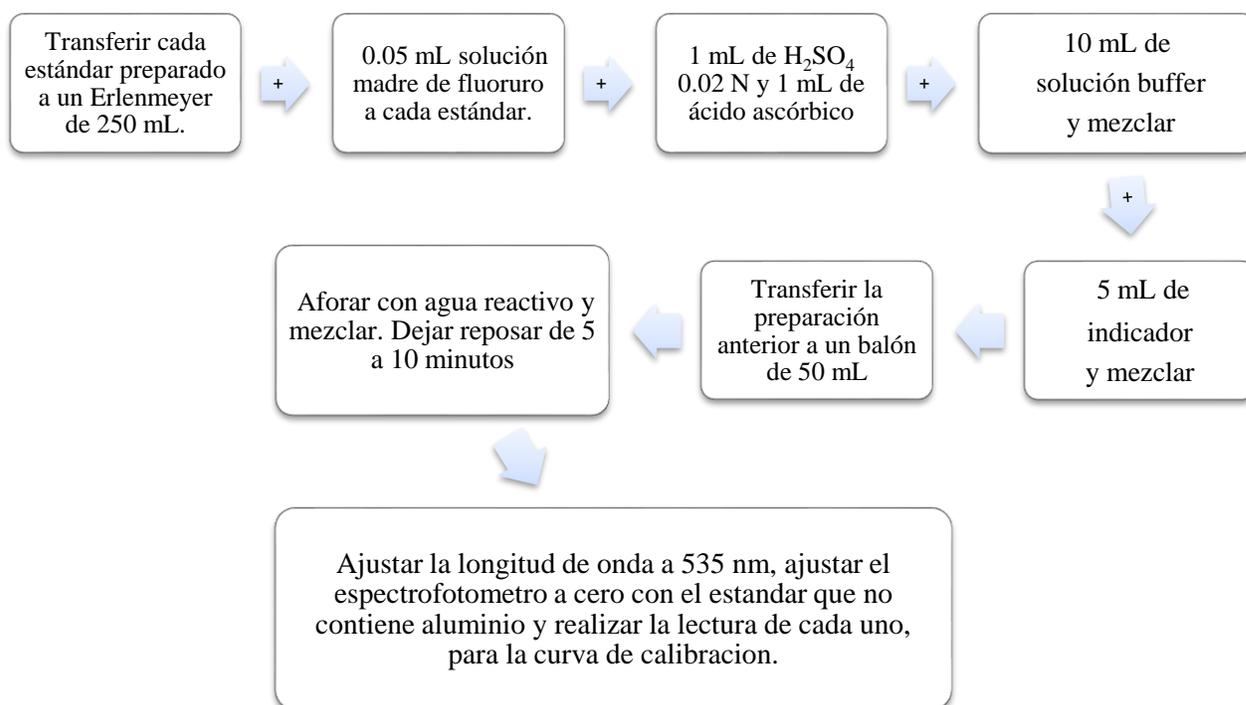
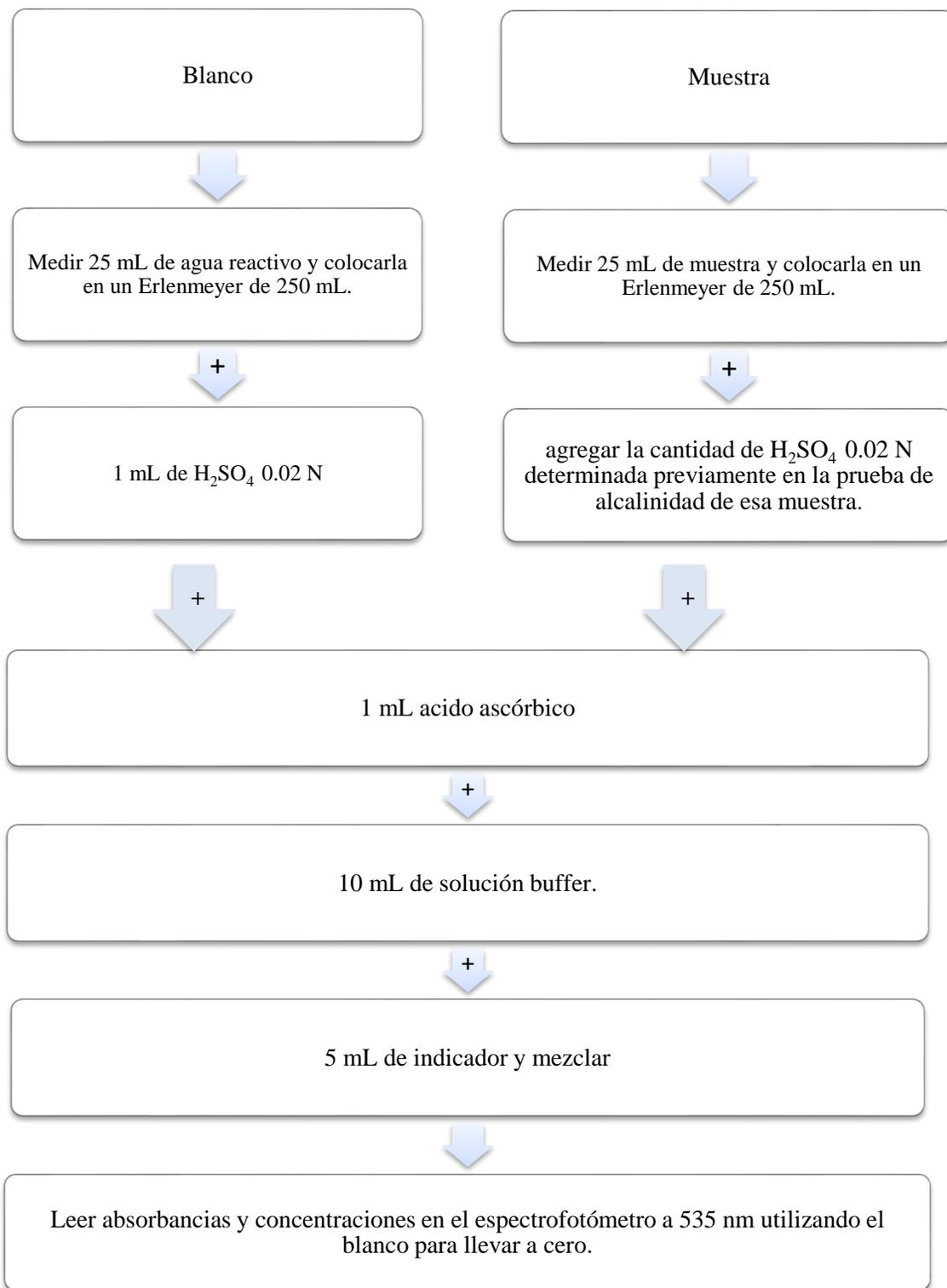


