

SUPERVIVENCIA DE *ESCHERICHIA COLI* Y *SALMONELLA* TYPHIMURIUM EN AGUA RECREATIVA DE RÍO

SURVIVAL OF *ESCHERICHIA COLI* AND *SALMONELLA* TYPHIMURIUM IN RECREATIONAL RIVER WATER

María de Jesús **Moreno-Montoya**¹; Irvin **González-López**²; Cristóbal **Chaidez-Quiroz**³ y Osvaldo **López-Cuevas**⁴

Resumen

En México, la utilización de los ríos como centros recreativos impulsa la economía regional, sin embargo, la mayoría de éstos no cumplen con la seguridad y calidad del agua, por lo que cada día se incrementa el riesgo microbiológico derivado de malas prácticas de higiene y las descargas de desechos industriales y urbanos, quedando la salud pública expuesta debido a la deficiencia en el

monitoreo de patógenos asociados a brotes infecciosos. *Escherichia coli* (*E. coli*) y *Salmonella* Typhimurium (*S. Typhimurium*) presentan alta prevalencia en ríos de Sinaloa, son consideradas indicadores de contaminación, y son de las principales causantes de infecciones gastrointestinales a nivel mundial, por su capacidad de sobrevivir en numerosos entornos naturales. Por ello, en esta investigación, se evaluó la supervivencia

¹ Profesora de Tiempo Completo. Universidad Autónoma de Occidente Unidad Regional Los Mochis, Sinaloa, México. Boulevard Macario Gaxiola y Carretera Internacional S/N, Colonia Las Malvinas CP 81216. Número de teléfono 6681373971. Correo electrónico mjmore@gmail.com y maria.moreno@uadeo.mx

² Estudiante de Doctorado en Ciencias. Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria (LANIIA – CIAD). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera a Eldorado Km. 5.5, AP 32-A, Campo El Diez, Culiacán, Sinaloa CP 80110, México. Número de teléfono 6871255117. Correo electrónico irvin.gonzalez@estudiantes.ciad.mx

³ Investigador y Director del Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria (LANIIA – CIAD). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera a Eldorado Km. 5.5, AP 32-A, Campo El Diez, Culiacán, Sinaloa CP 80110, México. Número de teléfono 6672246438. Correo electrónico chaqui@ciad.mx

⁴ Investigador. Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria (LANIIA – CIAD). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera a Eldorado Km. 5.5, AP 32-A, Campo El Diez, Culiacán, Sinaloa CP 80110, México. Número de teléfono 66 72672848. Correo electrónico Osvaldo.lopez@ciad.mx

de ambas bacterias en agua recreativa del río Fuerte, San José de Ahome, Sinaloa, México. Para determinar la supervivencia bacteriana se utilizaron muestras de agua de dos ubicaciones del río, previo y posterior al periodo vacacional de semana santa 2019. A cada muestra se le determinó la concentración de sólidos disueltos totales, y fue inoculada con *E. coli* y *S. Typhimurium* de manera independiente, a una concentración de $6 \text{ Log}_{10} \text{ UFC mL}^{-1}$, simulando las condiciones del río en el laboratorio. Para esto, ambas bacterias fueron evaluadas cada 48 h mediante la técnica de extensión en placa. Los resultados obtenidos mostraron que ambas bacterias previo al periodo de semana santa sobrevivieron 12 días, con $6.2 \times 10^1 \text{ UFC mL}^{-1}$ y $4.5 \times 10^1 \text{ UFC mL}^{-1}$ de *E. coli*, en los puntos de muestreo 1 y 2 respectivamente y, $4.66 \times 10^1 \text{ UFC mL}^{-1}$ y $5.4 \times 10^1 \text{ UFC mL}^{-1}$ de *S. Typhimurium* en los puntos de muestreo 1 y 2, respectivamente; asimismo, posterior al periodo vacacional sobrevivieron $1.2 \times 10^2 \text{ UFC mL}^{-1}$ hasta el día 16 y 4 UFC mL^{-1} hasta el día 20 de *E. coli* en los puntos de muestreo 1 y 2, respectivamente, también $1.65 \times 10^2 \text{ UFC mL}^{-1}$ hasta el día 16 y 22 UFC mL^{-1} de *S. Typhimurium* hasta el día 22, en los puntos de muestreo 1 y 2, respectivamente. Por medio de comparación de medias con la prueba de Tukey, se demostró que hay diferencias significativas entre la supervivencia de *E. coli* y *S. Typhimurium* en las fechas de muestreo, lo cual podría atribuirse a la capacidad de utilización de nutrientes, derivado de los desechos orgánicos generados por la afluencia humana.

Palabras clave: agua de río, afluencia, desechos.

