



UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN

DEL TÍTULO DE:

MAGISTER EN QUÍMICA APLICADA

TEMA:

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA EL CONSUMO HUMANO EN
EL ÁREA URBANA “VOLUNTAD DE DIOS” EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL
DURANTE EL 2022**

TUTOR:

ING. MANUEL FIALLOS. MSC.

AUTOR:

HURTADO FERNÁNDEZ JOSÉ ALFONSO

Milagro, Junio del 2022

Ecuador

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Por la presente hago constar que he analizado el proyecto de grado presentado por el Sr. José Alfonso Hurtado Fernández, para optar al título de Magister en Química Aplicada y que acepto tutorar al estudiante durante la etapa del desarrollo del trabajo hasta su presentación, evaluación y sustentación. Milagro, a los 7 días del mes de febrero del 2022



Firmado electrónicamente por:
**MANUEL ALEJANDRO
FIALLOS CARDENAS**

Ing. Manuel Fiallos. Msc.

0919525337

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El autor de esta investigación declara ante el Comité Académico del Programa de maestría en Química Aplicada de la Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado es de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona, salvo el que está referenciado debidamente en el texto, parte del presente documento o en su totalidad no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro título de una institución nacional o extranjera.

Miagro, 23 de junio Del 2022

Q.F. José Hurtado F.

C.I.:1206081877

CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN QUÍMICA APLICADA**, otorga al presente proyecto investigación en las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACION	56.67
DEFENSA ORAL	40.00
PROMEDIO	96.67
EQUIVALENTE	Excelente



Firmado digitalmente por:
MONICA DEL
ROCIO VILLAMAR
AVEIGA

Msc VILLAMAR AVEIGA MONICA DEL ROCIO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firmado digitalmente por:
MANUEL ALEJANDRO
FIALLOS CARDENAS

Mgr. FIALLOS CARDENAS MANUEL ALEJANDRO
DIRECTOR/A DE TFM



Firmado digitalmente por:
JUAN DIEGO
VALENZUELA
COBOS

Phd. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Dedico de manera especial a mis padres pues ellos fueron los principales cimientos para la construcción de mi vida profesional, sentaron en mi la base de responsabilidad y deseos de superación en ellos tengo el espejo en el cual me quiero reflejar, pues sus virtudes infinitas y sus grandes corazones me llevan admirarlos cada día más.

José Hurtado F.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme cumplir una meta más a nivel profesional, a todos/ cada uno de mi familia que me brindaron sus aportes individuales que me ayudaron a crecer y seguir adelante y quedaran grabados en mi corazón.

Agradezco en especial a mi hijo es mi motivo fundamental y motor que me impulsa a seguir y crecer cada día más como profesional.

De manera infinita agradezco a todas las personas que aportaron de una u otra manera para cumplir esta meta. Gracias a los docentes de la carrera por impartir sus conocimientos y en especial a mi tutor por su acompañamiento en el proceso de la tesis.

José Hurtado F.

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Doctor.

Ingeniero.

Fabricio Guevara Viejó, PhD.

RECTOR

Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor del trabajo realizado como requisito previo para la obtención de mi título de cuarto nivel cuyo tema fue EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA EL CONSUMO HUMANO EN EL ÁREA URBANA “VOLUNTAD DE DIOS” EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL DURANTE EL 2022, y que corresponde a la dirección de investigación y postgrado.

Milagro, 23 de Junio del 2022

Q.F. José Hurtado F.

C.I.:1206081877

Índice general

ACEPTACIÓN DEL TUTOR	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	vii
Índice general.....	viii
Índice de cuadros	x
Índice de figuras.....	xi
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
Capítulo I	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. General	3
1.3.2. Objetivo Específico.....	4
Justificación	4
Capitulo II.....	5
2.1. Marco teórico	5
2.1.1. El agua	5
2.1.2. Procedimientos de cadena de custodia.....	6
2.1.3. Ficha de solicitud para el análisis de muestras.....	7
2.1.4. Entrega de muestra al laboratorio	7
2.1.5. Recepción de la muestra	8
2.1.6. Asignación de la muestra para el análisis	8
2.1.7. Problemas de contaminación del agua	9
2.1.8. Microorganismos etiológicos en el agua.....	11
2.2.1. Plomo	12
2.2.1.1. Uso del Plomo.....	14
2.2.1.2. Fuente de Exposición del Plomo.....	14
2.2.1.3. Efectos del plomo en la salud Humana	15
2.2.1.3. Toxicocinética del Plomo.....	15

2.3.1. Hierro	17
2.3.2. Efectos del Hierro en la Salud.....	17
2.3.3. Funciones bioquímicas y fisiológicas	18
2.3.4. Absorción de hierro.....	19
2.3.5. Distribución de hierro en el organismo.....	20
2.3.5. Metabolismo celular del hierro	23
2.3.6. Funciones bioquímicas y fisiológicas	24
2.4. Microorganismos en el agua	25
2.4.1 Generalidades.....	25
2.4.1 Microorganismos recomendados como indicadores de la calidad del agua potable	27
2.4.2 Bacterias.....	27
2.4.2.1 Coliformes totales	27
2.4.2.2 Coliformes fecales o termotolerantes.....	28
2.4.2.3 Escherichia coli	28
2.4.2.4 Microorganismos heterótrofos	29
2.4.2.5 Clostridium perfringens	30
2.4.3.1 Virus.....	30
2.4.4. Parásitos	31
Tabla 5. Valores de referencia para la verificación de la calidad microbiológica del agua.....	35
Capítulo III.....	37
3.1. Metodología	37
3.2. Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES)	37
3.3. Enfoque de la investigación	37
3.4. Diseño de investigación	38
3.5. Tipo de investigación	38
3.6. Población y muestra.....	38
Capítulo IV.....	40
4.1. Análisis e interpretación de resultados.....	40
4.2. Análisis de resultados	40
4.3. Discusión.....	41
Capítulo V.....	43
4.1. Conclusiones	43
Bibliografía	44
Anexos.....	51

Índice de cuadros

Tabla 1. Problemas de contaminación	9
Tabla 2. Metales presentes en el agua subterránea.....	10
Tabla 3. Enfermedades infecciosas más comunes ocasionadas por bacterias.....	29
Tabla 4. Microorganismos indicadores, de acuerdo con el tipo de monitoreo.....	33
Tabla 5. Valores de referencia para la verificación de la calidad microbiológica del agua potable	35
Tabla 6. Escuelas de referencia.....	39

Índice de figuras

Figura 1. Toxicocinética del plomo en el organismo humano.	16
Figura 2. Regulación del metabolismo del hierro sistémico. Órganos y tipos de células que participan en el balance del hierro sistémico.	20
Figura 3. Microorganismos presentes en el agua. Fuente tomada; Ciencia UNAM.	25
Figura 4. Determinación del número de coliformes totales.	28
Figura 5. Toma de agua Monte Sinaí, para abastecer los tanqueros.	51
Figura 6. Tanqueros que transporta el agua potable a la población y escuelas del sector urbano.	52
Figura 7. Datos de la muestra A.....	53
Figura 8. Resultados muestra A.....	54
Figura 9. Datos de la muestra B.....	55
Figura 10. Resultados muestra B.....	56
Figura 11. Datos de la muestra C.....	57
Figura 12. Resultados muestra C.....	58
Figura 13. Datos de la muestra D.....	59
Figura 14. Resultados muestra D.....	60

Resumen

La calidad del agua es muy indispensable para evitar grandes enfermedades, y mantener un buen desarrollo de los niños, adolescentes y adultos, es tan importante que actualmente se considera un derecho para los seres humanos, el presente trabajo constituye en un estudio enfocado en el análisis experimental de la calidad del agua potable de las escuelas que se abastecen por medio de tanqueros, la cual es almacenada en cisternas. El objetivo de la investigación fue evaluar la calidad del agua para el consumo humano de las escuelas en el área urbana “Voluntad de Dios” de la ciudad de Guayaquil. En este sentido, se realizaron análisis físicos químicos para determinar la presencia de coliformes totales y el contenido metales pesados como de hierro y plomo, en el agua de consumo humano que se almacena en las escuelas. Para el análisis se tomaron 4 muestras en la que se ha utilizado el método PEE (Procedimiento específico de ensayo de GQM) FQ-33 para identificar el hierro y plomo; en el caso de los coliformes totales se ha utilizado el método PEE-GQM-MB-38, la población que se utilizó en el análisis estuvo enfocado a cuatro instituciones educativas del sector urbano. Al realizar la cuantificación para la presencia de hierro en las muestras se obtiene resultados que va de 0,0352 mg/l a 0,1947 mg/l, de plomo va de <0,0024 mg/l a 0,0042 mg/l, y los coliformes totales-NMP tuvieron un resultado <1,0 NMP/100ml. Por lo que se determina en base a los resultados obtenidos que las condiciones de almacenamiento del agua en las instituciones educativas no son las más adecuadas y óptimas para el consumo humano.

Palabras claves: Microorganismos, metales pesados, cuantificar, coliformes totales.

Abstract

Water quality is very important to avoid major diseases and to maintain a good development of children, adolescents and adults, is so important that it is now considered a right for human beings, the present work constitutes a study focused on the experimental analysis of the quality of drinking water in schools that are supplied by tankers, which is stored in cisterns. The objective of the research was to evaluate the quality of water for human consumption in schools in the urban area "Voluntad de Dios" of the city of Guayaquil, performing physical and chemical analyses to determine the presence of etiological microorganisms (total coliforms), and the content of heavy metals such as iron and lead in the water for human consumption stored in the schools. Quantification for the presence of iron in the samples yielded results ranging from 0.0352 mg/l to 0.1947 mg/l, lead from <0.0024 mg/l to 0.0042 mg/l, and total coliforms-NMP had a result <1.0 NMP/100ml. Based on the results obtained, it is determined that the water storage conditions in the educational institutions are not the most adequate and optimal for human consumption.

Keywords: Microorganisms, heavy metals, quantify, total coliforms.

Capítulo I

1.1. Introducción

“El agua salubre y fácilmente accesible es importante para la salud pública, ya sea que se utilice para beber, para uso doméstico, para producir alimentos o para fines recreativos. La mejora del abastecimiento de agua, del saneamiento y de la gestión de los recursos hídricos puede impulsar el crecimiento económico de los países y contribuir en gran medida a la reducción de la pobreza” (OMS, 2022). En este sentido, el agua al estar contaminada, y acompañada de un saneamiento deficiente dentro de un territorio, son factores directos para la transmisión de enfermedades, y entre algunos de ellos está el cólera, diarreas, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis (Perry et al., 2022). Es así que, el descuido del agua, así como el uso inadecuado exponen a la población a riesgos para su salud (Aw et al., 2022). Además, el agua es fundamental para la salud y bienestar de las personas, es tan importante que ahora se reconoce como un derecho para los seres humano, sin embargo, aproximadamente 780 millones de personas no tienen acceso a este líquido vital, y 2.500 millones no tienen un correcto saneamiento, lo que trae como resultado que aproximadamente 6 a 8 millones de personas mueran cada año por enfermedades antes descritas (OMS, 2022).

Es así que, a nivel mundial la calidad del agua es muy indispensable para evitar grandes enfermedades, y mantener un buen desarrollo de los niños, niñas, adolescentes y personas adultas. Además, el agua también se lo utiliza de forma general en las actividades domésticos donde es importante, misma que es procesada para que sea segura para su consumo y otros fines como la higiene personal. En el caso de los centros sanitarios, existe mayor prevalencia de riesgos, puesto que son lugares donde los pacientes y profesionales quedan expuestos a mayores riesgos de infección y enfermedad cuando no existen servicios de suministro de agua, saneamiento e higiene. En este sentido, según la OMS, a nivel mundial, el 15% de los pacientes contraen infecciones durante la hospitalización, proporción que es mucho mayor en los países de ingresos bajos (OMS, 2022). En este mismo contexto, es importante analizar que la mayoría de los jóvenes pasan una cantidad considerable de tiempo en las escuelas y, por lo tanto, el acceso al agua potable para diversas actividades en este entorno es crucial (Poague et al., 2022). La mayoría de las escuelas en Ecuador reciben suministro de agua de los sistemas públicos de agua que están sujetos a las regulaciones federales y estatales para garantizar la seguridad.

Con respecto a la calidad del agua y su idoneidad, estos parámetros son determinados por su sabor, olor, color y concentración de materias orgánicas e inorgánicas. Los

contaminantes en el agua afectan la calidad de la misma y salud humana (Lal et al., 2022; Perry et al., 2022). Las posibles fuentes de contaminación del agua son las condiciones geológicas, las actividades industriales y agrícolas y las plantas de tratamiento de agua. Estos contaminantes se clasifican además como microorganismos, inorgánicos, orgánicos, radionúclidos y desinfectantes (Kormoker et al., 2022).

Los productos químicos inorgánicos tienen una mayor proporción como contaminantes en el agua potable en comparación con los productos químicos orgánicos (Aw et al., 2022; Poague et al., 2022). Una parte de los inorgánicos se encuentran en forma mineral de metales pesados. Los metales pesados tienden a acumularse en los órganos humanos y el sistema nervioso e interferir con sus funciones normales. En los últimos años, los metales pesados; plomo (Pb), el arsénico (As), magnesio (Mg), níquel (Ni), cobre (Cu) y zinc (Zn) han recibido una atención significativa debido a que causan problemas de salud. Además, las enfermedades cardiovasculares, los problemas relacionados con los riñones, las enfermedades neurocognitivas y el cáncer están relacionados con las trazas de metales como el cadmio (Cd) y el cromo (Cr), según lo informado en estudios epidemiológicos.

Se sabe que el Pb retrasa el crecimiento físico y mental de los lactantes, mientras que el As y el mercurio (Hg) pueden causar una intoxicación grave con patología cutánea y cáncer y más daños en los riñones y el hígado, respectivamente. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), el Hg y los compuestos inorgánicos de Hg se clasifican en carcinógenos del grupo. Además, la presencia de elementos tóxicos y radiactivos como el uranio en las aguas subterráneas es otra preocupación grave en muchas partes del mundo, como Estados Unidos, Canadá, Alemania, Noruega, Grecia y Finlandia. Tiene una alta toxicidad química y efectos letales en el esqueleto y el riñón (Yaro et al., 2022).

1.2. Planteamiento del problema

“En los Objetivos de Desarrollo del Milenio, la meta de reducir la proporción de población mundial sin acceso sostenible a agua potable (ODM 7) se midió mediante el indicador de la población que utilizaba fuentes mejoradas de suministro de agua potable, pero sin tener en cuenta la ubicación, disponibilidad o calidad del agua” (OMS, 2022).

“El agua potable procedente de una fuente mejorada de suministro de agua ubicada en el lugar de uso, disponible cuando se necesita y que no contenga contaminación fecal ni de sustancias químicas prioritarias” (OMS, 2022).

Los problemas presentados en el agua por la mal distribución y almacenamiento para consumo humano, se debe evaluar la calidad y la eficiencia del agua en los Tanqueros que actualmente distribuye al sector Urbano y determinar las medidas de seguridad que tienen en el almacenamiento del agua en los hogares previo al consumo humano.

Es este contexto, según Gonzaga (2018) a nivel global se han registrado problemas ante la gestión del agua, puesto que, al menos el 50% se desperdicia, y aproximadamente el 70% de aguas residuales no tienen algún tratamiento adecuado, ocasionando enfermedades.

Es por esta razón que, a todos los países del mundo sean estos en vías de desarrollo o no, les preocupa esta cuestión, por la consecuencia que tiene una mala calidad del agua. “Además, cada vez se reconoce que, en numerosos establecimientos de salud, especialmente en los países de bajos ingresos, carecen de los servicios de agua, saneamiento e higiene” (Obando, Mora, Lievano, Hernández, & Cárdenas, 2019).