Figura 4: Diagrama del procedimiento de análisis de las muestras.



PROCEDIMIENTO DE LA VALIDACIÓN DEL MÉTODO

Analito evaluado: aluminio

Matriz ensayada: agua cruda / agua tratada

Técnica utilizada: espectrofotometría UV-VIS

Rango validado: 0.100 - 0.350 mg /L de aluminio.

Condiciones de trabajo: temperatura: 23°C; humedad relativa: 57%

• LINEALIDAD

Se prepararon 3 curvas de calibración con los valores de absorbancia de cada uno de los estándares de 0.100, 0.150, 0.200, 0.250, 0.300, 0.350 [mg/L de Al³⁺].

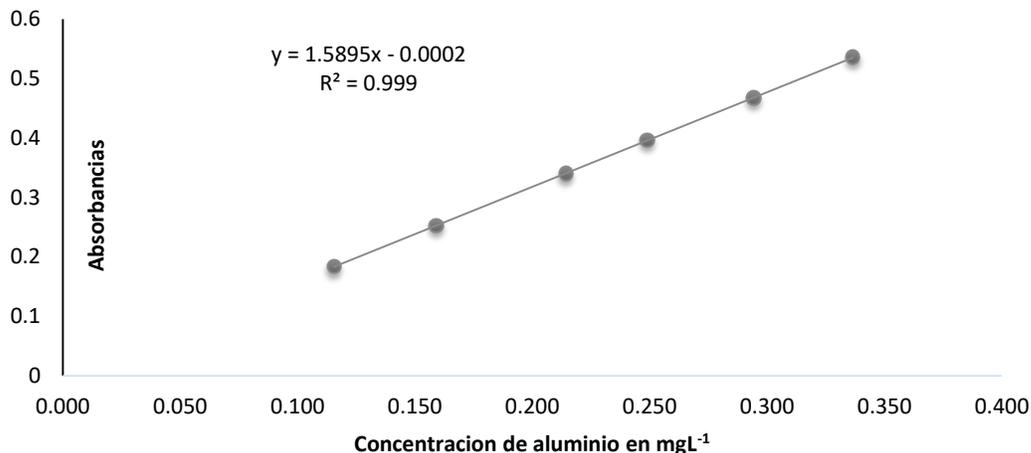
Se graficó el promedio de las curvas de regresión lineal y se determinó la pendiente, intercepto, coeficiente de correlación, coeficiente de determinación, intervalo de confianza de la pendiente, intervalo de confianza del intercepto y se realizó un gráfico de residuales.

Resultados obtenidos:

Tabla 4: Absorbancias y concentraciones provenientes de las distintas mediciones para las curvas de calibración.

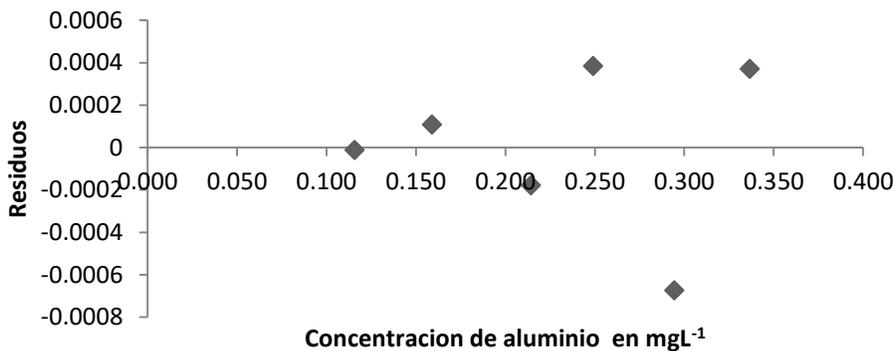
Fecha de análisis	(03/06/2021)		(04/06/2021)		(04/06/2021)		Prom. [Al mgL ⁻¹]	Prom. Abs
	Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 3				
Con. teórica	[Al mgL ⁻¹]	Abs	[Al mgL ⁻¹]	Abs	[Al mgL ⁻¹]	Abs		
0.100	0.114	0.185	0.121	0.190	0.112	0.176	0.116	0.184
0.150	0.155	0.251	0.166	0.261	0.156	0.246	0.159	0.253
0.200	0.210	0.340	0.217	0.342	0.216	0.339	0.214	0.340
0.250	0.242	0.392	0.249	0.393	0.256	0.403	0.249	0.396
0.300	0.292	0.471	0.293	0.461	0.298	0.469	0.294	0.467
0.350	0.349	0.565	0.330	0.520	0.331	0.521	0.337	0.535

