



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

**Niveles de concentración de arsénico total del agua potable pre y post  
tratada en la planta de tratamiento "Los Jardines" en el cantón Santa Rosa.**

**GONZALEZ GONZALEZ FANNY MADELEINE  
BIOQUIMICA FARMACEUTICO**

**GUACHISACA CAMACHO BRYAN EFRAIN  
BIOQUIMICO FARMACEUTICO**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

**Niveles de concentración de arsénico total del agua potable pre y post tratada en la planta de tratamiento “Los Jardines” en el cantón Santa Rosa.**

**GONZALEZ GONZALEZ FANNY MADELEINE  
BIOQUIMICA FARMACEUTICA**

**GUACHISACA CAMACHO BRYAN EFRAIN  
BIOQUIMICO FARMACEUTICO**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

**TRABAJOS EXPERIMENTALES**

**Niveles de concentración de arsénico total del agua potable pre y post tratada en la planta de tratamiento "Los Jardines" en el cantón Santa Rosa.**

**GONZALEZ GONZALEZ FANNY MADELEINE  
BIOQUIMICA FARMACEUTICA**

**GUACHISACA CAMACHO BRYAN EFRAIN  
BIOQUIMICO FARMACEUTICO**

**CORTEZ SUAREZ LILIANA ALEXANDRA**

**MACHALA  
2024**

# Niveles de concentración de arsénico total del agua potable pre y post tratada en la planta de tratamiento “Los Jardines” en el cantón Santa Rosa.

*por* Fanny Madeleine Gonzalez Gonzalez

---

**Fecha de entrega:** 02-ago-2024 01:48p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2426375380

**Nombre del archivo:** TESIS\_GONZALEZ\_FANNY-GUACHISACA\_BRYAN.pdf (550.01K)

**Total de palabras:** 11650

**Total de caracteres:** 58173

# Niveles de concentración de arsénico total del agua potable pre y post tratada en la planta de tratamiento “Los Jardines” en el cantón Santa Rosa.

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

0%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

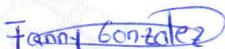
La que suscribe, GONZALEZ GONZALEZ FANNY MADELEINE, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado Niveles de concentración de arsénico total del agua potable pre y post tratada en la planta de tratamiento "Los Jardines" en el cantón Santa Rosa., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



GONZALEZ GONZALEZ FANNY MADELEINE

0706224698

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, GUACHISACA CAMACHO BRYAN EFRAIN, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Niveles de concentración de arsénico total del agua potable pre y post tratada en la planta de tratamiento "Los Jardines" en el cantón Santa Rosa., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



GUACHISACA CAMACHO BRYAN EFRAIN

0704671759

## **DEDICATORIA**

El trabajo de titulación le dedico a mi madre por ser el pilar fundamental en mi vida y apoyarme en todo momento, a mis hermanos por ser las personas que siempre me estuvieron aconsejando y motivando para no rendirme pese a las adversidades que se me presentaban.

Dedico con infinito cariño a mi pequeño hijo Emilio Mora, que con sus pequeñas sonrisas y abrazos llenos de amor me brindó la fortaleza y la motivación para seguir adelante en los momentos más difíciles. Su inocencia y alegría han sido una fuente constante de energía y esperanza en este camino. Agradezco también a mis amigos y profesores, quienes me guiaron y me brindaron su apoyo incondicional a lo largo de este proceso. Sin su aliento y sus sabios consejos, este logro no habría sido posible. Finalmente, dedico este trabajo a quienes han formado parte de mi vida y han contribuido a mi crecimiento personal y profesional. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento y reconocimiento.

**Fanny Madeleine Gonzalez Gonzalez**

Dedico este trabajo de titulación en primer lugar a mis padres María Camacho y Efraín Guachisaca agradecer todo ese apoyo, a mi hermano Andrés Guachisaca por llenarme de alegría en mis peores circunstancias, finalmente a Gianella Sánchez por entregarme ese apoyo moral.

**Bryan Efraín Guachisaca Camacho**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios por su amor y bondad infinita. Gracias por haberme protegido y dado la fortaleza para superar cada obstáculo durante estos cinco años de estudios. Agradezco por permitirme culminar exitosamente esta etapa y alcanzar un nuevo grado académico. A mi madre querida, por su constante ayuda, confianza, comprensión y apoyo. Gracias por cada consejo y palabra que me guiaron en mi camino. A la Universidad Técnica de Machala, gracias por aceptarme y abrirme las puertas para estudiar mi carrera. Agradezco a cada docente que compartió sus conocimientos y me apoyó día tras día. Agradezco a mis guías de tesis Dra. Liliana Cortez, Ingrid Márquez Hernández, por permitirme recurrir a su experiencia y conocimientos académicos, así como por su infinita paciencia durante el desarrollo de la tesis. También agradezco al Bqf. Sergio Valverde y al Dr. Cristian Zambrano por estar siempre dispuestos a compartir sus conocimientos en cada etapa de esta investigación.

Finalmente, a mis amigos y compañeros de clase, por su compañerismo y amistad, creando momentos inolvidables que permanecerán en mi corazón para siempre.

**Fanny Madeleine Gonzalez Gonzalez**

Primeramente, agradezco a Dios por darme salud y un día más de vida para poder culminar todas mis metas, a mi familia que ha sido un pilar importante en mi vida por todo ese apoyo incondicional. Agradezco a mis guías de tesis Dra. Liliana Cortez, BQF Sergio Valverde, BQF Raquel Sánchez, Dr. Víctor Hugo Gonzales por guiarnos y contribuir con sus conocimientos a nuestro trabajo de titulación,

**Bryan Efraín Guachisaca Camacho**

## RESUMEN

El agua es esencial para la vida en el planeta Tierra, por lo tanto, es crucial que todas las personas tengan acceso a este recurso de manera segura y accesible, lo cual promueve la salud humana. Entre 2019 y 2020, se encontraron altos niveles de arsénico en el agua potable en el Cantón Santa Rosa, causando intoxicaciones masivas en la población. Por ende el presente trabajo investigativo se lo realizó para cumplir con el objetivo de: Evaluar los niveles de la concentración de arsénico total en el agua potable pre y post tratada durante el proceso de potabilización en la planta "Los Jardines" del Cantón Santa Rosa, mediante la técnica de espectrofotometría de UV-VISIBLE, para el consumo de agua bajo los estándares de inocuidad. Para llevar a cabo este estudio, se recolectaron muestras de agua en tres puntos específicos: agua cruda, agua tratada y agua del grifo. En cada punto, se tomaron 9 muestras por tres meses, de marzo a mayo 2024, para asegurar su representatividad. Los parámetros físico- químicos fueron realizados en el laboratorio "Los Jardines" con la medición de color, temperatura, pH, turbidez y cloro residual. Las muestras para el análisis de arsénico fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Técnica de Machala en un contenedor refrigerado, manteniendo una temperatura entre 2°C y 5°C para evitar cambios en la concentración o composición del arsénico. Los resultados de los análisis físico -químicos cumplieron con las normas INEN 1108, resaltando que la turbiedad estuvo por encima de los estándares en el agua cruda, presentando niveles por encima de 5 NTU, pero en el agua post tratada cumplió con las normativas, por lo que no afecta la calidad del agua potable. Los resultados obtenidos de los análisis de arsénico mostraron que las concentraciones de este componente en el agua cruda estaban por encima del estándar en los tres meses de muestreo, con un promedio ligeramente superior en abril. Durante la fase desinfección, las concentraciones de arsénico disminuyeron considerablemente, con valores entre 0,0006 mg/L y 0,0014 mg/L. En el agua del grifo, las concentraciones siguieron disminuyendo, con un máximo de 0,0009 mg/L. Los resultados indican que el tratamiento en la planta "Los Jardines" redujo las concentraciones de arsénico a niveles inferiores a 0,010 mg/L, cumpliendo con la norma NTE INEN 1108 para la calidad del agua potable.

**Palabras Clave:** Arsénico, Agua potable, Metales pesados, Contaminación y Parámetros físicoquímicos.

## ABSTRACT

Water is essential for life on planet Earth, therefore, it is crucial that all people have access to this resource in a safe and accessible manner, which promotes human health. Between 2019 and 2020, high levels of arsenic were found in drinking water in Santa Rosa Canton, causing massive intoxications in the population. Therefore, the present research work was carried out to fulfill the objective of: Evaluate the levels of total arsenic concentration in drinking water pre and post treated during the process of potabilization in the plant "Los Jardines" of Santa Rosa Canton, using the UV-VISIBLE spectrophotometry technique, for the consumption of water under the safety standards. To carry out this study, water samples were collected at three specific points: raw water, treated water and tap water. At each point, 9 samples were taken for three months, from March to May 2024, to ensure representativeness. The physical and chemical parameters were measured at the "Los Jardines" laboratory by measuring color, temperature, pH, turbidity and residual chlorine. Samples for arsenic analysis were taken to the Universidad Técnica de Machala laboratory in a refrigerated container, maintaining a temperature between 2°C and 5°C to avoid changes in arsenic concentration or composition. The results of the physical-chemical analyses complied with INEN 1108 standards, highlighting that turbidity was above the standards in the raw water, with levels above 5 NTU, but in the post-treatment water it complied with the standards, so it does not affect the quality of the drinking water. The results obtained from the arsenic analysis showed that the concentrations of this component in the raw water were above the standard in the three months of sampling, with a slightly higher average in April. During the disinfection phase, arsenic concentrations decreased considerably, with values ranging from 0.0006 mg/L to 0.0014 mg/L. In tap water, concentrations continued to decrease, with a maximum of 0.0009 mg/L. The results indicate that treatment at the "Los Jardines" plant reduced arsenic concentrations to levels below 0.010 mg/L, complying with the NTE INEN 1108 standard for drinking water quality.

**Key words:** Arsenic, Drinking water, Heavy metals, Pollution and Physicochemical parameters.

## ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>Objetivo general</b> .....	2
<b>Objetivos específicos</b> .....	2
<b>Hipótesis</b> .....	2
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	3
<b>1.1. Antecedentes</b> .....	3
<b>1.2. Agua potable</b> .....	4
<i>1.2.1 Calidad del agua potable</i> .....	4
<b>1.3. Contaminación con metales pesados</b> .....	4
<i>1.3.1 Metales pesados y su efecto en la salud</i> .....	5
<i>1.3.2 Fuentes de contaminación de arsénico en el agua</i> .....	5
<i>1.3.3 Arsénico</i> .....	5
<i>1.3.4 Composición del Arsénico</i> .....	5
<i>1.3.5 Concentración de Arsénico en el agua</i> .....	6
<i>1.3.6 Desventajas del Arsénico en el Agua</i> .....	6
<i>1.3.7 Toxicidad del arsénico en los seres humanos</i> .....	6
<b>1.4. Tratamiento del Agua</b> .....	7
<i>1.4.1 Agua Cruda</i> .....	7
<i>1.4.2 Agua Tratada</i> .....	7
<i>1.4.3 Proceso del tratamiento del agua</i> .....	8

1.4.4 Fases del proceso de tratamiento del agua.....	8
1.4.4.1 Captación de agua cruda. ....	8
1.4.4.2 Pretratamiento. ....	9
1.4.4.3 Coagulación y floculación.....	9
1.4.4.4 Sedimentación. ....	9
1.4.4.5 Filtración .....	9
1.4.4.6 Desinfección.....	10
1.4.4.7 Almacenamiento y distribución.....	10
1.5.1 Espectrofotometría de Absorción atómica (EAA).....	10
1.5.2 Espectrofotometría UV- Visible.....	10
<b>1.6. Parámetros y límites establecidos para arsénico en el agua potable. ....</b>	<b>11</b>
1.6.1 Límite máximo de arsénico en el agua potable de acuerdo con la norma NTE INEN 1108.....	11
<b>2.1. Enfoque metodológico .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2. Tipo y diseño de investigación .....</b>	<b>12</b>
2.2.1 Identificación de variables. ....	12
<b>Independiente</b> .....	12
<b>Dependiente</b> .....	12
2.2.2 Población de estudio .....	12
2.2.3 Muestra. ....	13
2.2.4 Muestreo.....	13
<b>2.3. Procedimiento .....</b>	<b>13</b>

2.3.1 Recolección de la muestra.....	13
2.3.2 Identificación de las muestras.....	13
2.3.3 Transporte y conservación.....	13
2.3.4 Análisis físico-químico.....	14
<b>Color Aparente:</b> .....	14
<b>pH</b> .....	14
<b>Temperatura:</b> .....	14
<b>Turbiedad:</b> .....	15
<b>Cloro Libre residual</b> .....	15
2.3.5 Análisis de la concentración de arsénico.....	15
2.4. Método Estadístico.....	16
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	17
<b>3.1 Análisis físico del agua en los tres puntos de muestreo</b> .....	17
<b>3.3 Concentración de arsénico total en el agua pre y post tratada en la Planta</b> <b>"Los Jardines"</b> .....	23
<b>3.4 Comparación de las concentraciones de arsénico total pre y post</b> <b>tratamiento.</b> .....	28
<b>CONCLUSIONES</b> .....	31
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	32
<b>BIBLIOGRAFÍAS</b> .....	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límite máximo permisible de arsénico.....	11
Tabla 2. Análisis Físicoquímico del Agua.....	14
Tabla 3. Resultado del análisis del parámetro color en los 3 puntos de muestreos. ....	17
Tabla 4. Resultado del análisis del parámetro temperatura en los 3 puntos de muestreos.....	18
Tabla 5. Resultado del análisis del parámetro turbiedad en los 3 puntos de muestreos. ....	19
Tabla 6. Resultado del análisis del parámetro pH en los puntos de muestreos.....	21
Tabla 7. Resultado del parámetro cloro residual en los 3 puntos de muestreos.....	22
Tabla 8. Concentraciones de arsénico total en la planta de agua “Los Jardines” (marzo a mayo) según puntos de muestreo. ....	24
Tabla 9. Pruebas de normalidad y de igualdad de varianza .....	28
Tabla 10. Resultados de la prueba de U de Mann-Whitney.....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de las concentraciones de arsénico con las NORMAS INEN 1108. ....	27
---	----

## INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida en el planeta Tierra, por lo tanto, es crucial que todas las personas tengan acceso a este recurso de manera adecuada, segura y accesible, lo cual promueve la salud humana. La calidad del agua es un indicador clave del desarrollo sostenible (Dueñas Jurado y Hinojosa Yzarra, 2021).

