

Evaluación de la contaminación fecal del agua del río Valles mediante indicadores microbiológicos.

Assessment of Fecal Water Pollution in the Valles River through Microbiological Indicators.

Recibido: 03 de junio del 2023
Aceptado: 26 de junio de 2023

Habacuc Lorenzo Márquez
TecNM Instituto Tecnológico de Ciudad Valles
<https://orcid.org/0000-0001-7060-6188>
Autor de correspondencia: habacuc.lorenzo@tecvalles.mx

Desiderio Leines Medina
TecNM Instituto Tecnológico de Ciudad Valles
<https://orcid.org/0009-0003-9954-9617>

Azucena de los Ángeles Gutiérrez Reyes
TecNM Instituto Tecnológico de Ciudad Valles
<https://orcid.org/0009-0006-6981-4733>

Jony Ramiro Torres Velázquez
TecNM Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui
<https://orcid.org/0000-0002-7100-1612>

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo describir la fragilidad del río Valles mediante el análisis de los niveles de coliformes totales y fecales en el año de estudio 2022. Se seleccionaron 17 sitios de muestreo que representan diferentes áreas del río, incluyendo su entrada, salida e interacción con zonas urbanas, recolectando triplicados de agua para analizar coliformes totales y fecales. Las muestras se sometieron a la técnica de vertido en placa bajo el método Coliscan Easy Gel. Los resultados destacan la presencia general de coliformes en todas las zonas, pero solo el área urbana presentó coliformes fecales. Las pruebas estadísticas confirmaron la idoneidad del enfoque, mostrando diferencias significativas en coliformes fecales entre zonas ($p < 0.05$). Aunque los coliformes totales no difirieron significativamente. Comparándolo con investigaciones previas, las concentraciones más altas en áreas urbanas concuerdan con la influencia humana, mientras que la variación en la zona de mezcla señala interacciones complejas de afluentes. Se destaca la importancia de una gestión integral y sostenible del agua en esta cuenca fluvial. Este estudio brinda información relevante sobre la fragilidad del río Valles y su vulnerabilidad ante la contaminación microbiológica, contribuyendo al conocimiento científico y resaltando la necesidad de proteger este valioso recurso natural para las generaciones presentes y futuras. Por lo que es importante y necesario la implementación de medidas de control, prevención y conservación para mejorar la calidad del agua en el río Valles y reducir los niveles de coliformes.

Palabras clave: río Valles, fragilidad fluvial, coliformes totales, coliformes fecales, calidad del agua.

Abstract

This study aims to describe the vulnerability of the Valles River by analyzing the levels of total and fecal coliforms in the study year of 2022. Seventeen sampling sites were selected to represent different areas of the river, including its inlet, outlet, and interaction with urban zones. Water samples were collected in triplicates to analyze total and fecal coliforms, using the pour plate technique under the Coliscan Easy Gel method. The results highlight the overall presence of coliforms in all zones, with only the urban area showing fecal coliforms. Statistical tests confirmed the suitability of the approach, revealing significant differences in fecal coliforms between zones ($p < 0.05$), although total coliforms did not significantly differ. In comparison with previous research, higher concentrations in urban areas align with human influence, while variation in the mixing zone suggests complex interactions of tributaries. The significance of comprehensive and sustainable water management in this river basin is underscored. This study provides relevant insights into the vulnerability of the Valles River and its susceptibility to microbiological contamination, contributing to scientific knowledge and highlighting the imperative of safeguarding this precious natural resource for present and future

generations. Therefore, the implementation of control, prevention, and conservation measures is important and necessary to enhance water quality in the Valles River and mitigate coliform levels.

Keywords: Valles River, fluvial fragility, total coliforms, fecal coliforms, water quality.

INTRODUCCIÓN

El río Valles, situado en el estado de San Luis Potosí, México, es un recurso vital que desempeña un papel trascendental en diversos aspectos de la vida regional. Geográficamente, fluye a través de una región de gran biodiversidad y es un componente esencial del ecosistema local (Prado et al, 2022).

Además de su importancia ecológica, el río Valles tiene un papel destacado en la economía regional, en particular en la industria agrícola y la producción de caña de azúcar (Kulshreshtha, 1992; Le et al, 2016). Dicho río tiene un significado cultural y social arraigado en las comunidades que dependen de él para sus actividades diarias y prácticas culturales (Johansson & Isgren, 2017). Sin embargo, la creciente contaminación y el deterioro de la calidad del agua plantean desafíos importantes para la sostenibilidad a largo plazo del río y su papel multifacético en la región (Kong et al, 2022).

