

EN

Identification of enterobacteria in the drinking water from the eastern part of the State of Mexico

ES

Identificación de enterobacterias en el agua potable del oriente del Estado de México

Hilda Loza-Rodríguez; María Edith Nava-Méndez; Erika Contreras-Nuñez*

¹Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl, Laboratorio de Microbiología Experimental, División de Tecnología Ambiental, Circuito Universidad s/n, Rey Neza, C. P. 57000, Nezahualcóyotl, Estado de México.

Abstract

*Corresponding author:
bioexp_econe@live.com.mx;
erika.contrerasnu@utn.edu.mx

Received: December 21, 2022

Accepted: February 5, 2023

DOI:

10.5154/r.rchsagt.2023.03.03

The microbial burden of a drinking water sample is an indicator of biological pollution that puts at risk human health of people that consume it, for this, it is essential to guarantee this resource quality, which is important for the domestic consumption and functioning and continuity of the agricultural and industrial activities. This research was aimed at analyzing the microbial burden in drinking water of the municipalities of Ecatepec, Nezahualcóyotl, La Paz and Chalco, of the eastern part of the State of Mexico, through the identification of total and fecal coliforms. 132 samples in triplicate of drinking water from five colonies of each municipality studied, were randomly analyzed, from which it was observed that, during the warm-dry season in 16 colonies of Nezahualcóyotl and Ecatepec, there was a microbial presence of total and fecal coliforms above the maximum permissible limit of the most probable number (MPN) that is 2 MPN/100 mL, while for the cold-humid season, 14 colonies exceeded the limit. During the morphological identification and isolation through Gram staining and methylene blue, the presence of *Escherichia coli*, *Shigella* and mesophilic aerobic microorganisms was found in the four municipalities analyzed. The high biological pollution values that were recorded, could be correlated to the increased incidence of gastrointestinal diseases present in the eastern part of the State of Mexico.

Keywords: Water, pollution, quality control.

Resumen

La carga microbiana de una muestra de agua potable es un indicador de contaminación biológica que pone en riesgo la salud de las personas que la consumen, por lo que es fundamental garantizar la calidad de este recurso; el cual es importante para consumo doméstico y para el funcionamiento y la continuidad de las actividades agrícolas e industriales. Esta investigación tuvo por objetivo, analizar la carga microbiana presente en el agua potable en los municipios de Ecatepec, Nezahualcóyotl, La Paz y Chalco, del oriente del Estado de México, mediante la identificación de coliformes totales y fecales. Se analizaron aleatoriamente 132 muestras por triplicado de agua potable de cinco colonias pertenecientes a cada uno de los municipios estudiados; de las cuales se observó que, durante la época cálida-seca en 16 colonias de Nezahualcóyotl y Ecatepec, hubo presencia microbiana de coliformes totales y fecales por arriba del límite máximo permisible del número más probable (NMP) que es de 2 NMP/100 mL, mientras que para la época fría-húmeda 14 colonias superaron el límite. Durante el aislamiento e identificación morfológica mediante tinción de Gram y azul de metileno, se encontró la presencia *Escherichia coli*, *Shigella* y mesófilos aerobios en los cuatro municipios analizados. Los altos valores de contaminación biológica que se registraron podrían estar correlacionados con el incremento en la incidencia de enfermedades gastrointestinales presentes en el oriente del Estado de México.

Palabras clave: Agua, contaminación, control de calidad.

Please cite this article as follows (APA 6): Loza-Rodríguez, H., Nava-Méndez, M. E., & Contreras-Nuñez, E. (2023). Identification of enterobacteria in the drinking water from the eastern part of the State of Mexico. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 3(1), 31-44. doi:10.5154/r.rchsagt.2023.03.03

Introduction

Fresh water throughout the world, is a scarce resource, which is threatened and is under contamination risk due to the inadequate management, which gives it unacceptable physicochemical and microbiological characteristics. According to the studies on the water balances of the world, only 0.007 % is available for its utilization and consumption (WHO, 2018; Hernández Cisneros et al., 2022). For this, it is important to decrease the vulnerability of drinking water and guarantee access to this resource. According to the standards for the water quality, it must meet physical, chemical, and microbiological parameters to guarantee its safety, in order to make it harmless and attached to the current health legislation (WHO/UNICEF, 2008; Rojas, 2002 and Bain, 2012). In this sense, water is used for domestic use and human consumption; however, it can be polluted due to the presence of fecal matter, an improperly conducted treatment, poor storage, dragging of solutes, deterioration of supply sources or due to and inadequate distribution, until its final utilization or consumption (Rios, 2017).

In Mexico, the indicators of the microbiological contamination level in drinking water for human utilization and consumption, are based on the determination of total and fecal coliforms regulated by the Mexican Official Standards NOM-127-SSA1-1994 and NMX-AA-042-SCFI-2015; (CONAGUA, 2016; Galdos, 2017). In this way, the presence of enterobacteria such as *Escherichia coli*, *Shigella*, *Salmonella* or mesophilic aerobic microorganisms indicates pollution in drinking water, because they cause gastrointestinal diseases like hemorrhagic colitis, bloody diarrhea, dysentery, invasive enteritis, typhoid, gastroenteritis, bacteremia and salmonellosis (Baker, 2018; Clements, 2012; Johnson, 2018; Lampel, 2018 and Ramos, 2008). The intensity of symptoms will depend on the susceptibility of the human host and the pathogenic capacity of bacteria (Rios, 2019; Rios, 2017 and Pulles, 2014).