El arsénico es un elemento químico que se encuentra naturalmente en las aguas subterráneas y puede ser peligroso para la salud humana en altas concentraciones (Aragónés Sanz et al., 2001). Su presencia en el agua potable puede resultar de procesos geológicos o actividades humanas, y su ingestión continuada se asocia con diversos problemas de salud como enfermedades de la piel, enfermedades neurológicas y cáncer (Galindo y Parada, 2021).

La evidencia de los niveles de arsénico en el agua es muy importante porque esta sustancia representa un riesgo significativo para la salud humana. El arsénico, incluso en concentraciones bajas, se ha relacionado con una variedad de enfermedades crónicas, como cáncer, enfermedades de la piel y trastornos neurológicos (Guevara, 2023). Medir con precisión la presencia de arsénico en los suministros de agua proporciona información importante para la toma de decisiones en políticas de salud pública y estrategias de gestión del agua.

En El Guayabo, se han otorgado permisos para explotación minera en un área de 280 hectáreas, donde coexisten operaciones mineras legales e ilegales. Estas actividades han causado derrames de aguas residuales, que contaminan el río Santa Rosa con sustancias como arsénico y plomo, (Angamarca y Valarezo, 2020).

El Río Santa Rosa, que es la principal fuente de captación de agua que abastece a la población, está afectado por la contaminación minera, con descargas de efluentes mineros en la cuenca del río Carne Amarga. Estudios de 2019 a 2021 han encontrado altos niveles de arsénico en el agua potable, causando intoxicación masiva en los habitantes (Sarango, 2021).

El presente estudio aborda el tema de la concentración total de arsénico en el agua potable antes y después del tratamiento en la planta de tratamiento de aguas residuales “Los Jardines” ubicada en el Cantón Santa Rosa.

Este proyecto está diseñado para analizar y comparar concentraciones totales de arsénico en muestras de agua tomadas antes y después del tratamiento en la planta

potabilizadora “Los Jardines”. Su propósito es identificar cambios potenciales en la efectividad de los procesos de tratamiento y, si se encuentran deficiencias, recomendar mejoras que ayuden a asegurar la calidad del agua potable distribuida a las comunidades, para garantizar un acceso sostenible y seguro al agua potable.

Para llevar a cabo la investigación se plantearon los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

- Evaluar los niveles de la concentración de arsénico total en el agua potable pre y post tratada durante el proceso de potabilización en la planta “Los Jardines” del Cantón Santa Rosa, mediante la técnica de espectrofotometría de UV-VISIBLE, para el consumo de agua bajo los estándares de inocuidad.

### **Objetivos específicos**

- Analizar parámetros físico-químicos de calidad del agua: PH, temperatura, color, turbiedad y cloro residual.
- Determinar la concentración de arsénico total en el agua potable pre y post tratada suministrada por la planta “Los Jardines” del Cantón Santa Rosa.
- Comparar las concentraciones de arsénico total pre y post tratamiento, identificando posibles variaciones y asegurando el cumplimiento con las normas estandarizadas NTE INEN 1108.

### **Hipótesis**

Existe una diferencia significativa en los niveles de concentración de arsénico total entre el agua potable antes y después del tratamiento en la planta “Los Jardines” del Cantón Santa Rosa, no cumpliendo con los estándares de inocuidad.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes

Guevara (2023) en su investigación titulada "Análisis de la calidad del agua antes y después del tratamiento en las instalaciones de suministro de agua potable El Milagro y Santa Apolonia en la ciudad de Cajamarca" fue evaluar la calidad del agua en ambas fases de tratamiento en estas plantas potabilizadoras. El investigador utilizó un enfoque experimental, recopilando muestras de agua en siete ubicaciones específicas, centrándose en medir los niveles de arsénico. Según los resultados analizados mediante el método estadístico de Wilcoxon, se determinó que el Indicador de confianza para la calidad del agua sin tratar de los ríos Grande, Porcón y Ronquillo es del 100%, cumpliendo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Sin embargo, para la calidad del agua después del tratamiento en las plantas El Milagro y Santa Apolonia, el Indicador de confianza fue del 81,82%, por debajo del umbral del 90%, lo que indica que no cumple con el Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Esto sugiere un tratamiento deficiente en estas instalaciones.

Aveiga et al. (2020) en su investigación titulada "Análisis de la Distribución de Arsénico en Aguas Superficiales y Sedimentos en la Cuenca del Río Carrizal, Manabí – Ecuador", aborda las altas concentraciones de arsénico en aguas superficiales de Ecuador, que superan los límites de la OMS. El objetivo fue determinar los niveles de arsénico en el agua y sedimentos de la cuenca del río Carrizal, una zona con intensa actividad agropecuaria. La metodología experimental utilizó un diseño de bloques al azar con un arreglo factorial en tres áreas de muestreo. Se midieron las concentraciones de arsénico mediante espectrometría de absorción atómica con el equipo PerkinElmer® AAnalyst™ 200. Los resultados mostraron concentraciones de 35,64 mg/L en el agua y 47,41 mg/kg en los sedimentos. El estudio concluye que la contaminación podría tener un origen antropogénico.

En su investigación, Angamarca y Valarezo (2020) analizan cómo la actividad minera afecta la calidad del agua en la cuenca alta del Río Santa Rosa, en la provincia de El Oro. El estudio se centró en detectar contaminantes en el agua debido a la minería, utilizando una metodología experimental con recolección de muestras en diversas ubicaciones de la cuenca. Los resultados mostraron que en 2020 los niveles de arsénico superaron los límites permitidos (0.0471 mg/l). Los análisis indicaron contaminación por metales pesados en el área de El Guayabo, parroquia Torata, y posible acumulación de estos metales en el agua potable almacenada.

## **1.2. Agua potable**

El agua potable es aquella que es segura para el consumo humano y el uso doméstico, sin presentar riesgos para la salud. Para cumplir con estas características, el agua debe adherirse a los parámetros de calidad establecidos por las autoridades ambientales, públicas y sanitarias. Estos estándares garantizan la ausencia de contaminantes fisicoquímicos y biológicos que puedan afectar negativamente la salud de la comunidad (Vicuña, 2019).

*1.2.1 Calidad del agua potable.* El agua destinada al consumo humano debe cumplir con los requisitos de calidad establecidos por la norma estandarizada NTE INEN 1108, con el objetivo de asegurar su inocuidad y seguridad para la población. Es crucial que esté exenta de concentraciones de elementos o compuestos que puedan representar un riesgo para la salud de la sociedad. En casos en los que el agua no cumpla con los estándares de calidad necesarios, se debe someterla a procesos y operaciones químicas para ajustarla y así satisfacer las necesidades de acuerdo con su uso específico (Vicuña, 2019).

La evaluación de la calidad del agua potable conlleva la realización de análisis fisicoquímicos y microbiológicos para detectar la presencia de contaminantes y microorganismos que puedan poner en peligro la salud pública. Estos análisis abarcan la medición de parámetros como el pH, la conductividad, la turbidez y la cantidad de cloro residual, además de la identificación de bacterias coliformes y otros patógenos (Sanabria et al. 2024)

El agua contaminada puede ser portadora de enfermedades graves, y su consumo sin un tratamiento adecuado puede ocasionar brotes de enfermedades transmitidas por el agua como enfermedades gastrointestinales, infecciones bacterianas y virales afectando a comunidades enteras (Caillagua et al. 2023).

## **1.3. Contaminación con metales pesados**

La presencia de metales pesados en los ríos constituye una grave amenaza tanto para el medio ambiente como para la salud pública. Elementos como el mercurio, plomo, cadmio y arsénico suelen ingresar a los cursos de agua mediante diversas fuentes, como vertidos industriales, residuos mineros y prácticas agrícolas. Una vez en el agua, estos metales pesados pueden acumularse en los sedimentos y organismos acuáticos, generando impactos adversos en la biodiversidad y comprometiendo la cadena alimentaria. (Pabón Guerrero et al., 2020)

*1.3.1 Metales pesados y su efecto en la salud.* La mayoría de los metales pesados son tóxicos para los humanos, afectando sistemas como el nervioso central, cardiovascular, respiratorio y reproductivo, además de órganos como el hígado, pulmones, riñones y cerebro. Por ejemplo, el arsénico (As) está relacionado con enfermedades cutáneas y cáncer, el cromo (Cr) con cáncer de pulmón y daños a riñones e hígado, y el mercurio (Hg) tiene efectos adversos en mujeres embarazadas (Olmos-Palma, 2022).

*1.3.2 Fuentes de contaminación de arsénico en el agua.* La presencia de arsénico en el agua puede originarse a través de diversas fuentes, ya sean naturales o causadas por la actividad humana. Uno de los principales modos de liberación de arsénico en el agua se relaciona con depósitos minerales y suelos ricos en este elemento. Cuando las aguas subterráneas atraviesan depósitos minerales de arsénico, pueden disolverlo, resultando en concentraciones peligrosas en pozos y fuentes de agua subterránea utilizados para el abastecimiento de agua potable. Además de las fuentes naturales, las actividades humanas también desempeñan un papel esencial en la contaminación del agua con arsénico. La actividad minera, especialmente la extracción de minerales de arsénico en las proximidades de las cuencas de los ríos puede liberar este elemento al medio ambiente, contaminando las aguas superficiales y subterráneas cercanas (Menéndez y Muñoz, 2021).

*1.3.3 Arsénico.* El arsénico, un elemento químico clasificado en la posición vigésima entre los más abundantes en la naturaleza, se halla presente en rocas y suelos, y al disolverse, llega a las aguas subterráneas. También está presente en formaciones minerales que incluyen azufre, como los minerales de sulfuro, y la arsenopirita, un mineral que contiene hierro, azufre y altas concentraciones de arsénico. Cuando las rocas experimentan una erosión natural, se desintegran y la disolución resultante contamina los mantos acuíferos. A pesar de carecer de sabor u olor, este metaloide, al encontrarse en el agua, puede ser consumido inadvertidamente, desencadenando enfermedades graves como el hidroarsenicismo crónico (Rodríguez, 2021).

*1.3.4 Composición del Arsénico.* El arsénico es un elemento químico perteneciente al grupo de los metaloides de la tabla periódica de símbolo As y número atómico 33. Sus componentes principales están formados por protones, neutrones y átomos de electrones. En su forma elemental, el arsénico es un sólido con propiedades tanto metálicas como no metálicas. Es decir, exhibe las propiedades de ambos elementos (Castro et al., 2021).

El arsénico rara vez se encuentra en forma elemental en la naturaleza y, a menudo, se encuentra en compuestos orgánicos e inorgánicos. Industrialmente, se utiliza en la

producción de insecticidas, herbicidas, semiconductores, productos farmacéuticos y aleaciones metálicas. No obstante, su uso indiscriminado y su liberación sin control pueden contaminar el medio ambiente y poner en riesgo la salud pública (Escalera et al., 2020).

