

Evaluación de parámetros microbiológicos en el arroyo Santa María, Jalpa de Méndez, Tabasco, México

Evaluation of microbiological parameters in arroyo Santa María, Jalpa de Méndez, Tabasco, México

María Elena Cárdenas-Córdova¹, Rudy Solís-Silván², Azucena del Rosario Fraire-Vázquez³, Gaspar López-Ocaña⁴, Ricardo Díaz-Palacios⁵

Fecha de recepción: 12 de diciembre, 2023
Fecha de aprobación: 3 de abril, 2024

Cárdenas-Córdova, M.E; Solís-Silván, R; Fraire-Vázquez, A.R; López-Ocaña, G; Díaz-Palacios, R. Evaluación de parámetros microbiológicos en el arroyo Santa María, Jalpa de Méndez, Tabasco, México. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° 1. Enero-Marzo, 2025. Pág. 172-184.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i1.7001>

- 1 Tecnológico Nacional de México campus ITS de Comalcalco. México.
 maria.cardenas@comalcalco.tecnm.mx
 <https://orcid.org/0000-0002-6370-6591>
- 2 Tecnológico Nacional de México campus ITS de Comalcalco. México.
 rudy.solis@comalcalco.tecnm.mx
 <https://orcid.org/0000-0001-6373-0893>
- 3 Tecnológico Nacional de México campus ITS de Comalcalco. México.
 azucena.fraire@comalcalco.tecnm.mx
 <https://orcid.org/0000-0002-6555-355X>
- 4 Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.
 ocanagl77@hotmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-8402-8160>
- 5 Tecnológico Nacional de México Campus I.T. de Villahermosa. México.
 ricardo.dp@villahermosa.tecnm.mx
 <https://orcid.org/0000-0001-5452-2769>

Palabras clave

Contaminación fecal; población; calidad del agua; antrópica; enfermedades.

Resumen

La contaminación fecal en cuerpos de aguas superficiales causa impactos negativos en la salud y el medio ambiente a nivel mundial en países subdesarrollados. El objetivo del siguiente estudio fue evaluar la calidad microbiológica del agua del arroyo Santa María de Jalpa de Méndez, Tabasco, México. A lo largo del arroyo se establecieron tres estaciones de muestreos a diferentes profundidades (30 y 60 cm). La estación uno se ubicó en la dirección contraria a la desembocadura del arroyo en un río conocido como los Caballos, el segundo a mitad del arroyo y el tercero donde el arroyo desembocaba en el río. Los parámetros microbiológicos evaluados fueron coliformes fecales (CF) y coliformes totales (CT). Para el muestreo y análisis de los CT y CF se emplearon las recomendaciones y método del número más probable en tubos múltiples de acuerdo NMX-AA-042-SCFI-2015 respectivamente. Se llevó a cabo un análisis de varianza factorial de 3 x 2 para encontrar diferencias estadísticas significativas entre las diferentes estaciones de muestreo y profundidades. Las tres estaciones mostraron valores promedios mínimos y máximos de CF y CT (650 a 1131 y 712 a 1225 NMP/100 ml respectivamente) superiores a los límites establecidos por criterios ecológicos CE-CCA-001/89 (> 200 NMP/100 ml). Así mismo no cumple con los límites máximos permisibles de la Norma Oficial Mexicana de consumo humano NOM-127-SSA1-1994 (2 NMP/100 ml). El arroyo Santa María presenta altas concentraciones de contaminación fecal que impacta directamente a la salud de la gente cercana al arroyo y el medio ambiente.

Keywords

Faecal contamination; population; water quality; anthropic; diseases.

Abstract

Faecal contamination of surface water bodies causes negative impacts on health and the environment worldwide in underdeveloped countries. The objective of the following study was to evaluate the microbiological quality of the water from the Santa María de Jalpa de Méndez, Tabasco, Mexico. Three sampling stations were established along the stream at different depths (30 and 60 cm). Station one, was located in the opposite direction to the mouth of the stream in a river known as Los Caballos, the second, in the middle of the stream and the third where the stream emptied into the river. The microbiological parameters evaluated were Faecal Coliforms (CF) and Total Coliforms (TC). For the sampling and analysis of CT and CF, the recommendations and method of the most probable number in multiple tubes according to NMX-AA-042-SCFI-2015 respectively were used. A 3 x 2 factorial variance analysis was carried out to find statistically significant differences between the different sampling stations and depths. The three stations showed minimum and maximum mean values of CF and TC (650 to 1131 and 712 to 1225 MPN / 100 ml respectively) higher than the limits established by ecological criteria CE-CCA-001/89 (> 200 MPN / 100 ml). In fact, it does not comply with the maximum permissible limits of the Mexican standard for human consumption NOM-127-SSA1-1994 (2 NMP / 100 ml). The Santa María stream presents high concentrations of faecal contamination that directly impacts the health of the people near the stream and the environment.

Introducción

La calidad de las aguas superficiales es un tema de gran prioridad. Diferentes trabajos se han realizado para conocer el estado de eutrofización de los cuerpos de agua y buscar alternativas para mejorar la calidad de estos.