Figura 5: Curva de calibración, aplicando regresión Lineal



El Comportamiento lineal en la gráfica de concentración de Aluminio vs respuesta analítica (Absorbancias). confirman la capacidad del método analítico para dar resultados que son directamente proporcionales a la concentración del Aluminio dentro del intervalo establecido.

Figura 6: Gráfico de residuales



La distribución aleatoria de residuales en torno a cero confirma que el intervalo establecido es lineal.

Tabla 5: Resumen de cálculos para la evaluación de linealidad.

Resumen de cálculos para la evaluación de linealidad	
Coeficiente de Correlación (r)	0.9999
Coeficiente de Determinación (r ²)	0.9999
Desviación Estándar	0.0004
Pendiente	1.5895
Intercepto	-0.0002
Intervalo de confianza para la pendiente (95%)	1.583-1.596
Intervalo de confianza para el intercepto(95%)	De -0.002 hasta 0.001

El análisis de regresión lineal para el promedio de los ensayos realizados indicaron que el método cumple con los supuestos de aplicación, el coeficiente de determinación (r²) es del orden de 0.9999, lo que indica que el 99.9% de la variación de la variable dependiente (absorbancia del analito) se explica por la variable independiente concentración (mgAl³⁺/L), en el gráfico de los residuales, (al graficar el valor residual versus la concentración) se encontró que no refleja tendencia alguna, y se distribuye aleatoriamente. El intervalo de confianza para la pendiente y el intercepto cumplen con los criterios de aceptación. Por lo tanto, se concluyó que los resultados obtenidos indican que el modelo ajustado es capaz de explicar la respuesta (Absorbancia) a partir de la variable concentración, demostrando así que, en el intervalo de concentración comprendido entre 0.100 a 0.300 [mg/L] de aluminio se satisfacen las condiciones de linealidad del método analítico.

- **PRECISIÓN**

La precisión se evaluó como Repetibilidad, cubriendo el intervalo lineal (0.100 mg/L – 0.300 mg/L).

Repetibilidad:

Se evaluó haciendo 7 mediciones sobre 7 soluciones estándar a concentraciones de (0.100, 0.200, 0.300) mg/L Al³⁺, y 7 mediciones sobre una muestra de agua cruda y agua tratada, a las cuales se les aplicó el procedimiento analítico bajo las mismas condiciones operativas (analista, equipo, reactivos y día).

Tabla 6: Resultados y cálculos de repetibilidad.

Fecha de análisis: (09/06/21)					
	(09/06/21)	(10/06/21)	(15/06/21)	(21/06/21)	
N°	0.100 mg/L	0.200 mg/L	0.300 mg/L	Agua cruda	Agua tratada
1	0.125	0.232	0.305	0.135	0.094
2	0.137	0.224	0.311	0.13	0.087
3	0.129	0.225	0.315	0.142	0.089
4	0.135	0.221	0.327	0.145	0.080
5	0.129	0.223	0.333	0.139	0.089
6	0.137	0.225	0.331	0.130	0.080
7	0.148	0.230	0.317	0.121	0.078
Promedio	0.134	0.226	0.320	0.135	0.085
S	0.007	0.004	0.011	0.008	0.006
% CV	5.224	1.769	3.437	5.926	7.059

Los resultados obtenidos para la Repetibilidad demuestran que el método cumple con el criterio establecido $CV < 10\%$ en todos los casos; nivel bajo, nivel medio y nivel alto (0.100 mg/L, 0.200 mg/L y 0.300 mg/L), por lo que se concluye que el método es preciso.

- **LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN Y LÍMITE DE DETECCIÓN**

Se prepararon 10 blancos de la muestra y se registró su lectura, posteriormente se calculó el promedio y la desviación estándar.

Se calculó el límite de detección a través de la siguiente fórmula: $LD = \bar{X} + 3s$ Ec.1

Se calcula el límite de cuantificación a través de la siguiente formula: $LC = \bar{X} + 10s$ Ec.2

Donde:

\bar{X} es el valor promedio de la señal de blancos

S es la desviación estándar

Tabla 7: Resultados y Cálculos obtenidos para LD Y LC

Blancos	Concentración mg/L
1	0.006
2	0.001
3	0.003
4	0.007
5	0.000
6	0.001
7	0.001
8	0.000
9	0.000
10	0.004
promedio	0.002
S	0.003
LC	0.028
LD	0.010

La concentración más baja del analito que puede ser detectada por el método es 0.010 mg/L

La concentración más baja del analito que puede ser cuantitativamente determinada por el método es 0.028 mg/L.