Abstract

In Mexico, the use of rivers as recreational centers drives the regional economy, however, most of these do not comply with the safety and quality of the water, therefore the microbiological risk derived from poor

hygiene practices and discharges of industrial and urban waste increases every day, leaving public health exposed due to the deficiency in the monitoring of pathogens associated with infectious outbreaks. *Escherichia coli* (*E. coli*) and *Salmonella* Typhimurium (*S. Typhimurium*) have a high prevalence in rivers of Sinaloa, they are considered indicators of contamination and are of the main causes of gastrointestinal infections worldwide, due to their ability to survive in numerous natural environments. Therefore, in this research, the survival of both bacteria in recreational water from the Fuerte River, San José de Ahome, Sinaloa, Mexico, was evaluated. To determine bacterial survival, water samples from two river locations were used, before and after the 2019 Easter holiday period. The concentration of total dissolved solids was determined for each sample, and these were inoculated with *E. coli* and *S. Typhimurium* independently, at a concentration of $6 \text{ Log}_{10} \text{ CFU mL}^{-1}$, simulating river conditions in the laboratory. For this, both bacteria were evaluated every 48 h using the plate extension technique. The results obtained showed that both bacteria prior to the Easter period survived 12 days, with $6.2 \times 10^1 \text{ CFU mL}^{-1}$ and $4.5 \times 10^1 \text{ CFU mL}^{-1}$ of *E. coli* at sampling points 1 and 2, respectively and, $4.66 \times 10^1 \text{ CFU mL}^{-1}$ and $5.4 \times 10^1 \text{ CFU mL}^{-1}$ of *S. Typhimurium* at sampling points 1 and 2, respectively; likewise, after the holiday period they survived $1.2 \times 10^2 \text{ CFU mL}^{-1}$ until day 16 and 4 CFU mL^{-1} until day 20 of *E. coli* at sampling points 1 and 2, respectively, also $1.65 \times 10^2 \text{ CFU mL}^{-1}$ until day 16 and 22 CFU mL^{-1} until day 22 of *S. Typhimurium*, at sampling points 1 and 2, respectively. By comparison of means with the Tukey test showed that, there are significant differences between the survival of *E. coli* and *S. Typhimurium* in the sampling dates, which could be attributed to the capacity to use nutrients, derived from the organic waste generated by human influx.

Key words: river water, influx, waste.

INTRODUCCIÓN

Los ríos y arroyos de México constituyen una red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud, en la que destacan cincuenta ríos principales (Tabla 1 y Figura 1), por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie territorial continental del país. Por la superficie que abarcan, destacan las cuencas de los ríos Bravo y Balsas, y por su longitud destacan los ríos Bravo y Grijalva-Usumacinta. Los ríos Lerma, Nazas y Aguanaval pertenecen a la vertiente interior. Dos tercios del escurrimiento superficial pertenece a siete ríos: Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Pánuco, Santiago y Tonalá, a la vez que sus cuencas representan el 22% de la superficie de nuestro país (CONAGUA, 2011).

Tabla 1. Listado de los ríos principales por vertiente

No.	Río	Escurrimiento natural medio superficial (millones de m ³ /año)	Vertiente
1	Balsas	16 587	Pacífico y Golfo de California
2	Santiago	7 849	Pacífico y Golfo de California
3	Verde	5 937	Pacífico y Golfo de California
4	Ometepe	5 779	Pacífico y Golfo de California
5	El Fuerte	5 176	Pacífico y Golfo de California
6	Papagayo	4 237	Pacífico y Golfo de California
7	San Pedro	3 417	Pacífico y Golfo de California
8	Yaqui	3 163	Pacífico y Golfo de California
9	Culiacán	3 122	Pacífico y Golfo de California
10	Suchiate	2 737	Pacífico y Golfo de California
11	Ameca	2 236	Pacífico y Golfo de California
12	Sinaloa	2 100	Pacífico y Golfo de California
13	Armería	2 015	Pacífico y Golfo de California
14	Coahuayana	1 867	Pacífico y Golfo de California
15	Colorado	1 863	Pacífico y Golfo de California
16	Baluart	1 838	Pacífico y Golfo de California
17	San Lorenzo	1 680	Pacífico y Golfo de California
18	Acaponeta	1 438	Pacífico y Golfo de California
19	Piaxtla	1 415	Pacífico y Golfo de California

20	Presidio	1 250	Pacífico y Golfo de California
21	Mayo	1 232	Pacífico y Golfo de California
22	Tehuantepec	950	Pacífico y Golfo de California
23	Coatán	751	Pacífico y Golfo de California
24	Tomatlán	668	Pacífico y Golfo de California
25	Marabasco	648	Pacífico y Golfo de California
26	San Nicolás	543	Pacífico y Golfo de California
27	Elota	506	Pacífico y Golfo de California
28	Sonora	408	Pacífico y Golfo de California
29	Concepción	123	Pacífico y Golfo de California
30	Matape	90	Pacífico y Golfo de California
31	Tijuana	78	Pacífico y Golfo de California
32	Sonoyta	16	Pacífico y Golfo de California
33	Grijalva-Usumacinta	115 536	Golfo de México y Mar Caribe
34	Papaloapan	44 662	Golfo de México y Mar Caribe
35	Coatzacoalcos	28 093	Golfo de México y Mar Caribe
36	Pánuco	20 330	Golfo de México y Mar Caribe
37	Tonalá	11 389	Golfo de México y Mar Caribe
38	Tecolutla	6 095	Golfo de México y Mar Caribe
39	Bravo	5 588	Golfo de México y Mar Caribe
40	Jamapa	2 563	Golfo de México y Mar Caribe
41	Nautla	2 217	Golfo de México y Mar Caribe
42	La Antigua	2 139	Golfo de México y Mar Caribe
43	Soto La Marina	2 086	Golfo de México y Mar Caribe
44	Tuxpan	2 076	Golfo de México y Mar Caribe
45	Candelaria	2 011	Golfo de México y Mar Caribe
46	Cazones	1 712	Golfo de México y Mar Caribe
47	San Fernando	1 545	Golfo de México y Mar Caribe
48	Hondo	533	Golfo de México y Mar Caribe
49	Lerma	4 742	Interior
50	Nazas-Aguanaval	1 912	Interior
Total		336 948	

