

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO AHUITZOC EN SAN JERÓNIMO COYULA, ATLIXCO, PUEBLA

PRELIMINARY ANALYSIS OF THE WATER QUALITY OF THE AHUITZOC RIVER IN SAN JERÓNIMO COYULA, ATLIXCO, PUEBLA

Rosas López Esperanza¹, Bárcena Vicuña Guadalupe Gabriela², Alonso Calpeño Mariela Juana³,
Ramírez Hernández Johana⁴

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v8i1.363>

¹Ingeniera Química, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Atlixco, Ingeniería Electromecánica, esperanza.rosas@itsatlixco.edu.mx, móvil: 244 107 2486. Calle Prolongación Heliotropo 1201 Col. Vista Hermosa, C.P. 74218. <https://orcid.org/0009-0006-2311-4176>.

²Maestría en Tecnología Avanzada, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Atlixco, Ingeniería Bioquímica, guadalupe.barcena@itsatlixco.edu.mx, móvil: 244 447 3054. Calle Prolongación Heliotropo 1201 Col. Vista Hermosa, C.P. 74218. <https://orcid.org/0009-0000-0244-8421>.

³Doctora en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Atlixco, Ingeniería Sistemas Computacionales, mariela.alonso@itsatlixco.edu.mx, móvil: 2441190652. Calle Prolongación Heliotropo 1201 Col. Vista Hermosa, C.P. 74218. <https://orcid.org/0000-0001-7276-1923>.

⁴Doctora en Ciencias Químicas, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Atlixco, Ingeniería Bioquímica, johana.ramirez@itsatlixco.edu.mx, móvil: 2222004243. Calle Prolongación Heliotropo 1201 Col. Vista Hermosa, C.P. 74218. <https://orcid.org/0009-0004-1776-0863>.

Resumen --La Organización de las Naciones Unidas (ONU), aprobó la Agenda 2030 que está constituida por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), para este trabajo se considera el ODS 6 que consiste en garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos (1). El agua es un recurso fundamental para el desarrollo socioeconómico y salud de las personas.

En el estado de Puebla, se encuentra el Municipio de Atlixco y se ubica la comunidad de San Jerónimo Coyula con 7,750 habitantes, sin embargo, por falta de agua potable la población utiliza el agua del cauce del río Ahuitzoc para las diversas actividades domésticas (2). Este río inicia en un manantial en donde algunos pobladores ingieren el agua de forma directa.

Con el objetivo de identificar la calidad del agua del río, se aplicaron pruebas fisicoquímicas y microbiológicas a cinco sitios donde pasa el cauce del río Ahuitzoc, durante temporada de estiaje en abril y mayo, un muestreo por mes.

Es importante la valoración de la calidad del agua mediante pruebas fisicoquímicas como: Dureza, temperatura y pH (3). Además, identificar los resultados dentro de los límites permisibles para consumo humano establecidos por la normatividad nacional (4).

El trabajo estuvo conformado de las siguientes etapas: 1. Identificar los puntos de muestreo; 2. Realizar la toma de muestra; 3. Medir los parámetros de pH, temperatura y

sólidos totales disueltos *In situ*; 4. Realizar las Pruebas microbiológicas y de dureza en el laboratorio.

El impacto ambiental al río Ahuitzoc, fue evidente con los resultados microbiológicos con UFC/mL > 250 obtenidos en el último sitio de muestreo (M5), por lo tanto, que las autoridades locales deben implementar y que benefician a la comunidad y el medio ambiente.

Palabras Clave: fisicoquímico, microbiológico, cuerpo de agua, dureza.

Abstract -- The United Nations (UN) approved the 2030 Agenda for Sustainable Development, which consists of 17 Sustainable Development Goals (SDGs). For this study, SDG 6, which focuses on ensuring the availability and sustainable management of water and sanitation for all, is considered (1). Water is a fundamental resource for socioeconomic development and human health.

In the state of Puebla, there is the municipality of Atlixco, where the community of San Jerónimo Coyula, with a population of 7,750 inhabitants, is located. However, due to the lack of potable water, the population uses water from the Ahuitzoc River for various domestic activities (2). This river originates from a spring where some residents drink the water directly.

With the aim of assessing the water quality of the river, physicochemical and microbiological tests were conducted at five sites along the Ahuitzoc River during the dry season in April and May, with one sample taken each month.

The assessment of water quality through physicochemical tests such as hardness, temperature, and pH is essential to determine the quality of a water body (3). Additionally, it is necessary to compare the results with the permissible limits for human consumption as established by national regulations (4).