- **EXACTITUD**

La exactitud fue evaluada como porcentaje de recuperación (%R) en función del dopaje de muestras.

Porcentaje de Recuperación

El porcentaje de recuperación (%R) se evaluó en las muestras de agua cruda y agua tratada, con adiconados seleccionados según el intervalo de trabajo, los cuales fueron 0.1 mg/L Al³⁺, 0.20 mg/L Al³⁺ y 0.30 mg/L Al³⁺, se hicieron 3 determinaciones para nivel bajo y alto y 6 determinaciones para nivel medio.

El porcentaje de recuperación se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Recuperación} = \frac{C_1 - C_2}{C_3} \times 100 \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

C1= concentración de la muestra más el patrón añadido

C2= concentración inicial de la muestra

C3= Concentración del patrón añadido (0.100,0.200 y 0.300) mg/L

Tabla 8: Resultados y cálculos de porcentaje de recuperación para agua cruda.

Fecha de análisis 21/06/2021 - 28/06/2021

N°	C ₂ mg/L	C ₃ 0.100	C ₃ 0.200	C ₃ 0.300	C ₁ 0.100	C ₁ 0.200	C ₁ 0.300
1	0.013	0.081	0.188	0.293	0.123	0.208	0.316
2	0.008	0.102	0.187	0.295	0.102	0.209	0.303
3	0.019	0.1	0.185	0.297	0.114	0.208	0.344
4	0.025		0.215			0.221	
5	0.032		0.21			0.227	
6	0.028		0.208			0.225	
Promedio	0.021	0.094	0.199	0.295	0.113	0.216	0.321
Recuperación %					97.703	98.324	101.751

Por ejemplo:

Para el cálculo de porcentaje de recuperación del nivel medio, se utilizaron los promedios de las mediciones de absorbancias de las muestras de agua cruda (C₂), el promedio de las mediciones de absorbancia de la muestra fortificada a una concentración de 0.200 mg/L. (C₁) y el promedio de las mediciones de las absorbancias de la solución estándar de Al³⁺ (0.200) mg/L. (C₃)

$$\% R = \frac{0.2163 - 0.0208}{0.1988} \times 100 = 98.324$$

El porcentaje de recuperación del nivel bajo, nivel medio y el nivel alto (97.7%, 98.3% y 101.7%) respectivamente, están dentro del intervalo de aceptación de AOAC entre el 80-110%.

Un porcentaje de recuperación superior a 110%, puede indicar interferencia de matriz y un porcentaje de recuperación menor a 80% representa pérdidas del analito.

Tabla 9: Resultados de porcentaje de recuperación para agua cruda.

Porcentaje de recuperación (%R)		Promedio de concentración en mg/L Al ³⁺	
Nivel bajo	97.70%	Nivel bajo	0.113
Nivel medio	98.324%	Nivel medio	0.216
Nivel alto	101.751%	Nivel alto	0.321
promedio	99.259%		

Tabla 10: Resultados y cálculos de porcentaje de recuperación para agua tratada.

Fecha de análisis 15/06/2021 - 22/06/2021

N°	C ₂ mg/L	C ₃ 0.100	C ₃ 0.200	C ₃ 0.300	C ₁ 0.100	C ₁ 0.200	C ₁ 0.300
1	0.038	0.147	0.235	0.323	0.165	0.296	0.325
2	0.025	0.111	0.197	0.304	0.137	0.236	0.312
3	0.034	0.074	0.207	0.277	0.099	0.245	0.306
4	0.035		0.207			0.252	
5	0.034		0.203			0.213	
6	0.007		0.204			0.221	
Promedio	0.029	0.111	0.208	0.301	0.133	0.243	0.314
Recuperación %					94.729	102.952	94.746

Por ejemplo:

Para el cálculo de porcentaje de recuperación del nivel bajo, se utilizaron los promedios de las mediciones de absorbancias de las muestras de agua cruda (C₂), el promedio de las mediciones de absorbancia de la muestra fortificada a una concentración de 0.100 mg/L. (C₁) y el promedio de las mediciones de las absorbancias de la solución estándar de Al³⁺ (0.100) mg/L. (C₃)

$$\% R = \frac{0.133 - 0.029}{0.1106} \times 100 = 94.729$$

Los resultados de acuerdo al porcentaje de recuperación, se encuentran dentro del intervalo de aceptación de AOAC entre el 80- 110 % en el nivel bajo, medio y en el nivel alto, (94.729 %, 102.952% y 94.746 % respectivamente).

Tabla 11: Resultados de porcentaje de recuperación para agua tratada.

Porcentaje de recuperación (%R)		Promedio de concentración en mg/L Al ³⁺	
Nivel bajo	94.729%	Nivel bajo	0.133
Nivel medio	102.953%	Nivel medio	0.243
Nivel alto	94.746%	Nivel alto	0.314
promedio	97.743%		