*1.3.5 Concentración de Arsénico en el agua.* La concentración de arsénico en el agua se refiere a la cantidad de arsénico presente en un volumen determinado de agua, generalmente expresada en microgramos por litro ( $\mu\text{g/L}$ ) o partes por millón (ppm). Las concentraciones de arsénico en el agua varían geográficamente y pueden ser mayores en áreas donde existen depósitos minerales ricos en arsénico o donde se utilizan ciertos pesticidas y herbicidas que contienen arsénico (Collori et al., 2022).

*1.3.6 Desventajas del Arsénico en el Agua.* La presencia de arsénico en el agua provoca varios inconvenientes graves que afectan a la salud humana y al medio ambiente. Una de sus principales desventajas es su toxicidad para los humanos y otros organismos vivos. Detectar y eliminar el arsénico del agua puede resultar costoso y técnicamente difícil, especialmente en zonas donde prevalece la contaminación. Es posible que no haya sistemas adecuados de tratamiento de agua para eliminar el arsénico o que estos sean inaccesibles en las comunidades vulnerables, lo que plantea riesgos para la salud. (Colmenero Sujo y Villalba, 2023).

*1.3.7 Toxicidad del arsénico en los seres humanos.* Reconocido por su notable toxicidad, el arsénico figura entre los venenos más potentes que el ser humano conoce. Aunque ciertos procesos biológicos requieren trazas de formas orgánicas específicas de arsénico, la exposición a concentraciones elevadas puede tener consecuencias devastadoras para la salud. Históricamente, el arsénico se ha empleado en diversos usos, desde pesticidas hasta colorantes y productos farmacéuticos; sin embargo, su utilización está disminuyendo debido a la creciente preocupación por sus impactos perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente (Marchetti et al., 2021).

La exposición prolongada al arsénico inorgánico, principalmente mediante el consumo de agua potable y alimentos, puede llevar a una intoxicación crónica. Los efectos secundarios más comunes son daños en la piel y cáncer de piel. Estas formas inorgánicas, como el arsénico trivalente y pentavalente, son altamente tóxicas y pueden causar una variedad de problemas de salud, incluidos la piel, los pulmones, la vejiga y otras afecciones graves cuando se consumen en altas concentraciones a lo largo del tiempo (Altamirano et al., 2020).

## 1.4. Tratamiento del Agua

La purificación del agua es un procedimiento crucial que asegura la salubridad del agua destinada al consumo humano y se adhiere a los criterios establecidos. Este proceso implica una secuencia de etapas que pueden abarcar desde la filtración para eliminar partículas sólidas, hasta la desinfección para erradicar microorganismos patógenos como bacterias y virus, así como la eliminación o reducción de compuestos químicos contaminantes como metales pesados y sustancias orgánicas (Rodríguez, 2021).

*1.4.1 Agua Cruda.* El agua cruda es el agua natural sin tratar, típicamente procedente de ríos, lagos o manantiales. Estas fuentes pueden contener diversos elementos contaminantes, como sedimentos, microorganismos patógenos, sustancias químicas y otros agentes nocivos que pueden representar un riesgo para la salud humana si se ingieren. Antes de considerarse apta para el consumo humano, el agua cruda debe someterse a un proceso de purificación que implica la eliminación de impurezas y la desinfección para asegurar que cumpla con los estándares de calidad y seguridad establecidos (Marchetti y Toma, 2021).

La cantidad de arsénico presente en una muestra de agua sin tratar, obtenida directamente de una fuente natural como un río, pozo o lago, se define como la concentración de arsénico en agua cruda. Este análisis es crucial para determinar la calidad del agua y su idoneidad para el consumo humano u otros propósitos. Dado que el arsénico es una sustancia contaminante peligrosa y un posible carcinógeno, controlar su presencia en el agua original es esencial para salvaguardar la salud pública y prevenir la exposición a niveles dañinos (Penagos et al., 2019).

*1.4.2 Agua Tratada.* El agua tratada es aquella que ha sido procesada para eliminar impurezas y contaminantes, haciéndola segura para el consumo humano y otros usos. Este proceso incluye etapas como la filtración para remover partículas sólidas y la desinfección para eliminar microorganismos, así como la reducción de contaminantes químicos y biológicos. El agua tratada cumple con estándares establecidos y es apta para uso doméstico, industrial, agrícola y otros. Proveer agua limpia es esencial para la salud pública y el desarrollo sostenible, garantizando acceso global al agua potable y promoviendo el bienestar de las comunidades (Penagos et al., 2019).

La concentración de arsénico en el agua tratada se refiere a la cantidad residual de este elemento después del proceso de tratamiento destinado a eliminar impurezas y hacerla segura para el consumo humano y otros usos. Supervisar estos niveles es crucial para asegurar que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad y seguridad

establecidos por las autoridades sanitarias y ambientales. Por consiguiente, el monitoreo constante y la gestión efectiva de las concentraciones de arsénico en el agua tratada son fundamentales para mitigar los impactos ambientales adversos y garantizar la sustentabilidad a largo plazo de los recursos hídricos (Aguayo et al., 2023).

*1.4.3 Proceso del tratamiento del agua.* El tratamiento del agua incluye procedimientos diseñados para mejorar la calidad del agua en su estado natural, para asegurar su seguridad y adecuación para el consumo humano y otros usos. Este proceso implica la aplicación de métodos físicos, químicos y biológicos que trabajan para eliminar contaminantes, microorganismos y otras impurezas presentes en las fuentes de agua. Este proceso asegura que el agua cumpla con los estándares de calidad para su consumo y uso, protegiendo la salud pública y el medio ambiente (Vargas et al., 2020). La efectividad del tratamiento del agua no solo se evalúa por la eliminación de contaminantes, sino también por su capacidad para asegurar un suministro ininterrumpido y confiable de agua potable (Présiga et al., 2020).

*1.4.4 Fases del proceso de tratamiento del agua.* El proceso de tratamiento del agua es fundamental y minuciosa para transformar el agua cruda en una forma segura y apta para el consumo humano. Este procedimiento consta de diversas fases, cada una diseñada para abordar distintos aspectos de la contaminación del agua. Desde la recolección inicial hasta la distribución final, estas etapas se hacen secuencialmente para garantizar la eliminación eficaz de partículas, impurezas y microorganismos que podrían ser un riesgo para la salud pública (López et al., 2021).

*1.4.4.1 Captación de agua cruda.* La captación de agua en su estado natural marca el inicio del tratamiento del agua y representa un paso fundamental en la obtención de recursos de diversas fuentes naturales, como ríos, lagos y pozos. Este primer paso determina la calidad inicial del agua que posteriormente será tratada. La elección de la fuente de agua es un aspecto crucial en este proceso inicial, ya que la presencia de contaminantes o impurezas en esta etapa temprana puede afectar considerablemente la eficacia de todo el proceso de tratamiento (Dobrosz et al., 2020).

Obtener agua sin tratar implica considerar factores geográficos y ambientales, así como tecnologías y estructuras adecuadas para asegurar un suministro constante. La calidad inicial del agua recolectada influye en los procesos de tratamiento posteriores lo que subraya la importancia de seleccionar fuentes de agua confiables y emplear enfoques sostenibles durante esta fase crucial del proceso (Dobrosz et al., 2020).

*1.4.4.2 Pretratamiento.* El tratamiento en los sistemas de tratamiento de agua es esencial como primera barrera contra las impurezas y contaminantes del agua sin tratar. Esta fase precede a procesos más especializados que se enfocan en la eliminación de sólidos grandes y materiales sedimentables a través de métodos como el cribado y la sedimentación. Se emplean mallas o filtros para atrapar partículas de gran tamaño, desechos y sólidos, previniendo su ingreso al sistema de tratamiento y así evitar obstrucciones y daños en el equipo (Avites y Aguas, 2021).

*1.4.4.3 Coagulación y floculación.* La coagulación y la floculación son dos procesos esenciales en el tratamiento del agua, los cuales desempeñan un papel importante en la eliminación de partículas suspendidas y la turbidez. Durante la etapa de coagulación, se añade al agua cruda un coagulante, como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico, para neutralizar la carga de las partículas suspendidas, lo que conduce a la formación de flóculos más grandes y densos. La floculación, que sigue a la coagulación, implica una agitación suave del agua para facilitar la unión de los flóculos generados durante la coagulación (Martínez et al., 2020).

*1.4.4.4 Sedimentación.* La sedimentación es un procedimiento que aparta las partículas sólidas del agua no tratada. Una vez que el agua ha pasado por los pasos de coagulación y floculación, se canaliza hacia tanques de sedimentación tras la adición de sustancias químicas que promueven la formación de flóculos. Dentro de estos tanques, la fuerza de la gravedad facilita la deposición en el fondo de las partículas más grandes y suspendidas y para lograr una sedimentación eficiente, es necesario contar con tanques adecuadamente diseñados, un flujo de agua rápido y características específicas de las partículas (Chimbolema et al., 2020)

*1.4.4.5 Filtración.* La purificación del agua cruda mediante filtración es un proceso esencial para eliminar las impurezas presentes. Este método implica pasar el agua a través de medios filtrantes como arena, grava o carbón activado, los cuales tienen la capacidad de retener partículas en suspensión. Este procedimiento contribuye a mejorar la transparencia del agua al tiempo que elimina microorganismos y materia orgánica que podrían comprometer su calidad (Espinoza y Abril, 2020). Es más efectivo cuando se realiza después de la coagulación y floculación, ya que en este punto las partículas se agrupan en flóculos que pueden ser capturados con mayor facilidad mediante los filtros.

La velocidad de la filtración puede variar, ya sea rápida utilizando lechos de arena o lenta con capas delgadas de medios filtrantes. La decisión sobre qué método emplear depende de la calidad del agua y de los estándares de tratamiento necesarios. Un

proceso de filtración eficiente tiene como objetivo disminuir la turbidez del agua y eliminar los agentes patógenos, asegurando así su idoneidad para el consumo humano (Espinoza y Abril, 2020).

*1.4.4.6 Desinfección.* La desinfección se encarga de erradicar los microorganismos nocivos del agua tratada para convertirla en potable. Durante esta fase, se emplean diversas técnicas para combatir la presencia de microorganismos que representan un riesgo para la salud. Se introduce cloro en el agua para eliminar estos microorganismos y prevenir la propagación de enfermedades transmitidas por el agua. Además del cloro, se emplean otros métodos como las cloraminas, el ozono, la radiación ultravioleta (UV) y el dióxido de cloro, cada uno con sus propias ventajas en términos de eficacia y residuos. La desinfección resulta crucial para garantizar la calidad y seguridad del agua tanto en los hogares como en las comunidades (Osorio et al., 2021).

*1.4.4.7 Almacenamiento y distribución.* El almacenamiento y la distribución de agua tratada para consumo humano desempeñan una función esencial en la protección de la salud pública y el bienestar de las comunidades. En primer lugar, los sistemas de almacenamiento cumplen un papel fundamental como reservas estratégicas que permiten gestionar las fluctuaciones en la demanda diaria y estacional de agua potable. Estos depósitos, que pueden variar desde tanques elevados hasta embalses, posibilitan la acumulación y el mantenimiento de un suministro constante, sin importar las variaciones en el consumo. Además, facilitan una distribución eficaz al servir como puntos de conexión clave que alimentan la red de suministro, garantizando una presión adecuada en toda la red y asegurando que el agua llegue a cada hogar de manera justa y puntual (Forero Buitrago et al., 2020).

## **1.5. Técnicas analíticas para la determinación de arsénico en agua**

*1.5.1 Espectrofotometría de Absorción atómica (EAA).* El vapor generado por la muestra o el analito es expuesto a radiación proveniente de una fuente externa. Cuando esta fuente de radiación es adecuada, los átomos del analito absorbido correspondiente absorben la radiación hasta alcanzar un estado de excitación. Luego, los átomos regresan casi inmediatamente a su estado de relajación, transfiriendo previamente toda la energía absorbida a otros átomos o moléculas presentes en el medio de trabajo. Este proceso resulta en la detección de radiación que no ha sido absorbida, lo que deja una "huella" en forma de longitudes de onda vacías (Martínez Guijarro, 2020).

*1.5.2 Espectrofotometría UV- Visible.* Un espectrofotómetro UV-VIS es un instrumento de laboratorio utilizado para medir la absorbancia o transmitancia de la luz ultravioleta-

visible (UV-VIS) por una muestra. Funciona emitiendo luz de una gama de longitudes de onda específicas a través de la muestra y luego detectando la cantidad de luz que se absorbe o transmite. Estas mediciones se utilizan comúnmente en química analítica, bioquímica, ciencia de materiales y otras disciplinas para cuantificar la concentración de sustancias químicas en solución y estudiar sus propiedades (Santos et al., 2022).

## 1.6. Parámetros y límites establecidos para arsénico en el agua potable.

1.6.1 Límite máximo de arsénico en el agua potable de acuerdo con la norma NTE INEN 1108. La tabla 1 presenta los estándares establecidos por la norma NTE INEN 1108 para la calidad del agua potable en el Ecuador, incluyendo límites máximos para diversos contaminantes como el arsénico.