A pesar de su importancia, el río Valles enfrenta un creciente problema de contaminación que amenaza su salud y funcionalidad. El aumento de las actividades agrícolas, la urbanización y la descarga de aguas residuales han contribuido al deterioro de la calidad del agua a lo largo de los años (Camara et al, 2019). La presencia de contaminantes microbiológicos, incluidos los indicadores de contaminación fecal como los coliformes, ha surgido como un problema destacado (Holcomb & Stewart, 2020). Esta contaminación no solo afecta la biodiversidad y el ecosistema acuático del río, sino que también plantea preocupaciones para la salud humana, especialmente para las comunidades que utilizan el agua para diversos fines (Haseena, 2017).

La evaluación continua de la calidad del agua es esencial para comprender y abordar los problemas de contaminación en el río Valles. A lo largo del tiempo, se han desarrollado y mejorado diversas estrategias y métodos para evaluar la calidad microbiológica del agua (Pynegar, 2018). Uno de los indicadores clave en esta evaluación es la presencia de coliformes, que incluyen coliformes totales y coliformes fecales, que se utilizan como indicadores de contaminación fecal y microbiológica (Weidhaas et al., 2018). El método Coliscan Easy Gel ha demostrado ser eficaz en la detección y cuantificación de coliformes en muestras de agua, proporcionando una herramienta valiosa para la monitorización y seguimiento (Nowell, 2019).

El objetivo de esta investigación es evaluar el aporte antropogénico a la contaminación microbiológica en el río Valles a través del uso de coliformes totales y fecales como indicadores. Para lograr esto, el río se dividió en tres secciones representativas: la primera correspondiente a la zona agrícola dedicada a la caña de azúcar, la segunda influenciada por la zona urbana y la tercera correspondiente a la mezcla con el río Tampaón. El método Coliscan Easy Gel se implementó para analizar las muestras de agua y cuantificar la presencia de coliformes en cada sección (Hamilton et al, 2020). A través de este enfoque, se busca entender cómo las actividades humanas influyen en la contaminación microbiológica del río y contribuyen a su deterioro.

Con esta investigación se proporciona una comprensión más profunda de la influencia humana en la contaminación del río Valles y cómo esto afecta su calidad microbiológica. A través de los resultados obtenidos, se espera contribuir a la base de conocimientos sobre la calidad del agua y brindar información útil para futuras estrategias de gestión y conservación.

METODOLOGÍA

Sitio de muestreo:

La microcuenca del río Valles, ubicada en el corazón de San Luis Potosí, México, es un entorno de gran diversidad geográfica y climática que desempeña un papel fundamental en la configuración del ecosistema fluvial. Esta microcuenca abarca una serie de características naturales y antropogénicas que influyen en su dinámica hidrológica y ecológica (Santacruz, 2008; Vargas et al, 2023).

El clima en la microcuenca del río Valles es principalmente subtropical. La región experimenta temperaturas cálidas durante la mayor parte del año, con máximas promedio que oscilan entre 25°C y 30°C. Durante la temporada de lluvias, que generalmente abarca de junio a septiembre, la temperatura puede disminuir ligeramente debido a las precipitaciones y la nubosidad. La precipitación anual varía, siendo más intensa durante la temporada de lluvias, cuando las precipitaciones pueden superar los 1000 mm, y más moderada durante la temporada seca.

La vegetación en la microcuenca exhibe una diversidad característica de la región, con una mezcla de bosques tropicales caducifolios, vegetación ribereña y zonas agrícolas. Los bosques contribuyen a la regulación de los flujos de agua y la retención de sedimentos, mientras que la vegetación ribereña desempeña un papel esencial en la protección de las riberas del río. La presencia de áreas agrícolas, particularmente dedicadas al cultivo de caña de azúcar, añade una dimensión antropogénica significativa al entorno (Lopez et al, 2015).

La temporada de lluvias marca una etapa crucial en la microcuenca del río Valles. Durante este período, las precipitaciones aumentan, alimentando los cauces de los ríos y recargando los acuíferos subterráneos. Esta temporada también puede ser un factor importante en la erosión del suelo y el transporte de sedimentos hacia los cuerpos de agua (Dávila et al, 2020). En contraste, la temporada seca, que generalmente se extiende de noviembre a abril, presenta un menor volumen de precipitaciones. Esto puede llevar a una disminución en los caudales de los ríos y, en algunos casos, a una mayor concentración de contaminantes debido a la menor dilución (Dávila et al, 2020).

En este escenario geoclimático, donde se entrelazan factores naturales y actividades humanas, se encuentra el río Valles y su microcuenca. La comprensión de estos elementos es esencial para contextualizar y evaluar los impactos antropogénicos en la calidad del agua y la salud del ecosistema fluvial en esta región única de San Luis Potosí.