In 2019, in Mexico, gastrointestinal infections were the second most common type of disease, a total of 5.4 million cases in the country was estimated, while for the State of Mexico, in 2021, 307,930 people with a disease caused by enterobacteria were admitted to hospital (Epidemiología, 2021). For this reason, the aim of this research was to assess the microbiological pollutants of medical importance in drinking water, during the warm-dry and cold-humid seasons in the municipalities of Nezahualcóyotl, Ecatepec, Chalco, and La Paz, in the eastern part of the State of Mexico, according to the Mexican Official Standards.

Introducción

El agua dulce del mundo constituye un recurso escaso, amenazado y en peligro de contaminación a causa del manejo inadecuado, lo que le confiere características fisicoquímicas y microbiológicas no aceptables. De acuerdo con los estudios sobre los balances hídricos del planeta, solamente el 0.007 % se encuentra disponible para uso y consumo (WHO, 2018; Hernández Cisneros et al., 2022). Por esta razón, es importante disminuir la vulnerabilidad del agua potable y garantizar el acceso a este recurso. De acuerdo con los estándares de la calidad del agua, debe cumplir parámetros físicos, químicos, así como microbiológicos que garanticen su inocuidad, con el fin de que sea segura y apegada a las legislaciones sanitarias vigentes (WHO/UNICEF, 2008; Rojas, 2002 y Bain, 2012). En este sentido, el agua es utilizada para uso doméstico y consumo humano; sin embargo, pueden presentar contaminación debido a la presencia de materia fecal, un tratamiento mal realizado, un mal almacenaje, arrastre de solutos, deterioro de las fuentes de abastecimiento o por una inadecuada distribución, hasta el uso o consumo final (Rios, 2017).

En México, los indicadores del grado de contaminación microbiológico en el agua potable para uso y consumo humano se basan en la determinación de coliformes totales y fecales regulados por las Normas Oficiales Mexicanas NOM-127-SSA1-1994 y NMX-AA-042-SCFI-2015; (CONAGUA, 2016; Galdos, 2017). De esta manera, la presencia de enterobacterias como *Escherichia coli*, *Shigella*, *Salmonella* o mesófilos aerobios son indicadores de contaminación en el agua potable, ya que causan enfermedades gastrointestinales tales como colitis hemorrágica, diarrea con sangre, disentería fulminante, enteritis invasora, tifoidea, gastroenteritis, bacteriemia y salmonelosis (Baker, 2018; Clements, 2012; Johnson, 2018; Lampel, 2018 y Ramos, 2008). El grado de intensidad de los síntomas dependerá de la susceptibilidad del huésped y la capacidad patogénica de las bacterias (Rios, 2019; Rios, 2017 y Pulles, 2014).

En el 2019, en México, las infecciones gastrointestinales fueron el segundo tipo de enfermedad más común, se estimaron un total de 5.4 millones de casos en el país, mientras que para el Estado de México en el año 2021 se registró un ingreso hospitalario de 307930 personas con alguna enfermedad provocada por enterobacterias (Epidemiológico, 2021). Por esta razón, el objetivo de esta investigación fue evaluar los contaminantes microbiológicos de importancia médica del agua potable durante las épocas cálida-seca y fría-húmeda en los municipios de Nezahualcóyotl, Ecatepec, Chalco y La Paz, pertenecientes al oriente del Estado de México, con base en el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas.

Materials and methods

A total of 132 samples were analyzed (random sampling in triplicate) distributed in 21 colonies from the municipalities of Nezahualcóyotl (El Sol, Agua Azul, Rey Neza, Esperanza, Gustavo Baz, La Perla); Ecatepec (Jardines de Morelos, Tulpetlac, Santa Clara, Ciudad. Azteca, Valle de Aragón); La Paz (San Vicente, Jorge Jiménez Cantú, El Salado, San Sebastián, La Magdalena) and Chalco (Alcanfores, Emiliano Zapata, San Miguel, Tres Marías, Agrarista) located in the eastern part of the State of Mexico, under the NOM-127-SSA1-1994; NOM-230-SSA1-2002; NMX-AA-042-SCFI-2015 Standards, with which the presence of microorganisms and drinking water quality were determined. Samples were taken during two Warm-Dry (summer, June-September) and Cold-Dry (autumn, September-December) seasons.

Sample collection

A simple random sampling was carried out in private homes, the position of the faucet was identified, subsequently, its external part was cleaned, it was purged by turning it on and off. For metallic faucets, the spout was heated to remove the adhered microorganisms, then, the faucet was turned on to full capacity allowing water to flow for about two minutes, finally, the sample collection was conducted until obtaining a final volume of 100 mL into previously sterilized bottles. Samples were stored at 4 °C until their processing (COFEPRIS, 2021).

Presumptive test

Series of nine tubes were prepared with Durham tubes and lactose broth (Becton Dixon Bioxon, México, N.cat: 211700) by sample in the following way: three tubes with 20 mL two-fold concentration; three tubes with 9 mL simple concentration and three tubes with 9.9 mL simple concentration. Contaminated water was used for the positive control, and for the negative control, sterile water. After the sterilization of the culture medium, the tubes with 10 mL, 1000 and 100 µL of water sample collected, were inoculated respectively. All tubes were incubated at 37 °C for 48 h (COFEPRIS, 2021).