Tabla 1. Límite máximo permisible de arsénico

Parámetro	Unidad	Límite permitido	Metodo de ensayo
Arsénico	mg/L	0,01	Standard Methods 3114
Cadmio	mg/L	0,003	Standard Methods 3113
Cloro libre residual	mg/L	0,3 a 1,5	Standard Methods 4500 Cl-
Cobre	mg/L	2	Standard Methods 3111
Color aparente	Pt-Co	15	Standard Methods 2120
Cromo (cromo total)	mg/L	0,05	Standard Methods 3114
Fluoruro	mg/L	1,5	Standard Methods 4500 - F-
Mercurio	mg/L	0,006	Standard Methods 3112
Nitratos (como NO <sub>3</sub> -)	mg/L	50	Standard Methods 4500- NO <sub>3</sub> -
Nitritos (como NO <sub>2</sub> -)	mg/L	3	Standard Methods 4500- NO <sub>2</sub> -
Plomo	mg/L	0,01	Standard Methods 3113
Turbiedad	NTU	5	Standard Methods 2130

**Fuente:** (SEIDLABORATORY: Servicio Integral de Laboratorio, 2023)

El Instituto Ecuatoriano de Normalización establece que el nivel máximo permitido de arsénico en el agua es de 0,01 mg/L o 10 µg/L para proteger la salud pública y garantizar la seguridad del agua para consumo humano (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014). Este límite se basa en pruebas científicas que demuestran que la exposición prolongada al arsénico puede causar problemas de salud graves como cáncer, afecciones cardíacas, trastornos cutáneos y daños al sistema nervioso (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014).

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Enfoque metodológico

Se desarrolló un enfoque cuantitativo dado que este se ajusta de manera óptima a las particularidades y requerimientos de la investigación, ya que implica la medición de los niveles de arsénico.

El enfoque hipotético-deductivo se empleó en este estudio, ya que inicialmente se partió del problema de la presencia de arsénico en el agua potable distribuida al Cantón Santa Rosa. A partir de esta problemática, se formuló una hipótesis que anticipa la posible variación en los niveles de arsénico total entre el agua sin tratar y el agua tratada; la hipótesis planteada orientó la investigación y fue verificada con los resultados obtenidos.

### 2.2. Tipo y diseño de investigación

Se llevó a cabo una investigación descriptiva para medir las características de las variables de estudio. En este estudio, se optó por una investigación no experimental-longitudinal, dado que no se manipularon las variables y se recopilaron datos y análisis a lo largo de un período específico.

Asimismo, se llevó a cabo un estudio correlacional para determinar si el tratamiento en la planta potabilizadora incide significativamente en la reducción de los niveles de arsénico. Este análisis buscó establecer si existe una correlación positiva, donde los niveles de arsénico disminuyen tras el tratamiento, o una correlación negativa, donde los niveles de arsénico aumentan o permanecen constantes luego del proceso de tratamiento.

*2.2.1 Identificación de variables.* Se tomaron en cuenta las siguientes variables.

#### **Independiente**

- Proceso de tratamiento del agua

#### **Dependiente**

- Parámetros físico-químicos (color, temperatura, turbiedad PH y cloro residual).
- Concentración de Arsénico Total en el Agua Cruda
- Concentración de Arsénico Total en el Agua Tratada

*2.2.2 Población de estudio.* En esta investigación la población de estudio fueron las muestras de agua potable obtenidas tanto antes como después del tratamiento de potabilización en la planta "Los Jardines" del Cantón Santa Rosa.

*2.2.3 Muestra.* Las muestras utilizadas en esta investigación fueron 500 mililitros de agua por cada muestra de agua extraída del sistema de abastecimiento de agua potable "Los Jardines" ubicada en la parroquia la Avanzada.

*2.2.4 Muestreo.* El uso de un muestreo aleatorio simple fue fundamental para garantizar la representatividad de las muestras y la validez de los resultados. Al seleccionar aleatoriamente las muestras de agua potable pretratada, tratada (fase de desinfección) y post tratada de la planta "Los Jardines", se eliminó el riesgo de sesgos en la selección, asegurando que cada muestra tuviera la misma probabilidad de ser incluida en el estudio.

### **2.3. Procedimiento**

*2.3.1 Recolección de la muestra.* Para la recolección de las muestras de agua se realizó siguiendo el procedimiento como lo indica la norma NTE INEN 2169:2013. Antes de tomar las muestras de agua se procedió a realizar un enjuague al envase ámbar (de 500 ml) por tres veces con agua del punto de muestreo para eliminar cualquier contaminante. Luego se realizó la toma de muestra de agua en cada uno de los 3 puntos de muestreo, para ello se llenó el envase ámbar hasta el borde y se procedió a tapar para evitar la presencia de burbujas con aire (INEN, 2013). La primera muestra se colectó en la captación de agua cruda, la segunda muestra se colectó en la fase de desinfección y la última muestra se colectaron en el grifo. Para la toma de muestra de agua en el grifo, se dejó correr el agua por 5 minutos para eliminar el agua estancada de las tuberías y así obtener una muestra más representativa del agua que se encuentra fluyendo en ese momento y se siguió con el mismo procedimiento.

*2.3.2 Identificación de las muestras.* Después de recolectar las muestras, se etiquetó individualmente todos los recipientes con la información correspondiente, incluyendo el número de muestra, la fecha de recolección, el lugar de muestreo y el tipo de análisis requerido (INEN, 2013).

*2.3.3 Transporte y conservación.* Para trasladar las muestras de agua recolectadas al laboratorio de investigación de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud de la UTMACH, fue necesario colocarla de inmediato en un contenedor refrigerado, se empleó un cooler a una temperatura entre 2°C y 5°C, con el fin de prevenir cualquier cambio en la concentración o composición del arsénico (INEN, 2013). Durante el proceso de muestreo, se empleó el equipo de seguridad personal como: mandil, cofia, guantes, mascarilla, para resguardar la vestimenta de cualquier contaminación a la que pudiera haber estado expuesta.

2.3.4 *Análisis físico-químico.* Los análisis físico- químicos del agua, realizados durante los meses de marzo a mayo de 2024, se llevaron a cabo en el laboratorio de calidad "Los Jardines". Los puntos de muestreo incluyeron agua cruda, agua tratada y agua del grifo. En el estudio se determinaron los siguientes parámetros: color, temperatura, pH, turbidez y cloro residual, evaluados según las normativas establecidas por las Normas INEN 1802.

En la tabla 2 se observan los parámetros fisicoquímicos que se evaluaron en las muestras de agua junto con las unidades correspondientes y los métodos utilizados para su análisis.

Tabla 2. Análisis Fisicoquímico del Agua

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>
Color Aparente	Pt-Co	Colorimétrico
pH	pH	Potenciómetro
Temperatura	°C	Potenciómetro
Turbiedad	NTU	Turbidímetro
Cloro libre residual	mg/L	DPD

**Color Aparente:** Para realizar la medición del color aparente, se comenzó filtrando las muestras de agua para eliminar cualquier partícula suspendida. Después, se procedió a calibrar el espectrofotómetro y preparar estándares de color utilizando soluciones estándar de Pt-Co. La absorbancia de estos estándares se midió para construir una curva estándar. Posteriormente, se midió la absorbancia de las muestras de agua y se utilizó la curva estándar para calcular el color aparente en unidades de Pt-Co y finalmente, se registraron los resultados obtenidos.

**pH:** Para medir el pH, se encendió el potenciómetro y se calibró con soluciones tampón de pH 7, 4 y 10. Luego, se enjuagó el electrodo con agua destilada y se lo introdujo en la muestra de agua a analizar. Se esperó a que la lectura se estabilizara para obtener el valor del pH. Para las demás muestras, se siguió el mismo procedimiento, asegurándose de enjuagar el electrodo entre cada medición.

**Temperatura:** Para medir la temperatura, se encendió y calibró el potenciómetro. Posteriormente, se sumergió completamente la sonda de temperatura en la muestra de agua y se esperó unos segundos hasta que la lectura se estabilizara, procediendo entonces a registrar los resultados

**Turbiedad:** Para medir la turbidez, se encendió el turbidímetro marca HACH (cantidades en NTU), luego se limpió cuidadosamente las celdas de medición para asegurarse de que no hubiera residuos que pudieran afectar la lectura y se procedió a calibrar el turbidímetro. Una vez calibrado el turbidímetro, se llenó una celda de medición limpia con la muestra de agua (15 ml), luego se colocó la celda en el compartimento del turbidímetro, asegurándose de que no hubiera burbujas de aire que pudieran interferir con la medición y finalmente se cerró el compartimento y se esperó a que el turbidímetro realizara la medición.

**Cloro Libre residual:** Para medir el cloro libre residual, se empleó un espectrofotómetro HACH DR 2010. Primero, se ingresó el número de programa correspondiente a las bolsas de polvo de cloro libre residual, se presionó ENTER y se ajustó el equipo para una lectura a 530 nm. Se llenaron dos celdas de muestra de doble enrasedo limpias hasta la marca de 10 ml. A una de las celdas se le agregó el contenido de una bolsa de polvo de cloro total DPD (dietil-p-fenilendiamina), para muestras de 25 ml, se cerró la celda y se agitó varias veces para disolver el polvo. Si había cloro libre, la muestra adquiriría un color rosado. Luego, se destapó la celda inmediatamente (dentro del primer minuto después de agregar el reactivo), se colocó la muestra en el soporte del espectrofotómetro, se cerró el escudo de luz y se presionó READ para obtener el resultado en mg/l de cloro.

*2.3.5 Análisis de la concentración de arsénico.* En el laboratorio las 9 muestras de agua se analizaron por triplicado, mediante la técnica de espectrofotometría de UV- Visible, para ello, se siguieron los pasos descritos en el instructivo de: As Test Arsénico (altamente sensible) No de pedido: 400700.

El frasco de reacción se llenó cuidadosamente hasta alcanzar la marca de enrasedo, que correspondía a 60 ml de agua. Se añadió dos gotas del Reactivo As-1 al frasco y se procedió a agitar ligeramente. Se añadió 1 cuchara de dosificación (1 g) roja del Reactivo As-2 y se procedió a agitar ligeramente hasta que el reactivo se disolvió por completo luego se añadió 1 cuchara de dosificación (1 g) verde Reactivo As-3 y se procedió a cerrar inmediatamente el frasco de reacción con la tapa roscada.

El fijavarillas negro incorporado en la tapa roscada fue levantado hacia arriba, asegurándose de que el punto blanco esté dirigido hacia el usuario. Después, se insertó de inmediato la varilla analítica en la abertura, asegurándose de que la zona de reacción estuviera al frente hasta llegar a la marca azul de referencia, y luego se volvió a doblar completamente el fijavarillas hacia abajo. Se dejó reposar la muestra por 20 minutos, y

se agitó ligeramente tres veces en forma circular. Luego se retiró la tirilla reactiva, se la sumergió rápidamente en agua destilada, se la sacudió para eliminar todo exceso de líquido y se determinó el color de la zona de reacción de la manera más precisa posible según un campo cromático de la tarjeta colorimétrica.

Si el tono de color en la zona de reacción tiene la tonalidad más oscura o intensa en la escala colorimétrica, se requiere repetir la medición utilizando nuevas muestras diluidas hasta alcanzar un valor por debajo de 0,5 mg/l de As<sup>3+/5+</sup>. Posteriormente, este valor debe multiplicarse por el factor de dilución correspondiente y se seguirá con el mismo procedimiento mencionado. Para cuantificar los niveles de arsénico en las muestras de agua se utilizó el equipo UVmini-1240 Espectrofotometría UV-VIS de la marca Shimadzu a una longitud de onda de 700 nm.

#### **2.4. Método Estadístico**

Para el procesamiento estadístico se utilizó el sistema estadístico SPSS versión 22. Se emplearon técnicas de la estadística descriptiva e inferencial. Los datos de la evaluación de los parámetros físico- químicos y de la concentración de arsénico fueron procesados estadísticamente. Como medida de resumen se empleó la media, mediana, desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV).

Para contrastar la normalidad del conjunto de datos correspondiente a la variable niveles de arsénico se aplicó la Prueba de Shapiro-Wilk. Para rechazar la hipótesis nula (la población está distribuida normalmente) se tuvo en cuenta que el  $p$  fuera menor a 0.05 (a nivel de significancia).

Para evaluar la homogeneidad de varianzas se empleó la prueba de Levene y para comparar las concentraciones promedio de arsénico total pre y post tratamiento se aplicó la prueba de hipótesis no paramétrica U de Mann-Whitney para dos muestras independientes con un nivel de significación de 0,05.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Análisis físico del agua en los tres puntos de muestreo

La tabla 3 muestra los resultados del análisis físico color que se llevó a cabo en los 3 puntos de muestreo: Agua cruda, agua tratada y post tratada en los meses de marzo, abril y mayo.