De esta manera, la Secretaría del Agua en Ecuador (2019) el deterioro de la calidad del agua se ve reflejada por la falta de información confiable, integral y suficiente sobre la calidad de este líquido vital, así como la falta de recursos económicos para generar información. Asimismo, la falta de una cultura acerca del agua afecta directamente al medio ambiente, mediante una mala gestión del recurso hídrico, lo que provoca enfermedades, usuarios insatisfechos y falta de sensibilidad de la prestación del servicio.

En este contexto el problema que se presenta en el sector urbano Voluntad de Dios debido a que no existe agua potable y a su vez se abastecen por medio de tanqueros, la cual es almacenada en cisternas, en base a esta problemática se va evaluar la calidad de agua determinando si existe la presencia de metales pesados como Hierro y Plomo, y microorganismos como coliformes totales, debido que la población son estudiantes y es fundamental que el agua se óptima para el consumo humano y así evitar enfermedades posteriores.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Evaluar la calidad del agua para el consumo humano de las escuelas del área urbana “Voluntad de Dios” de la ciudad de Guayaquil 2022.

1.3.2. Objetivo Específico

Determinar el contenido de hierro y plomo en los tanques o cisternas de almacenamiento de las escuelas del área urbana “Voluntad de Dios” durante el mes de marzo 2022.

Determinar en el agua la presencia de microorganismos etiológicos como coliformes totales, que se distribuye actualmente en el sector Voluntad de Dios en la ciudad de Guayaquil.

Identificar las condiciones de almacenamiento del agua y proponer medidas de mejora para evitar fuentes de enfermedades.

Justificación

El presente trabajo está basado en evaluar la calidad del agua que es almacenada en cisterna o tanques en las escuelas del sector urbano Voluntad de Dios. Esto debido a que el agua es adquirida mediante tanqueros que abastecen el sector.

De esta manera la presente investigación podrá determinar la carga microbiana de coliformes totales y la concentración de metales pesados como hierro y plomo, que puedan afectar la salud de los estudiantes y a su vez poder tomar medidas correctivas para que el agua se óptima para el consumo.

Capítulo II

2.1. Marco teórico

2.1.1. El agua

El agua, es un bien escaso y muy poco cuidado por parte de la población, lo que este escaso cuidado provoca la contaminación, escasez y reparto, lo cual suele ser fuente de disputas entre territorios o países, y es por esta situación que en la actualidad se lo denomina el nuevo oro del planeta (Ramírez, Rodríguez, & Benarroch, 2021).

Es un papel importante el agua, en el mantenimiento de la salud y el bienestar humanos. El agua potable limpia se reconoce ahora como un derecho fundamental de los seres humanos. Por lo tanto, la calidad del agua es una agenda política de máxima prioridad en muchas partes del mundo (OMS, 2022).

La calidad del agua y su idoneidad para su uso están determinadas por su sabor, olor, color y concentración de materias orgánicas e inorgánicas. Los contaminantes en el agua afectan la calidad de la misma y, en consecuencia, la salud humana. Las posibles fuentes de contaminación del agua son las condiciones geológicas, las actividades industriales y agrícolas y las plantas de tratamiento de agua. Estos contaminantes se clasifican además como microorganismos, inorgánicos, orgánicos, radionúclidos y desinfectantes.

Los productos químicos inorgánicos tienen una mayor proporción como contaminantes en el agua potable en comparación con los productos químicos orgánicos. Una parte de los inorgánicos se encuentran en forma mineral de metales pesados. Los metales pesados tienden a acumularse en los órganos humanos y el sistema nervioso e interferir con sus funciones normales. En los últimos años, los metales pesados como el plomo (Pb), el arsénico (As), el magnesio (Mg), el níquel (Ni), el cobre (Cu) y el zinc (Zn) han recibido una atención significativa debido a que causan problemas de salud (Basolo & Jhanson, 2020).

Además, las enfermedades cardiovasculares, los problemas relacionados con los riñones, las enfermedades neurocognitivas y el cáncer están relacionados con las trazas de metales como el cadmio (Cd) y el cromo (Cr), según lo informado en estudios epidemiológicos.

Se sabe que el Pb retrasa el crecimiento físico y mental de los lactantes, mientras que el As y el mercurio (Hg) pueden causar una intoxicación grave con patología cutánea y cáncer y más daños en los riñones y el hígado, respectivamente.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), el Hg y los compuestos inorgánicos de Hg se clasifican en carcinógenos del grupo 3. Además, la presencia de elementos tóxicos y radiactivos como el uranio en las aguas subterráneas es otra preocupación grave en muchas partes del mundo, como Estados Unidos, Canadá, Alemania, Noruega, Grecia y Finlandia. Tiene una alta toxicidad química y efectos letales en el esqueleto y el riñón humanos (Santos, 2016).

Se han desarrollado varios procedimientos e instrumentos científicos para evaluar los contaminantes del agua. Estos procedimientos incluyen el análisis de diferentes parámetros como pH, turbidez, conductividad, sólidos suspendidos totales (TSS), sólidos disueltos totales (TDS), carbono orgánico total (TOC) y metales pesados. Estos parámetros pueden afectar la calidad del agua potable, si sus valores se encuentran en concentraciones superiores a los límites de seguridad establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y otros organismos reguladores. Por lo tanto, la investigación de la calidad del agua potable por parte de investigadores y departamentos gubernamentales se ha realizado con regularidad en todo el mundo (Pérez, Arriola, García, & Mendoza, 2016).

Precisión y exactitud del método seleccionado según el requisito

La precisión y exactitud que se debe mantener frente a un método en particular se decide de acuerdo con el objetivo del monitoreo. Los factores que influyen en esta decisión incluyen:

- Presupuesto del sistema de monitoreo
- Parámetros a monitorear
- Uso del agua

2.1.2. Procedimientos de cadena de custodia

Los formularios son diseñados y ejecutados correctamente para asegurar la probidad de la muestra, que va de la recolección hasta el reporte de datos. Lo que permite rastrear la muestra desde la recolección hasta el análisis. Esto se conoce como "cadena de custodia" y se pide para evidenciar el control de la muestra.

Cuando no hay regulación de las muestras, los procedimientos cadena de custodia son útiles en el control de rutina de las muestras. Se considera que una muestra está bajo la custodia de una persona, quien la asegura y protege contra manipulaciones por esa persona, o asegurada en un área restringida al personal autorizado.

Los aspectos principales de la cadena de custodia:

- i. **Etiquetado:** Las etiquetas se utilizan para evitar la identificación errónea de las muestras, así como para identificar al recolector, si es necesario. En otras palabras, el etiquetado asegura la responsabilidad y la rendición de cuentas del recolector.
- ii. **Sellos:** se utilizan para detectar el uso no autorizado de las muestras hasta su análisis. Por tanto, es fundamental sellar una muestra antes de dejar la custodia del recolector. El sellado debe realizarse de tal manera que se tenga que romper el sello para acceder a la muestra.
 - **Registro de campo:** Es la información útil relacionada con el estudio de campo o muestreo que se debe registrar. De considerar lo siguiente:
 - Objetivo del muestreo.
 - Ubicación.
 - Dirección y nombre de contacto.
 - Producto del material que se muestrea y dirección.
 - Tipo de muestra.
 - Método, fecha y hora de conservación.

2.1.3. Ficha de solicitud para el análisis de muestras

La hoja o ficha de solicitud de análisis va acompañada con las muestras al laboratorio. El recolector completa parte del campo de dicho formulario, incluye la mayor parte de la información en el registro de campo. La fracción del laboratorio de dicho formulario debe ser completada por el personal en el laboratorio: nombre de quien la recibe, número de muestra, día de recepción, estado de la muestra (temperatura, color, nivel del recipiente está lleno o no, si tiene dos fases, etc.), y determinaciones a realizar.

2.1.4. Entrega de muestra al laboratorio

Las muestras tienen que ser entregadas al laboratorio lo más pronto como sea posible después de su recolección, generalmente dentro de los 2 días. Cuando se necesita tiempos de retención más cortos, se deben asegurar la entrega oportuna al laboratorio. Cuando sean enviadas por un transportista particular, la serie de guía de embarque se incluirá en el registro de custodia de la muestra. Las muestras deben tener un registro completo de la cadena de custodia y la hoja de solicitud de análisis.

2.1.5. Recepción de la muestra

El laboratorio, revisa el estado y el sello de la muestra que va receptor y concilia la información con el registro de la cadena de custodia, antes de que la muestra sea aceptada para su análisis. Una vez aceptada, el custodio del laboratorio asigna un número o serie interno, registra la muestra en el sistema computarizado del laboratorio, y la almacena en una sala segura o refrigerador con la temperatura especificada, hasta que sea asignado a un analista para su análisis.

2.1.6. Asignación de la muestra para el análisis

Por lo general el supervisor del laboratorio ordena al personal para el análisis de la muestra. Una vez ingresada al laboratorio, el supervisor y el analista son responsable de la custodia.

Eliminación: Las muestras se conservan por la cantidad y la duración prescritas para el proyecto, hasta que la información ha sido revisada y aceptada. Las muestras se eliminan normalmente después de la documentación. Sin embargo, la eliminación debe realizarse de acuerdo con los métodos aprobados.

Representativo: Los datos deben representar las aguas residuales o el cuerpo de agua que se muestrea. Por lo tanto, los siguientes factores deben estar bien planificados para un muestreo adecuado:

- a) Proceso de muestreo.
- b) Tamaño / volumen de muestreo.
- c) Número de ubicaciones de muestreo.
- d) Número de las muestras.
- e) Tipos de muestras.
- f) Intervalos de tiempo.

Durante el muestreo, también se deben tener en cuenta estos factores:

- Elección del recipiente de muestreo adecuado
- Evitar la contaminación
- Garantizar la seguridad personal del recolector

Reproducibles: Los datos obtenidos deben ser reproducibles por otros siguiendo los mismos protocolos de muestreo y análisis.

Defendible: la documentación debe estar disponible para validar los procedimientos de muestreo. Los datos deben tener un grado conocido de exactitud y precisión.

Útil: Los datos pueden usarse para cumplir con los objetivos del plan de monitoreo.

2.1.7. Problemas de contaminación del agua

Según Sierra (2021) “los problemas de contaminación del líquido se manifiestan en los diversos usos y beneficios, así como su subsecuente confirmación por muestreo y análisis de la calidad del agua; puesto que se ha demostrado que la presencia de ciertos metales pesados en el agua para consumo humano produce cáncer y toxicidad en las personas”. Por ende, el autor ha establecido variables en la calidad del agua asociadas por problema.

Tabla 1. Problemas de contaminación

Problema	Interferencia	Problemas	Variables
Mortalidad de peces	Pesca Recreación Salud ecológica	Oxígeno disuelto (OD) alto	DBO NH N Sólidos orgánicos Fitoplancton OD
Transmisión de enfermedades	de Abasto de agua Recreación	Niveles altos de bacterias	Coliformes totales Coliformes fecales Estreptococos Virus
Sabor y olor	Abasto de agua Recreación Salud ecológica	Crecimiento excesivo de plantas	Nitrógenos Fósforo Fitoplancton
Carcinógenos en el agua potable	Abastecimiento de agua Pesca Salud ecológica	Niveles altos de toxicidad	Metales pesados Sustancias radioactivas Plaguicidas Herbicidas

Fuente: Tomado de (2021).

Por otro lado, “la calidad del agua está asociada a la calidad de las fuentes, mismas que en gran porcentaje están expuestas a los metales de origen natural, que no se alcanza a ser manejable para el consumo” (Villena, 2018). Para Dunán, et al. (2021) “existen diversos contaminantes que ponen en peligro la calidad del agua, sin embargo, los metales pesados se encuentran entre los contaminantes ambientales más peligrosos y tóxicos”.

“En el caso del plomo, según la OMS se incorpora en las aguas potables y en los ríos, mediante la disolución de las fuentes naturales con gran contenido de plomo, así como la relación con las tuberías que se utilizan para la transportación del líquido a los hogares del sector urbano y rural” (Dunán, Fernández, Riverón, & Bassas, 2021).

En este sentido, de acuerdo con Ramírez (2018) los efectos que pueden generar los contaminantes como el hierro y el plomo son los siguientes:

Tabla 2. Metales presentes en el agua subterránea

Contaminantes	Origen	Efectos
Hierro	Medio Geológico, minera y rocas ferrosas	La sobrecarga de hierro puede conducir a la hemocromatosis, enfermedad grave que puede dañar los órganos del cuerpo, y entre los primeros síntomas está la fatiga, pérdida de peso y dolor en las articulaciones.
Plomo	Medio geológico, minería, fundiciones, gasolina, tuberías	El agua tiene un sabor desagradable, provoca la inhibición en la síntesis de hemoglobina. Es tóxico porque puede generar anemia, tóxico para los riñones y el sistema nervioso. Y se puede relacionar con encefalitis a elevadas concentraciones.

Fuente: Tomado de Ramírez (Ramírez C. Y., 2018).

“El hierro (Fe) en el agua natural proviene de la disolución de las rocas y minerales donde se encuentra contenido. También puede incrementarse artificialmente, porque es muy utilizado en las industrias y existe la posibilidad de vertidos industriales ferrosos en el agua, el hierro en los suministros de aguas procedentes del subsuelo en zonas rurales es muy frecuente” (Ramírez C. Y., 2018).

Entre los tipos de hierro que se pueden presentar en el agua están:

- Hierro ferroso
- Hierro férrico
- Hierro bacterial

En el caso del plomo en el agua y la salud humana, puede provocar intoxicaciones, sean crónicas o leves. Según (Salas, Guarduño, & Mendiola, 2019) “el plomo es un constituyente que se localiza de forma natural en el medio ambiente, que se lo puede encontrar en fuentes exógenas como el suelo, sin embargo, ha tenido gran impacto en la contaminación ambiental, ocasionando grandes problemas de salud y en varias ocasiones la muerte de las personas”.

2.1.8. Microorganismos etiológicos en el agua

Según (Arcia, 2018) “los problemas de salud transmitidas por el consumo del agua representan un gran problema dentro de la salud pública, puesto que es una de las causantes para que se den altos índices de morbi-mortalidad en las personas, y estos problemas se dan por la presencia de bacterias, virus y protozoos; que en muchas ocasiones estos microorganismos resisten los procesos físico-químicos a los cuales es sometida el agua para su potabilización y consumo, provocando daños en la salud”.

Entre los principales patógenos transmitidos por el agua se pueden mencionar a los siguientes:

Bacterias

- *Campylobacter jejuni*.
- *E. coli* hemorrágica.
- *Legionella* spp.
- Micobacterias no tuberculosas.
- Micobacterias no tuberculosas.
- *Salmonella typhi*.
- phi alta baja S.

Protozoos

- *Acanthamoeba* spp.
- *Naegleia fowleri*.
- *Entamoeba Histolytica*.

- *Cryptosporidium parvum*.
- *Cyclospora cayetanensis*.
- *Giardia intestinalis*.
- *Toxoplasma gondii*.

Virus

- Adenovirus
- Enterovirus
- Virus Hepatitis A.
- Virus Hepatitis E.
- Rotavirus.

Los indicadores microbiológicos de contaminación del agua han sido las bacterias de la flora saprófita intestinal, entre las que se encuentran *Bacteroides fragilis*, bacterias mesófilas, coliformes totales, y fecales, *Escherichia coli* y estreptococos fecales. Algunas de estas, son de origen animal, que simbolizan un alto potencial zoonótico, siendo abundantes estreptococos fecales y parásitos que tienen una mayor resistencia a los procesos de tratamiento y desinfección del agua para consumo humano (Ríos, Agudelo, & Gutierrez, 2017). (Pauta, Vásquez, Abril, Torres, & Palta, 2020), para la evaluación de la calidad microbiológ

Según ica del agua de los ríos se utiliza indicadores tradicionales del grupo coliforme, sin embargo, se ha demostrado que las bacterias coliformes no siempre cumplen la función de un indicador de degradación de los cuerpos de agua, puesto que a través de las condiciones ambientales de temperatura, radiación solar, concentración de nutrientes, entre otros, no refleja la extensión original de la contaminación fecal.