Uno de ellos es el estudio de Elordi et al., [1] evaluó la carga microbiológica de contaminación fecal en los arroyos Las Piedras y San Francisco, considerando la cobertura sanitaria en una zona de aproximadamente 150 km² que afecta a alrededor de 600,000 personas en Quilmes, Provincia de Buenos Aires. El 92.1% de la población tiene acceso a agua de red y el 78.5% a red cloacal. Los investigadores emplearon una metodología internacional para analizar Coliformes Totales (CT), Coliformes Termotolerantes (CF) y *Pseudomonas aeruginosa*. Los niveles de CT y CF en los puntos "Pilcomayo" y "Donato Alvares y Las Piedras" excedieron los estándares aceptados para aguas recreativas o de contacto primario/ secundario. Según los límites de la USEPA para contacto primario (200 CT/100 ml), estos arroyos representan un riesgo para la salud de aquellos en contacto directo o indirecto con ellos.

Guzman-Colis et al., [2] analizaron la variación temporal y espacial de diversos parámetros en el río San Pedro, la principal corriente de Aguascalientes, México. A lo largo de sus 90 km, este río recibe aportes de 24 cursos de agua y alrededor del 96% de las aguas residuales generadas en la región. Recolectaron muestras en 43 estaciones durante épocas de sequía y lluvias, evaluando 23 parámetros. Los autores no observaron una tendencia espacial definida en los parámetros, excepto para los metales pesados. El 95% de las estaciones mostraron concentraciones elevadas de contaminantes, como materia orgánica, nitrógeno total, detergentes y coliformes fecales, sin variaciones temporales significativas. Según el índice propuesto, la calidad global del agua del río San Pedro es generalmente pobre, alejándose de su condición natural o adecuada para uso agrícola.

Así mismo Puente-Miranda et al., [3] señalaron que en el periodo comprendido entre 2012 y 2018 la calidad del agua en tres de los cinco observatorios participativos de la Conagua ubicados en el Norte de México, reportaron que se presentaron altas concentraciones de coliformes fecales, en la estación DLCHI328 donde se cuantificaron 12 098 NMP/100 ml, en la estación DLSAN2286 11 199 NMP/100 ml y en la estación DLSAN2283 17 329 NMP/100 ml y de acuerdo con el Índice de Calidad del Agua (ICA) estos valores la catalogan como "fuertemente contaminada" lo cual representa un riesgo para los habitantes de la población ya que se incumple con los requerimientos necesarios para emplearse como agua de consumo humano.

Por último, Becerra y Cárdenas [4] mencionan que la calidad del agua puede alterarse debido a actividades humanas o naturales, generando efectos adversos en sus propiedades físicas, químicas o ecológicas. Se considera contaminación cuando cualquier cambio indeseado afecta la utilidad o valor ecológico del agua, y un contaminante es la sustancia o factor que causa esa alteración. Las fuentes de contaminación incluyen la contaminación atmosférica, que afecta la calidad de las aguas de lluvia y la superficie del suelo, los usos del suelo (agropecuarios, asentamientos humanos, construcción), disposición de desechos sólidos y líquidos, derrames accidentales en el agua, entre otros, además de las aguas residuales.

La detección de coliformes ha funcionado como un indicador que puede ser asociado con riesgos para la salud humana, es por ello por lo que la evaluación de coliformes totales y fecales siguen siendo una herramienta valiosa para conocer la calidad del agua de manera eficiente.

Es por ello que esta investigación tiene como objetivo evaluar parámetros básicos y microbiológicos en el arroyo Santa María en Jalpa de Méndez, Tabasco, México. La zona circundante al arroyo alberga a una población de alrededor de 1128 habitantes, cuyas

actividades principales están vinculadas al arroyo y las lagunas cercanas. Es crucial determinar si estos cuerpos de agua reúnen las condiciones necesarias para que la población lleve a cabo sus actividades sin riesgos para la salud.

La calidad de las aguas superficiales se ha vuelto una prioridad crucial debido al crecimiento poblacional, al aumento de las actividades pecuarias y al establecimiento de asentamientos humanos en áreas inapropiadas. La contaminación, originada tanto por actividades humanas como industriales, representa un problema cada vez más común en ríos, lagos, lagunas y arroyos.

En la localidad de Reforma, segunda sección, en el municipio de Jalpa de Méndez, Tabasco, alrededor de 1128 personas realizan sus actividades domésticas y económicas en proximidad a cuerpos de agua como el arroyo Santa María, laguna Pomposu, laguna Si Señora, laguna el Eslabón y laguna los Caballos. Sin embargo, la disposición de residuos sólidos urbanos y aguas residuales domésticas sin tratamiento previo es común, lo que podría constituir un foco de infección y ocasionar problemas de salud tanto para la población como para las especies acuáticas.

Sin embargo, tanto problemas económicos y socioculturales sumados a una carencia de programas de superación de la pobreza han contribuido a personas que viven en condiciones precarias a sobreexplotar los recursos naturales, lo cual afecta negativamente la calidad del recurso agua.

A tal efecto, es importante determinar las concentraciones de parámetros microbiológicos en el agua del arroyo Santa María para comparar con los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89 [5] y la NOM-001-SEMARNAT-1996 [6] a fin de conocer las condiciones en las que se encuentra el arroyo que den pauta a otras investigaciones.

Materiales y métodos

Área de estudio

El arroyo Santa María se encuentra en las inmediaciones del ejido Úrsulo Galván, Reforma segunda sección del Municipio de Jalpa de Méndez, Tabasco (véase fig. 1); entre los 18°20'12" y 18°24'12" de Latitud Norte y los 93°00'51" y 93°04'15" de Longitud Oeste.