Confirmatory test

The positive tubes (presence of turbidity and gas formation in the Durham tube) were put to a confirmatory test using 10 mL of brilliant green bile broth 2% (Becton Dixon Bioxon de México, N.cat: 212500). After the sterilization of the culture medium, the tubes were inoculated with 1000 µL of sample at 37 °C for 48 h. The concentration of the indicator microorganisms

Materiales y métodos

Se analizaron un total de 132 muestras (muestreo aleatorio por triplicado) distribuidas en 21 colonias pertenecientes a los municipios de Nezahualcóyotl (El Sol, Agua Azul, Rey Neza, Esperanza, Gustavo Baz, La Perla); Ecatepec (Jardines de Morelos, Tulpetlac, Santa Clara, Ciudad. Azteca, Valle de Aragón); La Paz (San Vicente, Jorge Jiménez Cantú, El Salado, San Sebastián, La Magdalena) y Chalco (Alcanfores, Emiliano Zapata, San Miguel, Tres Marías, Agrarista) ubicados en el oriente del Estado de México, bajo las Normas NOM-127-SSA1-1994; NOM-230-SSA1-2002; NMX-AA-042-SCFI-2015 con las cuales se determinó la presencia de microorganismos y la calidad del agua potable. Las muestras fueron tomadas durante dos épocas Cálidas – Secas (verano, junio-septiembre) y Frías – Secas (otoño, septiembre-diciembre).

Toma de muestras

Se realizó un muestreo aleatorio simple en los domicilios, se identificó la ubicación de la llave, posteriormente se limpió la parte externa de la misma, se purgó abriendo y cerrando el paso del agua. En llaves metálicas, se flameó la boquilla para eliminar los microorganismos adheridos; posteriormente se abrió la llave a su máxima capacidad dejando que el agua fluyera alrededor de dos minutos, finalmente se realizó la toma de muestra hasta obtener un volumen final de 100 mL en frascos previamente esterilizados. Las muestras se almacenaron a 4 °C hasta su procesamiento (COFEPRIS, 2021).

Prueba presuntiva

Se prepararon series de nueve tubos con campana Durham y caldo lactosado (Becton Dixon Bioxon, México, N.cat: 211700) por muestra de la siguiente manera: tres tubos con 20 mL concentración doble; tres tubos con 9 mL concentración sencilla y tres tubos con 9.9 mL concentración sencilla, para el control positivo se utilizó agua contaminada y para el negativo agua estéril. Posterior a la esterilización del medio de cultivo, se inocularon los tubos con 10 mL, 1000 y 100 µL de muestra de agua colectada, respectivamente. Todos los tubos fueron incubados a 37 °C durante 48 h (COFEPRIS, 2021).

Prueba confirmatoria

Los tubos positivos (presencia de turbidez y formación de gas en campana Durham) fueron sometidos a prueba confirmatoria utilizando 10 mL de caldo bilis verde brillante al 2 % (Becton Dixon Bioxon de México, N.cat: 212500). Posterior a la esterilización del medio de cultivo, los tubos se inocularon con 1000 µL de muestra a 37 °C durante 48 h. La concentración de los microorganismos

for total and fecal coliforms was compared with the most probable number (MPN) stated in the NMX-042-SSA1-2015 Standard, expressing the results as an index of the NMP/100 mL (COFEPRIS, 2021).

Complementation test

Eosin methylene blue agar (Becton Dixon Bioxon de México, N.cat: 210600) was used to detect *Escherichia coli*; Xylose-lysine-deoxycholate agar (Becton Dixon Bioxon de México, N.cat: 1065-E) to detect *Shigella-Salmonella* and standard methods agar (Becton Dixon Bioxon de México, N.cat: 211724) to detect mesophilic aerobic microorganisms. All culture mediums were prepared according to the recommendations of the supplier.

Once the agars were prepared, 15 mL of each one were poured into sterile Petri dishes in triplicate, once they were gelled, the samples obtained as positive from the brilliant green bile broth 2%, were cross-streaked. The cross-streaked dishes were incubated at 37 °C for 48 hours (XLD, 2019 and XLD, s/f).

Simple staining

The samples with bacterial growth were selected from each municipality. For their establishment, the following procedure was conducted: two drops of water were added to a clean and dry slide, a sample of the colony growth on the Petri dish was taken with a sterile loop, and it was mixed with the water on the slide, spreading it and separating it on the surface. Once the slide was dry, it was quickly passed three times over the blue flame for its establishment.

Once the sample establishment was conducted, the simple staining was carried out to observe the shape, size, and arrangement of bacteria. The superficial part of the slide was covered with two drops of methylene blue (Sigma-Aldrich, Merck. México N.cat:116316) for 30 seconds, subsequently, distilled water was added to remove the excess dye. Then it was left to air dry for observation under a bright-field microscope with a 100X zoom. (Moyes, 2009a).

Gram staining

The Gram staining was developed to differentiate between Gram-positive and Gram-negative bacteria through the following technique: the slide was covered with two drops of methyl violet (Sigma-Aldrich, Merck. México N.cat:115940) for one minute, the excess dye was removed with distilled water. Subsequently, two drops of lugol's iodine (Sigma-Aldrich, Merck. México N.cat:100567) were added for 30 seconds and it was

indicadores para coliformes totales y fecales se comparó con el número más probable (NMP) contenida en la Norma NMX-042-SSA1-2015, expresando los resultados como índice del NMP/100 mL (COFEPRIS, 2021).