Criterios de aceptación

$$t_{\text{experimental}} < t_{\text{crítico}}$$

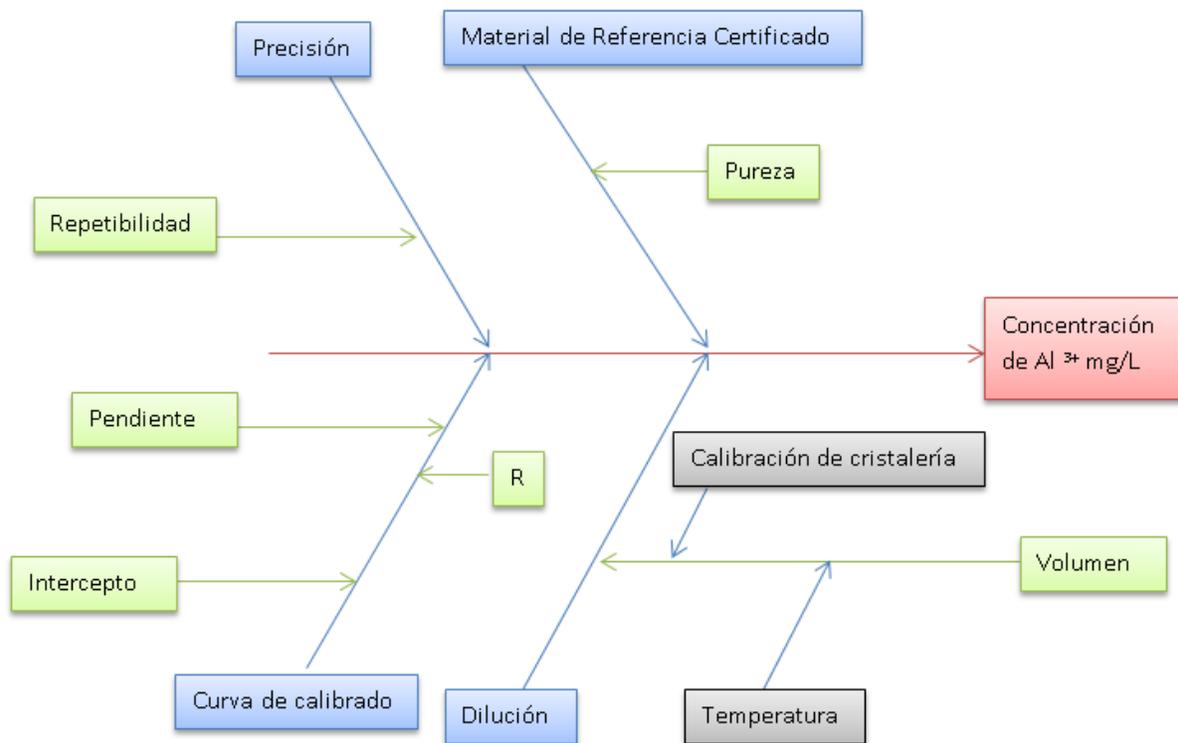
Se acepta la Ho planteada.

Conclusión: No existe diferencia significativa entre el valor promedio de R% obtenidos para las diferentes mediciones de agua cruda y agua tratada y el valor teórico de R% = 100%. El procedimiento de análisis se considera que tiene una exactitud aceptable.

- **INCERTIDUMBRE**

Para la determinación de este parámetro se establecieron las fuentes de incertidumbre durante todo el proceso teniendo en cuenta un diagrama de causa- efecto y las respectivas fórmulas. (Hector Navas, 2008)

figura 7: Diagrama de causa y efecto, fuentes de incertidumbre.



Se realizaron los cálculos de la incertidumbre del Método Ericromo Cianina R para el análisis de Aluminio residual por la técnica de espectrofotometría UV-VIS, para las soluciones estándar de 0.100, 0.200 y 0.300 mg/L Al³⁺ preparadas en el laboratorio, se tuvieron en cuenta a nivel general las siguientes variables:

- Incertidumbre debida a la preparación de estándares
- Incertidumbre debida a la repetibilidad
- Incertidumbre estándar de la concentración de masa de aluminio mediante la respuesta del instrumento
- Incertidumbre debida al material de referencia certificado.

Los cálculos para la incertidumbre se realizaron con la siguiente fórmula

$$Uc = \sqrt{(uyA)^2 + (umrc)^2 + (urfd)^2 + (Urep)^2} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

Incertidumbre del mensurado obtenida por el instrumento calibrado:

$$uyA = \frac{s}{b1} \sqrt{\frac{1}{\rho} + \frac{1}{n} + \frac{(YA-PMR)^2}{sxx}} \quad \text{Ec.5}$$

Incertidumbre por el estándar de Aluminio_: $umrc = \frac{uexp}{k}$ Ec.6

Incertidumbre por los factores de dilución: $Urfd = \sqrt{(urdf100)^2 + (urdf100)^2 + (urdf2)^2}$ Ec. 7

Incertidumbre por repetición : $Urep = \frac{s}{\sqrt{n}}$ Ec.8

La expresión de los resultados queda de la siguiente manera:

Tabla 12: Expresión de concentraciones de aluminio y su respectiva incertidumbre

Rango de concentraciones de Al³⁺ (mg/L)	Incertidumbre
0.028-0.100	± 0.020
0.100-0.200	± 0.016
0.200-0.300	± 0.015

Conclusiones

- Se concluye que una pasantía de práctica profesional es de gran provecho para el estudiante ya que representa experiencia, destreza y habilidades adquiridas durante su periodo de prácticas profesionales, ya que todo esto mejora su hoja de vida y le facilita la inserción al ámbito laboral.
- De acuerdo a los resultados la validación del Método de Cianina Eriocromo R para la determinación Aluminio residual en agua potable por espectrofotometría visible se concluyó que cumple satisfactoriamente las características aceptables de desempeño para la determinación de aluminio y que cumplen con los requisitos necesarios para la aplicación analítica prevista dentro del laboratorio.
- Cada actividad que se realizó dentro del laboratorio como la toma de muestras correctamente, identificación de los parámetros que deben analizarse en aguas superficiales para el control de calidad durante la potabilización de la misma y los límites permisibles por las entidades regulatorias de dichos parámetros, también la aplicación de las metodologías y técnicas de análisis fisicoquímicos y microbiológicos han mejorado y potenciado habilidades y destrezas adquiridas durante la formación profesional. Además, se mejoró en cuanto al manejo de equipos e instrumentos de laboratorio (en su limpieza, mantenimiento, calibración y uso), cumpliendo así con los objetivos planteados inicialmente.