Selección del periodo de estudio

De acuerdo con datos del Servicio Meteorológico Nacional [7] los registros históricos de precipitaciones (1985 a 2014) de los diferentes meses del año fueron consultados por el sitio Clima Jalpa de Méndez, Tabasco. Esto sirvió de referencia para la selección de las temporadas de lluvias y de sequías. En este sentido el periodo de muestreo abarcó de febrero de 2017 a febrero 2018, teniendo un total 13 muestreos, uno por mes entre las 11:00 y 12:00 horas aproximadamente.

Selección de puntos de muestreo

A lo largo del arroyo Santa María se establecieron tres puntos de muestreos a diferentes profundidades (30 cm y 60 cm): el primer punto de muestreo se ubicó en la dirección contraria a donde desembocaba el arroyo en el río conocido como los Caballos, el segundo a mitad del arroyo y el tercero al final del arroyo donde desemboca en el río los Caballos.

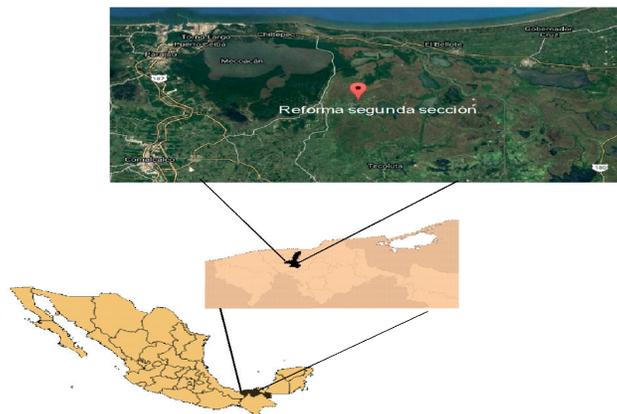


Figura 1. Área de estudio.

Cabe mencionar que a las orillas del arroyo se ubican 121 viviendas, encontrándose el mayor número de casas a la mitad del arroyo. En la mayoría de las casas se crían animales de traspatio (criaderos de cerdos y de pollos) y no cuentan aún con sistemas de drenaje (algunas casas cuentan con fosas sépticas y otras no). Los parámetros medidos en cada punto de muestreo fueron los siguientes: Coliformes Totales (CT), Coliformes Fecales, pH, temperatura y turbiedad (véase cuadro 1). En cada punto de muestreo se realizó la medición de parámetros de campo, así como la toma de muestras simples para su posterior análisis en el laboratorio.

Cuadro 1. Puntos de muestreo.

No.	Puntos	Latitud Norte	Longitud Oeste	Parámetros de campo	Parámetros laboratorio
1	AI	18°20'02.68743"	93°02'32.70653"	pH Temperatura Turbiedad	Coliformes totales Coliformes fecales
2	AC	18°20'07.76059"	93°02'44.66681"		
3	AF	18°20'07.14066"	93°02'51.61719"		

Muestreo y análisis

Tomando en cuenta las características particulares del cuerpo de agua se colectaron dos muestras simples en bolsas estériles de 250 ml de capacidad en cada punto de muestreo a dos niveles de profundidad (30 y 60 cm). Los parámetros de campo se midieron haciendo uso del multiparamétrico marca HANNA modelo 2015 y la sonda HI 9832, midiendo pH, temperatura y turbiedad. La recolección de muestra de agua para el análisis microbiológico se llevó a cabo mediante los lineamientos que establece la NMX-AA-042-SCFI-2015 "Análisis de agua. Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia Coli método del número más probable en tubos múltiples" [8]. Las muestras analizadas en el laboratorio fueron debidamente etiquetadas con los siguientes datos: fecha, lugar de colección, número de muestra, profundidad, así como sus respectivas identificaciones de parámetros (CF y CT). Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de microbiología del Tecnológico Nacional de México campus Comalcalco. Para el análisis de los coliformes totales y fecales se empleó el método del número más probable en tubos múltiples de acuerdo con

la Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015 [8], el método permite determinar el número de microorganismos coliformes presentes en una muestra, mediante cultivo en un medio líquido contenido en tubos múltiples y realizando el cálculo del número más probable en la muestra.

Diseño Experimental

Se llevó a cabo un diseño incompleto dirigido factorial de 3 x 2. El primer factor consistió en diferentes estaciones de muestreo (estación 1, estación 2 y estación 3), donde se evaluaron parámetros biológicos y fisicoquímicos (Coliformes fecales, Coliformes totales, pH, Turbiedad y temperatura) del arroyo Santa María, Ejido Úrsulo Galván. El segundo factor hace referencias a que estos parámetros, se midieron a diferentes profundidades (30 y 60 cm de profundidad). El número de observaciones fue de 13 para los coliformes fecales (CF) y totales (CT). El número de observaciones para la turbiedad, pH y temperatura fue de 10. Las mediciones de los parámetros se efectuaron durante los meses febrero-diciembre de 2017 y febrero-marzo 2018.

Análisis Estadístico

Se llevó a cabo un análisis de varianza factorial de 3 x 2 para encontrar diferencias estadísticas significativas entre las diferentes estaciones de muestreo (primer factor: estación 1, 2 y 3) y profundidades (segundo factor: profundidades de 30 y 60 cm) del arroyo Santa María, en cuanto a las concentraciones de Coliformes fecales y totales. Los parámetros de turbiedad y pH fueron evaluados mediante un análisis de varianza (ANOVA) simple, debido a que solo se evaluaron a una sola profundidad, quedando como único factor de interés las estaciones. Para saber las diferencias significativas entre factores evaluados se llevó a cabo un contraste múltiple de Tukey. El análisis de varianza (ANOVA) se llevó a cabo el software Statgraphics Centurión XVI. II.