Prueba complementaria

Se utilizó agar eosina y azul de metileno (Becton Dixon Bioxon de México, N.cat: 210600) para la detección de *Escherichia coli*; agar xilosa-lisina-desoxicolato (Becton Dixon Bioxon de México, N.cat: 1065-E) para la detección de *Shigella-Salmonella* y agar para métodos estándar (Becton Dixon Bioxon de México, N.cat: 211724) para la detección de mesófilos aerobios. Todos los medios de cultivo fueron preparados de acuerdo con las recomendaciones del proveedor.

Una vez preparados los agares, se vertieron 15 mL de cada uno en cajas Petri estériles por triplicado, una vez gelificado se realizó la siembra por estría cruzada de las muestras obtenidas como positivas del caldo bilis verde brillante al 2 %. Las cajas sembradas fueron incubadas a 37 °C durante 48 horas (XLD, 2019 y XLD, s/f).

Tinción simple

Se seleccionaron las muestras de cada municipio con crecimiento bacteriano. Para su fijación se realizó el siguiente procedimiento: se agregaron dos gotas de agua a un portaobjetos limpio y seco, con asa estéril se tomó una muestra del crecimiento de colonia en caja Petri el cual fue mezclado con el agua sobre el portaobjetos extendiendo y separando sobre la superficie. Una vez seco, el portaobjetos se pasó rápidamente tres veces sobre la flama azul para su fijación.

Una vez realizada la fijación de muestras, se llevó a cabo la tinción simple para observar la forma, tamaño y arreglo de las bacterias. Se cubrió la parte superficial del portaobjetos con dos gotas de azul de metileno (Sigma-Aldrich, Merck. México N.cat:116316) durante 30 segundos, posteriormente se agregó agua destilada para la eliminación del exceso de colorante. Después se dejó secar al aire para su observación al microscopio de campo claro con un aumento de 100X (Moyes, 2009a).

Tinción de Gram

Se realizó la tinción de Gram para diferenciar entre bacterias Gram positivas y Gram negativas mediante la siguiente técnica: se cubrió el portaobjetos con dos gotas de cristal violeta (Sigma-Aldrich, Merck. México N.cat:115940) durante un minuto, con agua destilada se eliminó el exceso de colorante. Posteriormente, se añadieron dos gotas de lugol (Sigma-Aldrich, Merck. México N.cat:100567) durante 30 segundos y se lavó

washed again with distilled water, alcohol-acetone was applied drop by drop until the excess dye was removed. Finally, two drops of safranin (Sigma-Aldrich, Merck. México N.cat:115948) were added for 30 seconds, and it was washed with distilled water leaving it to dry in the air for observation under a bright-field microscope with a 100X zoom (Moyes, 2009b).

Statistical analysis

All data were expressed as the average \pm standard error (SE). The statistical analysis consisted in an ANOVA using the GraphPrism program, followed by a complementary Tukey-Kramer analysis to determine the mean differences between the colonies analyzed, with an error of $P \leq 0.05$.

Results

Determination of total and fecal coliforms

The amount of drinking water in the municipality of Nezahualc6yotl was assessed through the calculation of the MPN index. Table 1 shows that during the warm-dry and cold-dry seasons, the colonies: El Sol, Rey Neza and la Esperanza significantly increased the presence of total coliforms up to 1000 units when it is compared to the negative control. On the other side, for Agua Azul and Esperanza, the MPN index of fecal coliforms significantly increased during the cold-dry season ($P \leq 0.05$).

de nuevo con agua destilada, se aplic6 gota a gota alcohol-acetona hasta eliminar el exceso de colorante. Por 6ltimo, se a6adieron dos gotas de safranina (Sigma-Aldrich, Merck. M6xico N.cat:115948) durante 30 segundos y se lav6 con agua destilada dejando secar al aire para su observaci6n al microscopio de campo claro con un aumento de 100X (Moyes, 2009b).

An6lisis estad6stico

Todos los datos fueron expresados como el promedio \pm error est6ndar (EE). El an6lisis estad6stico consisti6 en una ANOVA utilizando el programa GraphPrism, seguido de un an6lisis complementario de Tukey-Kramer para la determinaci6n de las diferencias de medias entre las colonias analizadas, con un error de $P \leq 0.05$.

Resultados

Determinaci6n de coliformes totales y fecales

Mediante el c6lculo del 6ndice del NMP se evalu6 la calidad del agua potable en el municipio de Nezahualc6yotl. El Cuadro 1 muestra que, durante las 6pocas c6lida-seca y fr6a-seca, las colonias: El Sol, Rey Neza y la Esperanza incrementaron significativamente la presencia de coliformes totales hasta 1000 unidades cuando se compara con el control negativo. Por otra parte, para Agua Azul y Esperanza el 6ndice del NMP de coliformes fecales, aument6 significativamente en la 6poca fr6a-seca ($P \leq 0.05$).

Table 1. Most probable number (MPN) index of total and fecal coliforms of the municipality of Nezahualc6yotl during the warm-dry and cold-dry seasons.