2.2.1. Plomo

Es un elemento natural que se encuentra, debido a la actividad humana, en todas partes de nuestro entorno. Este metal es altamente venenoso y puede afectar a casi todos los órganos del cuerpo y del sistema nervioso.

El plomo puede infiltrarse en el agua potable cuando las tuberías de servicio que contienen plomo se corroen; en especial, donde el agua contiene altos niveles de acidez o poco contenido mineral que corroe las tuberías y los elementos fijos. El problema más frecuente se da con el latón o los grifos de latón cromado y los elementos fijos con soldaduras de plomo, de los cuales

cantidades significativas de plomo pueden infiltrarse en el agua, en especial, en el agua caliente. (Unidos, 2021)

La Ley de Agua Potable Segura requiere que la EPA determine el nivel de contaminantes en el agua potable que no causa efectos adversos en la salud con un margen adecuado de seguridad. Estos objetivos de salud no aplicables, con base únicamente en posibles riesgos para la salud, se denominan objetivos de nivel máximo de contaminante (MCLG, por sus siglas en inglés). La EPA determinó que el objetivo de nivel máximo de contaminante para el plomo en el agua potable es cero, ya que el plomo es un metal tóxico que puede dañar la salud humana, incluso en niveles de baja exposición. El plomo es persistente y puede bioacumularse en el cuerpo con el tiempo. (Unidos, 2021)

El plomo en el agua potable es con frecuencia un problema en casas muy viejas o muy nuevas. Los tubos de plomo fueron alguna vez comúnmente utilizados en sistemas de cañerías y muy probablemente pueden encontrarse en casas construidas antes de 1930. Las cañerías de cobre reemplazaron eventualmente la tubería de plomo, pero las soldaduras con base de plomo se utilizaron hasta en 1986 cuando el Congreso aprobó una ley que requiere que ningún tubo, grifo o cañería, soldadura o pasta para soldar contenga más de 8 por ciento de plomo. Hoy en día, se utilizan materiales de latón en sistemas de distribución de agua y cañerías residenciales, comerciales y municipales. El latón (llamado también bronce en algunos productos) contiene cantidades pequeñas de plomo para hacerlo maleable. Así que aunque los materiales de plomería contienen menos del 8 por ciento de plomo, los nuevos grifos y accesorios de latón pueden lixiviar (disolver) plomo en el agua. Después de unos cuantos años, si el agua es dura, se formarán depósitos de carbonato de calcio en el interior de las tuberías y accesorios de latón y evitarán que el plomo se pueda lixiviar hacia fuera. Ablandar o descalcificar el agua naturalmente dura con una unidad para ablandar o suavizar agua que funcione por intercambio de iones evita que se formen estos depósitos protectores. (McFarland, 2004)

Los depósitos naturales más conocidos se encuentran en Canadá, EE. UU., México, Perú, Europa, Asia y Australia. Estas alcanzan a 19,000 Ton/año por los desgastes geológicos, emisiones volcánicas y de la actividad antropogénica, se estima que se genera 12 a 130,000 Ton/año. Durante todo este tiempo el plomo natural o antropogénico ha sido introducido en el ambiente a nivel mundial a través del transporte de la atmósfera. (Calderon SJV, 2016)

2.2.1.1. Uso del Plomo

El plomo en el agua potable es con frecuencia un problema en El uso de este metal tiene múltiples aplicaciones; se dan en procesos industriales y se usa tanto en forma sólida, como líquida, generándose polvo, humos o vapores, según se realicen unas operaciones u otras, y bajo algunas excepciones se emplea de manera casera e inapropiada en trabajos informales de acumuladores eléctricos por extracción secundaria de plomo a partir de baterías recicladas. Alrededor de un 40 % del plomo se utiliza en forma metálica, un 25 % en aleaciones y un 35 % en compuestos químicos. (Calderon SJV, 2016)

Su uso en la industria automotriz, en la fabricación de baterías y se empleaba también como aditivo de la gasolina durante la refinación del petróleo, medida que está controlándose hoy en día, sin su radicación total. Además en el revestimiento de cables, tuberías (viviendas viejas), protección de materiales expuestos a la intemperie, fabricación de municiones, pigmentos para pinturas y barnices, fabricación de cristales, esmaltado de cerámica, la soldadura de latas, instrumentos de pesca y caza, protector de rayos X y radiación gamma. (Calderon SJV, 2016)

2.2.1.2. Fuente de Exposición del Plomo

El proceso de penetración al organismo, de un xenobiótico desde el medio ambiente hasta los lugares en que va a producir su efecto tóxico, puede dividirse en tres fases:

La fase de exposición: comprende los procesos de transformaciones químicas, degradación, biodegradación (por microorganismos) y desintegración que se producen entre diversos tóxicos y/o la influencia que tienen sobre ellos los factores ambientales (luz, temperatura, humedad, etc.).

La fase toxicocinética: comprende la absorción de los tóxicos en el organismo y todos los procesos subsiguientes: transporte por los fluidos corporales, distribución y acumulación en tejidos y órganos, biotransformación en metabolitos y eliminación del organismo (excreción) de los tóxicos y/o metabolitos.

La fase toxicodinámica: comprende la interacción de los tóxicos (moléculas, iones, coloides) con lugares de acción específicos en las células o dentro de ellas (receptores), con el resultado de un efecto tóxico.

2.2.1.3. Efectos del plomo en la salud Humana

El metal inorgánico (Pb) no puede ser metabolizado por el organismo, en consecuencia, es inhalado y depositado en la vía respiratoria baja, donde es absorbido por completo. Una vez que ingresa en la sangre es distribuido en tres sectores: la sangre, los tejidos blandos (riñón, médula ósea, hígado y cerebro) y el tejido mineralizado (huesos y dientes). Este último contiene el 95% de la carga corporal de plomo en los adultos y 70% en niños, por su bioacumulación. Uno de los efectos más estudiados por la exposición al plomo es el asociado con deficiencias en el desarrollo neuropsicológico.

El plomo es uno de los cuatro metales nocivos para la potencia humana. Puede afiliarse al organismo misericordioso a través de los alimentos (65 %), el agua (20 %) y viento (15 %). Frutas, verduras, carne, cereales, mariscos, refrescos y licor pueden ocupar cantidades significativas de plomo. El humo del tabaco incluso contiene pequeñas cantidades. (Salirrosas, 2022)

2.2.1.3. Toxicocinética del Plomo

El plomo puede ingresar al organismo por tres vías:

- Digestiva
- Respiratoria
- Dérmica o cutánea

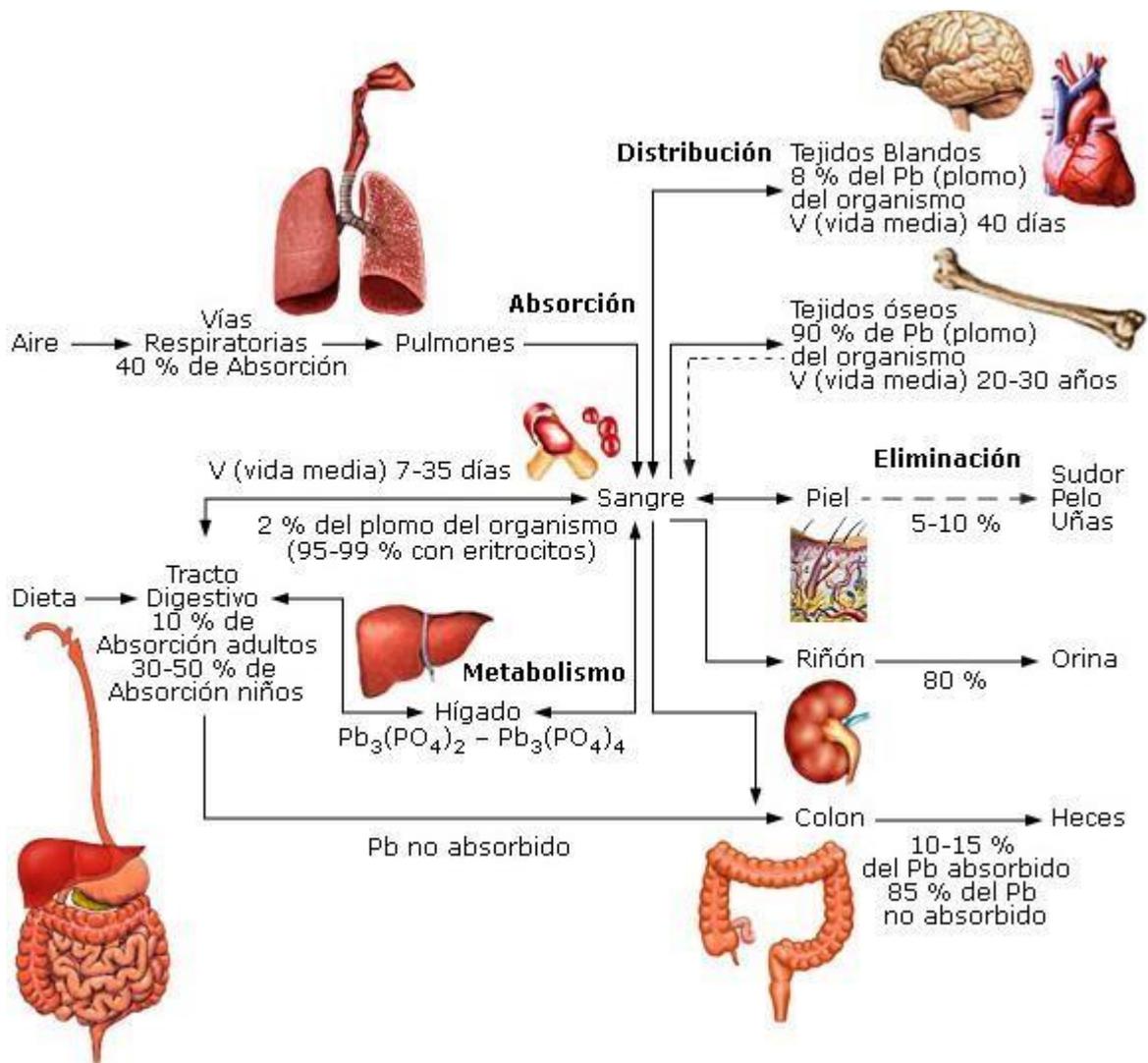


Figura 1. Toxicocinética del plomo en el organismo humano (Basolo & Jhhonson, 2020)

El plomo puede ser excretado por diferentes vías, son las principales y las de mayor importancia toxicológica, la fecal y la renal. Por vía fecal se elimina cerca del 85 % del plomo no absorbido y por vía renal se desecha un aproximado del 80 % del plomo absorbido. Otras vías de excreción son el cabello, el sudor, la leche materna, la descamación de la piel y los dientes¹⁹. (Calderon SJV, 2016)

La preocupación con respecto al plomo se centra especialmente en los niños pues son más vulnerables a los efectos adversos del metal durante el crecimiento y el desarrollo del sistema nervioso, en ellos se presenta mayor absorción por las vías respiratorias y la oral, sobre todo por esta última si padece desnutrición, deficiencia de calcio, de hierro, de fósforo, de zinc y de vitamina D e infecciones gastrointestinales. Las manifestaciones clínicas son imperceptibles e incluyen períodos de estreñimiento y diarreas con cólicos abdominales y cefaleas continuas (o ambos), cambios en el comportamiento y bajo rendimiento escolar, la

intoxicación es crónica y se agudiza luego de los síntomas mencionados, pueden aparecer manifestaciones de encefalopatía plúmbica, estupor, convulsiones y depresión respiratoria.¹⁷ Además se han demostrado efectos auditivos, cardiovasculares, nefrológicos y hematológicos en niños expuestos al plomo. (Lic. Ibis Corzo Expósito, 2014)

2.3.1. Hierro

El hierro o fierro es un elemento químico metálico, blanco, moldeable y dúctil, es vital para la vida animal y las plantas, además, el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre. Su símbolo químico es el Fe, tiene un peso atómico de 55.85 g/mol / g. Este metal forma parte de minerales como la hematita, magnetita, limonita, pirita, etc. (Carbotecnia, 2022)

Es considerado un metal de transición es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, representando un 5% y entre los metales solo el aluminio es más abundante. En cuestión de masa planetaria el hierro es el metal más abundante debido a que el planeta concentra en su núcleo la mayor masa de hierro nativo, equivalente a un 70%. (Carbotecnia, 2022)

Normas para el hierro y el manganeso se basan en los niveles que causan problemas de sabor y de teñido. Se, menciona que el máximo permisible de 0.30 ppm para el hierro y 0.15 ppm para el manganeso.

Se puede determinar la presencia del óxido en el agua debido a su coloración, el tono va a variar dependiendo de la concentración del hierro:

Amarillo: el hierro en contacto con el oxígeno presente en el agua puede teñir de un amarillo claro el agua. Esto indica la presencia de pequeñas cantidades de óxido.

Naranja, rojo y marrón: una concentración mayor de hierro y oxígeno en el agua puede producir colores como naranja, rojo o marrón, o incluso una combinación de los tres. El agua tirando a marrón también es el resultado de la mezcla de dióxido de azufre y de agua en las tuberías.

2.3.2. Efectos del Hierro en la Salud

El Hierro puede ser encontrado en carne, productos integrales, patatas y vegetales. El cuerpo humano absorbe Hierro de animales más rápido que el Hierro de las plantas. El Hierro

es una parte esencial de la hemoglobina: el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través de nuestros cuerpos.

Puede provocar conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos. La inhalación crónica de concentraciones excesivas de vapores o polvos de óxido de hierro puede resultar en el desarrollo de una neumoconiosis benigna, llamada siderosis, que es observable como un cambio en los rayos X. Ningún daño físico de la función pulmonar se ha asociado con la siderosis. La inhalación de concentraciones excesivas de óxido de hierro puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón en trabajadores expuestos a carcinógenos pulmonares. LD50 (oral, rata) =30 gm/kg. (LD50: Dosis Letal 50. Dosis individual de una sustancia que provoca la muerte del 50% de la población animal debido a la exposición a la sustancia por cualquier vía distinta a la inhalación. Normalmente expresada como miligramos o gramos de material por kilogramo de peso del animal.) (SOLUTIONS, 2020)

La absorción del hierro ocurre en el duodeno y yeyuno superior del sistema gastrointestinal. En el estómago, si bien no se produce la absorción de este elemento, el mismo contribuye a dicho proceso, a través de la secreción de ácido clorhídrico y enzimas, que ayudan no solo a liberar al hierro de la matriz alimentaria sino también a solubilizarlo, ya que el ácido clorhídrico favorece la reducción de este catión a la forma ferrosa (Jose Boccio, 2003)

La cantidad de hierro total en el organismo es de unos 30 a 40 mg por kilogramo de peso corporal. Este valor es variable y depende de diferentes factores como la edad del individuo, el sexo, el tipo de alimentación y el tejido u órgano estudiado, ya que el hierro no se distribuye homogéneamente en el cuerpo humano (Jose Boccio, 2003)

Desde el punto de vista funcional, el hierro en el organismo puede estar formando parte de dos grandes grupos, el de los compuestos de hierro esencial integrado fundamentalmente por la hemoglobina, mioglobina, citocromos y diferentes enzimas y el de los compuestos de hierro de depósito o almacenamiento como la ferritina y la hemosiderina (Jose Boccio, 2003)

2.3.3. Funciones bioquímicas y fisiológicas

Las principales funciones biológicas que posee el hierro, se basan en sus propiedades oxido-reductoras, ya que los estados de oxidación del hierro van desde -2 a $+6$, la interconversión entre estos estados de oxidación le otorgan a este elemento propiedades fisicoquímicas particulares que le permite participar en la transferencia de electrones como así

también la de unirse en forma reversible a diferentes ligandos como ser los átomos de oxígeno, nitrógeno y azufre. Esta característica le confiere a este elemento propiedades biológicas especiales que le permite participar en un gran número de procesos bioquímicos, generalmente a través de su asociación con diversas biomoléculas, especialmente las proteínas, muchas de las cuales poseen actividad enzimática (Jose Boccio, 2003)