Resultados

A continuación, se muestran los resultados de coliformes fecales (CF), coliformes totales (CT), turbiedad, pH y temperatura evaluados en el arroyo Santa María, Ejido Úrsulo Galván en las diferentes estaciones y profundidades de monitoreo.

Coliformes Fecales

El análisis de varianza factorial indica que existe un efecto significativo ($P < 0.05$) entre las estaciones evaluadas (primer factor: estación 1, estación 2 y estación 3) en cuanto a la concentración de coliformes fecales (CF). El contraste múltiple de Tukey muestra con letras desiguales tratamientos diferentes. Se observó que en la estación 3 se presentó la menor concentración de CF (NMP/100 ml) con un promedio de 660.962 ± 143.993 . Las concentraciones más altas de CF se observaron en las estaciones 2 y 1 respectivamente con 1131.77 ± 143.993 , 660.962 ± 143.993 (Fig. 2). El factor profundidad no mostró diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) en las concentraciones de CF (NMP/100 ml) mostrando valores promedios similares (880 ± 203.637 y 894 ± 203.637) (Fig. 3). La interacción de los factores no mostró diferencias estadísticas significativas, ya que no se observó cambio de magnitud y dirección entre los factores, sin embargo, se puede apreciar que la estación 3 con 30 cm de profundidad fue la que mostró la concentración más baja (575) de CF (NMP/100 ml) (Fig. 4). El grado de confiabilidad utilizado por el método estadístico es del 95% de confiabilidad.

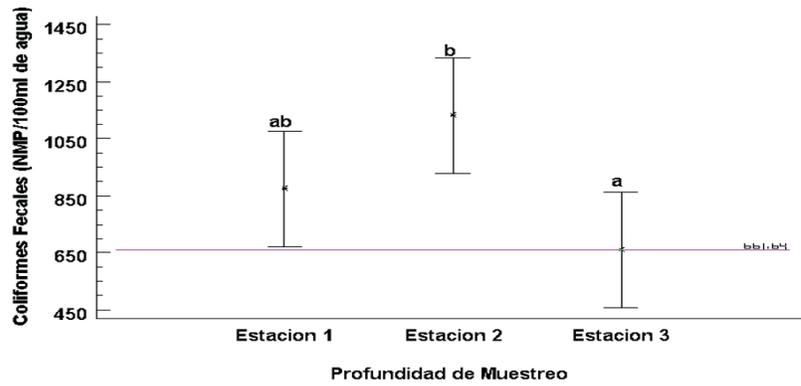


Figura 2. Valores promedios (\pm EE) de la concentración de CF (NMP/100 ml) evaluadas en las diferentes estaciones. Las letras indican que letras desiguales tratamientos diferentes.

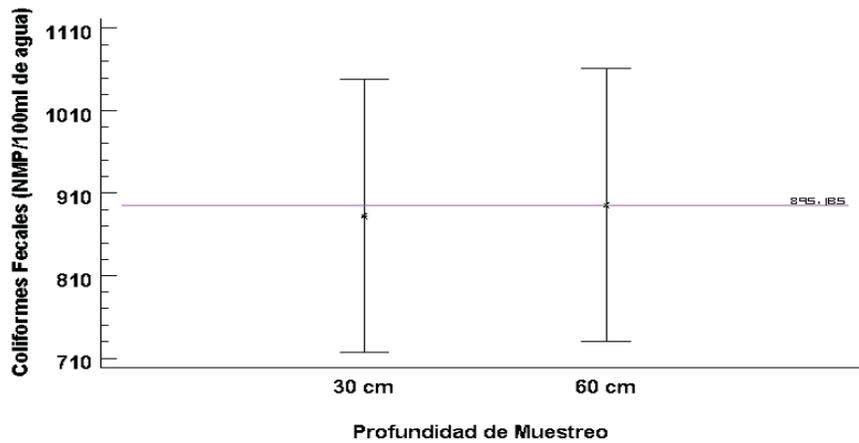


Figura 3. Valores promedios (\pm EE) de la concentración de CF (NMP/100 ml) evaluadas a diferentes profundidades.

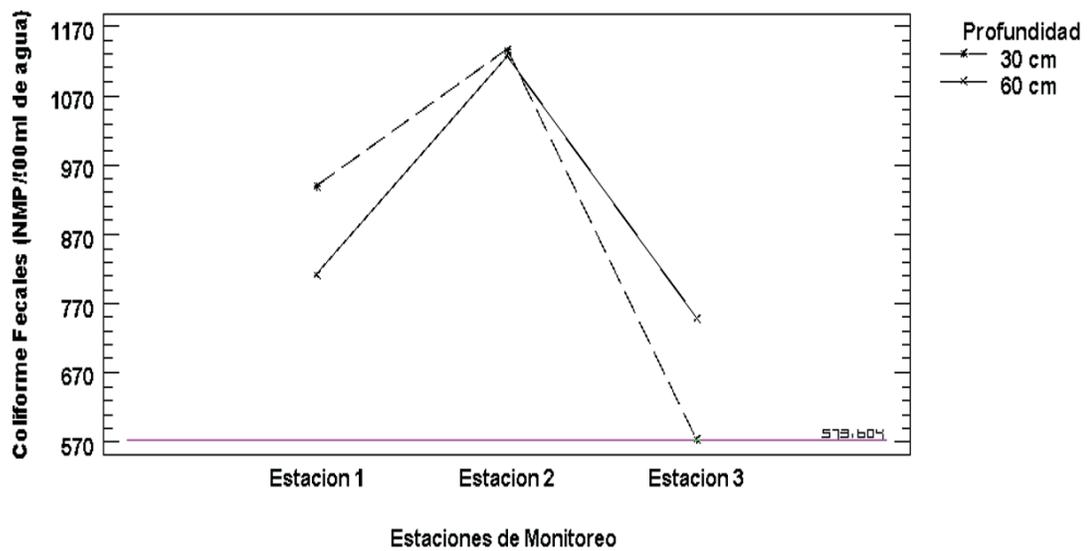


Figura 4. Valores promedios de la interacción de los factores evaluados (estaciones y profundidad) en cuanto a la variable CF (NMP/100 ml).