The study followed these steps: 1. Identifying sampling points; 2. Collecting samples; 3. Measuring pH, temperature, and total dissolved solids in situ; 4. Conducting the hardness test; and 5. Performing microbiological tests.

The environmental impact on the Ahuizoc River was evident in the microbiological results, with colony-forming units (CFU/mL) > 250 obtained at the final sampling site (M5). Therefore, actions need to be taken by local authorities to benefit both the community and the environment.

Key words – hardnes, microbiological, physicochemical, water body.

INTRODUCCIÓN

Las necesidades a nivel mundial indican una demanda creciente de agua dulce, energía y alimentos, por lo tanto, la comunidad científica desarrolla un nuevo enfoque, para analizar, evaluar e implementar medidas de mitigación ante esta gran crisis. Es así como surge el concepto nexo agua-energía-alimentos (WEF, por sus siglas en inglés) (5), y las interacciones que se dan entre estos tres recursos, con todas sus sinergias y compensaciones que resultan de esta relación.

Se integra a la necesidad mundial del acceso, el código del derecho humano del agua, el cual consiste en incorporar como una idea regulativa central el hecho de garantizar que toda la población tenga acceso al agua potable como un requisito fundamental para la calidad de vida de las personas. Este derecho fue reconocido por la Asamblea General de las Naciones Unidas en su resolución 64/292 del 28 de julio de 2010 (6) y América Latina y el Caribe tienen acceso a los servicios de saneamiento, situación que se agrava en el medio rural (7).

Un claro ejemplo de las necesidades del agua son los cuerpos de agua, en el estado de Puebla se ubica el Atoyac, es uno de los dos ríos más contaminados en México. La calidad del agua en la Cuenca del Alto Atoyac

(CAA) ha sido deteriorada por las descargas industriales y municipales, así como por los efluentes de los habitantes locales, ya que todas estas cuentan con poco o nulo tratamiento, causando afectaciones a la salud, a la producción, a los ecosistemas (8).

Los ríos son cuerpos de agua que son contaminados, continuamente y sus caudales son utilizados por personas que habitan en las cercanías del río, siendo importante determinar y analizar la calidad del agua.

Un afluente del río Atoyac, es el río Nexapa, que se encuentra en la región hidrológica Balsas. Dentro de su cuenca, se localizan los municipios de Atlixco e Izúcar de Matamoros, con una condición ecológica que fue evaluada, en un estudio realizado con la medición de los parámetros físicoquímicos y coliformes totales y fecales en 20 sitios de los cuales, se concluyó que el río presenta una condición ecológica deteriorada (9).

Otro cuerpo de agua que ha sido investigado para determinar la calidad del agua, es el río Prieto, en donde se evaluó la eficiencia de la fitoextracción de metales pesados y el manantial de la Iglesia de Santa Barbara Almoloya, Puebla. Buscando un método factible social, para contribuir a la reducción de su contaminación (10).

Es de interés mencionar que los ríos del estado de Puebla, se encuentran identificados en el sistema hidrológico como son: El río Epatlán escurre paralelamente al río Nexapa y vierte sus aguas a este a la altura del poblado de Puctla, a 4 km al sur de Izúcar de Matamoros y poco más adelante a 10 km confluye con el río Atila en el poblado denominado Atzala, este último río nace en la falda suroriental del volcán Popocatepetl, a unos 12 km al NW de Tochimilco, escurre en dirección sureste hasta llegar al poblado de Huaquechula, donde cambia su rumbo para dirigirse al sur; en su trayecto recibe aportaciones de los ríos Ahuizoc, César Matadero y Ahuehueyo, que bajan de las faldas de este mismo volcán (11).

En la ciudad de Atlixco, se instaló una Planta Tratadora de Aguas Residuales (PTAR), la descarga tratada se vierte al río Cantarranas para regar cultivos de Santa Ana Coatepec, Huaquechula. El objetivo de este trabajo (12). fue evaluar la calidad del agua tratada y valorar su uso en la agricultura. Se tomaron muestras en tres puntos: el influente y el efluente de la planta tratadora y en la compuerta. Se muestreó durante la temporada de lluvias y la estación seca.

La mayor parte del agua utilizada en el país está destinada al uso y consumo humano (13). Sin embargo, no se considera la calidad de este recurso en las zonas rurales, siendo primordial identificar la calidad de los cuerpos de agua.