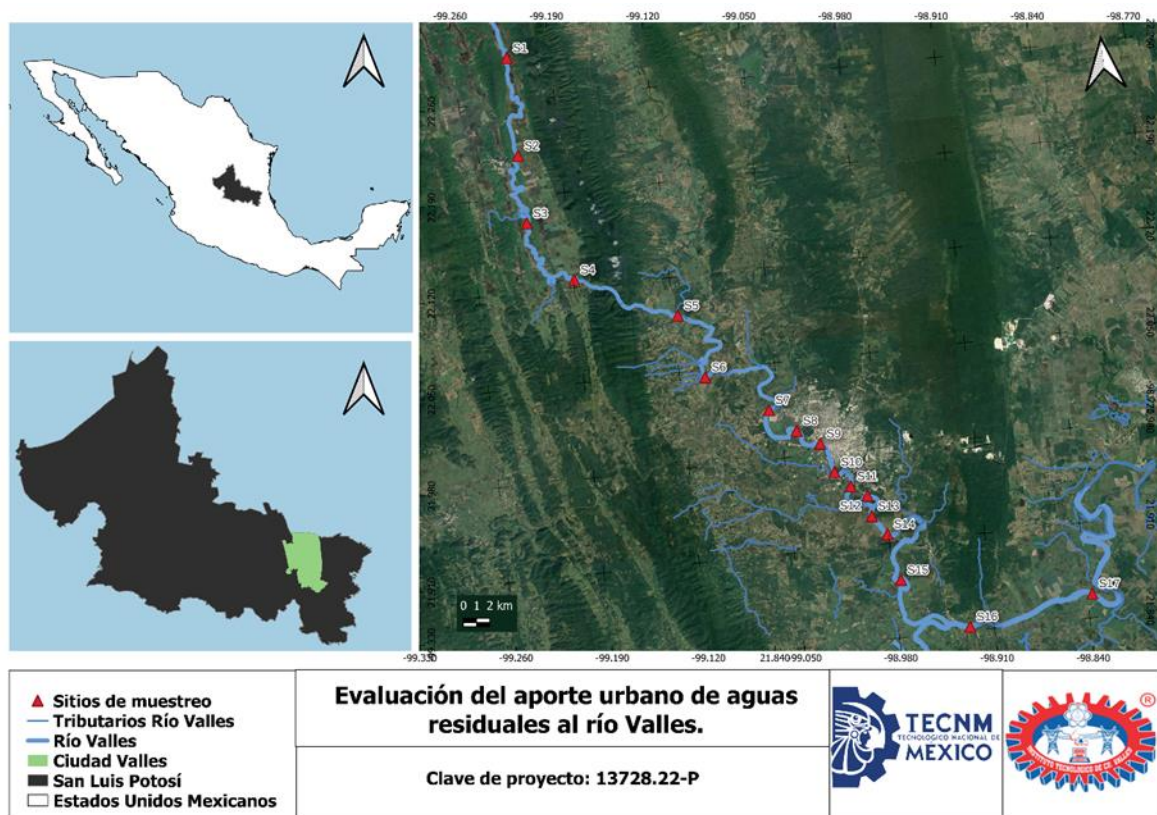
Diseño experimental

Este estudio se enfocó en la evaluación de la contaminación microbiológica a lo largo de la microcuenca del río Valles. Para lograr este objetivo, se delimitaron tres zonas distintas, cada una caracterizada por diferentes influencias antropogénicas y ambientales. Estas zonas se identificaron como: Agrícola (la primera zona influenciada por la actividad cañera), urbana (la segunda por la presencia urbana) y mezcla (la tercera por la confluencia con el río Tampaón). El propósito principal era investigar cómo estas diversas influencias impactan la presencia de coliformes en el agua.

En total, se seleccionaron y analizaron 17 sitios de muestreo distribuidos estratégicamente a lo largo de la microcuenca (figura 1). Cada uno de estos sitios representaba una ubicación única dentro de las tres zonas mencionadas. El espaciado entre sitios se mantuvo aproximadamente a 10 km de distancia, garantizando así la captura de una variedad de condiciones hidrológicas y de contaminación en toda la microcuenca.

Figura 1.

Mapa de ubicación del río Valles, Ciudad Valles, San Luis Potosí, México.