Coliformes Totales

El análisis de varianza factorial indica que existen un efecto significativo ($P < 0.05$) entre las estaciones evaluadas (primer factor: estación 1, estación 2 y estación 3) en cuanto a la concentración de coliformes Totales (CT). El contraste múltiple de Tukey muestra con letras desiguales tratamientos diferentes. Se pudo observar el mismo comportamiento que en el de CF, ya que se apreció que en la estación 3 se presentó la menor concentración de CT (NMP/100 ml) con un promedio de 712.115 ± 139.305 . Las concentraciones más altas de CT se observaron en las estaciones 2 y 1 respectivamente con 1225.19 ± 139.305 , 895 ± 139.305 (Fig. 5). El factor profundidad no mostró diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) en las concentraciones de CT (NMP/100 ml) mostrando valores promedios similares (960 ± 197.007 y 927 ± 197.007) (Fig. 6). La interacción de los factores no mostró diferencias estadísticas significativas, ya que no se observó cambio de magnitud y dirección entre los factores, sin embargo, se puede apreciar que la estación 3 con 30 cm de profundidad fue la que presentó la concentración más baja (575) de CT (NMP/100 ml) (Fig. 7)

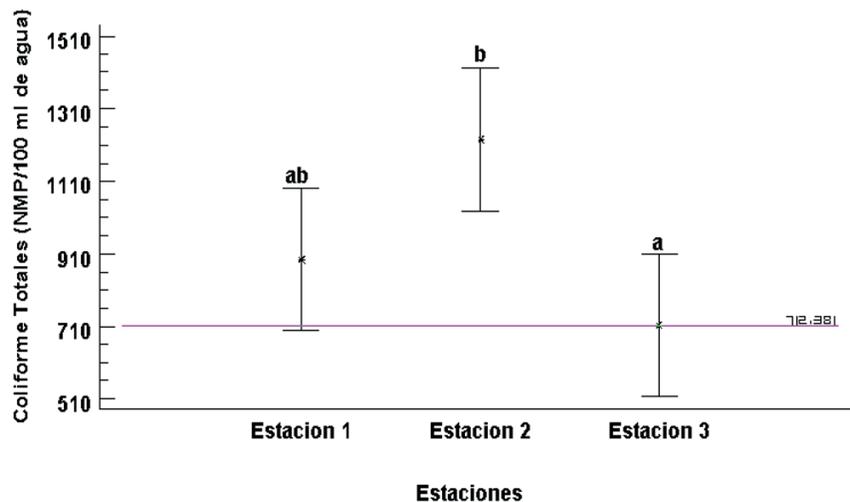


Figura 5. Valores promedios de la interacción de los factores evaluados (estaciones y profundidad) en cuanto a la variable CT (NMP/100 ml).

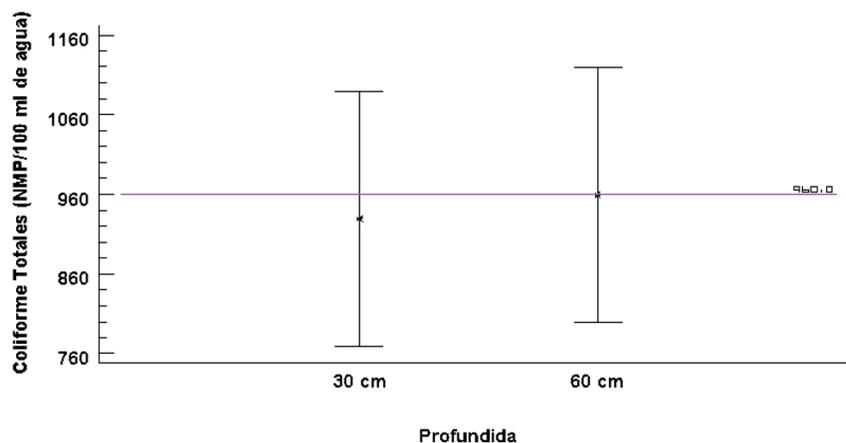


Figura 6. Valores promedios (\pm EE) de la concentración de CT (NMP/100 ml) evaluadas a diferentes profundidades.

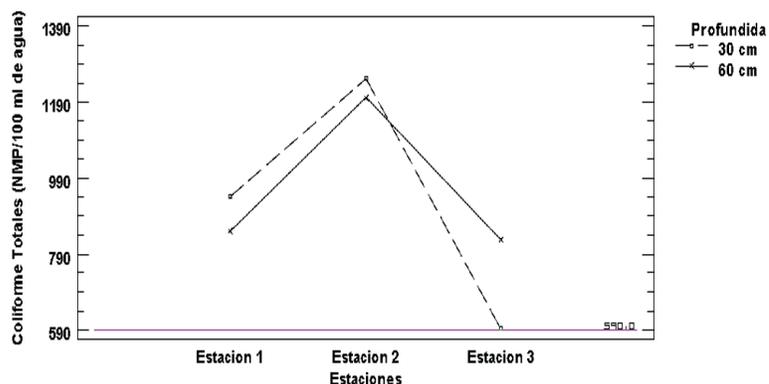


Figura 7. Valores promedios (\pm EE) de la concentración de CT (NMP/100 ml) evaluadas a diferentes profundidad en cada estación.