Actualmente, la contaminación de los ríos se debe principalmente a las descargas de aguas domésticas sin tratamiento por parte de los hogares cercanos a cuerpos de agua. En particular, el río Ahuizoc se ve afectado por la descarga directa de aguas residuales domésticas.

Resulta primordial evaluar la calidad del agua del río Ahuizoc mediante la aplicación de parámetros

fisicoquímicos y microbiológicos, que permitan determinar si cumplen con los límites permisibles establecidos por la normatividad (14), para consumo humano.

Los riesgos y las afectaciones a la salud de los habitantes de San Jerónimo Coyula, pueden presentarse debido al consumo de agua contaminada. Este cuerpo de agua es de gran importancia para la comunidad, y es necesario que cumpla con características en su composición, tanto para el consumo, bebida y preparación de alimentos, como para necesidades diarias.

En este sentido, la autoridad del municipio de Atlixco y de la comunidad de San Jerónimo Coyula, reconoce la urgencia de evaluar la calidad del agua del río Ahuitzoc. Debido a que la población utiliza este recurso para sus actividades diarias e incluso lo consume directamente, se ha decidido realizar pruebas fisicoquímicas, tales como dureza, temperatura, pH y sólidos totales disueltos (STD) y análisis microbiológicos para detectar la presencia de *Escherichia coli*. De esta manera, la calidad de este cuerpo de agua se determinó en función de la normatividad.

DESARROLLO

Metodología.

Las etapas aplicadas a este trabajo constan de cinco.

Etapas 1. Identificar los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo de acuerdo a la zona geográfica.

Etapas 2. Muestreo

La realización de un adecuado muestreo, depende de factores ambientales y humanos. Es importante aplicar la normatividad mexicana NMX-AA-014-1980. Cuerpos receptores –muestreo, que consiste en extraer una porción representativa de una masa de agua con el propósito de examinar diversas características.

Los trabajos de laboratorio se iniciaron con las muestras de agua para determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Etapas 3 Parámetros Fisicoquímicos

Los siguientes parámetros fisicoquímicos se analizaron de acuerdo a la normativa que aplica cada uno.

Esta Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013 (15). Análisis de agua - determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba, establece el método de prueba para la medición de la temperatura, cuando se usan instrumentos de medición directa o instrumentos que indican expansiones o fuerzas proporcionales en los cambios de temperatura, en aguas naturales crudas no salinas (epicontinentales, subterráneas y pluviales), en aguas salinas (marinas, costeras, de estuarios, esteros, marismas y subterráneas), aguas residuales crudas municipales e industriales y aguas residuales tratadas municipales e

industriales en el intervalo comprendido entre 0 °C y 45 °C.

El objetivo de la NMX-AA-008-SCFI-2016 [16], Análisis de agua. - medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba, es la aplicación nacional y establece el método de prueba para la medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, en el intervalo de pH 0 a pH 14 y en un intervalo de temperatura de 0 °C a 50 °C.

La normatividad NMX-AA-072-SCFI-2001 (17). Análisis de agua - determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, indica que el valor de conductividad es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descargas de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para contacto primario y para el consumo humano.

Etapas 4. Dureza

El término dureza se ha utilizado tradicionalmente para referirse a los cationes alcalinotérreos que se hayan disueltos en el agua. Cuando se denomina dureza Total, se refiere a la concentración total de iones calcio y magnesio (18).

El desarrollo de las pruebas fisicoquímicas fueron con el equipo Conductronic PC16, medidor portátil de pH, Sólidos Totales Disueltos (TDS) y Temperatura, además de agua destilada, una piceta, solución para calibración pH 4, 7 y 10.

El Conductronic PC16, se utilizó para la determinación de los parámetros de pH, TDS y temperatura *In situ*, en la figura 1, se observan mediciones realizadas.



Figura 1. Medición de TDS, g/L Temperatura °C y pH.
Fuente: Elaboración propia.

La determinación del parámetro de dureza se realizó en el Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Atlixco (SOAPAMA), en el laboratorio que se ubica en la Planta de Tratamiento. En el laboratorio se utilizó el siguiente material: un Termo Fisher Scientific, dos buretas de 25 mL, 3 vasos de precipitados de 100 mL, 3 matraz Erlenmeyer de 250 mL, una piceta con agua destilada y los reactivos

solución amortiguadora, eriocromo negro T y EDTA 0.01 M.

En la figura 2, se observa el análisis de dureza de la muestra 5. Se colocan 50 mL de muestra en el matraz Erlenmeyer de 250 mL se añaden 2 mL de la solución amortiguadora para obtener un pH de 10.0 a 10.1. Posteriormente se añadió una cantidad adecuada del indicador eriocromo negro T, la muestra presentó un color vino rojizo.