2.3.4. Absorción de hierro

En un individuo normal, las necesidades diarias de hierro son muy bajas en comparación con el hierro circulante, por lo que sólo se absorbe una pequeña proporción del total ingerido. Esta proporción varía de acuerdo con la cantidad y el tipo de hierro presente en los alimentos, el estado de los depósitos corporales del mineral, las necesidades, la actividad eritropoyética y una serie de factores lumenales e intraluminales que interfieren o facilitan la absorción (Cecilia Perel, 2016)

Puesto que el hierro no es excretado activamente del cuerpo, la homeostasis del hierro está regulada principalmente por la absorción de hierro en el duodeno y el yeyuno proximal. Existen dos diferentes vías de absorción del hierro: uno para el hierro hemo (hierro que participa en la estructura del grupo hemo y, por tanto, se encuentra formando parte de la Hb, mioglobina y diversas enzimas, como citocromos, etc.) sobre todo con destino a las porfirinas en los alimentos a base de carne, y otro para el hierro no hemo, que se encuentra principalmente en vegetales. El hierro hemo constituye sólo el 10% del hierro de la dieta, pero debido a una mayor biodisponibilidad que representa el 30% del total del hierro absorbido, realizándolo a través de un transportador de membrana específico. El hierro no hemo se encuentra principalmente en estado férrico (Fe^{3+}) y se reduce al estado ferroso (Fe^{2+}) en la membrana apical del enterocito por una ferri-reductasa (que recibe el nombre de Dcytb: citocromo b duodenal), que es inducida por la deficiencia de hierro (DH). (Cecilia Perel, 2016)

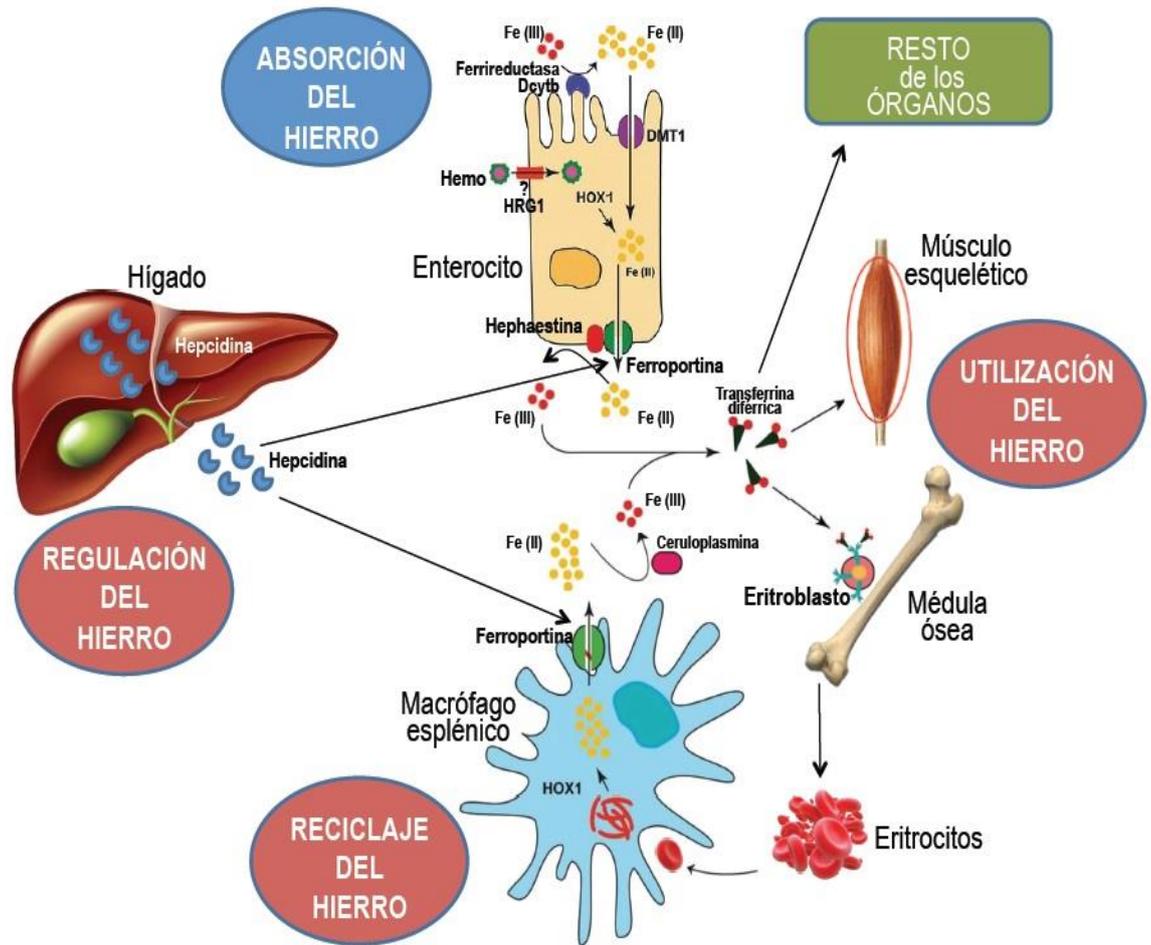


Figura 2. Regulación del metabolismo del hierro sistémico. Órganos y tipos de células que participan en el balance del hierro sistémico (Basolo & Jhohnson, 2020).

2.3.5. Distribución de hierro en el organismo

La cantidad de hierro total en el organismo es de unos 30 a 40 mg por kilogramo de peso corporal. Este valor es variable y depende de diferentes factores como la edad del individuo, el sexo, el tipo de alimentación y el tejido u órgano estudiado, ya que el hierro no se distribuye homogéneamente en el cuerpo humano. (Jose Boccio, 2003)

Desde el punto de vista funcional, el hierro en el organismo puede estar formando parte de dos grandes grupos, el de los compuestos de hierro esencial integrado fundamentalmente por la hemoglobina, mioglobina, citocromos y diferentes enzimas y el de los compuestos de hierro de depósito o almacenamiento como la ferritina y la hemosiderina. (Jose Boccio, 2003)

Compuestos de hierro esenciales: Comprendido en este grupo de compuestos, se encuentra la hemoglobina, una de las proteínas que desde el punto de vista cuantitativo es la de

mayor preponderancia, ya que contiene más del 65% del hierro total del organismo. Esta se encuentra contenida dentro de los hematíes y su función principal es la de transportar oxígeno desde los pulmones al resto de los tejidos. Esta proteína es un tetrámero formada por 4 cadenas de globina, cada una de ellas con un grupo hemo que contiene un átomo de hierro. (Jose Boccio, 2003)

La mioglobina, otra proteína con hierro en su estructura, se encuentra en el músculo y está formada por una molécula de globina y un grupo hemo. Esta tiene como función la de transportar y almacenar oxígeno para ser utilizado durante el proceso de contracción muscular. Desde el punto de vista cuantitativo, la mioglobina contiene aproximadamente el 10% del total del hierro del organismo (2,6) (Jose Boccio, 2003).

Los citocromos, otro grupo de moléculas con importantes funciones metabólicas, están formados básicamente por una molécula de globina y un grupo hemo. Los mismos se encuentran principalmente en las mitocondrias y otras organelas celulares. Su función básica es la de intervenir en los procesos de transporte de electrones, como por ejemplo, en las mitocondrias donde intervienen en la producción oxidativa de energía, o en el caso del citocromo P 450 que interviene en los procesos de la degradación oxidativa de compuestos endógenos o de diferentes fármacos. (Jose Boccio, 2003)

En muchas enzimas también podemos encontrar al hierro formando parte de su estructura. En ellas el hierro se puede encontrar bajo la forma de hemo, como en el caso de las catalasas y peroxidasas, o como hierro no hemo, en la deshidrogenasa del dinucleótido de nicotinamida adenina reducido. Si bien el contenido total del hierro en las enzimas representa apenas un 3 %, fisiológicamente su presencia resulta indispensable, ya que dichas enzimas serían metabólicamente inactivas en ausencia de este. (Jose Boccio, 2003)

Compuestos de hierro de depósito: El hierro que no es momentáneamente utilizado en los diferentes procesos metabólicos es almacenado. Su cantidad varía entre 0 a 15 mg por kg de peso corporal, siendo dependiente de diversos factores fisiológicos y nutricionales. (Jose Boccio, 2003)

Los principales tejidos de almacenamiento de este metal son el hígado, que contiene el 60% del hierro de depósito, mientras que en las células del sistema retículo endotelial y el tejido muscular se encuentra el 40% restante. El hierro en los depósitos está unido a proteínas específicas, la ferritina contiene el 95% del hierro hepático mientras que su forma degradada la hemosiderina el 5% restante. (Jose Boccio, 2003)

La ferritina es una proteína cuya función consiste en almacenar hierro dentro de la célula. Está formada por 24 subunidades poli peptídicas y posee un peso de 20-22 kDa. Existen dos isoformas, una denominada L, de 20 kDa, que se encuentra fundamentalmente en hígado y la otra denominada H, de 22 kDa, que predomina en el corazón. La biosíntesis de ambas subunidades está regulada por las concentraciones intracelulares de hierro y el stress oxidativo, entre otros factores. (Jose Boccio, 2003)

La ferritina posee la capacidad de contener hasta 4500 átomos de hierro por molécula aunque en condiciones normales se la encuentra saturada en un 20%. El hierro dentro de esta proteína se encuentra almacenado principalmente como fosfato hidratado polimolecular y óxido férrico entre otras formas complejas de compuestos inorgánicos de hierro. (Jose Boccio, 2003)

El hierro, en su forma ferrosa, ingresa a la molécula de ferritina mediante la utilización de poros específicos presentes en la misma; posteriormente en el interior de la molécula, el hierro es oxidado a su forma férrica, en un proceso en el cual la relación estequiométrica del Fe (II) con el O₂ es cercana a 3,8 en presencia de ceruloplasmina. Finalmente, el Fe (III) forma parte del núcleo de cristalización en el interior de la ferritina. Cada una de las cadenas (H y L) de ferritina, cumplen una función cooperativa durante este proceso de incorporación del hierro, teniendo la cadena L mayor capacidad promotora en la formación de los núcleos de cristalización que la cadena H, mientras la cadena H posee mayor capacidad que la cadena L para inducir la oxidación del Fe(II) mediada por la presencia de O₂/ceruloplasmina. Cuando existe la necesidad de liberar hierro desde los depósitos, el hierro, en un primer paso, es reducido a su forma ferrosa en el interior de la molécula de ferritina, para posteriormente ser liberado a través de los poros de la misma. En este proceso de reducción existen evidencias que involucrarían al ácido ascórbico y al mononucleótido de flavina reducido, como mediadores de dicho proceso (109, 114-120). (Jose Boccio, 2003)

Cuando el contenido de hierro de la molécula de ferritina es de aproximadamente unos 4000 átomos por molécula, la misma es degradada por las enzimas lisosomales para formar la hemosiderina. Esta proteína es insoluble y posee un contenido de hierro de aproximadamente un 40% de su peso, con una composición que corresponde a formas químicas del hierro menos reactivas que las presentes en las moléculas de ferritina. (Jose Boccio, 2003)

2.3.5. Metabolismo celular del hierro

La captación celular del hierro se efectúa mediante un receptor de transferrina (RTf). El receptor de transferrina es una glucoproteína con un peso molecular de 180 kDa, que está constituido por dos subunidades iguales de 95 kDa, cada una de las cuales posee 760 aminoácidos y están unidas por dos puentes disulfuro. (Jose Boccio, 2003)

Cada subunidad tiene la capacidad de unir una molécula de transferrina. La afinidad del RTf es sustancialmente mayor para la transferrina diférrica que para la apotransferrina, siendo sus constantes de disociación (Kd) de $1,1 \times 10^{-8}$ M y $4,6 \times 10^{-6}$ M respectivamente. Sin embargo, la concentración plasmática de transferrina es del orden de $30-40 \times 10^{-6}$ M; esta situación implica que a dicha concentración los RTf de la superficie celular se encuentran saturados. Por ello la captación celular del hierro está regulada por el número de RTf presentes en la superficie, valor que dependerá del estado intracelular para el hierro. Así por ejemplo, aquellos tejidos metabólicamente activos, donde aumentan los requerimientos intracelulares de hierro existirá un mayor número de RTf en la superficie celular, valor que aumentará ya sea a través de la síntesis de nuevos RTf o por aumento en la velocidad de translocación de dicho receptor. De esta manera aproximadamente 1/3 de la masa total de los RTf está presente en la superficie de la célula. (Jose Boccio, 2003)

Una vez que la transferrina que posee hierro (TfFe) se une al RTf en la superficie de la célula, el complejo RTf-TfFe es captado por la célula por endocitosis. En este proceso la fracción citoplasmática del receptor juega un rol esencial en el proceso de internalización del complejo RTf-TfFe, estando este proceso de internalización regulado por la activación de la proteína quinasa C. Dentro del endosoma existe un cambio de pH a valores cercanos a 5,5 mediado por una bomba de protones ATP-dependiente, que produce una disminución de la afinidad de la transferrina por el Fe. También existe una unión de Cl⁻ a un sitio de fijación de aniones del complejo que facilita la separación del Fe, como así también existe un proceso reductivo del hierro férrico a su forma ferrosa, que disminuye aún más la afinidad de la transferrina por este metal. Este último proceso puede estar mediado por el ácido ascórbico o enzimáticamente a través de una enzima endosomal NADH dependiente. Recientemente se ha demostrado que los grupos fosfato y pirofosfato también facilitan la liberación del hierro unido a la transferrina. Este efecto se ha observado no solo a pH ácido sino también a pH de 7,4, evidenciando de esta forma un mecanismo secundario de liberación del hierro del complejo RTf-TfFe. Por otra parte, se ha observado que la liberación del primer átomo de hierro por la

transferrina diférrica produce un cambio en la estabilidad del complejo RTf-TfFe como consecuencia de la interacción transferrina-receptor que desestabiliza la unión del átomo de hierro restante, facilitando de esta manera la liberación del mismo. (Jose Boccio, 2003)

Posteriormente, la fracción del endosoma que contiene hierro se separa y el hierro de su interior es transferido al citoplasma de la célula, este proceso aparentemente podría estar mediado por la bomba de protones ATP-dependiente. Una vez que el hierro se encuentra en el citoplasma éste se une a proteínas fijadoras de hierro o a ligandos de bajo peso molecular. Este hierro, posteriormente se podrá unir a las proteínas reguladoras de hierro, integrarse a las estructuras de las proteínas que poseen hierro o formar parte de los depósitos celulares de este metal. (Jose Boccio, 2003)

La otra parte del endosoma que contiene el complejo apoTf-RTf se dirige al aparato de Golgi para ser empacado junto a RTf recién sintetizados. Estas vesículas se dirigen a la membrana de la célula con la que se fusionan poniendo en contacto los complejos apoTf-RTf con el espacio extracelular. A pH del espacio extracelular (7,4) disminuye sustancialmente la afinidad del RTf por la apoTf y esta última es liberada para que pueda cumplir nuevamente sus funciones. Este ciclo dura aproximadamente unos 10 minutos y el mismo puede repetirse unas 100 veces hasta que la transferrina o su receptor sean degradados. (Jose Boccio, 2003)

2.3.6. Funciones bioquímicas y fisiológicas

Las principales funciones biológicas que posee el hierro, se basan en sus propiedades oxido-reductoras, ya que los estados de oxidación del hierro van desde -2 a $+6$, la interconversión entre estos estados de oxidación le otorgan a este elemento propiedades fisicoquímicas particulares que le permite participar en la transferencia de electrones como así también la de unirse en forma reversible a diferentes ligandos como ser los átomos de oxígeno, nitrógeno y azufre. Esta característica le confiere a este elemento propiedades biológicas especiales que le permite participar en un gran número de procesos bioquímicos, generalmente a través de su asociación con diversas biomoléculas, especialmente las proteínas, muchas de las cuales poseen actividad enzimática. (Jose Boccio, 2003)

Entre las proteínas que se encuentran asociadas con este elemento están aquéllas que contienen hierro en su estructura como: la hemoglobina y la mioglobina; enzimas que contienen hierro ligado a azufre; enzimas que contienen hierro bajo la forma de hemo y enzimas que contienen hierro, pero no bajo la forma hemo, ni asociada al azufre.