Turbiedad

El análisis de varianza (ANOVA-simple) mostró que no existen diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre las estaciones evaluadas (estación 1, estación 2 y estación 3) en cuanto a la turbiedad (NTU) del agua con un 95% de confiabilidad, sin embargo, se observa una ligera tendencia a que en la estación 2 la turbiedad es ligeramente más alta que en la estación 1 y 3 con un promedio de 28.25 ± 35.85 . Las estaciones 1 y 3 presentaron valores promedios más bajos de turbiedad (NTU) con 19.35 ± 28.62 , 23.61 ± 33.44 respectivamente (Fig. 8).

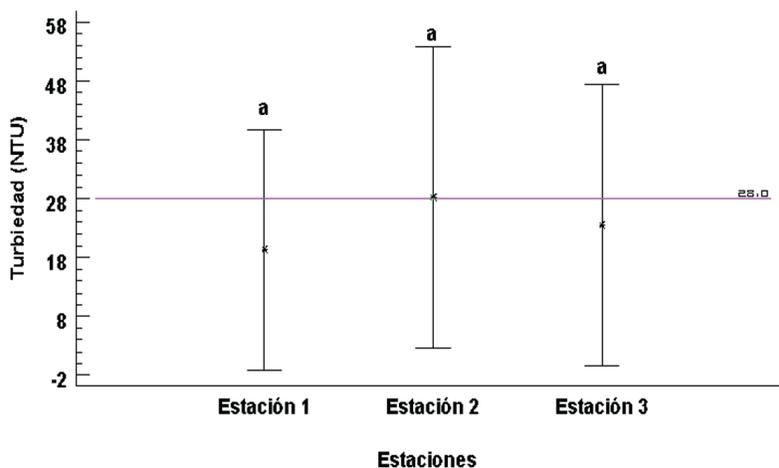


Figura 8. Valores promedios (\pm DE) de Turbiedad (NTU) evaluados en las diferentes estaciones de muestreo. Las letras contenidas en a grafica indican que letras desiguales tratamientos diferentes.

Potencial de Hidrogeno (pH)

El análisis de varianza (ANOVA-simple) mostro que existen diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre las estaciones evaluadas (estación 1, estación 2 y estación 3) en cuanto al pH del agua con un 95% de confiabilidad. El contraste múltiple de Tukey muestra con letras desiguales tratamientos diferentes. Se puede observar que el pH ligeramente ácido lo presenta

la estación 3 con un promedio de 6.84 ± 0.336 . Las estaciones 1 y 2 presentan valores de pH ligeramente por encima de la neutralidad con promedios de 7.205 ± 0.386 , 7.068 ± 0.437 respectivamente (Fig. 9).

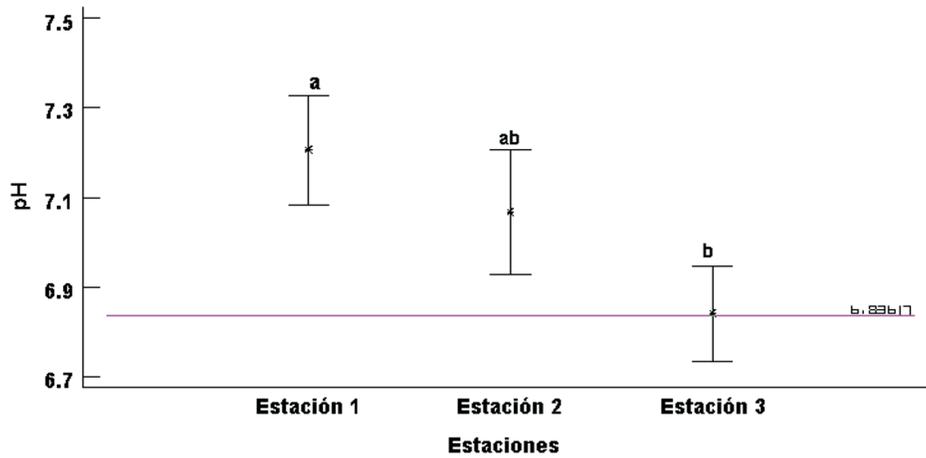


Figura 9. Valores promedios (\pm DE) del pH (UM) evaluados en las diferentes estaciones de muestreo. Las letras contenidas en a grafica indican que letras desiguales tratamientos diferentes.

Temperatura

Se puede observar que las temperaturas más altas en el arroyo Santa María se presentaron en los meses de abril, mayo, octubre, noviembre y las más bajas en los demás meses (ver cuadro 2).

Cuadro 2. Temperaturas in situ de los diferentes meses de muestro en las tres estaciones.