Fuente: Conagua Subdirección General Técnica.



desembocadura en aguas continentales representaron un riesgo para la salud (González et al., 2016); así también en las riberas del río Fuerte, Sinaloa, se han visto incrementadas las cantidades de basura durante los fines de semana, por la gran afluencia de visitantes (Jolie, 2019); y de acuerdo con Chaidez et al. (2020) y Medrano et al. (2017), se demostró la habilidad de diferentes cepas de *Salmonella* para adaptarse y sobrevivir en ríos de Sinaloa.

La contaminación fecal es el principal riesgo sanitario en el agua, debido a la incorporación de microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades en humanos. Por ello, el control sanitario de riesgos microbiológicos es tan importante, y constituye una medida sanitaria básica para mantener un grado de salud adecuado en la población (Ramos et al., 2008). El monitoreo para un grupo de patógenos puede dar una falsa impresión de seguridad, si otros patógenos no identificados están presentes (Ríos et al., 2017). Para determinar la contaminación por patógenos en el agua de río, se toma como indicador a los coliformes fecales, donde el límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas al suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 Número Más Probable de Coliformes fecales por cada 100 mililitros (NMP/100 mL) para el promedio mensual y diario, respectivamente, de acuerdo a lo especificado en la NOM-001-SEMARNAT-1996 (que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales). Se han utilizado una serie de indicadores de contaminación fecal (Larrea et al., 2013) de los cuales, *Escherichia coli* es de los principales causantes de infecciones gastrointestinales (Bush, 2020; Gatti, 2014) en América Latina, África y Asia, principalmente en niños menores de 5 años, y una de las principales causas de muerte en poblaciones pobres de África y el sudeste asiático (Gómez, 2014). Se tienen registros que mueren en el mundo entre 0.8 y 2 millones de niños, siendo la segunda causa de muerte, después de las infecciones respiratorias (Gómez, 2014). Igualmente, las infecciones originadas por *Salmonella*, causan aproximadamente 1.4 millones de casos de enfermedades transmitidas por alimentos y más de 400 muertes anualmente en los Estados Unidos (USDA, 2011). *Salmonella entérica* presenta más de 2,600 serotipos en los seres humanos, de los cuales Typhimurium y Enteritidis lideran los reportes de brotes diarreicos (Contreras-Soto et al., 2019). Los serotipos de *Salmonella entérica* son capaces de crecer y sobrevivir en numerosos entornos naturales, al detectar y responder al estrés ambiental (Spector y Kenyon, 2012) y, aunque el número de enfermedades gastrointestinales asociados con el uso de aguas recreativas es desconocido, la frecuencia de estudios sobre la presencia de parásitos y otros patógenos en el agua ha aumentado (Magana et al., 2010).

El presente trabajo de investigación se realizó para comparar *in vitro* la supervivencia de las bacterias *E. coli*, y *S. Typhimurium* inoculadas en muestras

de agua de uso recreativo del río Fuerte, San José de Ahome, Sinaloa, tomadas antes y después del periodo de semana Santa 2019, y relacionarlo con la cantidad de sólidos totales presentes en el agua recreativa del río, en referencia a la generación de microorganismos, por la afluencia de sus visitantes.

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

El río Fuerte se localiza al noroeste de México, dentro del distrito de riego número 10, del estado de Sinaloa. Tiene sus orígenes en el estado de Chihuahua, desciende por la Sierra Madre Occidental y desemboca por el estado de Sinaloa hacia el Océano Pacífico, en el Golfo de California (SEMARNAT, 2016). La principal actividad de esta región es la agricultura y en algunos sitios, como San José de Ahome se llevan a cabo actividades recreativas, principalmente en semana santa, por ser utilizado como centro balneario de un gran porcentaje de la población.

Se seleccionaron dos puntos de muestreo 1 y 2; (Figura 2) con base en la afluencia de visitantes por temporada, con coordenadas $25^{\circ}56'37.14''\text{N}$, $109^{\circ}16'04.19''\text{O}$ y $25^{\circ}56'33.324''\text{N}$, $109^{\circ}16'02.382''\text{O}$, respectivamente. Se llevaron a cabo dos muestreos, el día 17 de febrero y el 23 de abril de 2019, previo y posterior al periodo de semana santa, respectivamente.