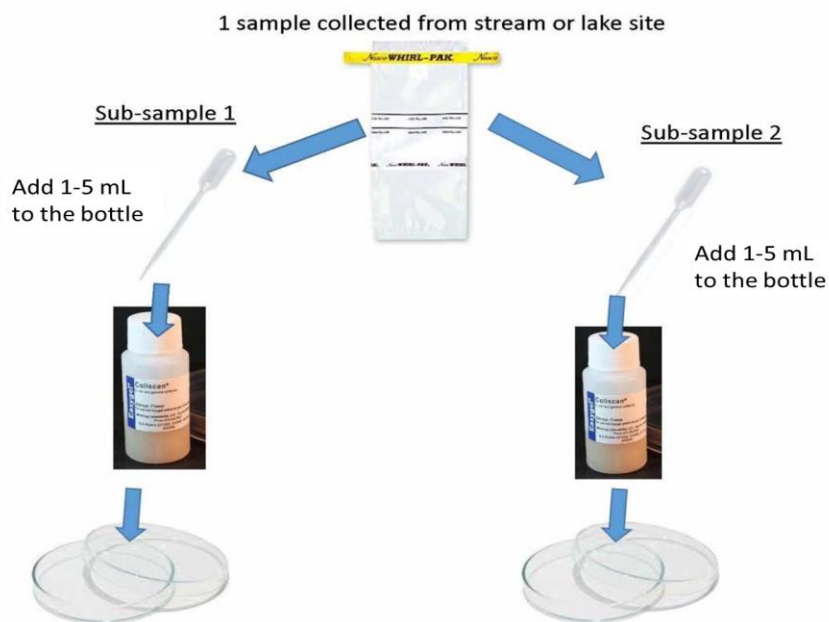
Nota: En los puntos marcados en rojo se puede apreciar los 17 puntos de muestreo a lo largo del río Valles.

La recolección de muestras de agua se llevó a cabo en cada sitio de muestreo en triplicado. Se utilizaron frascos estériles para recolectar las muestras, garantizando la integridad y representatividad de los datos al prevenir la contaminación externa.

En el laboratorio, las muestras de agua se sometieron a la técnica de vertido en placa bajo el método Colliscan Easy Gel (figura 2). Este método se eligió debido a su confiabilidad y eficacia en la detección de coliformes totales y fecales en las muestras de agua. Particularmente, es un método microbiológico ampliamente utilizado para cuantificar coliformes totales y fecales en aguas superficiales. El procedimiento implica los siguientes pasos: se recogen muestras de agua en recipientes estériles y se transportan rápidamente al laboratorio; luego, las muestras se diluyen en tubos de dilución estériles para obtener concentraciones manejables de bacterias; se preparan placas de cultivo en gel que contienen nutrientes e indicadores específicos, reconstituyendo el agar adicionando 1 ml del agua problema; se vierte la mezcla en las placas y el agar se solidifica al enfriarse, reteniendo las bacterias; las placas se incuban a una temperatura controlada de 35°C, durante aproximadamente 24 horas; después de la incubación, las colonias de bacterias crecen en el gel, con las colonias de coliformes totales apareciendo azules o verdes, mientras que las colonias de coliformes fecales emiten fluorescencia azul bajo luz ultravioleta; se realizan conteos de colonias y los resultados se extrapolan para determinar la cantidad de coliformes por 100 ml de la muestra original. Esta técnica ofrece una evaluación relativamente sencilla y rápida de la calidad microbiológica del agua.

Figura 2.

Método vertido en placa Colliscan Easy Gel.



Nota: Procedimiento del Colliscan Easy Gel. Fuente: (Micrologylabs, 2023)

Análisis estadístico:

El análisis estadístico se realizó utilizando Python en Google Colab para evaluar de manera sólida los datos recolectados en este estudio. Se comenzó con un análisis exploratorio para comprender la distribución y características de los datos. Luego, se examinaron los supuestos estadísticos de normalidad y homogeneidad de varianza mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente, asegurando la validez de los análisis posteriores. Si los datos no cumplían los supuestos, se aplicaron transformaciones logarítmicas para abordar estas limitaciones. Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) para detectar diferencias significativas entre las zonas de estudio y los sitios de muestreo, y las diferencias específicas se identificaron mediante la prueba de Tukey. Este análisis estadístico respaldó metodológicamente las conclusiones y permitió una comprensión más precisa de las influencias antropogénicas en la contaminación microbiológica en la microcuenca del río Valles, contribuyendo a la gestión efectiva de los recursos acuáticos.

RESULTADOS

En el marco del análisis estadístico realizado en el presente estudio, se llevaron a cabo pruebas fundamentales para evaluar la validez de los supuestos estadísticos subyacentes en el análisis de varianza (ANOVA) aplicado a los datos de coliformes totales y coliformes fecales en distintas zonas del río Valles.