Fecha	Temperatura (°C)		
	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Febrero	29.15	28.67	28.6
Marzo	29.15	28.67	28.6
Abril	30.34	30.62	29.6
Mayo	32.46	32.6	32.2
Junio	30.3	30.07	28.8
Julio	30	29.7	29.6
Agosto	28.22	29.2	28.5
Septiembre	29.21	28.2	27.5
Octubre	31.41	32.21	30.8
Noviembre	32.46	31.6	32.4
Diciembre	22.41	23.18	22.48
Febrero	28.23	29.61	28.42
Marzo	29.32	28.56	28.38

Discusión

Coliformes fecales (CF) y totales (CT)

Barahona et al. [9] encontraron concentraciones de CT y CF de 1986.3 NMP/100ml y 85.6 NMP/100mL respectivamente en el Río Manaure en Colombia. Dichos autores atribuyen estas concentraciones en gran proporción a los asentamientos humanos de tipo rural ya que al no poseer un plan de recolección de residuos sólidos y sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas contribuyen a que el agua de escurrimiento corresponda a este tipo de vertimientos. En el 2011 Baquerizo et al., [10] en Villa Achupallas evaluó la calidad del agua del río Yacuambi, obteniendo altas concentraciones de coliformes fecales de hasta 8200 UFC-100ML que al confrontar estos datos con los límites máximos permisibles de la norma vigente se puede observar que sobrepasa por 7200 UFC/100ML, lo que evidencia un deterioro del ecosistema. Al igual que el análisis de Villa Achupallas, el canal ubicado en el Ejido Úrsulo Galvan perteneciente al municipio de Jalpa de Méndez en el estado de Tabasco, exceden los límites máximos permisibles del criterio ecológico (1000NPM/100), en la mayoría de los meses de la estación 1 y 2, mientras que en la estación 3 únicamente el mes de febrero 2017 supero el límite. Los resultados de CT son parecidos a los encontrados en el presente estudio (CF = 1225.19 NMP/100 ml) en la estación 2 del arroyo Santa María y coinciden con las causas de contaminación por CT que mencionan dichos autores, ya que en dicha estación se presenta el mayor número de casas rurales asentadas y no cuentan con sistemas de drenaje (algunas casas cuentan con fosas sépticas y otras no). De igual manera la estación 2 presentó la mayor concentración de CF (1131.77 NMP/100mL) diferentes a las encontradas por estudio contrastado (85.6 NMP/100mL) y esto se deba quizás a las diferentes actividades humanas de los asentamientos humanos. El estudio comparativo atribuye las concentraciones de coliformes fecales (CF) en gran medida a los asentamientos humanos rurales sin planes de recolección ni sistemas de tratamiento de aguas residuales. Aunque nuestro estudio enfrenta la misma problemática, se observó que la mayoría de los hogares cercanos al arroyo están involucrados en la crianza de animales de traspatio, como cerdos y pollos, con descargas directas de aguas residuales sin tratamiento al arroyo. Esta diferencia en las fuentes de contaminación puede influir en las concentraciones de CF. Otros estudios, como el de Arango et al. [11], señalan altos niveles de coliformes totales y fecales en quebradas de Antioquia, atribuidos a vertimientos de aguas residuales domésticas y agropecuarias. Campos et al. [12] informan sobre altas concentraciones de coliformes fecales en el río Bogotá y su riesgo para la salud pública. Además, Barros y Cañizares [13] indican, en un estudio en el río Neverí en Venezuela, que las variaciones de coliformes totales y fecales dependen de la altura de la cuenca, siendo los sectores altos menos contaminados, mientras que la parte media y baja se ve afectada por asentamientos humanos sin servicios sanitarios y vertimientos de aguas residuales domésticas, pluviales e industriales. Pauta- Calle et al. [14] encontraron niveles elevados de contaminación fecal en los ríos de la Península de Osa, Costa Rica, particularmente en las áreas cercanas a poblaciones humanas y zonas agrícolas. Las muestras de agua obtenidas del arroyo Santa María mostraron altas concentraciones de CF en todas las estaciones de muestreo y en los periodos de lluvias y secas por encima de los criterios Ecológicos de Calidad de Agua CE-CCA-001/89 [5]. Dicho criterio menciona que para uso recreativo del agua con contacto primario es ACEPTABLE para concentraciones <200 NMP/100mL. Sin embargo, se pudo apreciar que durante todo el periodo de muestro ninguna presento valores menores a 200 (valor más bajo = 450 NMP/100mL y más alto 1270 NMP/100 ml). Esto es de suma importancia porque según Campos et al.[12] indican que las altas concentraciones de CF representan riesgos a la salud pública. Así mismo las concentraciones altas de CT encontradas en todos los puntos de muestreo y en los periodos de lluvias y secas (valor mínimo = 510 NMP/100 ml y valor máximo

= 1340) no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, que establece un límite permisible de 2 NMP/100ml. Esto indica que el agua no puede ser utilizada para consumo humano [15].

Turbiedad, pH y Temperatura

La turbiedad no mostró diferencias estadísticas significativas entre estaciones, pero se observó una tendencia a valores más altos en la estación 2 (máximo = 58 NTU), sugiriendo una posible relación con los Coliformes Fecales (CF) y Coliformes Totales (CT), ya que esta estación registró las concentraciones más elevadas. Según Jaya [16], la turbiedad está asociada con la cantidad de materia orgánica, la cual puede influir en la presencia de microorganismos y el consumo de oxígeno. Sin embargo, los niveles de turbiedad excedieron los límites permitidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (5 NTU)[15]. La temperatura (máximo 32 °C) y el pH (6.8 a 7.3) se mantuvieron dentro de los límites permitidos, indicando un equilibrio, a pesar de que estos parámetros pueden tener relaciones con los CF y CT, asociadas a ciclos biogeoquímicos.