Figura 2. Ubicación geográfica de puntos de muestreo. Río Fuerte, San José de Ahome, Sinaloa.

Las muestras se recolectaron en los márgenes del río, a una profundidad de 30 centímetros, en contenedores de polietileno, previamente estériles. Posteriormente, se colocaron dentro de una hielera refrigerada, a una temperatura de 4 a 8 °C, evitando en todo momento la contaminación de las muestras, las cuales se transportaron de inmediato a las instalaciones de la Universidad Autónoma de Occidente Unidad Regional Los Mochis, para realizar los análisis correspondientes. Se realizaron determinaciones de sólidos disueltos totales, reportados en miligramos por litro (mg/L), de acuerdo a la American Public Health Association (APHA, por siglas en inglés) (2017), para lo cual se utilizó un horno de secado (Felisa FE 291) y una balanza electrónica (CHIMADZU AY220). Para determinar la supervivencia en agua de río, se utilizaron las cepas de *Escherichia coli*, (ATCC 25922) y *Salmonella* Typhimurium (ATCC 14028), obtenidas del cepario del Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria (LANIA), del Centro de Investigación y Alimentación y Desarrollo (CIAD) Coordinación Culiacán, Sinaloa. Las cepas se encontraban almacenadas a -80 °C en crio-preservación. Para la reactivación se utilizó un asa de platino estéril, tomando una muestra de cada bacteria y se inoculó por separado en 5 mL de Caldo de Soya Trypticaseína (TSB, por siglas en inglés) contenidos en tubos de cultivo y, se incubaron a 37 °C por 24 h (Microbank, ProLab Diagnostics, U.S.A.). Para confirmar la presencia de colonias con características de *E. coli* y *S. Typhimurium*, se tomó una muestra de cada suspensión bacteriana, fueron estriadas en Agar XLD y Agar MacConkey (BD Bioxon, México) respectivamente, y se incubaron a 37 °C por 24 h. Una vez reactivadas, se tomó una colonia característica de cada una y se cultivaron en 50 mL de TSB, se incubaron a 37 °C durante 24 h bajo condiciones aerobias (incubadora Shel Lab SM16). Posterior a la incubación, la suspensión celular se purificó dos veces por centrifugación a 10,000 gravedades (*g*) por 10 minutos (centrifuga Thermo Scientific Leyend XTR). Las bacterias *E. coli* y *S. Typhimurium*, fueron inoculadas en un litro de agua recreativa obtenida del río Fuerte, contenidos en vasos de precipitado de vidrio, para los dos puntos de muestreo y periodos de muestreo (previo y posterior a semana santa). Se homogeneizaron suavemente con el uso de un agitador magnético en una parrilla eléctrica (IKA C-MAGHS10), y se colocaron cerca de la luz del sol, para simular características cercanas a las que se exponen en el agua del río. La concentración inoculada fue de 6 Log₁₀ en Unidades Formadoras de Colonia por mililitro (UFC mL⁻¹). Posteriormente, se realizaron recuentos bacterianos cada 48 horas. Se efectuaron diluciones seriadas de 1/10, 1/100, 1/1000, 1/10000, 1/100000 y 1/1000000, en tubos de ensayo con 9 mL de agua purificada estéril. Se usaron placas de Petri, conteniendo agar de bilis y rojo violeta como medio de cultivo; se utilizó un control negativo, conteniendo agua estéril sin inocular para verificar la esterilidad, con el método de siembra de extensión superficial en placa. Las placas inoculadas se incubaron a una temperatura de 35 ± 2 °C, de 18 a 24 h para ambas bacterias (MCD-Lab,

2012), en una incubadora (Felisa FE 132). Para cuantificar las bacterias en UFC mL⁻¹ de agua recreacional del río, se utilizó un contador de colonias (Felisa FE 500).

Se realizaron cinco determinaciones de sólidos disueltos totales en cada uno de los puntos de muestreo, tanto previo, como posterior al periodo vacacional y, tres determinaciones de cada bacteria, por día.

Para evaluar el efecto de las variables (periodo de semana santa y puntos de muestreo) sobre los parámetros involucrados en la supervivencia bacteriana del agua recreacional (% sólidos disueltos totales y conteo bacteriano), se realizó un diseño experimental de factorial al azar con dos factores y dos niveles cada uno, tomando como factores a las variables y como respuestas o variables de respuesta a los parámetros, para cada bacteria. El análisis e interpretación de los resultados, se llevó a cabo por medio de comparación de medias de los tratamientos con el uso de la Prueba de Tukey, para las variables en la sobrevivencia de *E. coli* y *S. Typhimurium* (en Log₁₀ UFC mL⁻¹), mediante el uso del paquete estadístico SAS 2002, versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del promedio de las 5 repeticiones realizadas en cada uno de los puntos de muestreo, demostraron que los valores de sólidos disueltos totales posterior al periodo de semana santa fueron superiores aproximadamente 180 veces en comparación con los obtenidos previo a este periodo (Tabla 2).