Figura 2. Muestra con el indicador eriocromo negro T. Fuente: Elaboración propia.

Etapas 5. Pruebas microbiológicas

El método que se aplicó a las muestras determinadas al cuerpo de agua, está establecido en la normatividad NOM-092-SSA1-1994, método para la cuenta de bacterias aerobias en placa, que establece el método para estimar la cantidad de microorganismos viables presentes

en un alimento, agua potable y agua purificada, por la cuenta de colonias en un medio sólido, incubado aeróbicamente.

Para el inicio de estas pruebas se utilizaron los siguientes equipos: Balanza analítica OHAUS Pioneer, autoclave vertical EVAR, cámara de flujo laminar vertical CFL.101 SEVE, contador de colonias Felisa y la incubadora LAB LINE.

Los materiales fueron: vaso de precipitado, matraz Erlenmeyer cada uno con la capacidad de 1000 mL marca CIVEQ, varilla de agitación, cajas Petri desechables, Pipeta automática Accumax PRO de 20-200 µL con puntas para volumen de 100 µL.



Figura 3. Preparación del inoculo para la prueba microbiológica
Fuente: Elaboración propia.

Después de concluir la inoculación en las cajas Petri, se colocaron en la incubadora para revisar después de las 24-48 hrs a una temperatura de 35°C. se incuban a la temperatura adecuada (siempre en posición invertida y con nomenclatura). En las figuras 4, se observan las placas para colocar en la incubadora.

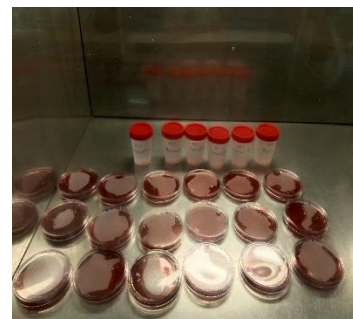


Figura 4. Inoculación en las cajas Petri
Fuente: Elaboración Propia.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Identificación de los puntos de muestreo.

Para seleccionar los puntos de muestreo, se llevó a cabo un recorrido en el que se identificaron cinco lugares adecuados para realizar el muestreo durante la temporada de estiaje. Se identificaron de la siguiente forma:

- M1, Manantial
- M2, Barranca
- M3, Canal de la calle Aquiles Serdán
- M4, Canal de la calle Álvaro Obregón
- M5, Canal de la calle Domingo Arenas.



Figura 5 y 6. Muestra 1. Manantial y Muestra 5 canal Calle Domingo Arenas.
Fuente: Elaboración propia.

Muestreo al cuerpo de agua.

La toma de muestras realizada en los sitios de interés fue de forma simple y puntual, se utilizaron botellas de muestra apropiadas, que son sumergidas directamente

en la corriente del río. Las muestras son rotuladas indicando la fecha y lugar de muestreo.

Las muestras para el almacenamiento son colocadas en un refrigerador con temperaturas de 2° a 5°C.

En las figuras 7 y 8 se observa la toma de muestra de los puntos de la barranca (M2) y canal de la calle Álvaro Obregón (M4), se llenaron las botellas cilíndricas, con tapa estándar de 946 mL y muestras para las pruebas microbiológicas, se utilizaron los envases para análisis estéril de 150 mL.



Figura 7 y 8. Muestra 2. Barranca y Muestra 4 canal Calle Álvaro Obregón.
Fuente: Elaboración propia.

Análisis de las pruebas fisicoquímicas.

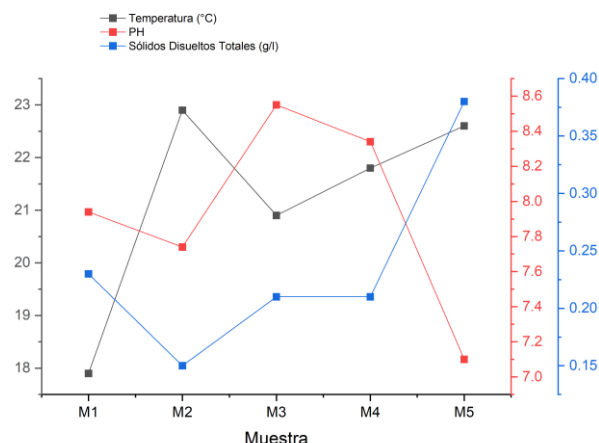
En la Tabla 1, se indican los resultados obtenidos en los sitios del muestreo, en la etapa 1, el parámetro que indica el límite permisible de 6.5 – 8.5 de acuerdo a la normatividad.