Cuadro 1. 6ndice del n6mero m6s probable (NMP) de coliformes totales y fecales del municipio de Nezahualc6yotl durante las 6pocas c6lidas-secas y fr6as-secas.

| Colonies / Colonias | Warm-dry season / 6poca c6lida-seca | | Cold-dry season / 6poca fr6a-seca | |
|------------------------|---|---|---|---|
| | MPN/100 mL Total Coliforms / Coliformes Totales | MPN/100 mL Fecal Coliforms / Coliformes Fecales | MPN/100 mL Total Coliforms / Coliformes Totales | MPN/100 mL Fecal Coliforms / Coliformes Fecales |
| Negative / Negativo | 3 \pm 0.577 | 3 \pm 0.577 | 3 \pm 0.577 | 3 \pm 0.577 |
| Positive / Positivo | 2400 \pm 115.47 | 2400 \pm 115.47 | 2400 \pm 115.47 | 2400 \pm 115.47 |
| El sol | 1750 \pm 650* | 1750 \pm 650* | 180 \pm 30* | 190 \pm 34.64* |
| Agua Azul | 50.66 \pm 26.2* | 49 \pm 26* | 335 \pm 125* | 1051.66 \pm 723.71* |
| Rey Neza | 1750 \pm 650* | 1750 \pm 375.27* | 1650 \pm 649.5* | 43 \pm 0* |
| Esperanza | 1733.3 \pm 394.9* | 1100 \pm 0* | 1750 \pm 650* | 1100 \pm 0* |
| La perla | 62 \pm 13* | 33 \pm 10* | 276.5 \pm 183.5* | 305 \pm 155* |
| Gustavo B. | 3 \pm 0 | 3 \pm 0 | 190 \pm 34.64* | 335 \pm 125* |

Results are expressed as the average \pm standard error, n=3, * Significant difference compared to the negative control ($P \leq 0.05$).

Los resultados se expresan como el promedio \pm error est6ndar, n=3, * Diferencia significativa comparada contra el control negativo ($P \leq 0.05$).

Table 2 shows the results obtained after the water analysis in different colonies of the municipality of Ecatepec. During the warm-dry season, Tulpetlac, Santa Clara, Cd. Azteca and Valle Aragón showed a significant increase ($P \leq 0.05$) above the 2000 units of total and fecal coliforms when they were compared to the negative control. When determining total coliforms during the cold-dry season, it was observed that the Valle de Aragón and Cd. Azteca colonies increased up to 200 and 2000 units, respectively and the presence of fecal coliforms in Cd. Azteca increased up to 300 units significantly with respect to the negative control ($P \leq 0.05$).

In Table 3, it can be seen that in the San Vicente and Magdalena colonies of the municipality of la Paz, show a significant increase of total and fecal coliforms up to 600 and 2000 units respectively, when they are compared to the negative control ($P \leq 0.05$) during the warm-dry season, while in the cold-dry season, only the San Sebastián colony showed a MPN index above the 2000 units of total coliforms and 1750 units of fecal coliforms, significant data with respect to the negative control ($P \leq 0.05$).

Table 4 shows the results obtained from the drinking water analysis of the municipality of Chalco. During the warm-dry season, the Emiliano Zapata colony showed a significant increase of total and fecal coliforms above the 100 units when it is compared to the negative control ($P \leq 0.05$), while, during the cold-dry season, in the Agrarista colony, the presence of total

El Cuadro 2 muestra los resultados obtenidos tras el análisis del agua, distintas colonias del municipio de Ecatepec. Durante la época cálida-seca, Tulpetlac, Santa Clara, Cd. Azteca y Valle Aragón, presentaron un incremento significativo ($P \leq 0.05$) por arriba de las 2000 unidades de coliformes totales y fecales cuando se comparó con el control negativo. Al determinar coliformes totales durante la época fría-seca, se observó que las colonias Valle de Aragón y Cd. Azteca incrementaron hasta 200 y 2000 unidades, respectivamente y la presencia de coliformes fecales en Cd. Azteca se incrementó hasta 300 unidades significativamente con respecto al control negativo ($P \leq 0.05$).

En el Cuadro 3, se observa que las colonias San Vicente y Magdalena del municipio de la Paz muestran un incremento significativo de coliformes totales y fecales hasta 600 y 2000 unidades respectivamente, cuando se compara con el control negativo ($P \leq 0.05$) durante la época cálida-seca, mientras que en la época fría-seca únicamente la colonia San Sebastián presentó un índice del NMP por arriba de las 2000 unidades para coliformes totales y 1750 unidades de coliformes fecales, datos significativos con respecto al control negativo ($P \leq 0.05$).

El Cuadro 4, muestra los resultados obtenidos del análisis del agua potable del municipio de Chalco. Durante la época cálida-seca, la colonia Emiliano Zapata muestra un incremento significativo de coliformes totales y fecales por arriba de las 100 unidades cuando se compara con el control negativo ($P \leq 0.05$), mientras que, durante la época fría-seca,

Table 2. Most probable number (MPN) index of total and fecal coliforms of the municipality of Ecatepec during the warm-dry and cold-dry seasons.

Cuadro 2. Índice del número más probable (NMP) de coliformes totales y fecales del municipio de Ecatepec durante las épocas cálida-seca y fría-seca.

| Colonies / Colonias | Warm-dry season / Época cálida-seca | | Cold-dry season / Época fría-seca | |
|---------------------|---|---|---|---|
| | MPN/100 mL Total Coliforms / Coliformes Totales | MPN/100 mL Fecal Coliforms / Coliformes Fecales | MPN/100 mL Total Coliforms / Coliformes Totales | MPN/100 mL Fecal Coliforms / Coliformes Fecales |
| Negative / Negativo | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 |
| Positive / Positivo | 2400 ± 115.47 | 2400 ± 115.47 | 2400 ± 115.47 | 2400 ± 115.47 |
| J. de Morelos | 90.81 ± 47.81* | 3 ± 0.577 | 3.66 ± 0.57 | 3.66 ± 0.57 |
| Tulpetlac | 2035 ± 632.19* | 7.71 ± 4.71 | 93 ± 0* | 13.66 ± 4.16 |
| Santa Clara | 2400 ± 115.47* | 2400 ± 115.47* | 23 ± 0* | 33 ± 10* |
| Cd. Azteca | 2400 ± 115.47* | 2400 ± 115.47* | 2400 ± 115.47* | 350 ± 110* |
| V. de Aragón | 2400 ± 115.47* | 2400 ± 115.47* | 240 ± 115.47* | 93 ± 0* |

Results are expressed as the average ± standard error, n=3, * Significant difference compared to the negative control ($P \leq 0.05$).
 Los resultados se expresan como el promedio ± error estándar, n=3, * Diferencia significativa comparada contra el control negativo ($P \leq 0.05$).