Los resultados de la prueba de normalidad, mediante la prueba de Shapiro-Wilk, arrojaron valores de estadístico y p-valor que indican el grado de ajuste de los datos a una distribución normal. En el caso de la zona agrícola, la estadística de prueba es 0.946, con un p-valor de 0.671, lo que sugiere una adecuada aproximación a la normalidad en esta zona. Sin embargo, en la zona urbana, el valor de estadístico es 0.712, con un p-valor de 0.005, lo que podría indicar una desviación de la normalidad. Por otro lado, en la zona de mezcla, la estadística de prueba es 0.832, con un p-valor de 0.194, indicando también un posible ajuste razonable a la normalidad. Estos resultados nos instan a tener cautela en la interpretación de los resultados del ANOVA en la zona urbana, considerando la posible no-normalidad de los datos.

La prueba de homogeneidad de varianzas, realizada a través de la prueba de Levene, nos proporciona información sobre la igualdad de las dispersiones en las distintas zonas. El valor de estadístico obtenido es 0.362, con un p-valor de 0.702, lo que sugiere que no hay evidencia significativa de diferencias en las varianzas entre las zonas. Esto respalda la asunción de homogeneidad de varianzas requerida para la validez del ANOVA.

En conjunto, estos resultados destacan la importancia de considerar los supuestos estadísticos al interpretar los resultados del ANOVA. La normalidad de los datos y la homogeneidad de varianzas son factores críticos que pueden afectar la validez de las conclusiones obtenidas.

La realización de un análisis de varianza (ANOVA) permitió un análisis cuantitativo detallado de las diferencias en las concentraciones de coliformes totales y coliformes fecales en las diferentes zonas del río Vales. Los resultados obtenidos, presentados en las tablas de ANOVA correspondientes, arrojaron información crucial sobre la variabilidad entre las zonas y la relevancia estadística de estas diferencias.

Para los coliformes totales, la Tabla de ANOVA indica que la variable "zona" tiene un valor F de 0.188, con un p-valor de 0.830. Esta relación entre el valor F y el p-valor sugiere que no hay una diferencia significativa en las concentraciones de coliformes totales entre las zonas evaluadas. La suma de cuadrados de la variable "zona" es de 507,218.3, mientras que el término residual es de 20,213,760. Esto indica que la mayor proporción de la variabilidad se atribuye a la variación dentro de las zonas, en lugar de las diferencias entre las mismas.

Por otro lado, en el caso de los coliformes fecales, la Tabla de ANOVA revela resultados diferentes. La variable "zona" exhibe un valor F de 8.613, con un p-valor de 0.003. Esta relación entre el valor F y el p-valor sugiere una diferencia significativa en las concentraciones de coliformes fecales entre las zonas. La suma de cuadrados de la variable "zona" es considerablemente mayor, con un valor de 43,483,333, indicando que la variabilidad entre las zonas tiene un impacto significativo en los niveles de coliformes fecales.

El objetivo principal de este estudio fue evaluar la calidad microbiológica del agua del río Valles en tres zonas diferentes: agrícola, urbana y de mezcla. Para ello se utilizaron como indicadores los coliformes totales y coliformes fecales, cuyas concentraciones se midieron mediante el método de recuento en placa. Los resultados obtenidos mostraron que hay una diferencia significativa en las concentraciones de coliformes fecales entre las zonas evaluadas (figura 3), siendo la zona urbana la más contaminada, seguida por la zona de mezcla y la zona agrícola. Sin embargo, no se encontró una diferencia significativa en las concentraciones de coliformes totales entre las zonas (figura 4).

Tabla 1.*Resumen de ANOVA para Coliformes Fecales.*

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	Valor F	Sig.
Zona	43,483,333	2	21,741,666.5	8.613	0.003 *
Residual	37,863,690	15	2,524,245.3		

Nota: *Señala diferencias estadísticamente significativas $p < 0.05$

Figura 3.

Coliformes fecales por zona p-valor <0.05.