Estas características particulares del hierro, sumadas a la gran variedad y diversidad de estructuras biológicas a las cuales se encuentra asociado, hace que este elemento intervenga en múltiples y vitales procesos bioquímicos y fisiológicos como por ejemplo: el transporte y almacenamiento de oxígeno a través de la hemoglobina; en el metabolismo muscular, al formar parte de la mioglobina que permite el pasaje del oxígeno desde los eritrocitos a las mitocondrias del músculo. Bajo la forma de hemo forma parte del sitio activo de los citocromos, los que intervienen en múltiples y variadas vías metabólicas como las relacionadas con el metabolismo energético, con el sistema enzimático microsomal P-450, el que participa en la síntesis de diversos esteroides como la aldosterona, corticosterona, pregnenolona, vitamina D3, etc. Este sistema también interviene en la degradación de distintos metabolitos, drogas, fármacos y diferentes sustancias tóxicas. Por otra parte, el hierro, al formar parte de casi todas las oxidasas de los mamíferos, demuestra la variedad de procesos metabólicos y fisiológicos en los cuales este elemento está involucrado. (Jose Boccio, 2003)

2.4. Microorganismos en el agua

2.4.1 Generalidades

El agua potable ha sido definida en las Guías de Calidad de la Organización Mundial de la Salud (OMS), como “adecuada para el consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal”. Es el agua libre de microorganismos causantes de enfermedades que afecten la salud (Organización Mundial de la Salud , 2018)

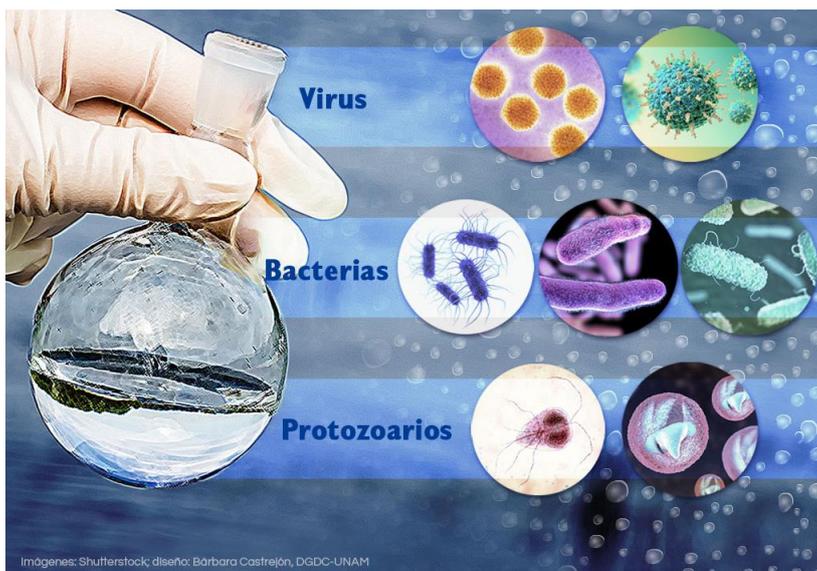


Figura 3. Microorganismos presentes en el agua. Fuente tomada; Ciencia UNAM.

Las aguas superficiales están expuestas a una amplia variedad de factores que alteran su calidad con diferentes niveles de intensidad, pueden actuar como vehículo de transmisión de contaminantes, arrojados a la atmósfera y la corteza terrestre y de microorganismos patógenos de origen gastrointestinal. En el proceso de abastecimiento del agua, pueden surgir causas que predisponen el ingreso y multiplicación de microorganismos a partir de distintas fuentes como: las conexiones cruzadas, retrosifonaje, rotura de las tuberías, cámaras de bombeo, surtidores, reservorios de distribución, tendido de nuevas tuberías o reparaciones, construcción defectuosa de pozos e irregular mantenimiento de estas instalaciones (Programa Global de las Naciones Unidas para el medio ambiente , 2013)

El principal riesgo de contaminación del agua en la red de distribución es la contaminación con materia fecal por infiltraciones y debido a la presencia de sedimentos en el fondo de las tuberías que favorecen la colonización de microorganismos (Villena, 2018).

La contaminación microbiológica es responsable de más del 90 % de las intoxicaciones y transmisión de enfermedades por el agua. Los principales microorganismos que se transmiten a través del agua engloban a las bacterias (*Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni*), virus (*Enterovirus*, *rotavirus*, *adenovirus*), protozoos (*Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*, *Entamoeba histolytica*) y helmintos (*Ascaris lumbricoides*) (Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas/ Organización Mundial de la Salud , 2017).

El control de la calidad microbiológica del agua de consumo humano (ACH) requiere del análisis de microorganismos patógenos, lo cual se dificulta, debido a la gran variedad de bacterias patógenas cultivables, la complejidad de los ensayos de aislamientos, la baja concentración de varias especies muy agresivas y la necesidad de laboratorios especializados; además de demandar varios días de análisis y un costo elevado. Frente a la necesidad de hacer una evaluación sencilla, rápida, económica y fiable de la presencia de patógenos, la vigilancia de la calidad del agua se efectúa mediante la búsqueda de indicadores de contaminación fecal aprobados por los estándares internacionales y nacionales (Wisner & Adams , 2015).

Estos microorganismos deben cumplir diferentes requisitos entre ellos: ser un constituyente normal del microbiota intestinal de individuos sanos, estar presente de forma exclusiva en las heces de animales homeotérmicos, estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están, presentarse en número elevado, facilitar su aislamiento e identificación, ser incapaces de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos.

Por otro lado, su tiempo de supervivencia debe ser igual o superior al de las bacterias patógenas, su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal, así como fácil de aislar y de cuantificar. (Fernandez , Molina, Alvarez, Alcántara , & Espigares , 2015)

La mayor parte de los países de Latinoamérica, Norteamérica, la Unión Europea y otras regiones y comunidades, han adoptado en sus normas de calidad de agua de beber, valores guía de la OMS como indicadores específicos para sus normas nacionales. Internacionalmente los estándares definen a las bacterias, virus y parásitos como organismos que pueden contaminar el agua potable por lo que deben ser tratados. Establecen, además, los límites máximos admisibles de concentraciones para los indicadores bacterianos, teniendo en cuenta cuando resulta necesario otros adicionales según el tipo de monitoreo a ejecutar de verificación, operación y validación. Nacionalmente, constituyen aspectos priorizados: el manejo integrado del agua, los problemas ambientales relacionados con los recursos hídricos, especialmente su uso sostenible y la protección contra la acción de contaminación (Mora, 2015).

2.4.1 Microorganismos recomendados como indicadores de la calidad del agua potable

A continuación, se describen algunos grupos de microorganismos recomendados en guías y estándares como indicadores de la calidad del agua potable, importantes para su valoración en términos sanitarios.

2.4.2 Bacterias

2.4.2.1 Coliformes totales

Pertenecen a la familia Enterobacteriaceae, son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulados, fermentadores de lactosa a 35 °C con producción de gas y ácido láctico de 24 a 48 h de incubación y pueden presentar actividad de la enzima β -galactosidasa. Constituyen aproximadamente el 10 % de los microorganismos intestinales de los seres humanos y otros animales. Se encuentran en grandes cantidades en el ambiente (fuentes de agua, vegetación y suelos), no están asociados necesariamente con la contaminación fecal y no plantean ni representan necesariamente un riesgo evidente para la salud. Son considerados indicadores de degradación de los cuerpos de agua. En aguas tratadas estas bacterias funcionan como una alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen, indican que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o en las propias fuentes. (Ríos, Agudelo, & Gutierrez, 2017)

ANÁLISIS DE AGUAS

Determinar el número de colonias de coliformes totales en la muestra de agua recogida por la técnica de filtro de membrana.

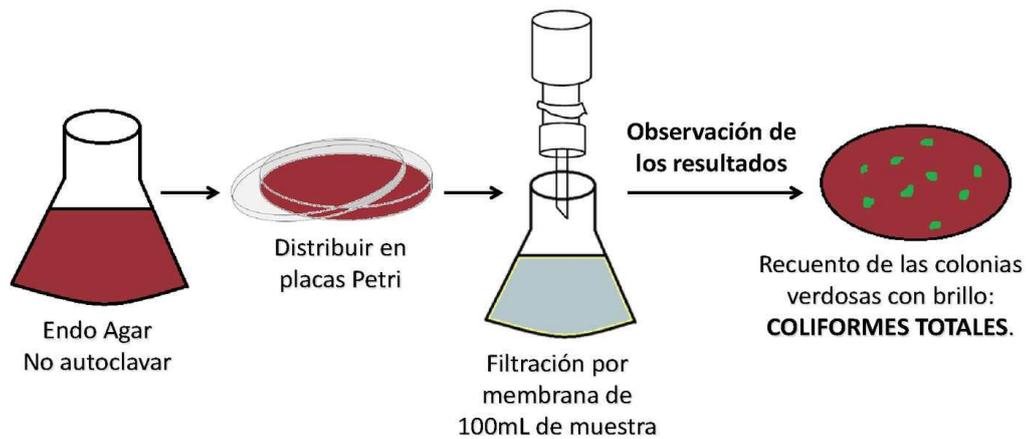


Figura 4. Determinación del número de coliformes totales (American Public Health Association., 2017).

2.4.2.2 *Coliformes fecales o termotolerantes*

Subgrupo de las bacterias del grupo coliforme, presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos. Su origen es esencialmente fecal, tienen la capacidad de fermentar la lactosa, con producción de ácido y gas a $(44,0 \pm 0,2)$ °C en 24 h de incubación. Incluye a *Escherichia* y en menor grado las especies de los géneros de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*, las últimas tienen una importante función secundaria como indicadoras de la eficacia de los procesos de tratamiento del agua para eliminar las bacterias fecales. Indican la calidad del agua tratada y la posible presencia de contaminación fecal (Suarez , 2016).

2.4.2.3 *Escherichia coli*

Es una bacteria estrictamente intestinal, indicadora específica de contaminación fecal, se caracteriza por la producción de indol a partir de triptófano, oxidasa negativa, no hidroliza la urea y presenta actividad de las enzimas β -galactosidasa y β -glucuronidasa. Estudios efectuados han demostrado que está presente en las heces de humanos y animales de sangre caliente en concentraciones entre 10^8 y 10^9 Unidades formadoras de colonias (UFC)/g de heces. *E. coli* considerada un habitante normal de la microbiota intestinal de los seres humanos, sin embargo, puede estar asociada a diversas condiciones patológicas. Ver Tabla 3. Las

diferentes cepas patógenas de *E. coli* muestran especificidad de huésped y poseen atributos de virulencia distintos. Cuando ocurren aumentos repentinos de la concentración de patógenos, aumenta de forma considerable el riesgo o se desencadenan brotes de enfermedades (American Public Health Association., 2017).

Tabla 3. Enfermedades infecciosas más comunes ocasionadas por bacterias

Microorganismo	Enfermedad
<i>Campylobacter</i> spp.	Síndrome de Guillian-Barré (trastorno neurológico autoinmune)
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersiniosis (fiebre, dolor abdominal y diarrea hasta hemorrágica)
<i>Helicobacter pylori</i>	Úlcera péptica, cáncer gástrico
<i>Enterobacter</i> spp.	Gastroenteritis aguda, infecciones hospitalarias, infecciones de las vías urinarias por heridas.
<i>Citrobacter</i> spp.	Abscesos, meningitis, bacteremia
<i>Klebsiella</i> spp.	Artritis reactiva
<i>E. coli</i> O157:H7	Síndrome urémico hemolítico.
<i>E. coli</i> enterotoxigénica	Diarrea del viajero
<i>E. coli</i> enteropatógena	Episodio diarreico, destrucción de las microvellosidades
<i>E. coli</i> enteroinvasiva	Diarrea disenteriforme, muerte celular
<i>E. coli</i> enterohemorrágica	Síndrome urémico hemolítico, insuficiencia renal aguda
<i>E. coli</i> enteroagregativa	Septicemia, meningitis neonatal, gastroenteritis
<i>Salmonella</i> spp	Salmonelosis (fiebre tifoidea/paratifoidea)
<i>Shigella</i> spp.	Shigelosis (diarrea, fiebre, dolor abdominal, vómitos y náuseas)
<i>Vibrio Cholerae</i>	Cólera (enfermedad aguda diarreica)

Fuente: Tomada de (American Public Health Association., 2017)

2.4.2.4 Microorganismos heterótrofos

Las bacterias heterótrofas abundan en el agua, incluidas el agua tratada y del grifo; poseen gran capacidad de adaptación, pueden tolerar condiciones adversas de suministro de oxígeno y permanecer más tiempo que otros microorganismos en el agua. Es un indicador de la carga total bacteriana, que favorece el recuento de bacterias viables a 37 °C en 48 h de incubación; sus resultados se expresan en UFC de los microorganismos existentes (Glasmacher , Engelhart , & Exner, 2018).

Mediante este indicador se obtiene información útil que se estudia junto con el índice de coliformes, para controlar un determinado proceso o para verificar la calidad del tratamiento, desinfección o descontaminación. Se ha comprobado que el conteo total de microorganismos

heterótrofos es uno de los indicadores más confiables y sensibles del tratamiento o del fracaso de la desinfección (Programa Global de las Naciones Unidas para el medio ambiente , 2013).

2.4.2.5 *Clostridium perfringens*

Su origen no es exclusivamente fecal, se encuentra en suelos y aguas contaminadas. Por ser una bacteria esporulada tolera condiciones adversas tales como: elevadas temperaturas, desecación, pH extremos, falta de nutrientes, entre otras. Cuando está presente en el agua potabilizada y desinfectada indica fallos en el tratamiento o en la desinfección. La detección de este microorganismo en el agua inmediatamente después de su tratamiento, constituye un indicador de alerta sobre el funcionamiento de la planta de filtración. Debido a su elevada resistencia, las esporas pueden indicar, de forma indirecta, la presencia de quistes de protozoarios (Edberg & Robertson , 2013).

2.4.3.1 Virus

Los virus están constituidos por ácido nucleico y proteínas. El ácido nucleico es el genoma viral, ubicado en el interior de la partícula, el cual puede ser, ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (ARN). Generalmente están asociados con un número pequeño de moléculas proteicas que pueden tener actividad enzimática o cumplir alguna función estabilizadora para el plegamiento del ácido nucleico y armado de la partícula viral. La mayoría de los virus asociados con la transmisión por el agua son los virus entéricos, estos se multiplican en el intestino del hombre, son excretados en gran número en las heces de los individuos infectados y pueden sobrevivir en el medio ambiente por largos periodos de tiempo (Borrego , Moriño , Vicente , Córna , & Romero , 2016).

El poliovirus es considerado un indicador viral entérico. Sin embargo, las cantidades de este virus en ambientes acuáticos son demasiado variables como para ser considerado un buen indicador, lo que ha llevado a la búsqueda de indicadores alternativos que sean rápida y fácilmente detectables. Estos indicadores son los fagos: colifagos somáticos y colifagos F específicos. La propuesta está basada en que los fagos se encuentran abundantemente tanto en agua residual como en agua contaminada, las poblaciones de colifagos son mucho más grandes que las de los enterovirus. Los colifagos no pueden reproducirse fuera del huésped bacteriano, se pueden aislar y contar por métodos sencillos, los resultados se obtienen más rápidamente, se relacionan directamente con su huésped bacteriano específico (*E. coli*).