Tabla 3. Resultado del análisis del parámetro color en los 3 puntos de muestreos.

Punto	Meses	R1	R2	R3	Media	Mediana	DE	CV (%)	Prom. Gral.	Norma INEN. Max.
1 Cruda	Marzo	6,2	5,9	5,9	6	5,9	0,17	2,90	9	
	Abril	12,7	12,8	12,6	12,7	12,7	0,10	0,80		
	Mayo	8,4	8,3	8,2	8,3	8,3	0,10	1,20		
2 Tratada	Marzo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	15 Pt-Co
	Abril	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,10	33,3		
	Mayo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
3 Grifo	Marzo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Abril	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
	Mayo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		

Con respecto al color, en los tres puntos de muestreo los valores promedios estuvieron por debajo del estándar para agua tratada (15 Pt-Co), señalando que en el agua tratada este valor fue 0,10 y en el grifo fue cero. Sin embargo, en el agua cruda, el promedio fue igual a 9. En el mes de abril, se observó que la media (12,7) del parámetro de color fue significativamente alta en comparación con los demás meses.

Orta y Pabón (2020) indican que la presencia de materia orgánica, residuos industriales coloreados como hierro y manganeso, puede afectar el color del agua. Si el agua destinada al consumo humano no es incolora, esto debe considerarse un indicativo de contaminación.

En nuestro estudio, realizado durante tres meses y en tres puntos de muestreo, el color del agua estuvo consistentemente por debajo del estándar establecido, lo que garantiza una calidad adecuada para el consumo humano. Resultados de los parámetros físico químicos realizados en el Recurso Hídrico de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa por

Angamarca y Valarezo (2020), señalaron que los niveles de estos parámetros físico químicos estuvieron dentro de los estándares establecidos a excepción del color, en el punto 3 de la Quebrada El Panteón, Sector Guayabo y en las dos muestras recolectadas en la planta de tratamiento de agua y la del grifo aún excedieron el límite permitido.

La tabla 4 muestra los resultados del análisis físico temperatura que se llevó a cabo en los 3 puntos de muestreo: Agua cruda, agua tratada y post tratada en los meses de marzo, abril y mayo.

Tabla 4. Resultado del análisis del parámetro temperatura en los 3 puntos de muestreos.

Punto	Meses	R1	R2	R3	Media	Mediana	DE	CV (%)	Prom. Gral.	Norma INEN. Max.
1 Cruda	Marzo	24,6	25,4	25,4	25,1	25,4	0,46	1,84		
	Abril	25,4	25,6	23,5	24,8	25,4	1,16	4,67	25,0	
	Mayo	25,4	25,10	24,5	25,0	25,1	0,46	1,83		
2 Tratada	Marzo	24,5	25,3	25,3	25,0	25,3	0,46	1,85		
	Abril	25,4	25,7	23,8	25,0	25,4	1,02	4,09	25,1	30°C
	Mayo	24,9	25,6	25,2	25,2	25,2	0,35	1,39		
3 Grifo	Marzo	21,7	25,2	24,9	24,0	24,9	1,94	8,11		
	Abril	25,5	25,4	24,3	25,1	25,4	0,67	2,66	24,7	
	Mayo	24,9	25,1	25,10	25,1	25,1	0,25	1,00		

La temperatura presentó una escasa variabilidad en los tres puntos de muestreo, con valores promedios de 25°C en agua cruda, 25,1°C en la tratada y 24,7°C en el grifo.

En Ecuador, los índices de calidad del agua se evalúan según estándares específicos. Las normativas ecuatorianas indican que la temperatura del agua no debe variar más de 3°C en comparación con las condiciones naturales (Instituto del Agua, 2024). Según Simbaña-Farinango et al. (2024), la temperatura de las aguas superficiales varía según las estaciones, siendo de 5,0 °C en invierno y de 21,0 °C en primavera-verano. En un estudio realizado por Goyburo et al. (2023) en la comunidad de Santa Rosa, se reportaron temperaturas promedio de 26,4°C en las quebradas Los Gringos y El Panteón, mientras que en la planta "Los Jardines" se encontraron valores de 24,7°C. Estas variaciones se atribuyen a los meses en que se tomaron las muestras.

Según Orta y Pabón (2020), la temperatura es un factor que influye en la medición de otros parámetros, como el pH, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto, debido a

su impacto en la velocidad de las reacciones químicas, el metabolismo y la difusión. Un aumento en la temperatura puede favorecer la proliferación de microorganismos, lo cual puede causar problemas de sabor, olor y color en el agua. Además, una alta temperatura puede reducir los niveles de oxígeno disuelto y promover la reproducción de organismos presentes en el agua, lo que puede generar problemas de salud relacionados con el agua.

Según Díaz García y González Pérez (2022), la temperatura del agua varía tanto en el tiempo como en el espacio, presentando diferencias significativas dentro de una misma red de distribución. Además, se ha demostrado que estas variaciones de temperatura afectan los procesos físicos (como la capacidad de transporte), químicos (como la disminución de cloro y la corrosión), y biológicos (como el crecimiento de bacterias y biopelículas) que ocurren en las redes de suministro de agua potable.

La tabla 5 muestra los resultados del análisis físico de turbiedad que se llevaron a cabo en los 3 puntos de muestreo: Agua cruda, agua tratada y post tratada en los meses de marzo, abril y mayo.

Tabla 5. Resultado del análisis del parámetro turbiedad en los 3 puntos de muestreos.

<b>Punto</b>	<b>Meses</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>DE</b>	<b>CV (%)</b>	<b>Prom. Gral.</b>	<b>Norma INEN Max.</b>
1 Cruda	Marzo	2,75	2,74	2,73	2,747	2,74	0,010	0,365		
	Abril	9,06	9,05	9,05	9,053	9,05	0,005	0,064	5,485	
	Mayo	4,68	4,66	4,65	4,663	4,66	0,015	0,328		
2 Tratada	Marzo	0,539	0,539	0,538	0,539	0,539	0,001	0,107		
	Abril	0,650	0,651	0,653	0,651	0,651	0,002	0,235	0,581	5 NTU
	Mayo	0,553	0,552	0,551	0,552	0,552	0,001	0,181		
3 Grifo	Marzo	0,469	0,468	0,467	0,468	0,468	0,001	0,214		
	Abril	0,587	0,585	0,586	0,586	0,586	0,001	0,171	0,509	
	Mayo	0,473	0,472	0,474	0,473	0,473	0,001	0,149		

Con respecto a la turbiedad del agua, se observa que el mayor promedio registrado fue en el punto 1 (agua cruda) con un valor promedio de 5,485 y en los restantes puntos fueron inferiores a la unidad. Destacando que abril fue el mes donde hubo una medición alta de este parámetro en el agua cruda con una media de 9,053 NTU, que sobrepasa el límite permitido.

Los valores de turbiedad a la entrada de la planta fueron superiores a los de salida. Los resultados obtenidos demuestran que el agua cruda (punto 1) presenta niveles por encima de 5 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez), esto puede sugerir como plantea Guevara Hoyos, (2023) que en el agua de la fuente puedan existir partículas en suspensión como arcilla y sedimentos, precipitados químicos como manganeso y hierro, partículas orgánicas como desechos vegetales, etc. Este parámetro afecta la calidad de agua y guarda relación con la época de lluvia, producto a la erosión y remoción de partículas de origen inorgánico y material orgánico por la misma actividad antrópica (Guevara Hoyos, 2023). Sin embargo, esto puede ser controlado a través de los procesos de tratamiento de agua.

Orta y Pabón (2020) señalan que la turbidez impide la penetración de la luz solar en el agua, lo que disminuye la claridad del líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. Altos niveles de turbidez reducen la eficacia del cloro en el proceso de desinfección. Aunque este parámetro no permite identificar contaminantes específicos, sí facilita la adhesión de metales pesados, pesticidas y compuestos orgánicos, los cuales pueden ser perjudiciales para la salud humana. Además, la turbidez puede actuar como un indicador de la presencia de microorganismos patógenos, ya que las partículas en suspensión pueden proporcionar un entorno favorable para su crecimiento y protección. Por lo tanto, es esencial controlar y reducir la turbidez en el agua potable para asegurar su calidad y seguridad.

En el análisis del agua tratada, los resultados obtenidos para el parámetro de turbidez se encuentran significativamente por debajo de los límites establecidos por la normativa. Esto indica que el nivel de turbidez en el agua post tratada es adecuado y cumple con los estándares de calidad requeridos, garantizando que no afecte la calidad del agua final. Resultados semejantes a los de Guevara Hoyos (2023), quien reportó que los valores de este parámetro en la planta de tratamiento El Milagro y de Santa Apolonia que abastece a la ciudad de Cajamarca, estuvieron por debajo de los estándares establecidos, por lo que no afectó la calidad del agua post tratada.

### **3.2 Análisis químico del agua en los tres puntos de muestreo**

La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos del parámetro químico pH que se llevaron a cabo en los 3 puntos de muestreo: Agua cruda, agua tratada y post tratada en los meses de marzo, abril y mayo.

Tabla 6. Resultado del análisis del parámetro pH en los puntos de muestreos.

Puntos	Meses	R1	R2	R3	Media	Mediana	DE	CV (%)	Prom. Gral	Norma INEN	
										Min.	Max.
1 Cruda	Marzo	7,71	7,73	7,72	7,72	7,72	0,01	0,13			
	Abril	8,18	8,17	8,16	8,17	8,17	0,01	0,12	7,88	6,0	9,0
	Mayo	7,75	7,76	7,77	7,76	7,76	0,01	0,13			
2 Tratada	Marzo	7,68	7,66	7,65	7,66	7,66	0,02	0,19			
	Abril	7,96	7,95	7,94	7,95	7,95	0,01	0,13	7,84		
	Mayo	7,91	7,92	7,90	7,91	7,91	0,01	0,13		6,5	8,0
3 Grifo	Marzo	7,83	7,82	7,84	7,83	7,88	0,01	0,12			
	Abril	7,78	7,74	7,75	7,76	7,75	0,02	0,27	7,8		
	Mayo	7,79	7,80	7,81	7,80	7,69	0,01	0,13			

En cuanto a los parámetros químicos (tabla 6), los valores de pH en el agua cruda (punto 1) se mantuvieron dentro de los valores de referencia (6,0 -9,0) con un promedio de 7,88; el valor más bajo registrado fue de 7,71 y el máximo de 8,18. En el punto 2 (agua tratada) estos valores sufrieron una ligera disminución al igual que en el grifo (punto 3) y aunque los valores promedios en ambos puntos se mantuvieron dentro del rango normal para agua tratada (6,5 – 8,0). De forma general los coeficientes de variación de este parámetro en los tres puntos indican, que los datos de esta variable tienen poca dispersión en relación con sus medias, lo cual revela una mayor consistencia en los datos.

Uno de los parámetros químicos más importantes de la calidad del agua es el pH, sus valores y cambios pueden indicar problemas de contaminación en el agua. De acuerdo con la normativa ecuatoriana INEN 1108 el rango de pH para agua dulce es de 6,5 a 8 (INEN, 2020), En el 88,9 % de las muestras del agua tratada y del grifo los valores del pH se encontraron dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa ecuatoriana INEN 1108 para aguas de consumo doméstico

Según Simbaña-Farinango et al. (2024), después de los procesos de autodepuración del agua, el pH tiende a ser ácido. No obstante, en esta investigación, los cambios fueron mínimos y los valores se mantuvieron en un rango de pH neutro a ligeramente alcalino en algunas mediciones. En ningún punto de muestreo se registraron valores inferiores a 6. Como indica Capa Sarango et al. (2021), un pH por debajo de 6 podría facilitar la disolución de metales pesados como arsénico, plomo, cadmio y mercurio. Esto reduce la probabilidad de contaminación por elementos potencialmente dañinos, ya que los

metales disueltos son generalmente más móviles y biodisponibles, lo que puede incrementar el riesgo de contaminación del agua y toxicidad para los seres humanos y los ecosistemas. Esto sugiere que el agua es segura para el consumo humano.

Goyburo et al. (2023), en su caracterización hidroquímica del agua en la comunidad de Santa Rosa, encontraron que el 25% de las muestras presentaban condiciones de acidez, lo cual atribuyeron a la presencia de materiales sulfurosos en la región que generan drenaje ácido. Además, demostraron que las muestras de la quebrada Los Gringos no cumplían con la normativa de calidad. Sin embargo, similar a la presente investigación, los valores de pH en el agua de grifo se encontraron dentro del rango permisible.