Para esta etapa las muestras 3 y 4, son resultados que indican la afectación por descargas residuales al canal del cauce. En la gráfica 1, se observa el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en esta etapa 1.

Tabla 1. Resultados de las mediciones de la etapa I.

Muestra	Temperatura (°C)	PH	Sólidos Disueltos Totales (g/L)
M1	17.9	7.94	0.23
M2	22.9	7.74	0.15
M3	20.9	8.55	0.21
M4	21.8	8.34	0.21
M5	22.6	7.1	0.38

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 1. Resultados fisicoquímicos de la etapa 1.

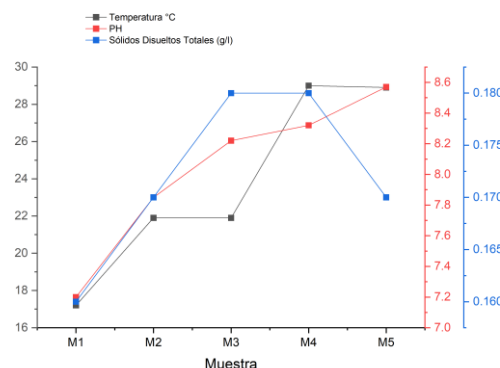
La Tabla 2, indica los resultados obtenidos de las mediciones del Conductronic PC16, en la etapa 2, la relación de datos se tiene en las muestras 3 y 4, ambas son de calles de la comunidad y las actividades domésticas contribuyen a su alteración del cauce.

Tabla 2. Resultados de las mediciones en la etapa 2.

Muestra	Temperatura °C	pH	Sólidos Disueltos Totales (g/L)
M1	17.2	7.2	0.16
M2	21.9	7.85	0.17
M3	21.9	8.22	0.18
M4	29	8.32	0.18
M5	28.9	8.57	0.17

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos de la Tabla 2, se observan en la siguiente gráfica 2, permitiendo relación de los datos, en la muestra 1 se mantienen estables sin embargo en las muestras 3, 4 y 5, se observan las variaciones de los parámetros de temperatura, pH y sólidos disueltos totales.



Gráfica 2. Resultados de mediciones de la etapa 2.

Para determinar la dureza total se aplicó la siguiente ecuación:

$$DUREZA\ TOTAL \left(\frac{CaCO_3\ mg}{L} \right) = \frac{A \cdot B \cdot 1000}{ml\ de\ muestra}$$

A = ml de EDTA titulada usada

B = mg de $CaCO_3$ equivalente a 1 ml de EDTA = 1 mg $CaCO_3$ /mL EDTA

ml de muestra = Volumen de la muestra tomada

Los resultados obtenidos de dureza de la etapa 1, se identifican en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de dureza de la etapa 1

Muestras	mL de EDTA		Volumen en L	CaCO ₃ mg/L
M1	3.1	3.2	0.00315	63
M2	3.7	3	0.00335	67
M3	4.1	4.2	0.00415	83
M4	3.2	3.2	0.0032	64
M5	5.3	5.1	0.0052	104

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4, se indican los resultados de la etapa 2, las muestras se consideran dentro del límite permisible que se indica en la Tabla 5.

Tabla 4. Resultados de dureza de la etapa 2.

Muestras	mL de EDTA		Volumen en L	CaCO ₃ mg/L
M1	3.2	3	0.0031	62
M2	3.5	3.2	0.00335	67
M3	3.3	3.1	0.0032	64
M4	3.5	3.4	0.00345	69
M5	3.3	3.6	0.00345	69

Fuente: Elaboración propia.

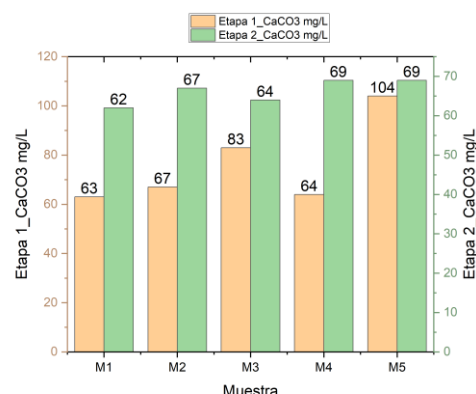
La Tabla 5, indica la clasificación de la dureza para determinar la calidad del agua, y el límite de concentración máxima deseable de acuerdo a la OMS.