Cuando las condiciones ambientales son desfavorables los coliformes fecales no son buenos indicadores de contaminación fecal, ya que desaparecen rápidamente. Por consiguiente, es mejor usar microorganismos más resistentes, como los colifagos que reflejan mucho mejor los niveles de Salmonella. Otro grupo indicador, lo constituyen los fagos que infectan a *Bacteroides fragilis*, este grupo presenta la ventaja de no replicarse en ambientes naturales, dado que infectan una cepa anaerobia y su multiplicación se realiza solo bajo estas condiciones.

Los bacteriófagos de *Bacteroides* son considerados como posibles indicadores de contaminación fecal, debido a su asociación específica con la materia fecal y su excepcional resistencia a las condiciones ambientales. Hay dos grupos de fagos de *B. fragilis* que se utilizan como indicadores para la evaluación de la calidad del agua. (Glasmacher , Engelhart , & Exner, 2018)

Uno es un grupo limitado que utiliza como hospedador la cepa HSP40 de *B. fragilis*, tiene la propiedad de encontrarse exclusivamente en heces humanas, pertenece a la familia Siphoviridae, sus miembros tienen colas flexibles sin capacidad contráctil, ADN bicatenario y cápsides de un diámetro de hasta 60 nm. El segundo grupo de fagos de *Bacteroides* utilizado como indicador, es el que utiliza como hospedador la cepa RYC2056 de *B. fragilis*. Este grupo abarca un conjunto sustancialmente más amplio de fagos, los cuales están presentes en las heces del ser humano y otros animales. (Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas/ Organización Mundial de la Salud , 2017)

El tratamiento apropiado y la desinfección del agua son pasos esenciales para la eliminación de los virus. El 87 % de las enfermedades virales transmitidas por el agua son causadas por el virus de la hepatitis (adenovirus y rotavirus); Norwalk virus, Reovirus, Parvovirus y los Papovavirus que causan infecciones en el yeyuno. Los riesgos de enfermedades más comunes son la diabetes mellitus, miocarditis, poliomielitis, desórdenes hepáticos, herpes simple, rubéola, dengue y fiebre amarilla. (Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones)

2.4.4. Parásitos

Los parásitos que son patógenos para el hombre se clasifican en dos grupos: los protozoos y los helmintos. Los protozoos son organismos unicelulares cuyo ciclo de vida incluye una forma vegetativa (trofozoito) y una forma resistente (quiste). El estado de quiste

de estos organismos es relativamente resistente a la inactivación por medio de los sistemas de tratamiento convencional de aguas. (Alarcón, Bertrán , Cárdenas , & Campos , 2016)

Los protozoos más conocidos en las heces humanas son: *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolítica* y *Balantidium coli*. En los últimos años, ha ganado gran importancia la contaminación por *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium parvum*, los cuales se consideran patógenos emergentes y la investigación se ha orientado básicamente al estudio de procesos de desinfección que garanticen la eliminación de este tipo de quistes. (Payan , Ebdon , Taylor , & Gantzer , 2017)

Los protozoos pueden causar enfermedades en el hombre como: giardiasis, criptosporidiosis, malaria, diarrea por flagelados, disentería amebiana, meningoencefalitis amebiana, disentería balantidiana, infecciones diseminadas e infecciones intestinales. Una cuarta parte de la humanidad está afectada por este tipo de enfermedades. La malaria es responsable de más de 100 millones de casos al año, un millón de los cuales son fatales.^{3,26} Investigaciones recientes indican que *Cryptosporidium* ocupa el tercer lugar en importancia mundial entre todos los enteropatógenos de transmisión hídrica. (Alarcón, Bertrán , Cárdenas , & Campos , 2016)

Los helmintos incluyen los nemátodos, tremátodos y céstodos. El problema principal es el incremento gradual del número de gusanos en el huésped, debido a la continua ingestión de huevos, dado que no se reproducen ni incrementan su número fuera del huésped es decir, un huevo fecundo ingerido produce un adulto sin multiplicación intermedia (a excepción de *Strongyloides*); aunado a que la respuesta inmune del huésped es deficiente o ausente. Esta característica favorece su uso como indicador, ya que, en una muestra, la cantidad de helmintos no varía con el tiempo. *Ascaris lumbricoides* se ha sugerido como un buen indicador del comportamiento de los huevos de helmintos. (American Public Health Association., 2017)

Sus ventajas consisten en que persiste en el medio ambiente por muchos meses, pero no se multiplica, se puede identificar fácilmente y el índice de parasitismo a nivel mundial es elevado. El agua de consumo no debe contener larvas maduras ni huevos fertilizados, ya que un único ejemplar puede ocasionar una infección. (Payan , Ebdon , Taylor , & Gantzer , 2017)

Las enfermedades más importantes producidas por helmintos son: teniasis (producidas por *T. solium* de origen porcino o *T. saginata* de origen vacuno), difolobotriasis (producida por *Diphyllobothrium latum*, parásito de peces), la hidatidosis o equinococosis (producida por *Echinococcus granulosus*, enfermedad muy grave por los quistes que causa el gusano; al

hombre suele transmitirse por los perros, aunque otras carnes o aguas contaminadas pueden ser su vehículo), la triquinosis (producida por *Trichinella spiralis*) es una enfermedad causada por el consumo de carne mal cocida; la anisakiasis (producida por *Anisakis marina* transportada por peces como el arenque); Capilariasis (producida por *Capillaria philipina* y transmitida por el consumo de carnes o pescados crudos) y Ascaridiosis (producida por *Ascaris lumbricoides* transmitida por contacto persona-persona cuando la higiene no es correcta y hay contaminación fecal) (Borrego , Moriño , Vicente , Córna x , & Romero , 2016)

Enfoque actual existente en relación con los indicadores microbiológicos empleados para determinar la calidad sanitaria del agua potable a nivel internacional.

El estándar internacional de la Organización Mundial de la Salud (OMS), describe los indicadores de alerta, establecidos para el monitoreo de las aguas. Define a los microorganismos de alerta, como aquellos que al exceder los límites especificados, requerirán de la aplicación de medidas correctivas para tener el proceso bajo control (Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas/ Organización Mundial de la Salud , 2017)

Tabla 4. Microorganismos indicadores, de acuerdo con el tipo de monitoreo.

Indicadores	Tipo de monitoreo		
	Validación de proceso	Operativo	Verificación producto final
<i>E. coli</i> o coliformes termotolerantes	No aplicable	No aplicable	Indicador fecal
Coliformes totales	No aplicable	Indicador de la limpieza e integridad del sistema de distribución	No aplicable
Conteo de microorganismos heterótrofos en placa	Indicador de la efectividad de desinfección bacteriana	Indicador de la efectividad del proceso de desinfección y de la limpieza e integridad del sistema de distribución	No aplicable
<i>Clostridium Perfringens</i>	Indicador de la efectividad de desinfección y procesos físicos de remoción de virus y protozoos	No aplicable	No aplicable
Colifagos <i>Bacteroides fragilis</i> Fagos Virus entéricos	Indicador de la efectividad de desinfección y procesos físicos de remoción de virus	No aplicable	No aplicable

Fuente: Tomada de (Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones)

Esta normativa establece criterios sanitarios para el ACH y las instalaciones, que favorecen su suministro y control, lo que garantiza su salubridad, calidad y limpieza. A su vez, define el uso de los microorganismos indicadores, de acuerdo con el tipo de monitoreo: validación, operativo o verificación. Destaca como principales grupos de microorganismos indicadores: coliformes termotolerantes o E. coli; coliformes totales; conteo total de bacterias heterótrofas en placa; Clostridium perfringens; Colifagos, Bacteroides fragilis, fagos o virus entéricos. (Alarcón, Bertrán , Cárdenas , & Campos , 2016)

En dependencia del tipo de monitoreo; refiere validar las operaciones de tratamiento y su eficacia; mediante la aplicación de los indicadores de Clostridium perfringens, conteo de microorganismos heterótrofos en placa y enterovirus. Dicha información puede ser empleada para la mejora, el mantenimiento de un sistema y para definir criterios operativos, que garanticen que la medida de control, previene eficazmente los peligros. Para el monitoreo operativo, sugiere el uso de los indicadores: conteo de microorganismos heterótrofos en placa y coliformes totales. Su detección señala el deterioro en la calidad del agua o una recontaminación. (Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas/ Organización Mundial de la Salud , 2017)

La gran sensibilidad de las bacterias aerobias mesófilas a los agentes de la cloración, las ubica como indicadoras de la eficacia del tratamiento de potabilización. Criterio ampliamente aceptado, teniendo en cuenta; que aunque la mayoría de las bacterias heterótrofas en agua potable no proceden de patógenos humanos; algunas de las especies bacterianas detectadas pueden ser patógenos oportunistas de riesgo a individuos inmunodeprimidos tales como: Pseudomonas spp., Acinetobacter spp., Moraxella spp., Xanthomonas spp. y diferentes hongos. (Glasmacher , Engelhart , & Exner, 2018)

Para el chequeo del producto final; refiere el monitoreo de verificación, el análisis de bacterias indicadoras de contaminación fecal en el agua tratada y en la que se distribuye (coliformes termotolerantes o E.coli esencialmente), lo que permite comprobar que el sistema en su conjunto, opera en condiciones seguras. (Glasmacher , Engelhart , & Exner, 2018)

Según la OMS, los riesgos para la salud relacionados con el agua de consumo más comunes y extendidos, son las enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes patógenos como: bacterias, virus y parásitos (protozoos y helmintos). Los virus y parásitos entéricos son

resistentes a la desinfección. Cuando se conoce que el agua de origen está contaminada con virus y parásitos entéricos, o si hay una elevada incidencia de enfermedades virales y parasitarias en la comunidad, es oportuno incluir en los análisis, los microorganismos indicadores de bacteriófagos o esporas bacterianas, así como, los parásitos, entre ellos: los protozoos (*Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*) y helmintos (*Ascaris lumbricoides*). (Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas/ Organización Mundial de la Salud , 2017)

Una vez demostrada la presencia de grupos indicadores, se puede inferir, que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores como: pH, temperatura, nutrientes y sistemas de desinfección, es similar a la del indicador; mientras que su ausencia es una evidencia de la seguridad microbiológica del agua, sometida a prueba. (Solsona , 2018)

Valores de referencia de los microorganismos indicadores

Las normas internacionales de la OMS, definen el valor de referencia o el límite máximo permisible como: el requisito de calidad del agua potable, que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento, un límite a partir del cual, el agua deja de ser considerada apta para el consumo humano. (WHO, 2018)

Para el monitoreo de verificación de la calidad microbiológica del agua potable, la OMS, establece valores de referencia para indicadores bacteriológicos, mediante el empleo de la técnica de FM (Tabla 3). La verificación incluye el análisis del agua de origen, del agua inmediatamente después de ser tratada y del agua en los sistemas de distribución. *E. coli* no debe ser detectada en ninguna muestra de 100 mL. (WHO, 2018)

Tabla 5. Valores de referencia para la verificación de la calidad microbiológica del agua potable

Microorganismos	Valor de referencia
Toda agua destinada a ser bebida: <i>E. coli</i> o bacterias coliformes termotolerantes.	No detectables en ninguna muestra de 100 mL
Agua tratada que alimenta al sistema de distribución: <i>E. coli</i> o bacterias coliformes termotolerantes.	No detectables en ninguna muestra de 100 mL
Agua tratada presente en el sistema de distribución: <i>E. coli</i> o bacterias coliformes termotolerantes.	No detectables en ninguna muestra de 100 mL

Fuente: Tomada de (WHO, 2018)

Su presencia es indicio de una contaminación fecal reciente, e implica la investigación inmediata de su origen y la toma de acciones correctivas o preventivas o ambas inclusive. Las directrices para la verificación tienen su basamento en el uso de métodos, procedimientos o pruebas, adicionales a los utilizados en el monitoreo operativo, para determinar si el sistema de abastecimiento del agua potable cumple los objetivos estipulados en las metas de protección de la salud o si es necesario modificar y volver a validar el Plan de Seguridad del Agua. (Organización Mundial de la Salud , 2018)

Capítulo III

3.1. Metodología

Para determinar el contenido de hierro y plomo en los tanques o cisternas de almacenamiento de las unidades educativas del área urbana “Voluntad de Dios” se ha tomado en cuenta un enfoque mixto de diseño experimental, de corte transversal, mismo que han permitido identificar la presencia de microorganismos etiológicos (coliformes totales) en el agua que se distribuye actualmente en la zona de estudio. El método para determinar los metales fue por ICP-EOS.

3.2. Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES)

La Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES), es una técnica de análisis multielemental capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica, a excepción de C, N, O, H, F, gases nobles, algunas tierras raras y otros elementos poco frecuentes, en concentraciones que van desde % hasta ppb (ug/L).

Las muestras son introducidas en forma líquida, transformadas mediante un nebulizador en un aerosol y excitadas mediante un plasma de argón. Las emisiones de los tomos excitados se recogen mediante un sistema óptico basado en un policromado combinado con detectores CCD, obteniendo espectros de emisión para las líneas seleccionadas en cada elemento.

3.3. Enfoque de la investigación

Posee un enfoque cuantitativo y cualitativo, debido a la recolección de datos con la finalidad de evaluar el problema planteado, para ello (Hernández, Fernández, & Batista, 2014) señalan que “el enfoque mixto representan el conjunto de procesos empíricos y críticos que implica la recolección y análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su discusión conjunta, para realizar conclusiones de toda la información recolectada, logrando resultados convenientes para la investigación”.

En este sentido, se ha identificado las condiciones de almacenamiento del agua y el contenido de hierro y plomo en los tanques o cisternas de almacenamiento de las escuelas en el área urbana “Voluntad de Dios”.

3.4. Diseño de investigación

De la misma forma el diseño de la investigación es de tipo experimental ya que las variables han sido manipuladas deliberadamente, ante esto, Lasa & Vergara (2002) consideran que “es un plan a través del cual se pretende contrastar el efecto causal de una o más variables manipuladas, incluyendo un procedimiento de asignación de los sujetos a los distintos niveles de tratamiento y la selección de una adecuada técnica de análisis”.

3.5. Tipo de investigación

De corte transversal ya que, la recolección de datos y resultados obtenidos se ha logrado en un tiempo definido, además, Malhotra (2004) afirma que “incluye la recolección de información de una muestra dada de elementos de población una sola vez”. De esta manera, la investigación ha determinado el contenido de hierro y plomo en los tanques o cisternas de almacenamiento de las escuelas del área urbana “Voluntad de Dios” durante el mes de marzo 2022.

3.5. Materiales y métodos

La evaluación de la calidad del agua, para el consumo humano en las escuelas del área urbana “Voluntad de Dios” en la ciudad de Guayaquil marzo del 2022, se ha utilizado un análisis analítico otorgado por un laboratorio, que ha determinado la presencia de hierro y plomo, en los tanque o cisternas de almacenamiento y microbiológico coliformes totales. Asimismo, se ha utilizado el método PEE (Procedimiento específico de ensayo de GQM) FQ-33 para identificar el hierro y plomo; en el caso de los coliformes totales se ha utilizado el método PEE-GQM-MB-38.

3.6. Población y muestra

La población “es el grupo de personas u objetos sobre el que se quieren obtener conclusiones mediante un proceso investigativo” (Pineda, Alvarado, & Canales, 2018). Por ende, la población que se utilizó en el análisis estuvo enfocado a cuatro instituciones educativas del área urbana “Voluntad de Dios” ubicado en la ciudad de Guayaquil.

De esta manera al tener una población fue finita la muestra fueron las cuatro escuelas, mismas que se detallan a continuación:

Tabla 6. Escuelas de referencia

Escuela	Muestra
Unidad Educativa Fiscal "América"	Muestra (A) / RESULTADOS (Informe de ensayos 87685)
Unidad Educativa Particular San Luis	Muestra (B) / RESULTADOS (Informe de ensayos 87685)
Escuela de E. B. Fiscal Luis Alfredo Martínez	Muestra (C) / RESULTADOS (Informe de ensayos 87685)
Unidad Educativa Fiscal José Martí	Muestra (D) / RESULTADOS Informe de ensayos 87685)

Fuente: Tomado de la investigación.