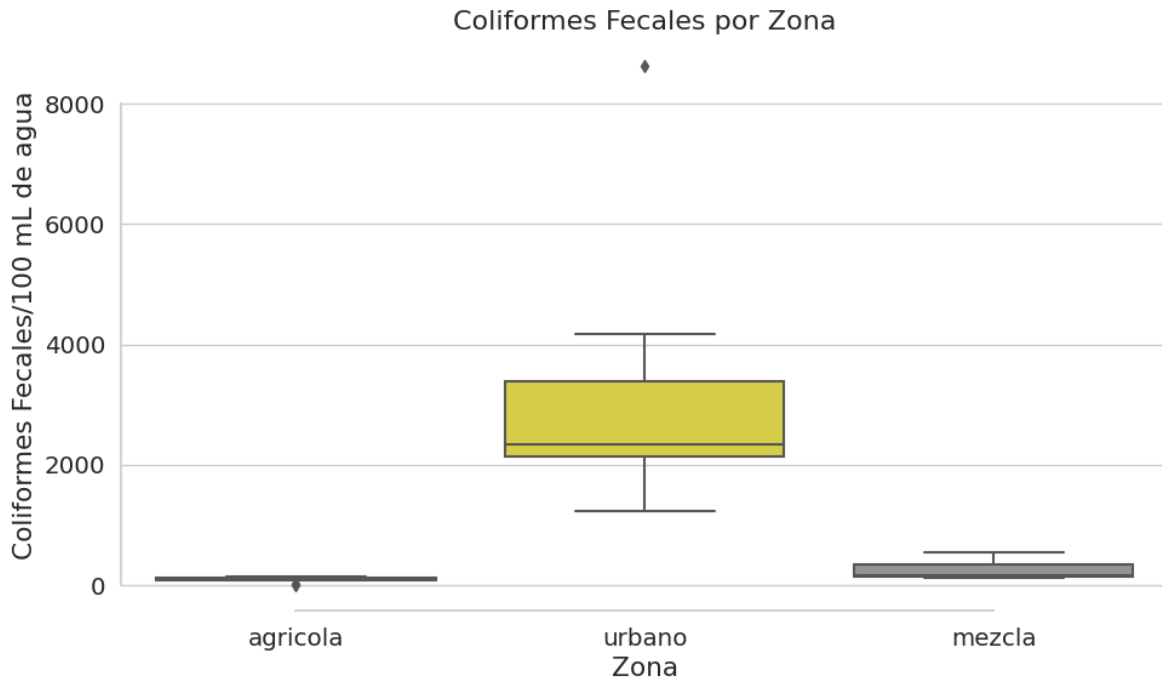


Tabla 2.

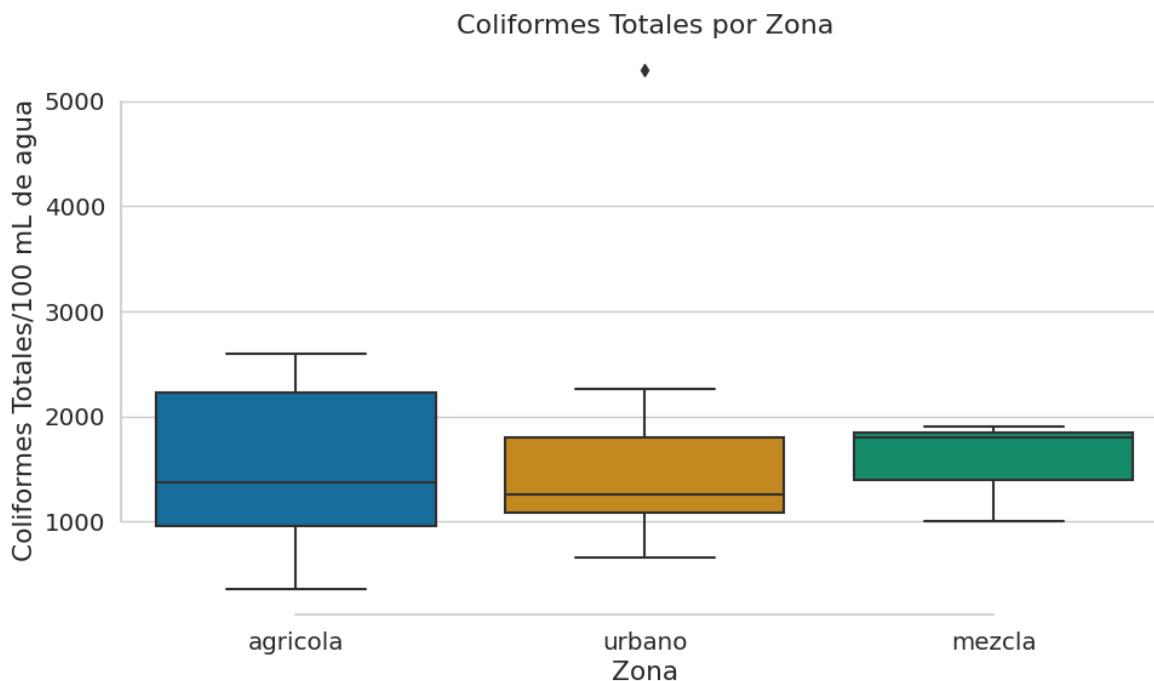
Resumen de ANOVA para Coliformes Totales.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	Valor F	Sig.
Zona	507,218.3	2	253,609.2	0.188	0.83
Residual	20,213,760	15	1,347,584.0		

Nota: * Señala diferencias estadísticamente significativas $p < 0.05$

Figura 4.

Coliformes totales por zona de muestreo, p -valor > 0.05.