Recomendaciones

Para futuros pasantes

- Realizar pasantías de prácticas profesionales como trabajo de para optar al título, ya que es una muy buena opción para adquirir experiencia laboral en un tiempo relativamente corto.
- Investigar y prepararse antes de llegar a la institución a realizar las prácticas profesionales eso incluye ¿qué tipo de laboratorio es?, ¿qué análisis realizan?, acreditaciones del laboratorio u otros que se consideren necesarios, para acoplarse fácilmente al laboratorio, mientras se realiza la pasantía de práctica profesional seguir con dicha actualización o estudio según el área que le hayan asignado.
- Trabajar 8 horas al día y en días consecutivos podría ser beneficioso para el pasante porque así podría evitar interrumpir análisis químicos o experimentos químicos que se le hayan delegado.

Para la Universidad de El Salvador

- Revisión de los parámetros y requisitos establecidos para inscribir, realizar y aprobar la pasantía de práctica profesional por parte de las autoridades competentes de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, de modo que el proceso sea agilizado en beneficio de estudiante.
- Brindar un seguimiento/acompañamiento al pasante desde su inicio, durante todo el proceso de las practicas hasta su finalización independientemente de cualquier institución en la que el estudiante realice su pasantía de práctica profesional.

Para la planta potabilizadora Torogoz

- Seguir brindando la oportunidad a estudiantes para realizar pasantías de práctica profesional o de investigación u horas sociales en el laboratorio de control de calidad de la planta o en cualquier área.
- Asignar un tutor al estudiante, para que lo forme y lo acompañe durante todo el proceso que dure la pasantía en cualquier área en la que se trabaje.
- Actualizar todos los procedimientos de análisis en el área de microbiología que están establecidos en la edición más reciente del estándar método para análisis de agua y agua residuales.
- Establecer un sistema adecuado de limpieza y desinfección de los recipientes con los cuales se toman y almacenan las muestras de agua hasta llegar al laboratorio donde son analizadas.
- Mantener la temperatura adecuada en las áreas de trabajo establecidas para un laboratorio de control de calidad.

Referencias bibliográficas

- (ANDA, 2021). Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados ANDA (10 de junio 2021). Obtenido de www.anda.gob.sv.
- (CONACYT, 2019). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT (2019) Norma Salvadoreña de agua. agua potable NSO 13.02.01:14
- (Guía EURACHEM). La adecuación al uso de los métodos analíticos, EURACHEM, 2da Edición Inglesa, 1Era edición española, Eurolab España, 2016.
- (Héctor Navas, 2008). Hector Navas, M. L. (2008). Centro Nacional de Metrología CENAM. Obtenido de Guia tecnica sobre trazabilidad e incertidumbre en las mediciones analiticas que emplea la tecnica de Espectrofotometria de Ultravioleta-Visible: www.cenam.mx.
- (OSA, 2021) Organismo Salvadoreño de Acreditación (OSA), Sistema de Gestión de Calidad (G 9.6). validación de métodos analíticos fisicoquímicos. Obtenido de www.osa.gob.sv
- (Rodger Baird, 2017) Rodger Baird, A. E. (2017). Método Eriocromo Cianina R (SECCION 3500B -(Al)). En *Standar Methods for the examinations of water and wastewater*. Whashington: Join Editorial Board. Obtenido de www.standardmethods.org.
- (Rueda Rodríguez, 2014). Rueda Rodríguez, A. E. (2014). Las Prácticas profesionales y las pasantías desde la legislación comparada. *Revista latinoamericana de derecho social*. (19).111-132.
- (Suay Llopis, 2002). Suay Llopis, Loreto y Ballester Díez, Ferrán. (2002). Revisión de estudios sobre exposición al aluminio y enfermedad de Alzheimer. *Revista Española de Salud Pública*, 76 (6), 645-658.

ANEXOS

Cálculos de porcentaje de recuperación para agua cruda y tratada.