Table 3. Most probable number (MPN) index of total and fecal coliforms of the municipality of la Paz during the warm-dry and cold-dry seasons.**Cuadro 3. Índice del número más probable (NMP) de coliformes totales y fecales del municipio de la Paz durante las épocas cálida-seca y fría-seca.**

| Colonies / Colonias | Warm-dry season / Época cálida-seca | | Cold-dry season / Época fría-seca | |
|------------------------|---|---|---|---|
| | MPN/100 mL Total Coliforms / Coliformes Totales | MPN/100 mL Fecal Coliforms / Coliformes Fecales | MPN/100 mL Total Coliforms / Coliformes Totales | MPN/100 mL Fecal Coliforms / Coliformes Fecales |
| Negative / Negativo | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 |
| Positive / Positivo | 2400 ± 115.47 | 2400 ± 115.47 | 2400 ± 115.47 | 2400 ± 115.47 |
| San Vicente | 673.33 ± 369.50* | 673.33 ± 369.50* | 9 ± 6 | 9 ± 6 |
| Jorge Jim. C. | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 | 17 ± 6 | 17 ± 6 |
| El Salado | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 |
| S. Sebastián | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 | 2400 ± 0* | 1750 ± 650* |
| Magdalena | 2400 ± 115.47* | 2400 ± 115.47* | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 |

Results are expressed as the average ± standard error, n=3, * Significant difference compared to the negative control ($P \leq 0.05$).

Los resultados se expresan como el promedio ± error estándar, n=3, * Diferencia significativa comparada contra el control negativo ($P \leq 0.05$).

Table 4. Most probable number (MPN) index of total and fecal coliforms of the municipality of Chalco during the warm-dry and cold-dry seasons.**Cuadro 4. Índice del número más probable (NMP) de coliformes totales y fecales del municipio de Chalco durante las épocas cálida-seca y fría-seca.**

| Colonies / Colonias | Warm-dry season / Época cálida-seca | | Cold-dry season / Época fría-seca | |
|---------------------------|---|---|---|---|
| | MPN/100 mL Total Coliforms / Coliformes Totales | MPN/100 mL Fecal Coliforms / Coliformes Fecales | MPN/100 mL Total Coliforms / Coliformes Totales | MPN/100 mL Fecal Coliforms / Coliformes Fecales |
| Negative C. / C. Negativo | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 |
| Positive C. / C. Positivo | 2400 ± 115.47 | 2400 ± 115.47 | 2400 ± 115.47 | 2400 ± 115.47 |
| Alcanfores | 2400 ± 115.47* | 2400 ± 115.47* | 29 ± 14* | 6 ± 3 |
| Emiliano Z. | 166.5 ± 73.5* | 166.5 ± 73.5* | 11 ± 4* | 6.33 ± 3.05 |
| San Miguel | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 |
| Tres Marías | 23 ± 0* | 3 ± 0.577 | 3.3 ± 0.577 | 3.66 ± 0.57 |
| Agrarista | 3 ± 0.577 | 3 ± 0.577 | 154.83 ± 64.38* | 13 ± 10* |

Results are expressed as the average ± standard error, n=3, * Significant difference compared to the negative control ($P \leq 0.05$).

Los resultados se expresan como el promedio ± error estándar, n=3, * Diferencia significativa comparada contra el control negativo ($P \leq 0.05$).

and fecal coliforms increased above 100 and 10 units, respectively when it is compared to the negative control ($P \leq 0.05$).

Morphology of the enterobacteria by simple staining and differential Gram staining

In the municipalities of Nezahualcóyotl and Ecatepec, Gram-negative rod-shaped bacteria were observed, which correspond to the *E. coli*, *Shigella* and mesophilic aerobic microorganisms genres. Also, the presence of

en la colonia Agrarista, la presencia de coliformes totales y fecales incrementó por arriba de las 100 y 10 unidades, respectivamente cuando se compara con el control negativo ($P \leq 0.05$).

Morfología de enterobacterias por tinción simple y tinción diferencial de Gram

En los municipios de Nezahualcóyotl y Ecatepec se observaron bacterias Gram negativas con forma de bacilo que corresponden a los géneros de *E. coli*,

mesophilic aerobic microorganisms was observed, as well as Gram-positive rod-shaped and spherical-shaped bacteria, while in Ecatepec there were Gram-negative rod-shaped, spherical-shaped and coccobacillus shaped mesophilic microorganisms (Figure 1).

The presence of *E. coli*, *Shigella* and mesophilic aerobic microorganisms was observed in the municipality of Chalco, as well as the presence of *E. coli*, *Shigella* and mesophilic aerobic microorganisms in the municipality of La Paz (Figure 2).