La tabla 7 muestra los resultados del análisis del cloro libre residual que se llevaron a cabo en los 3 puntos de muestreo: Agua cruda, agua tratada y post tratada en los meses de marzo, abril y mayo.

Tabla 7. Resultado del parámetro cloro residual en los 3 puntos de muestreos.

Puntos	Meses	R1	R2	R3	Media	Mediana	DE	CV (%)	Prom Gral	Norma INEN	
										Max	Min
2 Tratada	Marzo	1,2	1,16	1,18	1,18	1,18	0,02	1,69			
	Abril	1,2	1,25	1,25	1,23	1,25	0,03	2,34	1,18		
	Mayo	1,12	1,11	1,1	1,11	1,11	0,01	0,9			
3 Grifo	Marzo	0,73	0,72	0,71	0,72	0,72	0,01	0,98			0,3-1,5 (mg/L)
	Abril	0,85	0,87	0,88	0,86	0,87	0,02	1,76	0,76		
	Mayo	0,72	0,7	0,71	0,71	0,71	0,01	1,41			

Por otra parte, los valores de cloro residual que fueron evaluados en los puntos 2 y 3 oscilaron entre 1,10 y 1,25 mg/L en el agua tratada, y en el grifo entre 0,70 y 0,88 mg/L, valores todos dentro de los límites normales (0,3 – 1,5 mg/L).

Desde la perspectiva de Guevara Hoyos (2023), la cloración del agua, tanto para suministro como para aguas residuales, tiene como objetivo principal eliminar o inactivar los microorganismos patógenos. Adicionalmente, una ventaja importante de este proceso en el tratamiento de aguas post-tratadas es la mejora de la calidad del agua, ya que el cloro reacciona con compuestos como el amoníaco, hierro, manganeso, sulfuro y ciertas sustancias orgánicas. De acuerdo con las normas INEN 1108, el nivel de cloro residual en el agua tratada debe mantenerse entre 0,3 mg/L y 1,5 mg/L.

En la investigación los valores se comportaron dentro del rango anterior, lo que indica que la cloración en la planta es eficiente, y por tanto el consumo del agua procedente de la planta no constituye riesgo para la salud de la población.

Hoyos (2023) investigó las plantas de agua potable El Milagro y Santa Apolonia en la ciudad de Cajamarca, Ecuador, donde también se cumplieron ciertos estándares. Sin embargo, este estudio difiere en relación con el cumplimiento de los valores normativos de cloro residual, ya que Hoyos reporta que en la mayoría de los muestreos realizados en la planta Santa Apolonia, la cloración es insuficiente, lo cual representa un posible riesgo para la salud de la población.

Los resultados obtenidos luego del tratamiento del agua en cuanto a turbidez fueron significativos, al igual que los obtenidos por Cadenas-Martínez y Barreiro-Vinces (2023) en la planta potabilizadora Guarumo, que demostraron la eficacia de los procesos tendientes a eliminación de la turbiedad.

Debido a la ausencia de mediciones de cloro residual en el punto de agua cruda, no fue posible realizar una comparación para este parámetro. Esto se debe a que en dicho punto, el agua no es desinfectada con cloro en la planta potabilizadora "Los Jardines". El promedio obtenido en los puntos 2 y 3 estuvieron dentro del rango normal (0,3 -1,5 mg/L). De igual manera, aunque en el pH no se evidenció cambios estadísticamente significativos, las cifras promedio fueron menores de 8. Por tanto, se puede afirmar que se logró una desinfección eficaz en el agua tratada de la planta Los Jardines del Cantón Santa Rosa.

En Ecuador existen varios estudios que informan sobre el deterioro de la calidad de los recursos hídricos, principalmente en áreas con actividades extractivas (Escobar-Segovia et al., 2022; Jiménez-Oyola et al., 2021; Mestanza-Ramón et al., 2022) y en varias ciudades ha sido cuestionada la calidad del agua potable, producto a la contaminación de las fuentes que la abastecen o a los procesos que se emplean para el tratamiento en las plantas (Cipriani-Avila et al., 2020; Mendez-Ruiz et al., 2023; Molinero et al., 2021). Sin embargo, los resultados obtenidos en la investigación demuestran que en la planta Los Jardines el tratamiento que se aplica al agua logra mejorar la calidad del agua que se le brinda a la población para el consumo humano.

### **3.3 Concentración de arsénico total en el agua pre y post tratada en la Planta "Los Jardines"**

Se analizaron muestras de agua de tres puntos de la planta (pretratada, tratada y post tratada) y se determinaron las concentraciones de arsénico total del agua potable según

la técnica de espectrofotometría de UV- Visible. Se analizaron un total de 9 muestras, a razón de 3 muestras por cada punto al mes, durante tres meses.

En la tabla 8 se observan los valores de concentraciones promedio de arsénico obtenidos en el agua cruda (punto 1), durante la fase de desinfección (punto 2) y después de tratada (punto 3).

Tabla 8. Concentraciones de arsénico total en la planta de agua “Los Jardines” (marzo a mayo) según puntos de muestreo.

Pts.	Meses	R1	R2	R3	Media	Mediana	DE	CV (%)	Prom. Gral.	Norma INEN Máx.
1 Cruda	Marzo	0,0115	0,0116	0,0114	0,0115	0,0115	0,0001	0,9	0,0123	0,01 mg/L
	Abril	0,0141	0,0143	0,0142	0,0142	0,0142	0,0001	0,7		
	Mayo	0,0110	0,0113	0,0112	0,0112	0,0112	0,0002	1,8		
2 Tratada	Marzo	0,0011	0,0009	0,0012	0,0011	0,0011	0,0002	18,2	0,0011	
	Abril	0,0013	0,0012	0,0014	0,0013	0,0013	0,0001	7,7		
	Mayo	0,0009	0,001	0,0006	0,0008	0,0009	0,0002	25,0		
3 Grifo	Marzo	0,0003	0,0005	0,0001	0,0003	0,0003	0,0002	66,7	0,0004	
	Abril	0,0006	0,0009	0,0005	0,0007	0,0006	0,0002	28,6		
	Mayo	0,0003	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0002	200,0		

Los resultados indican cifras de arsénico en el agua cruda por encima del estándar (punto 1) en los tres meses del año que se recogieron las muestras, con un promedio ligeramente superior en el mes de abril (0,0142 mg/L). Los valores de arsénico oscilaron en este punto entre los 0,0110 mg/L y 0,0143 mg/L.

Durante la fase de desinfección se observa que las cifras promedio de concentraciones de arsénico disminuyeron considerablemente, sus valores en este punto oscilaron entre los 0,0006 mg/L y 0,0014 mg/L. El promedio de mayor concentración se registró en el mes de abril (0,0013), lo cual se relaciona con el hecho de haber sido el mes donde se registraron mayores concentraciones de arsénico en el agua cruda.

En las muestras de agua tomadas en el grifo (post tratada) las concentraciones de arsénico fueron disminuyendo, registrándose un valor máximo de 0,0009 mg/L. Este último valor correspondió nuevamente al mes de abril.

Los resultados obtenidos en la investigación durante los meses de marzo a mayo, mostrados en la Tabla 8, demuestran que el tratamiento aplicado en la planta "Los Jardines" del Cantón Santa Rosa logró reducir las concentraciones de arsénico en el agua. Aunque se detectó arsénico en el agua tratada, los valores de concentración fueron inferiores a 0,010 mg/L, cumpliendo con los (estándares establecidos por la norma NTE INEN 1108 para la calidad del agua potable en el Ecuador). La determinación de la concentración de arsénico total en el agua cruda permitió establecer una referencia para comparar con las concentraciones después del tratamiento. Los datos revelan que los valores promedio de arsénico total disminuyeron significativamente tras el tratamiento en comparación con los restantes puntos de muestreo, confirmando la eficacia del tratamiento aplicado.

Santa Rosa es una de las zonas mineras de Ecuador, y en la parte alta del río homónimo se encuentran varias concesiones mineras metálicas (Cartografía de Libre Acceso (Escala Regional), 2023). Estas actividades mineras descargan desechos en la cuenca del río, lo que representa un riesgo para la población. Un estudio en la cuenca alta del río detectó la presencia de varios metales pesados en las muestras analizadas, incluyendo arsénico (Angamarca y Valarezo, 2020).

La calidad de las aguas del río Santa Rosa, principal fuente de abastecimiento de la planta "Los Jardines", se ha visto perjudicada por las operaciones mineras ilegales en la parte superior del río y por la mala gestión de los desechos de varias industrias como la avícola, ganadera y porcina. Esto explica por qué en las muestras tomadas antes del proceso de purificación presentaron niveles elevados de arsénico. Sin embargo, las mayores concentraciones de arsénico se reportaron en el mes de abril, lo cual puede estar relacionado con un aumento de la minería y otras fuentes de contaminación aledañas a la zona (Angamarca y Valarezo, 2020).

Existen estudios sobre la concentración de arsénico en ríos de la zona del Cantón Santa Rosa, en sedimentos. Investigación de Cuenca y Mantilla (2023) recientemente reveló altas concentraciones de este metal en los ríos, cifras que superan los límites establecidos, indicando una importante contaminación por arsénico en varios puntos de muestreo.

La investigación de Casa (2021) en los sedimentos de los ríos Birón y Chico del Cantón Santa Rosa reveló que las concentraciones de arsénico superan los límites máximos

permitidos según las normativas internacionales, debido a la contaminación minera. En la planta de tratamiento "Los Jardines", los resultados del agua post-tratada indican que los niveles de arsénico también exceden los límites establecidos por la norma NTE INEN 1108 para la calidad del agua potable en el Ecuador.

Con el tratamiento aplicado se logró reducir las concentraciones de este elemento, las cifras en el grifo fueron inferiores a los límites legislados y, por tanto, no existe riesgo para la población. Resultado sumamente importante, ya que la ingestión de agua y alimentos contaminados por arsénico a largo plazo puede originar cáncer, daños en la piel, patologías del corazón y diabetes. Además, la exposición durante el embarazo y en la etapa temprana de la vida tiene impactos negativos en el desarrollo mental y un incremento en la tasa de fallecimientos en adultos jóvenes (OMS, 2022).

Según un estudio realizado por Delgado (2021), el agua destinada al consumo humano en las provincias de Arequipa, Camaná e Islay presenta altas concentraciones de arsénico que exceden los límites máximos permisibles establecidos por el D.S. N°031-2010-SA-MINSA y la OMS. Esto se debe a que el agua proveniente de manantiales, fuentes superficiales y termales no recibe el tratamiento adecuado y solo pasa por un proceso de cloración, el cual únicamente elimina microorganismos.

En la presente investigación realizada en la planta de tratamiento "Los Jardines" se emplea el método de coagulación-floculación, que facilita la unión de las pequeñas partículas suspendidas y coloidales presentes en las aguas crudas para formar agregados más grandes (flóculos), lo que permite la remoción eficiente del arsénico. En este procedimiento, se utiliza sulfato de aluminio como coagulante. El sulfato de aluminio generalmente demuestra una mayor eficacia en la eliminación de arsénico en comparación con el sulfato férrico (Casallo et al. 2018).

En el presente año se reportó una concentración de arsénico en las aguas de consumo de la ciudad de Santa Rosa de 0.019 mg/L (Cedeño, 2024), ciudad donde se encuentra la planta de tratamiento "Los Jardines". Este mismo autor propone un sistema avanzado para la remoción de este metal en el agua de la planta. Siendo esta propuesta una solución de mejora para el tratamiento del agua que puede ayudar a asegurar la calidad del agua potable distribuida a las comunidades.