EXACTITUD POR RECUPERACION EN MUESTRAS DE AGUA CRUDA

Analista: Gricelda Menjivar

fecha de analisis: 21-28 de junio del 2021

%PORCENTAJE DE RECUPERACION=(C1-C2/C3)*100

	Recuperación (%) = (C1-C2)/C3*100%
nivel bajo	97.70%
nivel medio	98.324%
nivel alto	101.751%
Promedio	99.259%
<i>Desviación Estándar</i>	2.180%
<i>n</i>	3
<i>CV%</i>	2.197%
<i>Valor aceptado como verdadero</i>	100.000%
<i>Nivel de Confianza</i>	95.000%
t crítico	4.303
t experimental	0.584
<i>Decisión</i>	<i>Cumple criterio de aceptacion</i>

EXACTITUD POR RECUPERACION EN MUESTRAS EN AGUA TRATADA

Analista: Gricelda Menjivar

Fecha de Análisis: 15-22 de junio del 2021

% de Recuperación= (C1-C2/C3)*100

	Recuperación (%) = (C1-C2)/C3*100%
nivel bajo	94.729%
nivel medio	102.953%
nivel alto	94.746%
Promedio	97.476%
<i>Desviación Estándar</i>	4.743%
<i>n</i>	3
<i>CV%</i>	4.866%
<i>Valor aceptado como verdadero</i>	100.000%
<i>Nivel de Confianza</i>	95.000%
t crítico	4.303
t experimental	0.898
<i>Decisión</i>	<i>Cumple criterio de aceptacion</i>

Cálculo de incertidumbre en el nivel bajo

Incertidumbre del mensurando (Al) obtenida por el instrumento calibrado

$$1. \quad u_{yA} = \frac{s}{b_1} \sqrt{\frac{1}{\rho} + \frac{1}{n} + \frac{(\gamma_A - PMR)^2}{sxx}}$$
$$u_{yA} = \frac{0.00040}{1.589424341} \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{21} + \frac{(0.1 - 0.1955)^2}{1.1839032739}}$$
$$u_{yA} = 0.00009781$$

Dónde: u_{yA} = incertidumbre del mensurando (Al) obtenida por el instrumento calibrado.

S = desviación estándar residual del cálculo de regresión lineal.

b_1 = pendiente calculada.

ρ = número de réplicas de la muestra en estudio.

n = número de disoluciones (i) empleados en la curva de calibración multiplicado por el número de réplicas (j) de cada disolución (total de datos) (i*j).

γ_A = La concentración en estudio

PMR = promedio de las concentraciones de masa de las disoluciones empleadas en la curva de calibración.

Sxx = Suma de cuadrados de los residuales de las concentraciones obtenidas.

Incertidumbre de Estándar de Aluminio

$$umrc = \frac{uexp}{k}$$
$$umrc = \frac{0.005}{2} = 0.0025$$

Dónde:

umrc= incertidumbre estándar de Aluminio

uexp = incertidumbre expandida reportada en el certificado

k= Factor de cobertura 2

Incertidumbre por dilución

Dilución 1

Factor de dilución

$$Fdn = \frac{vf}{vi}$$

$$Fdn = \frac{100}{1} = 100$$

Dónde Fdn = factor de dilución

V_f = volumen final de aforo

V_i = volumen inicial de alícuota

Incertidumbre de pipeta de 1 mL

Variabilidad en la medición de volumen

$$Uv = \frac{s}{n}$$

s = Desviación estándar de las pesadas del volumen transferido.

n = Número de mediciones.

$$Uv = \frac{0.02804}{10} = 0.002804$$

Variación de la temperatura con respecto a la temperatura de calibración del material volumétrico.

$$u\alpha = \frac{[(T - T_{20})\alpha * V]}{\sqrt{3}}$$

Dónde:

T: Temperatura del agua °C al momento de la medición

T20 : 20 °C temperatura de referencia

α : Coeficiente de expansión del volumen del agua °C⁻¹.

V : Volumen de la pipeta

$$u\alpha = \frac{[(23^{\circ}\text{C}-20^{\circ}\text{C})207*10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}*1\text{mL}]}{\sqrt{3}} = 3.585 * 10^{-4} \text{ mL}$$

Tolerancia del material volumétrico

$$u_{\text{tol}} = \frac{uv}{k}$$

Dónde:

uv = incertidumbre del material calibrado.

k = factor de cobertura

$$u_{\text{tol}} = \frac{uv}{k}$$

$$u_{\text{tol}} = \frac{0.0281}{2} = 0.01405$$

Incertidumbre relativa

$$\frac{u_{\text{vn}}}{v_n} = \sqrt{\left(\frac{u_r}{m_m}\right)^2 + \left(\frac{u_a}{v_n}\right)^2 + \left(\frac{u_{\text{tol}}}{v_n}\right)^2}$$

Dónde:

u_{Vn} = Incertidumbre del volumen 1

V_n = Volumen 1

u_r = Incertidumbre de la repetibilidad de las pesadas

m_m = Promedio de las pesadas

u_a = incertidumbre de variación de T

u_{tol} = Incertidumbre debida a la especificación del material.

V_n Volumen nominal del material.

$$ur\ 1\ mL = \sqrt{\left(\frac{0.002804}{1.11168}\right)^2 + \left(\frac{3.585 * 10^{-4}}{1}\right)^2 + \left(\frac{0.01405l}{1}\right)^2} = 0.01428$$

Incertidumbre de balón de 100 mL

$$U_V = \frac{0.0976}{10} = 9.76 * 10^{-3}$$

$$u_\alpha = \frac{[(21^\circ C - 20^\circ C) 207 * 10^{-6} \text{ } ^\circ C^{-1} * 100 mL]}{\sqrt{3}} = 0.01195\ mL$$

$$u_{tol} = \frac{0.8}{2} = 0.4$$

$$ur\ 100\ mL = \sqrt{\left(\frac{9.76 * 10^{-3}}{99.1824}\right)^2 + \left(\frac{0.01195}{100}\right)^2 + \left(\frac{0.4}{100}\right)^2} = 0.0040029$$