Estos hallazgos apoyan parcialmente la hipótesis planteada al inicio del estudio, según la cual se esperaba encontrar una mayor contaminación fecal en la zona urbana debido a la presencia de fuentes puntuales y no puntuales de origen humano. Sin embargo, también se esperaba encontrar una mayor contaminación fecal en la zona agrícola debido al uso de fertilizantes orgánicos y al escurrimiento superficial desde los campos cultivados. La ausencia de diferencias significativas en las concentraciones de coliformes totales entre las zonas podría deberse a que este indicador no es específico de la contaminación fecal, sino que también incluye bacterias de origen ambiental que pueden estar presentes en el agua sin representar un riesgo para la salud humana.

Los resultados de este estudio coinciden con los de otros autores que han evaluado la calidad microbiológica del agua de ríos en diferentes regiones del mundo, utilizando los mismos o similares indicadores. Por ejemplo, García et al. (2020) reportaron que el 65% de los sitios monitoreados en México presentaron contaminación fecal, siendo los coliformes fecales y *Escherichia coli* los indicadores más frecuentes. Asimismo, Pérez et al. (2019) encontraron que los coliformes fecales, estreptococos fecales y enterococos mostraron una diferencia significativa entre las zonas evaluadas en Cuenca, Ecuador, siendo la zona urbana la más contaminada. Por otro lado, Rodríguez et al. (2018) hallaron una alta contaminación fecal en

los ríos estudiados en la Península de Osa, Costa Rica, especialmente en las zonas cercanas a asentamientos humanos y actividades agrícolas.

Las diferencias entre los resultados de este estudio y los de otros autores podrían explicarse por las características propias de cada río, como el caudal, la temperatura, el pH, la turbidez y la presencia de materia orgánica, que pueden influir en el crecimiento y supervivencia de las bacterias indicadoras. También podrían deberse a las diferencias en el diseño metodológico, como el tamaño y representatividad de la muestra, el método de análisis y el nivel de significancia estadística que pueden afectar la precisión y exactitud de las mediciones.

Este estudio tiene algunas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar sus resultados. Una de ellas es el tamaño muestral reducido, que puede limitar la generalización de los hallazgos a otras zonas del río o a otros ríos con características similares. Otra limitación es el uso de un solo método de análisis microbiológico, que puede no ser suficiente para detectar todos los posibles agentes patógenos presentes en el agua. Además, se debe tener en cuenta que los resultados obtenidos reflejan solo un momento específico del año y pueden variar según las condiciones climáticas, hidrológicas y antropogénicas que afecten al río.

A partir de este estudio se pueden hacer algunas recomendaciones para mejorar la calidad microbiológica del agua del río Valles y proteger la salud humana y el medio ambiente. Una de ellas es realizar un monitoreo periódico y sistemático del agua del río, utilizando varios indicadores microbiológicos y fisicoquímicos que permitan evaluar su estado sanitario. Otra recomendación es implementar medidas de prevención y control de la contaminación fecal en las zonas críticas, como el tratamiento adecuado de las aguas residuales domésticas e industriales, la gestión sostenible de los residuos sólidos y la educación ambiental a la población. Finalmente, se sugiere realizar estudios futuros que profundicen en el conocimiento de las fuentes y factores de contaminación fecal del río Valles y que evalúen el impacto de las intervenciones realizadas o propuestas.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad microbiológica del agua del río Valles en tres zonas diferentes: agrícola, urbana y de mezcla, utilizando como indicadores los coliformes totales y coliformes fecales. Los resultados mostraron que hay una diferencia significativa en las concentraciones de coliformes fecales entre las zonas evaluadas, siendo la zona urbana la más contaminada, seguida por la zona de mezcla y la zona agrícola. Sin embargo, no se encontró una diferencia significativa en las concentraciones de coliformes totales entre las zonas. Estos hallazgos apoyan parcialmente la hipótesis planteada al inicio del estudio y coinciden con los de otros autores que han evaluado la calidad microbiológica del agua de ríos en diferentes regiones del mundo.

Este estudio contribuye al conocimiento de la situación sanitaria del río Valles y sus implicaciones para la salud humana y el medio ambiente. Asimismo, proporciona información útil para el diseño e implementación de medidas de prevención y control de la contaminación fecal en las zonas críticas. No obstante, este estudio tiene algunas limitaciones

que deben ser consideradas, como el tamaño muestral reducido, el uso de un solo método de análisis microbiológico y la variabilidad temporal de los resultados. Por lo tanto, se recomienda realizar estudios futuros que profundicen en el conocimiento de las fuentes y factores de contaminación fecal del río Valles y que evalúen el impacto de las intervenciones realizadas o propuestas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto “Evaluación del aporte urbano de aguas residuales al río Valles” **clave nectp4 (13728.22-P)**. Asimismo, agradecen al Instituto Tecnológico de Ciudad Valles por el apoyo durante la investigación y particularmente al personal del Laboratorio de Investigación y Monitoreo Ambiental por su colaboración en el análisis de las muestras de agua.