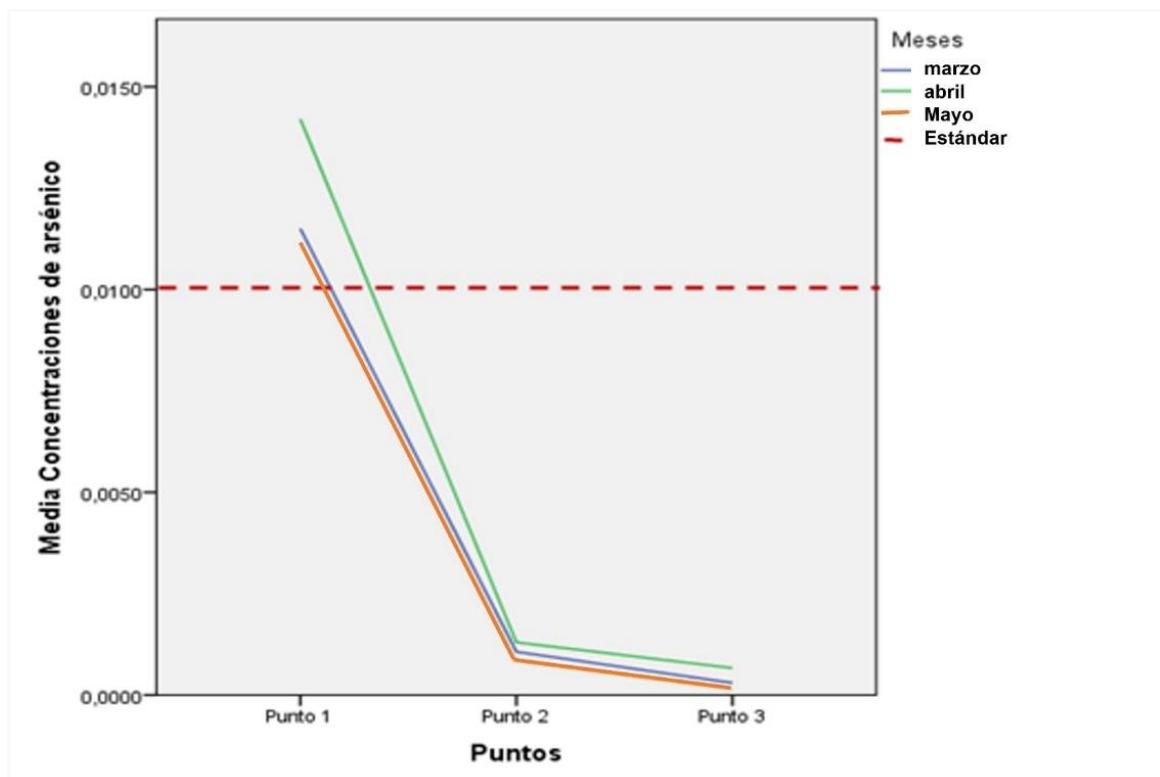
En una investigación realizada por Liendo (2018) con el objetivo de reducir los niveles de arsénico en el agua potable, utilizó la semilla de moringa después de extraer su aceite, como agente coagulante y floculante. Este método demostró ser efectivo en la disminución significativa de la concentración de arsénico en el distrito de Candarave,

ubicado en la provincia y región de Tacna. Los resultados obtenidos en la fase experimental indicaron que utilizando una dosis de 4 g/L y un tiempo de tratamiento de 3 horas, se logró la máxima eliminación de arsénico en Talaca, alcanzando una eficiencia del 90%.

Un estudio realizado por Francisca y Carro Pérez (2014), demostró que la remoción de arsénico mediante procesos de coagulación-floculación al incorporar el coagulante cloruro férrico para concentraciones iniciales de 0.5 mg/L de As, logró disminuir el arsénico en un 95% y al incorporar sulfato de aluminio logró la remoción de arsénico en un 80%.

En la Figura 1 se muestra la tendencia de las concentraciones de arsénico total durante los meses que se recogieron las muestras de agua en los tres puntos de muestreo.

Figura 1. Comparación de las concentraciones de arsénico con las NORMAS INEN 1108.



Se comparó con el estándar establecido por la norma NTE INEN 1108 para la calidad del agua potable en el Ecuador. Este valor en la figura fue representado con una línea horizontal discontinuo en color rojo. Se observa que el promedio de las concentraciones

en el agua cruda, de los tres meses de muestreo estuvieron por encima de dicho valor, mientras que en los puntos 2 y 3 por debajo del estándar.

En la Figura 1, se observa que la línea azul correspondiente al mes de marzo casi se une con la línea anaranjada correspondiente al mes mayo, esto es debido que existe poca variabilidad en la concentración de arsénico en estos dos meses, pero la línea de color verde que corresponde al mes de abril está más dispersa en los tres puntos de muestreo, ya que en este mes se presentó mayor concentración de Arsénico en el agua cruda.

### 3.4 Comparación de las concentraciones de arsénico total pre y post tratamiento.

Para comprobar la existencia de diferencias estadísticamente significativa entre los niveles de arsénico antes y después del tratamiento se consideró aplicar la prueba T de Student para muestras independientes, que son las recomendadas para realizar pruebas de hipótesis de comparación de medias. Pero para poder emplear la misma se deben comprobar los supuestos de normalidad y el de homogeneidad de varianza.

Al comprobar los supuestos antes mencionados, no se cumplieron. En la tabla 9 se observa que el supuesto de normalidad de la variable concentración de arsénico total comprobado mediante la prueba de Shapiro-Wilk. (recomendada cuando el tamaño muestral es menor que 50) arrojó que la variable no se distribuía normal ( $p < 0,05$ ), ni tampoco existió homogeneidad de varianza ( $p < 0,05$ ). Este último resultado se obtuvo de aplicar la prueba de Levene para la igualdad de varianzas.

Tabla 9. Pruebas de normalidad y de igualdad de varianza

	Shapiro-Wilk			Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	
	Estadístico	gl	Sig.	F	Sig.
Concentración de arsénico (mg/L)	0,699	27	0,000	34,677	0,000

**Fuente:** Programa estadístico SPSS

Al no seguir las concentraciones de arsénico una distribución normal, se aplicó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para dos muestras independientes para determinar si el tratamiento en la planta potabilizadora reduce significativamente los niveles de arsénico.

En este caso se compararon los valores concentración de arsénico total promedio entre los puntos 1 y 3, es decir, las concentraciones de arsénico total pre y post tratamiento. Los resultados obtenidos indican que la concentración de arsénico total promedio en el punto 1 fue de 0,0123, mientras que en el punto 3 de 0,0004 (tabla 8). Realizando una comparación inicial de estos valores se observa una diferencia de concentraciones a favor del punto 3 de 0,0119 en promedio.

En la tabla 10 se muestran los resultados de la prueba de U de Mann-Whitney

Tabla 10. Resultados de la prueba de U de Mann-Whitney

	Rangos			
	Puntos	N	Rango promedio	Suma de rangos
Concentraciones de arsénico	Punto 1	9	14	126
	Punto 3	9	5	45
	<b>Total</b>	<b>18</b>		

**Fuente:** Programa estadístico SPSS  $p=0,000$

En esta se evidenció que en el punto 1 se obtuvo un rango promedio de 14, mientras que en el rango promedio menor le correspondió al punto 3 (agua del grifo) con un valor de 5. Al contrastar el supuesto de las variaciones entre las concentraciones y analizar los valores de  $p$  obtenidos al aplicar la prueba no paramétrica antes mencionada se puede afirmar que existió diferencias altamente significativas ( $p=0,000$ ) entre las concentraciones de arsénico pre y post test. Estos resultados demuestran que el tratamiento en la planta potabilizadora incide significativamente en la reducción de los niveles de arsénico. Es decir, que los niveles de arsénico disminuyeron después del tratamiento, lográndose cifras por debajo del estándar.

En Ecuador existen otras zonas naturales de agua donde las concentraciones de arsénicos también alcanzan cifras por encima de los valores permisibles para el consumo humano, tal es el caso del río Carrizal (Ortiz et al., 2020) y las aguas de fuentes naturales de la parroquia de Toacaso, cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi (Villegas et al., 2022). Sin embargo, no se encontraron estudios recientes donde se comparen las concentraciones de arsénicos en plantas de tratamiento de agua potable en el país luego de tratada.

La presencia de altos niveles de arsénico en el agua es una de las principales causas de preocupación ambiental, limitando el uso del recurso para agua potable y otros fines.

Los resultados obtenidos indican que en los meses de muestreo no existió riesgo para la salud en las personas que consumen agua potable procedente de la planta "Los Jardines". Esta situación indica que los métodos empleados en la planta son suficientes para reducir las concentraciones de arsénico y lograr cifras dentro del rango permisible.

Se considera que en la planta se debe continuar el monitoreo frecuente de las concentraciones de arsénico para garantizar que se mantengan dentro de los límites legislados en el grifo y garantizar de esta forma que la calidad del agua para el consumo humano sea adecuada. De esta forma se lograría proteger la salud de la población y prevenir el riesgo de intoxicaciones por arsénico.

Los resultados obtenidos demuestran la hipótesis de la investigación, permitiendo afirmar que existe una diferencia significativa en los niveles de concentración de arsénico total entre el agua potable antes y después del tratamiento en la planta "Los Jardines" del Cantón Santa Rosa, y que se cumplen los estándares de inocuidad.

Aunque el agua tratada se mantuvo por debajo del estándar, coincide con el criterio de Cedeño (2024) sobre la necesidad de buscar alternativas tecnológicas avanzadas de tratamiento de agua apropiadas para poblaciones de limitados recursos.

## CONCLUSIONES

- ✓ Al analizar los parámetros físico-químicos de calidad del agua: pH, temperatura, color, turbiedad y cloro residual, los resultados demostraron que en el agua de consumo humano cumplieron con los estándares establecidos.
- ✓ Se determinó la concentración de arsénico total en la planta de tratamiento “Los Jardines” tanto en el agua cruda como en el agua post-tratada, mediante la técnica de espectrofotometría UV- Visible, la cual proporciona datos precisos sobre la concentración de arsénico.
- ✓ Los resultados obtenidos muestran que el agua pre- tratada excedió el límite establecido por la norma NTE INEN 1108, en los tres meses de muestreo, mientras que el agua del grifo cumplió con los parámetros establecidos, demostrando así la efectividad y seguridad del tratamiento en el proceso de potabilización.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar análisis complementarios al agua para detectar metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg), es esencial para asegurar la calidad del agua y proteger la salud pública.
- ✓ Se recomienda investigar nuevas tecnologías o métodos que puedan mejorar aún más la eficiencia de la remoción de arsénico en la planta potabilizadora “Los Jardines”.

## BIBLIOGRAFÍAS

- Aguayo, L., Herrera, A., del Carmen, S., Gurrola, m., Ramos, L., y Saldaña, A. (2023). ¿Podemos medir arsénico con el método azul de molibdeno en agua de forma confiable? *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 21, 1-8.  
<https://doi.org/https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4162>
- Altamirano, M., Delgado, V., y Fuentes, S. (2020). Cabello humano para valorar la exposición a arsénico en usuarios de agua contaminada de la comunidad La Fuente en, La Paz Centro, León. *Central American Journals Online*, 9(25), 94-109. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/torreon.v9i25.9856>
- Angamarca, D. J., y Valarezo, L. A. (2020). Determinación de la contaminación del recurso hídrico provocado por la actividad minera en la cuenca alta del Río Santa Rosa. Universidad Salesiana del Ecuador.  
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19334>
- Aragónes Sanz, N., Palacios Diez, M., Avello de Miguel, A., Gómez Rodríguez, P., Martínez Cortés, M., y Rodríguez Bernabeu, M. J. (2001). [Arsenic levels in drinking water supplies from underground sources in the community of Madrid]. *Revista Espanola de Salud Publica*, 75(5), 421–432.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11764560>
- Aveiga, A., Noles, P., Peñarrieta, F., y Murgueitio, E. (2020). Distribución de arsénico en agua superficial y sedimento en la cuenca del río carrizal, manabí - ecuador. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(3), 260-275.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v86i3.299>
- Avites, Y., y Aguas, A. (2021). *Caracterización de los parámetros a reducir de las aguas residuales del proceso de tratamiento de agua potable*.  
<https://repositorio.unica.edu.pe/items/f2f99914-f0ca-464a-9bdc-1b63d5e2063d>
- Cadenas-Martínez, R., y Barreiro-Vinces, J. D. (2023). Caracterización fisicoquímica del agua de la planta potabilizadora Guarumo, provincia de Manabí, Ecuador. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 30(1).  
<https://www.redalyc.org/journal/104/10474149008/html/#gt3>
- Caillagua, C., Tenelema, H., Toasa, D., y Tovar, D. (2023). Análisis de la calidad del agua potable en el sector Belisario Quevedo, barrio Cuatro Esquinas, durante el

periodo de mayo a septiembre de 2023. 1–12.

<https://doi.org/10.62486/agmu202321>

Capa Sarango, D. A., Valdivieso Palma, A. E., y Alvear Gallardo, C. (2021). Categorización y gestión del riesgo asociado a la presencia de metales pesados producto de las actividades extractivas en el cantón Santa Rosa, El Oro [Thesis, ESPOL. FICT]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52306>

Cartografía de Libre Acceso (Escala Regional). (2023, enero). Geoportal.