Incertidumbre del factor de dilución 100

$$U_{d100} = \sqrt{(0.01428)^2 + (0.0040029)^2} = 0.0148$$

Incertidumbre estándar relativa

$$ur_{fd100} = \sqrt{\left(\frac{0.0148}{100}\right)^2} = 1.48 * 10^{-4}$$

Dilución 2

Factor de dilución

$$Fdn = \frac{25}{0.25} = 100$$

Incertidumbre de balón de 25 mL

$$U_V = \frac{24.882}{10} = 4.067 * 10^{-3}$$

$$u\alpha = \frac{[(21^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) 207 * 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1} * 25 \text{ mL}]}{\sqrt{3}} = 0.002987 \text{ mL}$$

$$u_{\text{tol}} = \frac{0.0408}{2} = 0.0204$$

$$ur_{25 \text{ mL}} = \sqrt{\left(\frac{4.067 * 10^{-3}}{99.1824}\right)^2 + \left(\frac{0.002987}{25}\right)^2 + \left(\frac{0.0204}{25}\right)^2} = 0.00022$$

Incertidumbre de micropipeta de 100 a 1000 μL

$$U_{\text{expandida}} = 0.37$$

$$\text{Factor de cobertura } K=2$$

$$u = \frac{0.37}{2} = 0.185 \mu\text{L} \quad (0.000185 \text{ mL})$$

Incertidumbre del factor de dilución

$$U_{d100} = \sqrt{(0.00022)^2 + (0.000185)^2} = 2.874 \times 10^{-4}$$

Incertidumbre estándar relativa

$$ur_{fd100} = \sqrt{\left(\frac{2.874 \times 10^{-4}}{100}\right)^2} = 2.874 \times 10^{-6}$$

Dilución 3

Factor de dilución

$$Fdn = \frac{50}{25} = 2$$

Incertidumbre de balón de 50 mL

$$Uv = \frac{0.0255}{10} = 0.00255$$

$$u\alpha = \frac{[(21^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C})207 * 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} * 50\text{mL}]}{\sqrt{3}} = 0.00597$$

$$utol = \frac{0.0256}{2} = 0.0128$$

$$ur\ 50\ \text{mL} = \sqrt{\left(\frac{0.00255}{49.8088}\right)^2 + \left(\frac{0.00597}{10}\right)^2 + \left(\frac{0.0128}{10}\right)^2} = 0.02446$$

Incertidumbre de balón de 25 mL

$$0.00022$$

Incertidumbre del factor de dilución 2

$$Ud2 = \sqrt{(0.02446)^2 + (0.00022)^2} = 0.02446$$

Incertidumbre estándar relativa

$$urfd2 = \sqrt{\left(\frac{0.02446}{2}\right)^2} = 0.01223$$

Incertidumbre por los factores de dilución

$$U_{rfd} = \sqrt{(\text{urdf100})^2 + (\text{urdf100})^2 + (\text{urdf2})^2}$$

$$U_{rfd} = \sqrt{(0.0148)^2 + (2.874 \times 10^{-4})^2 + (0.01223)^2} = 0.0192$$

Incertidumbre por repetición

$$U_{rep} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Donde s = desviación estándar de las medidas

N= número de repeticiones

$$U_{rep} = \frac{0.007587584}{\sqrt{7}} = 0.00286$$

Incertidumbre combinada

$$U_c = \sqrt{(\text{uyA})^2 + (\text{umrc})^2 + (\text{urfd})^2 + (U_{rep})^2}$$

$$U_c = \sqrt{(0.00009781)^2 + (0.0025)^2 + (0.0192)^2 + (0.00286)^2} = 0.01957$$

Calculo de incertidumbre en el nivel medio

Incertidumbre del mensurando (Al) obtenida por el instrumento calibrado

$$u_{yA} = \frac{0.00040}{1.589424341} \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{21} + \frac{(0.20 - 0.1955)^2}{1.1839032739}}$$

$$u_{yA} = 0.0001553$$

Incertidumbre por repetición

$$U_{rep} = \frac{0.0039036}{\sqrt{7}} = 0.001475$$

Incertidumbre de Estándar de Aluminio

$$u_{mrc} = 0.0025$$

Incertidumbre por dilución

$$U_{frd} = 0.0122$$

Incertidumbre combinada

$$U_c = \sqrt{(0.0001553)^2 + (0.0025)^2 + (0.0122)^2 + (0.001475)^2} = 0.01254$$

Calculo de incertidumbre en el nivel alto

Incertidumbre del mensurando (Al) obtenida por el instrumento calibrado

$$u_{yA} = \frac{0.00040}{1.589424341} \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{21} + \frac{(0.30 - 0.1955)^2}{1.1839032739}}$$

$$u_{yA} = 0.000157$$

Incertidumbre de Estándar de Aluminio

$$u_{mrc} = 0.0025$$

Incertidumbre por dilución

$$U_{frd} = 0.0122$$

Incertidumbre por repetición

$$U_{rep} = \frac{0.010636863}{\sqrt{7}} = 0.00402$$

Incertidumbre combinada

$$U_c = \sqrt{(0.000157)^2 + (0.0025)^2 + (0.0122)^2 + (0.00402)^2} = 0.01308$$