Shigella y mesófilos aerobios. Además, se observó la presencia de mesófilos aerobios y también se identificaron bacterias Gram positivas en forma de cocos y bacilos, mientras que en Ecatepec existen mesófilos Gram negativos en forma de cocos, bacilos y cocobacilos (Figura 1).

Se observó la presencia de *E. coli*, *Shigella* y mesófilos aerobios en el municipio de Chalco, así como la presencia de *E. coli*, *Shigella* y mesófilos aerobios en el municipio de La Paz (Figura 2).

A)

| MUNICIPALITY OF NEZAHUALCÓYOTL / MUNICIPIO DE NEZAHUALCÓYOTL | | | | | |
|--|--|---------------------|---|---------------------|---|
| GROWTH AGAR / AGAR DE CRECIMIENTO | SIMPLE STAINING / TINCIÓN SIMPLE 100x ZOOM / AUMENTO 100x | | GRAM STAINING / TINCIÓN DE GRAM 100x ZOOM / AUMENTO 100x | | DESCRIPTION / DESCRIPCIÓN |
| | POSITIVE C. / C. POSITIVO | SAMPLE / MUESTRA | POSITIVE C. / C. POSITIVO | SAMPLE / MUESTRA | |
| EMB Eosin methylene blue / Eosina Azul de Metileno | | | | | <i>Escherichia coli</i> Enterobacteria Staining: Gram-negative / Tinción: Gram negativa Morphology: Bacillus / Morfología: Bacilos |
| XLD Xylose, Lysine, Desoxycholate / Xilosa, Lisina, Desoxicolato | | | | | <i>Shigella</i> Enterobacteria Staining: Gram-negative / Tinción: Gram negativa Morphology: Bacillus / Morfología: Bacilos |
| Standard Methods / Métodos Estándar | | | | | <i>Mesophilic aerobic microorganisms / Mesófilos aerobios</i> Enterobacteria Staining: Gram-negative / Tinción: Gram negativa Morphology: Bacillus / Morfología: Bacilos |

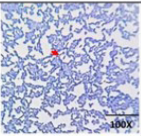
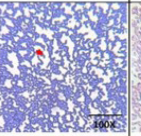
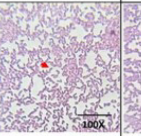
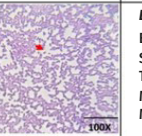
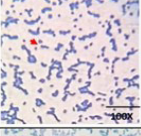
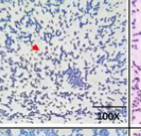
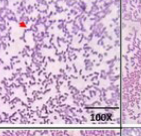
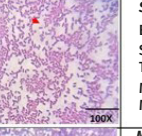

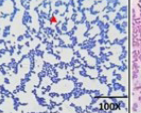
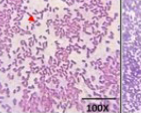
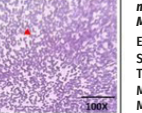
B)

| MUNICIPALITY OF ECATEPEC / MUNICIPIO DE ECATEPEC | | | | | |
|--|--|---------------------|---|---------------------|---|
| GROWTH AGAR / AGAR DE CRECIMIENTO | SIMPLE STAINING / TINCIÓN SIMPLE 100x ZOOM / AUMENTO 100x | | GRAM STAINING / TINCIÓN DE GRAM 100x ZOOM / AUMENTO 100x | | DESCRIPTION / DESCRIPCIÓN |
| | POSITIVE C. / C. POSITIVO | SAMPLE / MUESTRA | POSITIVE C. / C. POSITIVO | SAMPLE / MUESTRA | |
| EMB Eosin methylene blue / Eosina Azul de Metileno | | | | | <i>Escherichia coli</i> Enterobacteria Staining: Gram-negative / Tinción: Gram negativa Morphology: Bacillus / Morfología: Bacilos |
| XLD Xylose, Lysine, Desoxycholate / Xilosa, Lisina, Desoxicolato | | | | | <i>Shigella</i> Enterobacteria Staining: Gram-negative / Tinción: Gram negativa Morphology: Bacillus / Morfología: Bacilos |
| Standard Methods / Métodos Estándar | | | | | <i>Mesophilic aerobic microorganisms / Mesófilos aerobios</i> Enterobacteria Staining: Gram-negative / Tinción: Gram negativa Morphology: Bacillus / Morfología: Bacilos |

Figure 1. Simple staining and differential Gram staining in the morphology of fecal enterobacteria in the selected samples for the municipalities of Nezahualcóyotl and Ecatepec. n= 3 (100 X).

Figura 1. Tinción simple y tinción diferencial de Gram en la morfología de enterobacterias fecales en muestras seleccionadas para los municipios de Nezahualcóyotl y Ecatepec. n= 3 (100 X).