Casa, F. (2021). Facultad de ciencias químicas y de la salud carrera de ciencias médicas. *Repositorio Universidad Técnica de Machala*, 1–61.  
[http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14733%0Ahttp://186.3.32.121/bitstream/48000/13770/1/BELDUMA BELDUMA VIVIANA ELIZABETH.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14733%0Ahttp://186.3.32.121/bitstream/48000/13770/1/BELDUMA%20BELDUMA%20VIVIANA%20ELIZABETH.pdf)

Casallo, G., Armudio, Y., Optar, P., Título, E. L., y De, P. (2018). Universidad Alas Casallo, G., Armudio, Y., Optar, P., Título, E. L., y De, P. (2018). Universidad Alas Peruanas Facultad De Ingenierias Y Arquitectura Escuela Academico Profesional De Ingenieria Ambiental Tesis Eficiencia De La Remoción De Arsénico Mediante El Proceso De Coagulación/Floculación, De Las Aguas Residuales De La Mina Artesanal. <https://hdl.handle.net/20.500.12990/6263>

Castro, S., Regalado, E., Rábago, J., y Guzmán, N. (2021). Remoción de arsénico en agua subterránea mediante procesos de adsorción. *Quimica Hoy*, 10(4), 30-33.  
<https://quimicahoy.uanl.mx/index.php/r/article/view/269>

Cedeño Laje, J. A. (2024). *Diseño de sistema avanzado de tratamiento de electrodiálisis para la remoción de As en agua de consumo doméstico en la ciudad de Santa Rosa*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.FICT.  
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/60745>

Chimbolema, J., Medina, C., y Segovia, E. (2020). Aplicación del método Foto-fenton para el tratamiento de aguas residuales en la industria láctea. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 785-801.  
<https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7539702>

Cipriani-Avila, I., Molinero, J., Jara-Negrete, E., Barrado, M., Arcos, C., Mafla, S., Custode, F., Vilaña, G., Carpintero, N., & Ochoa-Herrera, V. (2020). Heavy metal assessment in drinking waters of Ecuador: Quito, Ibarra and Guayaquil.

*Journal of Water and Health*, 18(6), 1050-1064.

<https://doi.org/10.2166/wh.2020.093>

- Colmenero Sujo, L. H., y Villalba, M. de L. (2023). Remoción de arsénico en agua con zeolitas naturales provenientes del norte y centro de México. *TECNOCIENCIA Chihuahua*, 17(3), e1261. <https://doi.org/10.54167/tch.v17i3.1261>
- Collori, M., Vera, O., Periche, J., & González, J. (2022). Sistema de osmosis inversa en remoción de arsénico de agua subterránea en Pacora. *UCV Hacer*, 11(4), 11-17. <https://doi.org/https://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ucv-hacer/article/view/2331>
- Cuenca Nagua, D. E., y Mantilla Cruz, E. M. (2023). Concentración de arsénico en sedimentos de ríos contaminados por la actividad minera en el cantón Santa Rosa, 2023. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/22342>
- Díaz García, S., y González Pérez, J. (2022). La importancia de la temperatura del agua en las redes de abastecimiento. *Ingeniería Del Agua*, 26(2), 107–123. <https://doi.org/10.4995/ia.2022.17366>
- Dobrosz, I., Gómez, M., y Ibarra, H. (2020). Tratamiento de aguas residuales de la industria del café soluble vía Electrocoagulación - Oxidación Anódica. Selección de los electrodos. *Revista EIA*, 17(34), 126-142. <https://doi.org/https://doi.org/10.24050/reia.v17i34.1328>
- Dueñas Jurado, C., y Hinojosa Yzarra, L. (2021). Calidad del agua potable y su influencia en la salud humana. *GnosisWisdom*, 1(3), 11–20. <https://doi.org/10.54556/gnosiswisdom.v1i3.19>
- Escalera, R., Ormachea, O., García, J., Suso, J., & Huallpara, L. (2020). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO DEL AGUA DE CONSUMO EN EL ALTIPLANO Y VALLES DE BOLIVIA. *Investigación & Desarrollo*, 20(1), 23-39. <https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-2i>
- Escobar-Segovia, K., JIMÉNEZ-OYOLA, Z., GARCÉS-LEÓN, D., y PAZ-BARZOLA, D. (2022). Metales pesados en ríos afectados por actividades mineras en Ecuador: Contaminación e implicaciones para la salud humana. 1, 61-72.
- Espinoza, E., y Abril, J. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control de la concentración de manganeso en agua cruda en la planta de tratamiento de agua potable Tixán - ETAPA EP*. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19576>

- SEIDLaboratory: Servicio Integral de Laboratorio (2023). Agua Potable y la Normativa Inen 1108. <https://www.seidlaboratory.com.ec/wp-content/uploads/2023/06/AGUA-POTABLE-E-INEN-1108.pdf>
- Francisca, F. M., y Carro Pérez, M. E. (2014). Remoción de arsénico en agua mediante procesos de coagulación-floculación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(2), 177–190.
- Forero Buitrago, G. A., Ramírez Barreto, J. C., y Ramírez Feo, G. A. (2020). Propuesta de almacenamiento de agua lluvia para suministrarla al municipio de Albán utilizando HEC-GeoHMS. *Avances Investigación En Ingeniería*, 17(1), 1–25. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6031>
- Galindo, G., y Parada, M. (2021). *Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento*. <http://hdl.handle.net/10261/4019>
- Goyburo, C., Villamar, K., Villalta, M., Andrés Cedeño, J., Vitvar, T., Valverde-Armas, P., y Jiménez-Oyola, S. (2023). Hydrochemical Characterization of Water in Santa Rosa Community, Southern Ecuador. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2023-July*, 1–10. <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.594>
- Guevara, C. (2023). Calidad del agua pre y post tratada de las plantas de agua potable El Milagro y Santa Apolonia de la ciudad de Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5624>
- Guevara Hoyos, C. (2023). Calidad del agua pre y post tratada de las plantas de agua potable El Milagro y Santa Apolonia de la ciudad de Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5624>
- INEN. (2013). Agua. Calidad Del Agua. Muestreo. Manejo Y Conservación De Muestras. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 26.
- Instituto del Agua. (2024, enero 21). Parámetros de Calidad del Agua Potable en Ecuador: Un Análisis Detallado. Instituto del Agua. <https://institutodelagua.es/calidad-del-agua/parametros-de-calidad-del-agua-potable-ecuadorcalidad-del-agua/>
- Jiménez-Oyola, S., Chavez, E., García-Martínez, M.-J., Ortega, M. F., Bolonio, D., Guzmán-Martínez, F., García-Garizabal, I., & Romero, P. (2021). Probabilistic multi-pathway human health risk assessment due to heavy metal(loid)s in a

traditional gold mining area in Ecuador. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 224, 112629. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112629>

LIENDO, R. A. R. (2018). *Universidad privada de tacna facultad de tecnología médica*. 1–69.

López Ramírez, M. A., Castellanos Onorio, O. P., Lango Reynoso, F., Castañeda Chávez, M. del R., Montoya Mendoza, J., Sosa Villalobos, C. A., y Ortiz Muñoz, B. (2021). Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión. *Enfoque UTE*, 12(4), 76–87. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.769>

Marchetti, M., y Tomac, A. (2021). Risk profile for food safety: presence of arsenic in Argentina. *Revista Argentina de Salud Pública*, 13, 191-200. [https://doi.org/http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-810X2021000100191&script=sci\\_abstract&tlng=en](https://doi.org/http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-810X2021000100191&script=sci_abstract&tlng=en)

Martínez Guijarro, M. (2020). Análisis instrumental: Espectrometría de Absorción Atómica (EAA). *Universitat Politècnica de València*. <http://hdl.handle.net/10251/138418>

Martínez, M., Mendoza, J., Medrano, B., Gómez, L., y Zafra, C. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 15-24. <https://www.redalyc.org/journal/5537/553768131002/553768131002.pdf>

Mestanza-Ramón, C., Ordoñez-Alcivar, R., Arguello-Guadalupe, C., Carrera-Silva, K., D'Orío, G., y Straface, S. (2022). History, Socioeconomic Problems and Environmental Impacts of Gold Mining in the Andean Region of Ecuador. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1190. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031190>

Menéndez, J., y Muñoz, S. (2021). Contaminación Del Agua Y Suelo Por Los Relaves Mineros. *Paideia XXI*, 11(1), 141–154. <https://doi.org/10.31381/paideia.v11i1.3622>

Mendez-Ruiz, J. I., Barcia-Carreño, M. B., Mejía-Bustamante, L. J., Cornejo-Pozo, Á. K., Salas-Vázquez, C. A., y Valverde-Armas, P. E. (2023). Assessment of the Performance of a Water Treatment Plant in Ecuador: Hydraulic Resizing of the

- Moliner, J., Cipriani-Avila, I., y Barrado, M. (2021). Heavy metal concentrations in rivers and drinking water of Esmeraldas (Ecuador) under an intermittent water supply service. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(12), 775.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-021-09579-w>
- OMS. (2022, diciembre 7). Arsénico. OMS. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Olmos-Palma, D. A. (2022). Efectos sobre la salud por agua contaminada con metales pesados. *Universidad Autonoma de Estado de Hidalgo*, 4(1), 43–47.
- Orta, D., y Pabón, P. (2020). Evaluación de la calidad del agua de consumo de la Junta Administradora de agua potable y saneamiento Regional Canchagua. 1–47.  
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/35213>
- Ortiz, A. O. A., Aguilar, P. J. N., Macías, F. P., y Herrera, E. M. (2020). Distribución de arsénico en agua superficial y sedimento en la cuenca del río carrizal, MANABÍ - ECUADOR. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(3), Article 3.  
<https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i3.299>
- Osorio, M., Carrillo, W., Negrete, J., y Loor, X. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento*, 6(3), 228-245.  
<https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926905>
- Pabón Guerrero, S. E., Benítez Benítez, R., Sarria Villa, R. A., y Gallo Corredor, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9–18.  
<https://doi.org/10.31908/19098367.1734>
- Parrales-Mero, V. (2022). Calidad de agua potable de las zonas urbanas. *Revista Científica de Educación Superior y Gobernanza Interuniversitaria Aula* 24, 3(5), 8–12.
- Penagos, J., Arango, J., Penagos, J., Parrado, S., Pardo, D., Rivera, E., y Valdez, C. (2019). Indicadores reproductivos en cohortes bovinas que beben como única fuente agua tratada proveniente de la producción del petróleo, en diferentes diluciones con agua de pozo profund. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(1), 1-10.  
<https://doi.org/https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1372>

- Présiga, D., Rubio, A., y Pérez, J. (2020). Uso del biocarbón como material alternativo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas. *Revista UIS Ingenierías*, 20(1), 121-134. <https://doi.org/https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021011>
- Rodríguez, C. (2021). Intoxicación por arsénico. *Revista Medicina Legal de Costa Rica*, 38(2), 1–13.
- Sanabria, Selva, Carlos Victorio, Regunega Valiente, and Arturo Canata. 2024. "UNIDA Salud Artículo Original Evaluación de La Calidad Del Agua Potable En Asunción y Gran Asunción : Análisis Fisicoquímico y Microbiológico Assessment of Drinking Water Quality in Asunción and Greater Asunción : Physicochemical and Microbiological Analysis." 3(2): 29–33.
- Santos, G. R., Paulino, G. S. P., Borges, G. P. I., Santiago, A. F., y da Silvac, G. A. (2022). Analytical Advances Based on First-Order Calibration Models and Uv-Vis Spectroscopy for the Assessment of Water Quality: a Review – Part 1. *Quimica Nova*, 45(3), 314–323. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170830>
- Sarango, D. A. (2021). *Categorización y gestión del riesgo asociado a la presencia de metales pesados producto de las actividades extractivas en el cantón Santa Rosa, El Oro* [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52306>
- Simbaña-Farinango, K., Romero-Estévez, D., Yáñez-Jácome, G., Benavides, D., y Navarrete, H. (2024). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PITA (ECUADOR), IMPLICACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE. *infoANALÍTICA*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/https://doi.org/10.26807/ia.v7i2.104>
- T. Delgado, P. Z. (2021). Estudio De La Concentración De Metales Pesados (Arsenico, Cadmio, Mercurio Y Plomo) En Agua Para Consumo Humano En El Departamento De Arequipa. *Universidad María Auxiliadora*, 49. <https://repositorio.uma.edu.pe/handle/20.500.12970/417>
- Vargas, A., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M., y Núñez, D. (2020). Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas

en Colombia. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(2), 315-322.  
<https://doi.org/https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000200315>

Velasco, J. (2019). La Planta de Remoción de Arsénico Para Mejorar el Agua Potable, Molinos - Jauja. Universidad Peruana Los Andes.  
<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1279>

Vicuña, F. (2019). Evaluación de la calidad del agua potable del sistema de abastecimiento y el grado de satisfacción en la población de Olleros Huaraz. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 1, 127.  
<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2900>

Villegas Pazmiño, D. V., Santo, T. R., y Tandalla, J. C. (2022). Trazabilidad microbiológica de enterobacterias en sitios poco monitoreados y contaminados con arsénico proveniente de fuentes naturales en la parroquia de tocaso. *Revista Recursos Naturales Producción y Sostenibilidad*, 1(1), Article 1.  
<http://investigacion.utc.edu.ec/index.php/RENPYS/article/view/399>