Capítulo IV

4.1. Análisis e interpretación de resultados

La evaluación de la calidad del agua para el consumo humano en las escuelas del área urbana “Voluntad de Dios” en la ciudad de Guayaquil marzo del 2022, se han realizado de la siguiente manera:

	Hierro (mg/l)	Plomo (mg/l)	Coliformes Totales NMP/100 ml
Muestra A	0,0352	< 0,0024	<1
Muestra B	0,1291	0,0042	<1
Muestra C	0,1947	< 0,0024	<1
Muestra D	0,1847	< 0,0024	<1

Cabe mencionar que las condiciones en la que se encuentran almacenada el agua potable en las escuelas del sector urbano, son en cisternas o tanque elevados.

4.2. Análisis de resultados

En base a los resultados del análisis analítico a través del método PEE-GQM-FQ-33 (Hierro y Plomo) y PEE-GQM-FQ-38 (Coliformes totales) se ha obtenido que el agua potable en los tanques o cisternas de almacenamiento el caso de la Unidad Educativa Fiscal “América” que corresponde a la muestra A, se tiene presencia de metales como el Hierro en un 0,0352 mg/l; y de plomo <0,0024 mg/l. en el caso de microbiología, los coliformes totales-NMP tuvieron un resultado <1,0 NMP/100ml. La temperatura al momento de recepción de la muestra tuvo 28.7C°/EI-174.

De igual manera, en el caso de la Unidad Educativa Particular “San Luis” que corresponde a la muestra B, se ha obtenido que en el agua potable de consumo la presencia de los metales es del Hierro con un resultado del 0,1291 mg/l; y de Plomo un 0,0042 mg/l. además, en el parámetro de microbiología la presencia de coliformes totales-NMP tuvo <1,0 NMP/100ml. Al igual que en el caso anterior, la temperatura al momento de recepción de la muestra tuvo 28.7C°/EI-174.

En el caso de la Escuela de E.B. Fiscal “Luis Alfredo Martínez” que pertenece a la muestra C, se ha obtenido que el agua potable en los tanques o cisternas de almacenamiento tienen presencia de metales como el Hierro en un 0,1947 mg/l; y de plomo <0,0024 mg/l., en

el caso del parámetro de microbiología, los coliformes totales-NMP tuvieron un resultado $<1,0$ NMP/100ml. La temperatura al momento de recepción de la muestra tuvo $28.7C^{\circ}/EI-174$.

Finalmente, en la Unidad Educativa Fiscal “José Martí” que corresponde a la muestra D, se ha evidenciado que el agua potable en los tanques o cisternas de almacenamiento tienen presencia de los dos metales estudiados como es el Hierro con un resultado de $0,1847$ mg/l; y de plomo $<0,0024$ mg/l., en el caso del parámetro de microbiología, que corresponde a los coliformes totales-NMP tuvieron un resultado $<1,0$ NMP/100ml. Asimismo, la temperatura al momento de recepción de la muestra tuvo $28.7C^{\circ}/EI-174$.

4.3. Discusión

De acuerdo a los resultados expuestos de las cuatro escuelas que se del área urbana “Voluntad de Dios” durante el mes de marzo 2022, se puede manifestar que el hierro en el agua de los tanques o cisternas están en una cantidad adecuada, sin embargo, el plomo no se encuentra en el rango establecido por la Ley de Agua Potable Segura.

Para tener mayor correlación de los resultados, se han tomado en cuenta los datos expuestos por (Yachas, 2019) donde determina “el hierro y plomo en el agua de consumo de los estudiantes de una institución educativa, determinando que el plomo se encuentra con una concentración de $0,09$ mg/l; y en el caso del Hierro en un $0,81$ mg/l, lo que ha permitido purificar y absorber los metales en el agua y demostrar el grado de eficiencia de la aplicación del carbón activado de cáscara de coco. Asimismo, en el caso de los coliformes totales NMP/100ml se ha demostrado que se encuentran en <1 ”.

Por otro lado, el estudio desarrollado por (Romero, 2021) demuestran que “el agua dentro de un área urbana contiene coliformes totales del orden de $1,6 \times 10^3$ NMP/100 ml, >200 y >200 UFC/100 ml. En el caso del hierro se demostró que contiene $0,1665$ mg/l; y de plomo $0,0842$ mg/l”.

Según (Fonseca, 2018) en su trabajo para mejorar el tratamiento del agua, “ha identificado un total de $11,24$ mg/l de hierro en el agua, lo que no cumple lo dispuesto por la RES, afirmando que por el tiempo de uso de la red y la distancia que ésta presenta, ha generado un aumento del parámetro de hierro en la muestra, dado que este es un factor que se encuentra por fuera de los límites permitidos, siendo una causa principal de turbidez”.

Por otro lado, según (Apaza, 2020) la exposición “de este metal es la principal causa de toxicidad generando consecuencias de la salud en los niños, porque con la presencia del plomo

en los tanques o cisternas que se encuentran dentro de las escuelas educativas, ocasionan causa déficits persistentes en el rendimiento educativo y reducción de peso en los niños pequeños. Además, el plomo se asocia a los efectos negativos en el riñón, incluidas enfermedades respiratorias, el coeficiente intelectual, rendimiento académico y problemas socio conductuales”.

De acuerdo con (Jurado, 2022), para “la determinación de hierro se ha utilizado los métodos estándar para la examinación de agua y aguas residuales, siendo 3500 Fe-Método de Fenantrolina y método colorimétrico, llegando a obtener un total de 3.00 mg/l. Además, a partir de los resultados que la autora ha logrado, se puede remover los metales y neutralizar el agua de consumo humano”.

Finalmente, con el estudio desarrollado por (Blanco, 2019) ante “la contaminación por hierro y plomo y su actuación en los parámetros de calidad del agua en el río Chillón, ubicado en Perú, ha demostrado que los resultados obtenidos muestran que el hierro y el plomo no tienen correlación, por lo tanto, no afectan a los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua estudiados. Además, el plomo está bastante controlado por la autoridad competente, porque sus niveles de concentración son bajos de los valores expuestos por ECA Agua”.

Capítulo V

4.1. Conclusiones

- Al haber evaluado la calidad del agua para el consumo humano de las cuatro escuelas en el área urbana “Voluntad de Dios” de la ciudad de Guayaquil 2022, se ha determinado el contenido de hierro y plomo en los tanques o cisternas de almacenamiento, donde el hierro se encuentra con 0,0352 mg/L para la muestra A; 0,1291 mg/L en la muestra B; 0,1947 mg/L en la muestra C; y 0,0042 mg/L en la muestra D. y en el caso del Plomo se encuentra con <0,0024 mg/L para la muestra A; 0,1291 mg/L en la muestra B; <0,0024 mg/L en la muestra C; y <0,0024 mg/L en la muestra D.
- En relación a los microorganismos etiológicos (coliformes totales) en el agua que se distribuye actualmente en el sector “Voluntad de Dios” en la ciudad de Guayaquil se ha determinado que la muestra A, B, C y D tiene un total de <1,0 de coliformes totales – NMP/100ml. Estos resultados se han podido evidenciar a través del método PEE-GQM-FQ-33.
- Las condiciones de almacenamiento del agua en las instituciones educativas no son las más adecuadas, debido a que utilizan un sistema de distribución por bombeo porque los tanques son grandes, los cuales necesitan soporte técnico, además, no se inspeccionan de forma adecuada aquellas cisternas de agua, por lo que pueden ocasionar un problema al momento de beber o utilizar el agua almacenada, ya que se puede contaminar fácilmente, ocasionando enfermedades.

Bibliografía

- Borrego , J., Moriño , M., Vicente , A., Córmax , R., & Romero , P. (2016). *Coliphages as an indicator of aecal pollution in water. Its relationship with indicator and pathogenic microorganisms*. Londres : Water Research.
- Aconsa. (12 de Febrero de 2021). *Aconsa*. Obtenido de Aconsa: <https://aconsa-lab.com/metales-pesados-en-el-agua-potable/>
- Alarcón, M., Bertrán , M., Cárdenas , M., & Campos , M. (2016). *Recuento de determinación de giardia pp. y cryptosporidium en aguas potables y residuales en la cuenca alta del río Bogotá*. Bogotá: Biomedica .
- American Public Health Association. (2017). *Standard Methods for the examination of water and wastewater 22nd edition*. New York : APHA, AWWA WEF. USA. .
- Apaza, M. L. (2020). *Consecuencias de la contaminación por plomo en niños*. Arequipa-Perú: UPADS.
- Arcia, U. A. (2018). *Detección Molecular De Comunidades Microbianas En Agua Para El Consumo Humano En El Municipio De Sincelejo, Sucre- Colombia*. Colombia: Universidad de Córdoba.
- Basolo, F., & Jhonson, R. (2020). *Química de los compuestos de coordinación: La química de los compuestos metálicos*. Reverté, 12.
- Blanco, L. F. (2019). *La Contaminación por Hierro - Plomo y su afectación en parámetros de Calidad del Agua en el río Chillón, estación San Diego – Noviembre, 2018*. Perú: Universidad Ricardo Palma.
- Calderon SJV, Q. E. (2016). *La contaminación por Plomo, un viejo problema de la actualidad*. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 1-2.

Carbotecnia. (22 de Abril de 2022). *Carbotecnia*. Obtenido de Carbotecnia:

<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/como-eliminar-fierro-en-el-agua/#:~:text=Las%20concentraciones%20de%20este%20metal,y%20hasta%20suavizadores%20de%20agua.>

Cecilia Perel, R. J. (2016). Deficiencia de hierro e insuficiencia cardíaca. *Insuficiencia cardíaca*.

Dunán, P., Fernández, M., Riverón, A., & Bassas, P. (2021). Evaluación del contenido de metales pesados en las aguas del Río Yamanigüey. *Revista, Int. Investig. Fac. Minas metal. Ciencia geográfica. vol. 24. num. 48, 7.*

Edberg , S., & Robertson , J. (2013). *Natural protection of spring and well drinking water against surface microbial contamination*. Londres : Crit Rev Microbiol.

Fernandez , A., Molina, M., Alvarez, A., Alcántara , & Espigares , A. (2015). *Transmisión fecohídrica y Virus de la Hepatitis* . España: Higiene y Sanidad Ambiental .

Fonseca, C. A. (2018). *Propuesta de mejoramiento para la planta de tratamiento de agua potable de la escuela logística del Ejército Nacional*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Glasmacher , A., Engelhart , S., & Exner, M. (2018). *Infections form HPC organisms in drinking water amongst immunocompromised*. Londres : WHO.

Gonzaga, F. A. (2018). Caracterización ambiental del manero de la quebrada El Alumbre en Loja-Ecuador. *Revista Bionatura. vol. 1. num. 1, 16.*

Hernández, R., Fernández, C., & Batista, L. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

Jose Boccio, J. S. (2003). Metabolismo del hierro: conceptos actuales sobre un micronutriente esencial. *Scielo*, 119-132.

- Jurado, A. R. (2022). *Tratamiento fisicoquímico de drenajes ácidos de roca (DARs) provenientes de las actividades de minería metálica en Ecuador*. Ambato: UTA.
- Lasa, N., & Vergara, A. (2002). *Diseños de investigación experimental en psicología: modelos y análisis de datos mediante el SPSS 10.0*. Pearson Educación: Madrid.
- Lic. Ibis Corzo Expósito, L. M. (2014). El plomo y sus efectos en la salud. *Acta Médica del Centro*, 141-148.
- Malhotra, N. (2004). *Investigación de mercados: un enfoque aplicado*. México: Pearson Educación.
- McFarland, M. L. (2004). *Problemas del agua potable: El plomo*. Texas: El Sistema Universitario Texas A&M.
- Mora, A. (2015). *Evaluación de las Guías microbiológicas para evaluar la calidad de agua para consumo humano*. Costa Rica : Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados .
- Naciones Unidas. (2021). *Resumen actualizado de 2021 sobre los progresos en el ODS 6: agua y saneamiento para todos*. Ginebra: Naciones Unidas.
- Obando, J., Mora, E., Lievano, L., Hernández, M., & Cárdenas, D. (2019). La calidad del agua y su impacto social. *Revista Espacios*. vol. 40. num. 43, 15.
- OMS. (21 de Marzo de 2022). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Agua y salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Organización Mundial de la Salud . (2018). *Guías para la Calidad de Agua potable* . Ginebra, Suiza .
- Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones . (s.f.). *Caracterización de peligros de patógenos en los alimentos y el agua*.
- Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas/ Organización Mundial de la Salud . (2017). *Caracterización de los peligros de patógenos en los*

alimentos y el agua : Directrices: Serie : evaluación de riesgos microbiológicos .

Ginebra, Suiza .

Pauta, G., Vásquez, G., Abril, A., Torres, C., & Palta, A. (2020). Indicadores bacteriológicos de contaminación fecal en los ríos de Cuenca, Ecuador. *Revista Maskana. vol. 11 num. 2, 12.*

Payan , A., Ebdon , J., Taylor , H., & Gantzer , G. (2017). *Method for isolation of Bacteroides bacteriophage host strains suitable for tracking sources of fecal pollution in water.* Toronto: Appl Environ Microbiol.

Pérez, G., Arriola, J., García, L. S., & Mendoza, J. (2016). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CUATRO JAGÜEYES DEL PARQUE ESTATAL “FLOR DEL BOSQUE”, PUEBLA, MÉXICO. *Revista Ra Ximhai, vol. 12. num. 4, 17.*

Pineda, B., Alvarado, E., & Canales, F. (2018). *Metodología de la investigación manual para el desarrollo de person al de salud.* Washington: Organización panamericana de Salud. Segunda Edición.

Programa Global de las Naciones Unidas para el medio ambiente . (2013). *Sistema mundial de Vigilancia del medio ambiente. Agua. Programa Mundial de Evauación de Recurso Hidricos .* Canadá .

Ramírez, C. Y. (2018). *Aplicación de la cascara del musa paradisiaca, para la remoción de metales pesados (hierro, níquel y plomo) en el agua de consumo humano de las localidades de eslabón y mitucro-Independencia-Huaraz-Ancash, diciembre 2015-julio 2016.* Universidad Nacional Santiago Antúñez de Mayolo.

Ramírez, S. A., Rodríguez, S. M., & Benarroch, B. A. (2021). El agua en la literatura educativa de las dos últimas décadas. Una revisión sistemática. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencia. Vol. 18. num. 1, 23.*

- Ríos, S., Agudelo, R., & Gutierrez, L. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de
validad del agua para consumo humano. . *Rev. Fac. Nac. Salud Pública. vol. 35. num.*
2, 12.
- Romero, M. J. (2021). *Características químicas inorgánicas, microbiológicas y
organolépticas del agua potable durante la estación seca del área urbana del distrito
de Pomahuaca, provincia de Jaén, 2019*. Lambeyque: Universidad Nacional Pedro
Ruiz Gallo.
- Salas, C., Guarduño, M., & Mendiola, P. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en
alimentis, efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Iberoamericana de
Tecnología Postcosecha. vol. 20 num.1*, 18.
- Salirrosas, L. V. (2022). Microorganismos para Eliminar la Toxicidad del Plomo en el Agua:
Aplicaciones y Técnicas. *High Tech- Engineering Journal*, 60-75.
- Santos, H. R. (2016). *Prevención de riesgos laborales. Riesgos de exposición a agentes
cancerígenos*. ASEPEYO.
- Secretaría del Agua. (2019). *Estrategia Nacional de Calidad del Agua*. Quito: Secretaría del
Agua.
- Sierra, R. C. (2021). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. Medellín, Colombia:
Ediciones de la U.
- Solsona , F. (2018). *Guías para elaborar normas de calidad del agua de bebida en los países
en desarrollo*. . Lima: Organización Panamericana de la Salud.
- SOLUTIONS, W. T. (1 de Marzo de 2020). *WATER TREATMENT SOLUTIONS*. Obtenido
de Propiedades químicas del Hierro - Efectos del Hierro sobre la salud - Efectos
ambientales del Hierro: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/fe.htm>
- Suarez , P. (2016). *Tendencia actual del streptococo como indicador de contaminación fecal*
. Habana, Cuba : Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología .

Unidos, A. d. (22 de Junio de 2021). *Agencia de Proteccion Ambiental de Estados Unidos* .

Obtenido de Agencia de Proteccion Ambiental de Estados Unidos :

<https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-el-plomo-en-el-agua-potable>

Villena, C. J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. vol. 35. num. 2, 5.

WHO. (2018). *Guidelines for Drinking-water Quality*. Nueva York: WHO.

Wisner , B., & Adams , J. (2015). *Environmental health in emergencies and disasters*. . Ginebra .

Yachas, T. E. (2019). *Grado de eficacia del carbón activado de la cáscara de coco, en la absorción del hierro y plomo del agua de consumos de los estudiantes de la I.E. San Andrés de Paragsha - Simón Bolívar 2018*. Perú: UNDAC.

Aw, T. G., Scott, L., Jordan, K., Ra, K., Ley, C., & Whelton, A. J. (2022). Prevalence of opportunistic pathogens in a school building plumbing during periods of low water use and a transition to normal use. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 241, 113945. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.113945>

Kormoker, T., Idris, A. M., Khan, M. M., Tusher, T. R., Proshad, R., Islam, Md. S., Khadka, S., Rahman, S., Kabir, Md. H., & Kundu, S. (2022). Spatial distribution, multivariate statistical analysis, and health risk assessment of some parameters controlling drinking water quality at selected primary schools located in the southwestern coastal region of Bangladesh. *Toxin Reviews*, 41(1), 247-260. <https://doi.org/10.1080/15569543.2020.1866012>

- Lal, B., Kumar, P., Sengar, S. S., & Singh, R. N. (2022). Hydro-chemical evaluation and fluoride health risk assessment in school children of plain tropical Central India. *Geocarto International*, 0(0), 1-23. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2052975>
- Perry, C., Dimitropoulos, Y., Skinner, J., Bourke, C., Miranda, K., Cain, E., Beaufils, D., Christie, V., Rambaldini, B., & Gwynne, K. (2022). Availability of drinking water in rural and remote communities in New South Wales, Australia. *Australian Journal of Primary Health*, 28(2), 125-130. <https://doi.org/10.1071/PY21119>
- Poague, K. I. H. M., Blanford, J. I., & Anthonj, C. (2022). Water, Sanitation and Hygiene in Schools in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Review and Implications for the COVID-19 Pandemic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 3124. <https://doi.org/10.3390/ijerph19053124>
- Yaro, C. A., Kogi, E., Luka, S. A., Alkazmi, L., Kabir, J., Opara, K. N., Batiha, G. E.-S., Bayo, K., Chikezie, F. M., Alabi, A. B., & Yunusa, S. I. (2022). Evaluation of School-Based Health Education Intervention on the Incidence of Soil-Transmitted Helminths in Pupils of Rural Communities of Eastern Kogi State, North Central Nigeria. *Journal of Parasitology Research*, 2022, e3117646. <https://doi.org/10.1155/2022/3117646>

Anexos

Figura 5. Toma de agua Monte Sinaí, para abastecer los tanqueros.



Fuente: Tomado de la investigación

Figura 6. Tanqueros que transporta el agua potable a la población y escuelas del sector urbano.



Fuente: Tomado de la investigación

Figura 7. Datos de la muestra A

DATOS DE LA MUESTRA

Punto e Identificación de la Muestra:	Agua Potable (A)
Fecha/Hora Lugar de Toma de Muestra:	2022/04/14 / 12:10 / Guayaquil
Fecha/Hora Recepción Muestras:	2022/04/14 / 15:24
Matriz de la muestra:	Agua Potable

METALES

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Hierro (3)	0,0352	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-33	2022/04/19 ER
Plomo (3)	<0,0024	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-33	2022/04/19 ER

MICROBIOLOGÍA

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Coliformes Totales-NMP (3)	<1,0	NMP/100ml	---	PEE-GQM-MB-38	2022/04/14 SP

SIMBOLOGÍA:

----- No. Aplica	E.P.A. Environmental Protection Agency	V.M.R. Valor Máximo Referencial
<LD Menor al Limite Detectable	P.E.E. Procedimiento específico de ensayo de GQM	C.C. Criterios de Calidad
N.E. No efectuado	G.R. Grados de Restricción	V.M. Valor Máximo
S.M. Standard Methods	L.M.P. Limite Máximo Permisible	V.M.P. Valor Máximo Permisible
U K=2 Incertidumbre Nivel de Confianza 95,45%	V.L.P. Valor Límite Permisible	

NOMENCLATURA:

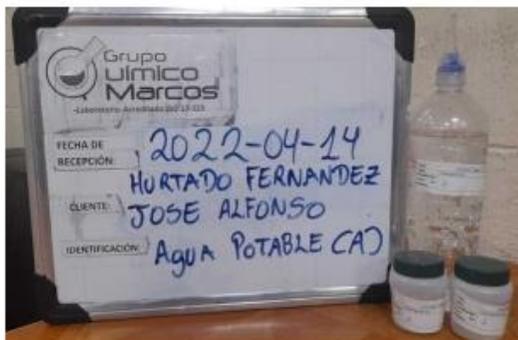
- (1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- (2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM
- (3) Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.
- (4) Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec

Fuente: Tomado de la investigación

Figura 8. Resultados muestra A

DATOS DE TOMA / RECEPCIÓN DE MUESTRA	
Punto e Identificación de la Muestra:	Agua Potable (A)
Fecha/Hora Lugar de Toma de Muestra:	2022/04/14 / 12:10 / Guayaquil
Fecha/Hora Recepción Muestras:	2022/04/14 / 15:24
Matriz de la muestra:	Agua Potable
Responsable de Toma de Muestra / Tipo de Muestra:	CLIENTE / Cliente / Puntual
Duración de Actividad:	---
Coordenadas Geográficas:	- -
Norma Técnica Aplicada:	No Aplica
Temperatura de Recepción de Muestra (Equipo):	28.7 Cº / EI-174
Condiciones Ambientales del Monitoreo:	CUANDO EL MUESTREO ES REALIZADO POR GQM, LOS DATOS SE REGISTRAN EN SU ACTA DE TOMA DE MUESTRAS QUE ESTA A DISPOSICIÓN DEL CLIENTE.
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.	

MEMORIA FOTOGRÁFICA



Fuente: Tomado de la investigación

Figura 9. Datos de la muestra B

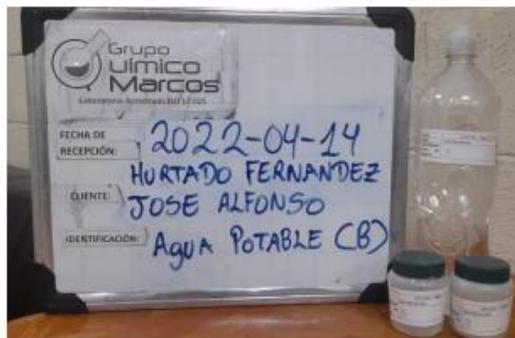
DATOS DE LA MUESTRA						
Punto e Identificación de la Muestra:	Agua Potable (B)					
Fecha/Hora Lugar de Toma de Muestra:	2022/04/14 / 12:50 / Guayaquil					
Fecha/Hora Recepción Muestras:	2022/04/14 / 15:24					
Matriz de la muestra:	Agua Potable					
METALES						
PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR	
Hierro (3)	0,1291	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-33	2022/04/19 ER	
Plomo (3)	0,0042	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-33	2022/04/19 ER	
MICROBIOLOGÍA						
PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR	
Coliformes Totales-NMP (3)	<1,0	NMP/100ml	---	PEE-GQM-MB-38	2022/04/14 SP	
SIMBOLOGÍA:						
----- No. Aplica	E.P.A. Environmental Protection Agency	V.M.R. Valor Máximo Referencial				
<LD Menor al Limite Detectable	P.E.E. Procedimiento específico de ensayo de GQM	C.C. Criterios de Calidad				
N.E. No efectuado	G.R. Grados de Restricción	V.M. Valor Máximo				
S.M. Standard Methods	L.M.P. Límite Máximo Permisible	V.M.P. Valor Máximo Permisible				
U K=2 Incertidumbre Nivel de Confianza 95,45%	V.L.P. Valor Límite Permisible					
NOMENCLATURA:						
(1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.						
(2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM						
(3) Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.						
(4) Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec						

Fuente: Tomado de la investigación

Figura 10. Resultados muestra B

DATOS DE TOMA / RECEPCIÓN DE MUESTRA	
Punto e Identificación de la Muestra:	Agua Potable (B)
Fecha/Hora Lugar de Toma de Muestra:	2022/04/14 / 12:50 / Guayaquil
Fecha/Hora Recepción Muestras:	2022/04/14 / 15:24
Matriz de la muestra:	Agua Potable
Responsable de Toma de Muestra / Tipo de Muestra:	CLIENTE / Cliente / Puntual
Duración de Actividad:	---
Coordenadas Geográficas:	- -
Norma Técnica Aplicada:	No Aplica
Temperatura de Recepción de Muestra (Equipo):	28.7 Cº / EI-174
Condiciones Ambientales del Monitoreo:	CUANDO EL MUESTREO ES REALIZADO POR GQM, LOS DATOS SE REGISTRAN EN SU ACTA DE TOMA DE MUESTRAS QUE ESTA A DISPOSICIÓN DEL CLIENTE.
Muestreo Actividad Acreditada:	Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

MEMORIA FOTOGRÁFICA



Fuente: Tomado de la investigación

Figura 11. Datos de la muestra C

DATOS DE LA MUESTRA						
Punto e Identificación de la Muestra:	Agua Potable (C)					
Fecha/Hora Lugar de Toma de Muestra:	2022/04/14 / 13:20 / Guayaquil					
Fecha/Hora Recepción Muestras:	2022/04/14 / 15:24					
Matriz de la muestra:	Agua Potable					
METALES						
PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR	
Hierro (3)	0,1947	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-33	2022/04/19 ER	
Plomo (3)	<0,0024	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-33	2022/04/19 ER	
MICROBIOLOGÍA						
PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR	
Coliformes Totales-NMP (3)	<1,0	NMP/100ml	---	PEE-GQM-MB-38	2022/04/14 SP	
SIMBOLOGÍA:						
---- No. Aplica	E.P.A. Environmental Protection Agency	V.M.R. Valor Máximo Referencial				
<LD Menor al Limite Detectable	P.E.E. Procedimiento específico de ensayo de GQM	C.C. Criterios de Calidad				
N.E. No efectuado	G.R. Grados de Restricción	V.M. Valor Máximo				
S.M. Standard Methods	L.M.P. Límite Máximo Permisible	V.M.P. Valor Máximo Permisible				
U K=2 Incertidumbre Nivel de Confianza 95,45%	V.L.P. Valor Límite Permisible					
NOMENCLATURA:						
(1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.						
(2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM						
(3) Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.						
(4) Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec						

Fuente: Tomado de la investigación

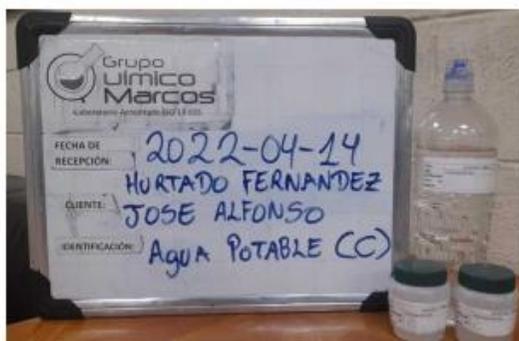
Figura 12. Resultados muestra C

DATOS DE TOMA / RECEPCIÓN DE MUESTRA

Punto e Identificación de la Muestra:	Agua Potable (C)
Fecha/Hora Lugar de Toma de Muestra:	2022/04/14 / 13:20 / Guayaquil
Fecha/Hora Recepción Muestras:	2022/04/14 / 15:24
Matriz de la muestra:	Agua Potable
Responsable de Toma de Muestra / Tipo de Muestra:	CLIENTE / Cliente / Puntual
Duración de Actividad:	---
Coordenadas Geográficas:	- -
Norma Técnica Aplicada:	No Aplica
Temperatura de Recepción de Muestra (Equipo):	28.7 Cº / EI-174
Condiciones Ambientales del Monitoreo:	CUANDO EL MUESTREO ES REALIZADO POR GQM, LOS DATOS SE REGISTRAN EN SU ACTA DE TOMA DE MUESTRAS QUE ESTA A DISPOSICIÓN DEL CLIENTE.

Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

MEMORIA FOTOGRÁFICA



Fuente: Tomado de la investigación

Figura 13. Datos de la muestra D

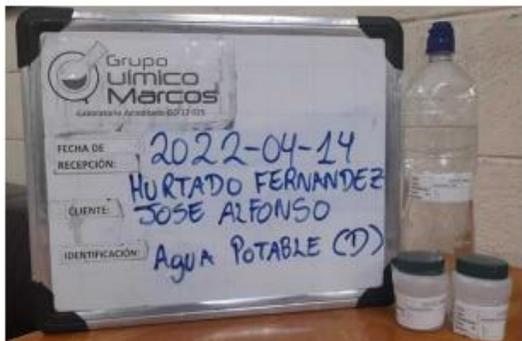
DATOS DE LA MUESTRA						
Punto e Identificación de la Muestra:	Agua Potable (D)					
Fecha/Hora Lugar de Toma de Muestra:	2022/04/14 / 13:45 / Guayaquil					
Fecha/Hora Recepción Muestras:	2022/04/14 / 15:24					
Matriz de la muestra:	Agua Potable					
METALES						
PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR	
Hierro (3)	0,1847	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-33	2022/04/19 ER	
Plomo (3)	<0,0024	mg/l	---	PEE-GQM-FQ-33	2022/04/19 ER	
MICROBIOLOGÍA						
PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR	
Coliformes Totales-NMP (3)	<1,0	NMP/100ml	---	PEE-GQM-MB-38	2022/04/14 SP	
SIMBOLOGÍA:						
---- No. Aplica	E.P.A. Enviromental Protection Agency	V.M.R. Valor Máximo Referencial				
<LD Menor al Limite Detectable	P.E.E. Procedimiento especifico de ensayo de GQM	C.C. Criterios de Calidad				
N.E. No efectuado	G.R. Grados de Restricción	V.M. Valor Máximo				
S.M. Standard Methods	L.M.P. Límite Máximo Permisible	V.M.P. Valor Máximo Permisible				
U K=2 Incertidumbre Nivel de Confianza 95,45%	V.L.P. Valor Límite Permisible					
NOMENCLATURA:						
(1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.						
(2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM						
(3) Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.						
(4) Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec						

Fuente: Tomado de la investigación

Figura 14. Resultados muestra D

DATOS DE TOMA / RECEPCIÓN DE MUESTRA	
Punto e Identificación de la Muestra:	Agua Potable (D)
Fecha/Hora Lugar de Toma de Muestra:	2022/04/14 / 13:45 / Guayaquil
Fecha/Hora Recepción Muestras:	2022/04/14 / 15:24
Matriz de la muestra:	Agua Potable
Responsable de Toma de Muestra / Tipo de Muestra:	CLIENTE / Cliente / Puntual
Duración de Actividad:	---
Coordenadas Geográficas:	- -
Norma Técnica Aplicada:	No Aplica
Temperatura de Recepción de Muestra (Equipo):	28.7 Cº / EI-174
Condiciones Ambientales del Monitoreo:	CUANDO EL MUESTREO ES REALIZADO POR GQM, LOS DATOS SE REGISTRAN EN SU ACTA DE TOMA DE MUESTRAS QUE ESTA A DISPOSICIÓN DEL CLIENTE.
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.	

MEMORIA FOTOGRÁFICA



Fuente: Tomado de la investigación