Tabla 2. Sólidos disueltos totales del agua recreacional del Río Fuerte

Respecto al periodo de semana santa	Punto de muestreo	Hora de muestreo	Sólidos disueltos totales (mg/L)
PREVIO	1	12:18	5.467
	2	12:55	5.868
POSTERIOR	1	11:06	930
	2	11:24	1100

Fuente: Elaboración propia.

El análisis estadístico mostró que hay diferencias significativas de los resultados, entre los muestreos previos y posteriores del período vacacional, dado el valor de $P < 0.0001$, con 95 % de confiabilidad ($\alpha=0.05$).

Los sólidos disueltos totales son material soluble constituido por sales inorgánicas y materia orgánica que puede ser una fuente importante de compuestos tóxicos y afectar el crecimiento microbiano (Medrano et al., 2017). De acuerdo con los resultados generados de las muestras de agua del río Fuerte, se puede apreciar que no se afectó el desarrollo bacteriano, para este caso, por el contrario, aumentaron (Tabla 3). El incremento de los sólidos disueltos totales podría estar propiciado por la acentuación de los residuos generados por la afluencia humana durante el periodo vacacional 2019.

Con respecto a los resultados de conteos bacterianos, el análisis estadístico indicó que hay diferencias significativas en la supervivencia de las bacterias *E. coli* y de *S. Typhimurium*, entre los muestreos previos y posteriores del período vacacional de cada bacteria, dado el valor de $P < 0.0001$, con 95 % de confiabilidad ($\alpha=0.05$), y R^2 de 0.8404.

Tabla 3. Conteos bacterianos en el agua recreacional *in vitro* del Río Fuerte

Respecto al periodo de semana santa	Día	UFC mL ⁻¹ <i>E. coli</i>		UFC mL ⁻¹ <i>S. Typhimurium</i>	
		Punto de muestreo 1	Punto de muestreo 2	Punto de muestreo 1	Punto de muestreo 2
PREVIO	0	1.21X10 ⁶	2.4X10 ⁶	3.05X10 ⁶	7.8X10 ⁶
	2	8.54X10 ⁸	5.055X10 ⁸	3.13X10 ⁸	3.82X10 ⁸
	4	9.03X10 ⁸	9.1X10 ⁸	1.27X10 ⁸	9.75X10 ⁸
	6	6.72X10 ⁶	1.43X10 ⁶	1.685X10 ⁶	9.98X10 ⁶
	8	5.25X10 ⁴	1.175X10 ⁴	9.5X10 ⁴	4.1X10 ⁴
	10	1.22X10 ²	1.55X10 ²	1.61X10 ²	1.68X10 ²
	12	6.2X10 ¹	4.5X10 ¹	4.66X10 ¹	5.4X10 ¹
POSTERIOR	14	0	0	0	0
	0	2.32X10 ⁶	2.37X10 ⁶	6.15X10 ⁶	2.09X10 ⁶
	2	1.35X10 ⁸	4.37X10 ⁸	6.23X10 ⁷	4.26X10 ⁷
	4	2.72X10 ⁹	9.95X10 ⁷	7.06X10 ⁷	3.46X10 ⁷
	6	5.21X10 ⁹	8.25X10 ⁷	8.45X10 ⁶	8.53X10 ⁸

8	3.74×10^8	5.43×10^9	6.12×10^7	1.43×10^9
10	1.58×10^7	2.51×10^9	5.4×10^6	1.46×10^7
12	2.37×10^6	2.39×10^8	7.61×10^5	2.58×10^5
14	6.08×10^4	4.56×10^7	9.12×10^3	7.96×10^4
16	1.2×10^2	3.81×10^4	1.65×10^2	3.74×10^2
18	0	1.8×10^2	0	22
20	0	4	0	0
22	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los conteos bacterianos en el tiempo, se muestran en la Figura 1.

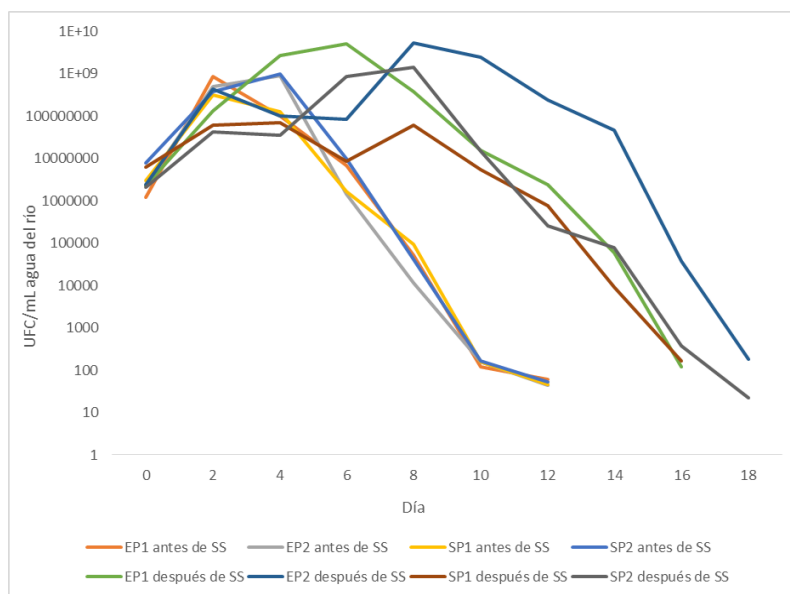


Figura 1. Resultados de los conteos bacterianos en el tiempo.