REFERENCIAS

- Camara, M., Jamil, N. R., & Abdullah, A. F. B. (2019). *Impact of land uses on water quality in Malaysia: a review. Ecological Processes*, 8(1), 1-10.
- Dávila-Ortiz, R., Algara-Siller, M., & Velázquez-Zapata, J. A. (2020). *Variabilidad del impacto del cambio climático en el régimen hidrológico de dos cuencas de la región Huasteca. Ingeniería, investigación y tecnología*, 21(3).
- García, A., Pérez, M., Sánchez, R., & González, J. (2020). *Calidad del agua en México: resultados del monitoreo 2021. Revista Mexicana de Microbiología*, 67(2), 45-56.
- Hamilton, B. M., Harwood, A. D., Wilson, H. R., Keeton, T. P., & Borrello, M. C. (2020). *Are anglers exposed to Escherichia coli from an agriculturally impacted river?. Environmental monitoring and assessment*, 192, 1-9.
- Haseena, M., Malik, M. F., Javed, A., Arshad, S., Asif, N., Zulfiqar, S., & Hanif, J. (2017). *Water pollution and human health. Environmental Risk Assessment and Remediation*, 1(3).
- Holcomb, D. A., & Stewart, J. R. (2020). *Microbial indicators of fecal pollution: recent progress and challenges in assessing water quality. Current environmental health reports*, 7, 311-324.
- Johansson, E. L., & Isgren, E. (2017). *Local perceptions of land-use change: using participatory art to reveal direct and indirect socioenvironmental effects of land acquisitions in Kilombero Valley, Tanzania. Ecology and Society*, 22(1).
- Kong, X., Ghaffar, S., Determann, M., Friese, K., Jomaa, S., Mi, C., ... & Rode, M. (2022). *Reservoir water quality deterioration due to deforestation emphasizes the indirect effects of global change. Water research*, 221, 118721.
- Kulshreshtha, S. N., & Gillies, J. A. (1993). *Economic evaluation of aesthetic amenities: a case study of river view 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 29(2), 257-266.
- Le, P. C. L., Kim, J. I., & Kim, K. (2016). *The growth of Korean companies and their contributions to the miracle of the Han River. International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 11(5), 253-266.

- López Álvarez, B., Santacruz de León, G., Ramos Leal, J. A., & Morán Ramírez, J. (2015). *Water poverty index in subtropical zones: The case of Huasteca Potosina, México*. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(2), 173-184.
- Micrologylabs (20 de marzo 2023). *Micrology Laboratories. Coliscan Easygel*. Recuperado de <https://www.micrologylabs.com/coliscan-easygel/>
- Nowell, C. (2019). *Evaluating practical approaches for on-farm water testing to meet the FSMA Produce Safety Rule requirements* (Doctoral dissertation, Auburn University).
- Pérez, J., Rodríguez, L., Gómez, M., & Torres, P. (2019). *Indicadores bacteriológicos de contaminación fecal en los ríos de Cuenca, Ecuador*. *Revista Ecuatoriana de Microbiología*, 31(1), 12-21.
- Prado, R. B., Damasceno, G. M. S., & Aquino, F. D. G. (2022). *Overview of studies on ecosystem services in riparian zones: a systematic review*. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 34.
- Pynegar, E. L., Jones, J. P., Gibbons, J. M., & Asquith, N. M. (2018). *The effectiveness of payments for ecosystem services at delivering improvements in water quality: Lessons for experiments at the landscape scale*. *PeerJ*, 6, e5753.
- Rodríguez, C., Morales, A., Jiménez, R., & Castro, B. (2018). *Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los ríos en la Península de Osa, Costa Rica*. *Revista Costarricense de Microbiología*, 29(2), 34-41.
- Santacruz de León, G. (2008). *Hacia una gestión integral de los recursos hídricos en la cuenca del río Valles, Huasteca, México*. REPOSITORIO NACIONAL CONACYT.
- Vargas, A. R. B., Domínguez, H. O. G., Gómez, C. P., González, G. B. H., & Pavón, R. G. S. (2023). *Potencial turístico de la antigua hacienda el detalle de Mario Moreno Cantinflas en Ciudad Valles, San Luis Potosí*. *Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)*, 14(4), 5973-5998.
- Weidhaas, J., Anderson, A., & Jamal, R. (2018). *Elucidating waterborne pathogen presence and aiding source apportionment in an impaired stream*. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(6), e02510-17.