Tabla 5. Clasificación de la dureza

CALIDAD DE AGUA	
Dureza	CaCO ₃ mg/L
Suma calidad	hasta 150
Calidad media	hasta 300
Calidad aceptable	hasta 500
Calidad muy mala	más de 600

Fuente: La Organización Mundial de Salud, OMS, ha adoptado como concentración máxima deseable 100 mg/L de $CaCO_3$ y como concentración máxima admisible 500 mg/L.

En la gráfica 3, se indican los resultados de la dureza obtenidos en las etapa 1 y 2. De acuerdo a la información de la tabla 5, los resultados de la dureza se encuentran en una concentración máxima deseable.



Gráfica 3. Resultados de dureza de las etapas 1 y 2.

Pruebas microbiológicas.

Las muestras tomadas de los sitios de muestreo, fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis especiales de la carrera de Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico Superior de Atlixco.

Después se procedió a sacar de la incubadora LAB LINE, las cajas Petri. Se realizó el conteo de la Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de cada una de las cajas Petri. En la figura 9, se observa la muestra M4-3 (muestra 4 de la calle Álvaro Obregón).

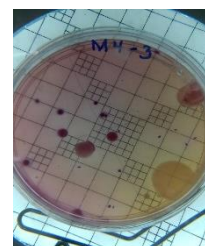


Figura 9. Se divide la caja Petri en cuatro cuadrantes
Fuente: Elaboración Propia.

Para el conteo de la UFC, se utilizó el contador de colonias Felisa, se observa en la figura 10, cada caja fue analizada en este equipo para el conteo de las UFC de cada muestra.



Figura 10. Conteo de la UFC con el contador de colonias, Felisa.

Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente figura 11, se observa el crecimiento de enterobacterias de las pruebas microbiológicas de los cinco sitios de muestreo.



Figura 11. Crecimiento de enterobacterias en las cajas Petri. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de la prueba microbiológica, realizada para la etapa 1, se indica en la Tabla 6, donde las muestras 2, 3 y 5 presentan UFC >.

Tabla 6. Resultados microbiológicos de la etapa 1

Muestra	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	UFC/mL
M1	2	3	3	8
M2	52	33	500	585
M3	133	132	133	398
M4	83	70	36	189
M5	incontable	incontable	incontable	----

Fuente: Elaboración propia.

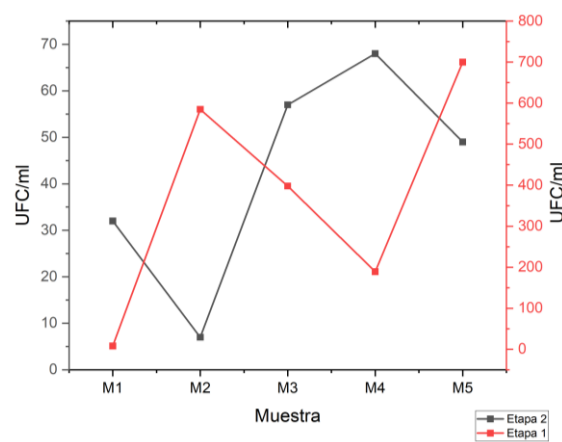
Los resultados microbiológicos de la etapa 2, se muestran en la Tabla 7, donde las UFC <.

Tabla 7. Resultados microbiológicos de la etapa 2.

Muestra	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	UFC/mL
M1	14	10	8	32
M2	2	0	5	7
M3	19	20	18	57
M4	20	25	23	68
M5	15	16	18	49

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente gráfica 4, se observan ambas etapas y se indican los cambios significativos de la UFC en cada muestra en el periodo de estiaje. Indicando que la contaminación se presenta más en el día sábado, donde las personas realizan actividades domésticas y utilizan el cauce del canal.



Gráfica 4. Resultados microbiológicos de las etapas 1 y 2

Por lo tanto, se destinaron cinco puntos de muestreo, iniciando desde el manantial continuando en la barranca y las calles Aquiles Serdán, Álvaro Obregón y Domingo Arenas. Se realizaron dos etapas de muestreo en abril y mayo, ambas en temporada de estiaje.

Los resultados obtenidos permiten presentar un panorama sobre la calidad del río Ahuitzoc, en términos físicoquímicos y microbiológicos. Se identificó que los niveles de pH de las muestras se encuentran dentro de los límites establecidos por la NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano, lo que significa que el agua del río se encuentra dentro de los rangos de acidez recomendados, sin embargo, se detectaron variaciones hacia valores alcalinos (8.55), que estarían relacionados con las actividades domésticas realizadas por las personas de la comunidad durante el periodo de estiaje.