Donde: E es *E. coli*,

S es *S. typhimurium*

P1 es el punto de muestreo 1,

P2 es el punto de muestreo 2 y

SS es el periodo vacacional de semana santa

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observó que para la supervivencia de *E. coli* y *S. Typhimurium*, en el agua del río muestreada previo a semana santa de los dos puntos de muestreo evaluados, ambas bacterias presentaron un descenso gradual en las concentraciones de UFC mL⁻¹ después del día 6, hasta los 12 días cuando su presencia fue nula. En la evaluación posterior a semana santa, la supervivencia de *E. coli* en el punto 1 disminuyó gradualmente a partir del día 14, sobreviviendo hasta el día 16, a diferencia del punto 2, en el cual, la disminución fue desde el día 16, y la supervivencia duró hasta el día 20. Por otra parte, *S. Typhimurium* presentó una disminución a partir el día 12, permaneciendo viable durante los días 16 y 18 posteriores a la inoculación en el agua evaluada de los puntos 1 y 2 respectivamente. Se aprecia que la supervivencia bacteriana tanto de *E. coli* como de *S. Typhimurium* fue alrededor de una semana más en el muestreo posterior de semana santa, comparado con el previo. Por otro lado, en un análisis observacional, se determinó que el agua muestreada posterior a semana santa se encontraba más turbia, esto debido al movimiento constante del agua por parte de los bañistas, así como la acumulación de residuos de desechos arrojados al río (basura o residuos fecales). Se presume que ambas bacterias aprovecharon las fuentes de carbono derivadas de los desperdicios generados por los usuarios del agua recreativa del río Fuerte, lo que concuerda con (De la Cruz et al., 2015), quienes manifiestan que los microorganismos son capaces de utilizar nutrientes y diversos elementos que otros organismos superiores no pueden hacer. De acuerdo con (White, 2013), la materia orgánica disuelta derivada de la descomposición de la vegetación, constituyen el 10% del total de la materia orgánica disuelta, en donde la glucosa es generalmente la más abundante de los monosacáridos. En este sentido, Medrano et al. (2017) y González et al. (2021) mencionan que *Salmonella* es capaz de utilizar una diversidad de fuentes de carbono en el agua de río derivados de materia orgánica, lo que les permite extender sus periodos de supervivencia en estos ambientes y el establecimiento de posibles nichos microbianos. Por lo que la aportación constante de nutrientes presentes en los residuos orgánicos en el agua de río, será una condicionante para la supervivencia y establecimiento de microorganismos de interés en salud pública como *Salmonella* y *E. coli* (Torres et al., 2016). En estudios similares, se observó que *Salmonella Typhi* y *Salmonella Enteritidis* fueron capaces de sobrevivir en agua potable estéril a una concentración de 3×10^8 UFC mL⁻¹ por periodos de 160 min y 10 h, respectivamente (Moya et al., 2013). En el presente trabajo se demostró que *E. coli* y *S. Typhimurium* son capaces de sobrevivir periodos aproximados de 22 días en el agua de uso recreativo del río Fuerte, ya que presenta condiciones idóneas como considerables concentraciones de materia orgánica que sirve de suministro constante de nutrientes. También existen otros factores que influyen en la supervivencia bacteriana, como el tipo de cepa o serotipo bacteriano, la ruta de contaminación o condiciones climáticas (Torres et al., 2016). En este sentido,

De la Cruz et al. (2015) señalaron que la supervivencia es una función de factores biológicos y físicos que interactúan con las poblaciones microbianas, desarrollando múltiples actividades funcionales. Así también, la temperatura es uno de los factores climáticos considerado como favorable para la supervivencia bacteriana, ya que la mayoría de los serotipos de *Salmonella* crecen en un rango de temperatura desde 5 a 47 °C, con una temperatura óptima de 35 a 37 °C (González et al., 2014).

Se considera la supervivencia por periodos de tiempos más prolongados de *E. coli* y *S. Typhimurium*, en el agua recreativa del río Fuerte, San José de Ahome, Sinaloa, por la mayor cantidad de sólidos presentes, dado el incremento de los desperdicios en el agua del río.

CONCLUSIONES

La presente investigación demostró que *E. coli* y *S. Typhimurium* son capaces de sobrevivir prolongados periodos de tiempo en agua de uso recreativo del río Fuerte posterior al periodo vacacional de semana santa, por lo que es considerable establecer medidas preventivas que impidan el establecimiento y reproducción de microorganismos patógenos, evitando así la acumulación de desechos orgánicos en los cuerpos de agua. Esto, con la finalidad de disminuir los riesgos de infecciones entéricas generadas por estos patógenos.