Conclusiones

Se reporta para el arroyo Santa María la presencia de altas concentraciones de contaminación fecal (Coliformes totales y coliformes fecales) potencialmente patógenas en las tres estaciones de monitoreo durante el periodo de muestreo. Estas estaciones son afectadas por vertimientos de aguas residuales domésticas, del lavado de animales de traspatio y asentamientos humanos principalmente. La comunidad utiliza estas aguas para uso doméstico, pero debido a las altas concentraciones de CF y CT se recomienda no utilizarlas para uso doméstico, agrícola, recreación y preservación de fauna y flora. Los parámetros de turbiedad se encontraron por encima de la normatividad para consumo humano NOM-127-SSA1-1994. La temperatura y el pH a pesar de la contaminación por CF, CT y turbiedad tienden a estar entre los límites permisibles que marcan las normas y criterios de calidad de agua potable y residuales debido a los ciclos biogeoquímicos de la naturaleza.

Referencias

- [1] M. L. Elordi, J. E. Colman Lerner, y A. Porta, "Evaluación del impacto antrópico sobre la calidad del agua del arroyo Las Piedras, Quilmes, Buenos Aires, Argentina", *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, vol. 50, pp. 669–677, 2016, Consultado: el 10 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53550527016>
- [2] G. Guzmán-Colis, F. Thalasso, E. M. Ramírez-López, S. Rodríguez-Narciso, A. L. Guerrero-Barrera, y F. J. Avelar-González, "EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO SAN PEDRO EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES, MÉXICO", 2011.
- [3] D. G. Puente Miranda, L. I. Valenzuela García, y M. T. Alarcón Herrera, "Determinación histórica de índices de calidad del agua en observatorios participativos en el norte de México", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 39, pp. 127–137, feb. 2023, doi: 10.20937/RICA.54697.
- [4] N. J. Cely Calixto, D. Becerra Moreno, y J. A. Cárdenas Gutiérrez, *Causas y consecuencias de la contaminación de aguas superficiales*. 2023. Consultado: el 28 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.ufps.edu.co/bitstream/handle/ufps/6720/CAUSAS%20Y%20CONSECUENCIAS%20DE%20LA%20CONTAMINACION%20DE%20AGUAS%20SUPERFICIALES_E%20book.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [5] Centro de Calidad Ambiental, *Criterio Ecológico de Calidad del Agua CE-CCA-001/89*. 1989.
- [6] SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, *NOM-001-SEMARNAT-2021, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN CUERPOS RECEPTORES PROPIEDAD DE LA NACIÓN*. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/convencion-sobre-los-humedales-de-importancia>



- [7] Servicio Meteorológico Nacional, “Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia”. Consultado: el 28 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- [8] Secretaría de Economía, Análisis de agua-enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia Coli-método del número más probable en tubos múltiples (cancela a la NMX-AA-42-1987).
- [9] Y. M. Barahona Castillo, J. A. Luna Fontalvo, y I. M. Romero Borja, “Bacteriological quality of the water of the manaure and casacara rivers, department of Cesar, Colombia”, *Revista Luna Azul*, vol. 46, pp. 106–124, ene. 2018, doi: 10.17151/LUAZ.2018.46.7.
- [10] J. M. Baquerizo Figueroa, L. G. Sandoval Santos, N. E. Lectong Cusme, N. M. Quiñonez Becerra, V. Y. Parrales Mendoza, y L. W. Moreira Obregón, “Caracterización física del agua del río Jama, Manabí, Ecuador.”, *Revista Científica Dominio de las Ciencias*, vol. 10, núm. 2, pp. 74–85, mar. 2024, doi: 10.23857/dc.v10i2.3792.
- [11] M. C. Arango, L. F. Álvarez, G. A. Arango, O. E. Torres, y A. de J. Monsalve, “CALIDAD DEL AGUA DE LAS QUEBRADAS LA CRISTALINA Y LA RISARALDA, SAN LUIS, ANTIOQUIA”, *Revista EIA*, pp. 121–141, 2008, Consultado: el 10 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149216913009>
- [12] C. Campos-Pinilla, M. Cárdenas-Guzmán, y A. Guerrero-Cañizares, “PERFORMANCE OF FAECAL CONTAMINATION INDICATORS IN DIFFERENT TYPE OF WATERS FROM THE SABANA OF BOGOTÁ (COLOMBIA)”, *Univ Sci (Bogota)*, vol. 13, núm. 2, pp. 103–108, 2008, [En línea]. Disponible en: www.javeriana.edu.co/universitas_scientiarum
- [13] A. L. Barrios y N. Cañizares, “ESTUDIO PRELIMINAR DE LA CALIDAD BACTERIOLÓGICA DE LAS AGUAS DEL RÍO NEVERÍ, BARCELONA, VENEZUELA”, *Geografía*, 2001, [En línea]. Disponible en: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:126939516>
- [14] G. Pauta-Calle, G. B. Vázquez G., A. F. Abril T., C. S. Torres I., M. C. Loja-Sari, y A. J. Palta-Vera, “Indicadores bacteriológicos de contaminación fecal en los ríos de Cuenca, Ecuador”, *MASKANA*, vol. 11, núm. 2, pp. 46–57, dic. 2020, doi: 10.18537/mskn.11.02.05.
- [15] Gobierno de México., NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. 2021.
- [16] F. E. Jaya Cabrera, “ESTUDIO DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL AGUA DEL RIO TABACAY Y SU VINCULACIÓN CON LA COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO EN LA MICROCUENCA.”, Licenciatura, Universidad de Cuenca, Ecuador, 2017.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.