El hallazgo en el análisis microbiológico determinó que la muestra cinco (calle Domingo Arenas), tiene una alta concentración UFC/mL mayor a 250, lo que implica que es agua contaminada por patógenos fecales puede resultar en enfermedades e infecciones, lo indicado en la NOM-127-SSA1-2021.

La contaminación se puede presentar de acuerdo al uso del agua, específicamente en los manantiales, en el caso de río Ahuitzoc es contaminado por la presencia de personas que lavan la ropa y utilizan detergentes, un caso semejante fue el diagnóstico realizado al manantial “El Paraíso” ubicado en Santiago de Cuba, los resultados reflejaron la contaminación del manantial, debido a que el parámetro de coliformes totales se encontraron por encima de la concentración máxima admisible establecida por las NC 1021:2014.(19).

Los resultados obtenidos en este trabajo tienen similitud con la evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en seis comunidades en Perú, los parámetros microbiológicos (*Echericha* Coli, coliformes termotolerantes y fecales), 4/17 puntos de monitoreo han sobrepasado el valor límite permitido por el reglamento de agua de consumo humano (20).

El manantial donde se origina el cauce del río Ahuitzoc, se obtuvieron los resultados de parámetros de fisicoquímicos están dentro de los límites permisibles para el consumo humano y en los análisis microbiológicos realizados en puntos del trayecto del río 4/5 muestran que el agua tiene contaminación por coliformes.

Estos resultados son parecidos con la investigación realizada en manantiales Jiscullaya, el Collao, Puno, Perú, donde se determinó la calidad del agua para consumo humano y las coliformes totales podrían estar vinculados con las enfermedades diarreicas e infecciosas por la mala calidad biológica del agua (21).

CONCLUSIONES

Se concluye que es de vital importancia el monitoreo y el análisis de la calidad de los cuerpos de agua. Por lo tanto, los resultados presentados son las evidencias de la necesidad de continuar con más pruebas fisicoquímicas y microbiológicas durante las estaciones del año y las variaciones en las actividades de la comunidad a lo largo del río Ahuitzoc.

Se resalta la importancia de la infraestructura para el tratamiento de agua residual, beneficiando el cuidado del medio ambiente y aprovechamiento de los recursos hídricos.

Es un reto importante de la comunidad de San Jerónimo Coyula para mitigar la contaminación del río Ahuitzoc y su impacto ambiental, permitiendo mejorar la calidad de vida de la comunidad y se contribuye a la sostenibilidad ambiental a largo plazo.

Derivado de este trabajo se proponen la construcción de un humedal artificial de flujo superficial, aplicable en comunidades de baja población para el tratamiento de

aguas residuales domesticas que son vertidas en cuerpos de agua, beneficiando el cuidado del medio ambiente y aprovechamiento de los recursos hídricos.

Además de una segunda investigación futura se tiene la vinculación con el Organismo Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Atlixco (SOAPAMA) para realizar el análisis fisicoquímico y microbiológico de la calidad del agua en los pozos ubicados en las comunidades del Municipio de Atlixco.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Nations, U. Agua | Naciones Unidas. United Nations; 2023 [actualizado 03 de marzo de 2025; consultado 14 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://www.un.org/es/global-issues/water>.
- (2) Atlixco, H. A. D. M. Periódico Oficial. Tomo DLXIV, n.º10 (18-04-2022).
- (3) Avelar-Roblero, J. U., Ortega-Escobar, H. M., Mancilla-Villa, O. R., Gardezi, A. K., Mendoza-Saldivar, I., Sánchez-Bernal, E. I., & Can-Chulim, Á. Variación de la calidad del agua en el cauce principal de la cuenca del río Pánuco. Revista Terra Latinoamericana. 2023 Ene;41(2023):1-14.
- (4) Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua (02-05-2022).
- (5) Ávila-Castañeda, G. I., Otazo-Sánchez, E. M., Román-Gutiérrez, A. D., & Acevedo-Sandoval, O. A. ¿Qué es el nexo agua-energía-alimentos? Poda Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, 2023 Jul;10(20): 29-35.
- (6) Dirección general de Análisis Legislativo. Hacia una evaluación de impacto legislativo de las iniciativas de Ley General de Aguas. LXV (21-06-2022).
- (7) Navarro-Frómeta, A. E., Beissos, F., Marc-Bec, J., Jaumejoan, T., Navarro-Frómeta, A. E., Beissos, F., Marc-Bec, J., & Jaumejoan, T. Desempeño de humedales construidos de flujo vertical en el tratamiento de aguas residuales municipales. Revista Cubana de Química, 2020 Dic;32(3), 365-377.
- (8) Viniegra, M. E. I., Vázquez, R. A. S., & García, T. P. El costo de la contaminación en la Cuenca del Alto Atoyac: Una revisión sistemática de literatura. Regiones y Desarrollo Sustentable, 2022 Jun; 22(43), 1-23.
- (9) Morales Venegas, J. A. Evaluación de la condición ecológica del río Nexapa en la subcuenca Chietla, Puebla, México. Colegio de Postgraduados Campus Puebla. 2018 [Internet], [Consultado el 14 de marzo de 2023], Disponible en:

- <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/2965>
- (10) López Velásquez, A. Eficiencia de la fitoextracción de metales pesados de aguas del Río Prieto, Santa Bárbara Almoleya, Puebla. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla [Internet], 2022. [Consultado 03 de marzo del 2023]; Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12371/17000>.
 - (11) Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Atlixco-Izúcar de matamoros (2103), Estado de Puebla, CONAGUA#95, DOF. (20-04-2015).
 - (12) Olvera Bautista, I., Ocampo Fletes, I., Tornero Campante, M. A., Silva Gómez, S. E., & González Flores, E. Calidad agronómica del agua residual tratada utilizada en la producción agrícola en Atlixco, Puebla. Agricultura, Sociedad y Desarrollo, 2020 Oct;17(4), 603-614.
 - (13) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Morelos, México, Prince Flores, J. E., Espinosa Bouchot, M., & Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Morelos, México. Una mirada a la calidad del agua. Perspectivas IMTA, 31 de enero del 2021. 4 p. Informe 2(03). Disponible en: <https://doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2021-03>
 - (14) NOM-127-SSA1-2021, (Ratificada) Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua (02-05-2022)
 - (15) NMX-AA-007-SCFI-2013, Análisis de agua – medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. (23-01-2014).
 - (16) NMX-AA-008-SCFI-2016. Análisis de agua. - medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. (09-09-2016).
 - (17) NMX-AA-072-SCFI-2001. análisis de agua - determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. (13-08-2001)
 - (18) Capote L, T., Matute P, S. B., & Rojas V, J. R. Determinación de la dureza total en agua con EDTA empleando una solución amortiguadora inodora de borato. Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel, 2015 Jul;46(1-2), 25-37.
 - (19) León-Duharte, Leandro; Arada-Pérez, María de los Ángeles; Vila Torres, Liliana; Fernández-Estrada, Ailed; Chibinda, Cecilia. Evaluación de la calidad del agua del manantial “El Paraíso” en Santiago de Cuba, Universidad de Oriente. Revista Cubana de Química, 2022 May; 34(2), 303-314.
 - (20) Wohler Gonzales Saenz, Luz Marina Acharte Lume, Javier Camilo Poma Palacios, Víctor Guillermo Sánchez Araujo, Filimon Alejandro Quispe Coica y Roc Meseguer Pallares.

Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en seis comunidades rurales altoandinas de Huancavelica-Perú. Revista de Investigaciones Altoandinas – Journal of High Andean Research, 2023 Ene; 25(1), 23-31.

- (21) Hugo Contreras Chura, Germán Belizario Quispe, Heber N. Chui Betancur, Calidad del agua para consumo humano en los manantiales en la parcialidad de Jiscullaya, el Collao, Puno, Perú, Revista Boliviana de Química, 2023 Jun;40(2),41-45.

Tabla de rol de contribuciones

Rol	Autor
Conceptualización	Rosas López Esperanza
Metodología	Rosas López Esperanza, Bárcena Vicuña Guadalupe Gabriela.
Administración del Proyecto	Rosas López Esperanza, Bárcena Vicuña Guadalupe Gabriela,
Recursos	Rosas López Esperanza, Bárcena Vicuña Guadalupe Gabriela
Supervisión	Bárcena Vicuña Guadalupe Gabriela,
Validación	Rosas López Esperanza, Bárcena Vicuña Guadalupe Gabriela.
Software	Alonso Calpeño Mariela Juana,
Visualización	Rosas López Esperanza
Redacción Revisión y edición.	Rosas López Esperanza, Bárcena Vicuña Guadalupe Gabriela.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.