LITERATURA CITADA

- APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23 ed.). Baird, R., Eaton, A., and Rice, E. editors. Washington, D.C, U.S.A.: A. P. Association, Ed.
- Bush, L. M. (2020). *Infecciones por Escherichia coli*. Obtenido de MANUAL MSD Versión para profesionales.
- Bustamante-González, A., Galindo-De Jesús, G., Jaramillo-Villanueva, J. L., and Vargas-López, S. (2016). Percepción de la contaminación del río Tlapaneco por la población ribereña. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13(1), 47-62.
- Chaidez-Quiroz, C., Peraza-Garay, F., Medrano-Félix, J., Castro-Del Campo, N., and López-Cuevas, O. (2020). Phenotypic traits of carbon source utilization in environmental *Salmonella* strains isolated from river water. *International Journal of Environmental Health Research*, 2 2, 1155-1163. doi:10.1080/09603123.2020.1849578.

- CONAGUA. (2011). Ciclo hidrológico. En Conagua, and S. d. Naturales (Ed.), *Atlas del agua en México 2011* (págs. 45-47). Tlalpan, Ciudad de México, México. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/Conagua07/Publicaciones/Publicaciones/S GP-18-11.pdf>.
- Contreras-Soto, M. B., Medrano-Félix, J. A., Ibarra-Rodríguez, J. R., Martínez-Urtaza, J., Chaidez Quiroz, C., and Castro-del Campo, N. (2019). Los últimos 50 años de *Salmonella* en México: Fuentes de aislamiento y factores que influyen en su prevalencia y diversidad. *Revista Bio ciencias*, 6, 1-26. Obtenido de <https://doi.org/10.15741/revbio.06.nesp.e540The>.
- De la Cruz-Leyva, M., Zamudio-Maya, M., Corona-Cruz, A., González-de la Cruz, J. U., and A., R.-H. R. (2015). Importancia y estudios de las comunidades microbianas en los recursos y productos pesqueros. *Ecosistemas y recur. agropecuarios*, 2 (4).
- EPA. (2012). *¿De dónde proviene el agua potable?* (E. USA, Ed.) Obtenido de Environmental Protection Agency.
- Espinosa García, A. C., Aguilar Medina, M. J., and Mazari Hiriart, M. (2010). Calidad, una limitante más para la disponibilidad del agua. En A. Aguilar Ibarra, and I. d. UNAM (Ed.), *CALIDAD DEL AGUA Un enfoque multidisciplinario* (Primera ed., págs. 25-50). Ciudad de México, México.
- Gatti, P., Assuncao, A., Baldin, J., and Amaral, L. (2014). Microbiological quality of whole and filleted shelf-tilapia. *Aquaculture*, 196-200.
- Gómez-Duarte, O. (2014). Enfermedad diarreica aguda por *Escherichia coli* enteropatógenas en Colombia. *Revista Chilena de Infectología*, 31(5). doi:10.4067/S0716-10182014000500010.
- González, L., Trigueros, J. A., Rodríguez, H. B., Ávila, J. A., and Arciniega, M. A. (2016). Calidad del agua: Caracterización Espacial en Épocas de Sequía en el Río Fuerte, Sinaloa, México. *Ciencia desde el Occidente*, 3(1), 35-47.
- González, P., Pereira, S. S., Hernández, A., and Villarreal, C. (2014). Aislamiento microbiológico de *Salmonella* spp. y herramientas moleculares para su detección. *Salud Uninorte*, 30(1), 73-94. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/817/81730850009.pdf>.
- González-López, I., Medrano-Félix, J. A., Castro-Del Campo, N., López-Cuevas, O., Ibarra Rodríguez, J. R., Martínez-Rodríguez, C., and Chaidez-Quiroz, C. (2021). Metabolic plasticity of *Salmonella* enterica as adaptation strategy in river water. *International Journal of Environmental Health*

- Research, 1(13). Obtenido de <https://doi.org/10.1080/09603123.2021.1896682>.
- Guzmán, G., Ramírez, E., Thalasso, S., and Rodríguez, S. (2011). Evaluación de contaminantes en agua y sedimentos del río San Pedro en el estado de Aguascalientes. *Universidad y Ciencia*, 27(1), 17-32.
- Jolie, M. (2019). Visitantes convierten en basurero el río Fuerte. *El Debate*. Obtenido de: <https://www.debate.com.mx/losmochis/Visitantes-convierten-en-basurero-el-río-Fuerte-20190618-0027.html>
- Larrea-Murrell, J. A., Rojas-Badía, M. M., Romeu-Álvarez, B., Rojas-Hernández, N. M., and Heydrich-Pérez, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 44(3), 24-34.
- Magana-Ordorica, D., Mena, K., Valdez-Torres, J., Soto-Beltran, M., Leon-Felix, J., and Chaidez-Quiroz, C. (2010). Relationships between the occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* and physicochemical properties of marine waters at the Pacific Coast of Mexico. *Journal of Water and Health*, 8(4), 797-802. doi:<https://doi.org/10.2166/wh.2010.130>.
- MCD-Lab. (2012). *Agar bilis y rojo violeta Ficha técnica*. Obtenido de <https://mcd.com.mx/>.
- Medrano-Félix, J., Castro-del Campo, N., Peraza-Garay, F., Martínez-Rodríguez, C., and Chaidez, C. (2017). Carbon source utilization-based metabolic activity of *Salmonella* Oranienburg and *Salmonella* Saintpaul in river water. *Water and Environment Journal*, 32(1), 118–124.
- Mendoza, E. (2014). *Contaminados, siete de cada 10 ríos de México*. Obtenido de Contralinea.com.mx.
- Moya, R., Alvarado, P., and Vásquez, N. (2013). Supervivencia de *Salmonella typhi* y *Salmonella enteritidis* en agua potable de cuatro distritos de Trujillo. *REBIOLEST*, 1(2), 34-42.
- Ramos-Ortega, L., Vidal, L., Vilarly, S., and Saavedra-Díaz, L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Martha, Caribe Colombiano. *Acta biol. Colomb*, 13(3), 87-98.
- Ríos Tobón, S., Agudelo Cadavid, R., and Gutiérrez Builes, L. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. doi:<https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>.
- SEMARNAT. (2016). *Diario Oficial. Primera Sección*. Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- Spector, M. P., and Kenyon, W. (2012). Resistance and survival strategies of *Salmonella enterica* to environmental stresses. *Food Research International*, 45, 455-481.
- Torres-Aguilar, V., Manjarrez-Domínguez, C., Acosta-Muñoz, C., Guerrero-Prieto, V., Parra-Quezada, R., Noriega-Orozco, L., and Ávila-Quezada, G. (2016). Interactions between *Escherichia coli* O157:H7 and food plants. Has this bacterium developed internalization mechanisms? *Revista Mexicana de Fitopatología*, 34(1), 64-83. doi:10.18781/R.MEX.FIT.1507-4.
- USDA. (2011). *Información sobre inocuidad de alimentos. Salmonella preguntas y respuestas*. Servicio de Inocuidad e Inspección de los Alimentos Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Wang, H., Li, X., and Xie, Y. (2011). Hydrochemical evaluation of surface water quality and pollution source apportionment in the Luan River basin, China. *Water Science and Technology*, 64(10). doi:10.2166/wst.2011.794. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22105137/>.
- White, W. M. (2013). *Geochemistry* (Second ed.). United Kingdom: Wiley Blackwell.

AGRADECIMIENTOS

A la Q.F.B. Célida Isabel Martínez Rodríguez. Responsable técnico del Laboratorio de Microbiología Ambiental y de Alimentos del CIAD Culiacán.

Al M.C. José Luis Valdés Vega. Responsable del Laboratorio de Alimentos de la Universidad Autónoma de Occidente Unidad Regional Los Mochis.

SÍNTESIS CURRICULAR

María de Jesús Moreno Montoya

Ingeniera Bioquímica por la Universidad Autónoma de Sinaloa Campus Culiacán, Maestra en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo Unidad Culiacán y Doctora en Ciencias en Desarrollo Sustentable de Recursos Naturales por la Universidad Autónoma Indígena de México Unidad Los Mochis. Ha trabajado en Industrias Vepinsa, S.A, de C.V., ha sido Responsable de Laboratorio y Jefa del Departamento de Ingeniería y Tecnología, Presidenta de Academia, Consejera Técnica y Docente de la Universidad

Autónoma de Occidente Unidad Regional Los Mochis. Correo electrónico: mjmore@gmail.com

Irvin González López

Licenciado en Biología por la Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Guasave. Maestría en Ciencias por el Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria, del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (LANIIA–CIAD). Estudiante de Doctorado en Ciencias LANIIA–CIAD. Correo electrónico irvin.gonzalez@estudiantes.ciad.mx

Cristóbal Chaidez Quiroz

Químico Farmacéutico-Biólogo por la Universidad Autónoma de Sinaloa Unidad Culiacán. Maestro y Doctor en Ciencias por la Universidad de Arizona, Tucson, EUA. Nivel 3 del Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Ha sido Director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Unidad Culiacán, Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, Editor de la revista científica “International Journal of Environmental Health Research”, Miembro de comité de asesores científicos de las empresas Clorox, Consultor experto de la FAO, Miembro del consejo directivo de la CANACINTRA). Profesor Investigador y Director del Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria (LANIIA-CIAD), Miembro Honorífico del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos, Miembro del Comité de Ciencia y Tecnología del COBAES, Miembro de la Junta Directiva de la Ciudad Educadora del Saber de Sinaloa. Correo electrónico chaqui@ciad.mx

Osvaldo López Cuevas

Químico Farmacéutico-Biólogo por la Universidad Autónoma de Sinaloa, Unidad Culiacán. Maestría y Doctorado en Ciencias por el Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria, del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (LANIIA–CIAD). Profesor Investigador del LANIIA–CIAD. Correo electrónico osvaldo.lopez@ciad.mx