A)

| MUNICIPALITY OF CHALCO / MUNICIPIO DE CHALCO | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| GROWTH AGAR / AGAR DE CRECIMIENTO | SIMPLE STAINING / TINCIÓN SIMPLE 100x ZOOM / AUMENTO 100x | | GRAM STAINING / TINCIÓN DE GRAM 100x ZOOM / AUMENTO 100x | | DESCRIPTION / DESCRIPCIÓN |
| | POSITIVE C. / C. POSITIVO | SAMPLE / MUESTRA | POSITIVE C. / C. POSITIVO | SAMPLE / MUESTRA | |
| EMB Eosin methylene blue / Eosina Azul de Metileno |  |  |  |  | <i>Escherichia coli</i> Enterobacteria Staining: Gram-negative / Tinción: Gram negativa Morphology: Bacillus / Morfología: Bacilos |
| XLD Xylose, Lysine, Desoxycholate / Xilosa, Lisina, Desoxicolato |  |  |  |  | <i>Shigella</i> Enterobacteria Staining: Gram-negative / Tinción: Gram negativa Morphology: Bacillus / Morfología: Bacilos |
| Standard Methods / Métodos Estándar |  |  |  |  | <i>Mesophilic aerobic microorganisms / Mesófilos aerobios</i> Enterobacteria Staining: Gram-negative / Tinción: Gram negativa Morphology: Bacillus / Morfología: Bacilos |

B)

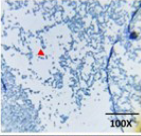
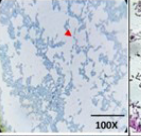
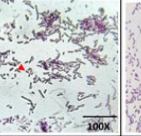
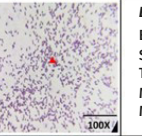
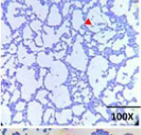
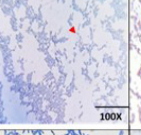
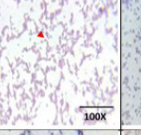
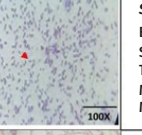
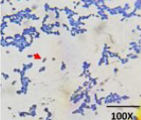
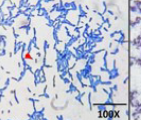
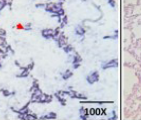
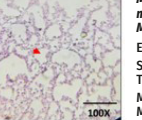
| MUNICIPALITY OF LA PAZ / MUNICIPIO DE LA PAZ | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| GROWTH AGAR / AGAR DE CRECIMIENTO | SIMPLE STAINING / TINCIÓN SIMPLE 100x ZOOM / AUMENTO 100x | | GRAM STAINING / TINCIÓN DE GRAM 100x ZOOM / AUMENTO 100x | | DESCRIPTION / DESCRIPCIÓN |
| | POSITIVE C. / C. POSITIVO | SAMPLE / MUESTRA | POSITIVE C. / C. POSITIVO | SAMPLE / MUESTRA | |
| EMB Eosin methylene blue / Eosina Azul de Metileno |  |  |  |  | <i>Escherichia coli</i> Enterobacteria Staining: Gram-negative / Tinción: Gram negativa Morphology: Bacillus / Morfología: Bacilos |
| XLD Xylose, Lysine, Desoxycholate / Xilosa, Lisina, Desoxicolato |  |  |  |  | <i>Shigella</i> Enterobacteria Staining: Gram-negative / Tinción: Gram negativa Morphology: Bacillus / Morfología: Bacilos |
| Standard Methods / Métodos Estándar |  |  |  |  | <i>Mesophilic aerobic microorganisms / Mesófilos aerobios</i> Enterobacteria Staining: Gram-negative / Tinción: Gram negativa Morphology: Bacillus / Morfología: Bacilos |

Figure 2. Simple staining and differential Gram staining in the morphology of fecal enterobacteria in the selected samples for the municipalities of Chalco and La Paz. n= 3 (100 X).

Figura 2. Tinción simple y tinción diferencial de Gram en la morfología de enterobacterias fecales en muestras seleccionadas para los municipios de Chalco y La Paz. n= 3 (100 X).

Discussion

In many countries, the main health risks are related to the consumption of water contaminated by microorganisms responsible for diseases that affect the most vulnerable people (children and older adults) (Hernández Cortés, 2011). Thus, the risk of contracting waterborne diseases increases with a higher load of pathogenic microorganisms. The safety of the water for human consumption is considered a priority and it is essential that the corresponding standards be applied in a proper way and thereby, reducing the

Discusión

En muchos países, los principales riesgos de salud se encuentran asociados al consumo de agua contaminada por microorganismos causantes de enfermedades que afectan a las personas con mayor vulnerabilidad (infantes y adultos mayores) (Hernández Cortés, 2011). Es así, que el riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua aumenta con una mayor carga de microorganismos patógenos. La inocuidad del agua para consumo humano es considerada una prioridad y es de vital importancia que las normas correspondientes se

incidence and prevalence of gastrointestinal diseases (Hernández Alvarado and Vázquez Hernández, 2019).

The access to and supply of good quality water, is one of the main elements for the primary attention of the population health (Calixto Flores and Ramírez Sosa, 2022). In the eastern part of the State of Mexico, water is distributed by pipelines and in some cases, by supply trucks that distribute the resource through the neighborhoods of the different municipalities that make up the entity (CAEM, 2019). It is common that the drinking water quality shows variations in the concentrations of microorganisms harmful to human health, which could indirectly affect the increase in the incidence of gastrointestinal diseases (SEMARNAT, 2021).

It is important to note that intestinal infections were the second type of the most common diseases in Mexico, in 2019, a total of 5.4 million cases was estimated in the country, most of those cases were presented in adults between 25 and 44 years old and young children from 1 to 4 years old (Epidemiología, 2021). In the State of Mexico, a hospital admission of 307930 people with some disease caused by enterobacteria, was recorded in 2021 (Epidemiológico, 2021).

Results obtained in this research were derived from the presumptive, confirmatory and complementation tests. As result of the tests, it was found that in the municipality of Nezahualcóyotl, no colonies meet the permissible safety level (Table 1) (COFEPRIS, 2021). These results are consistent with what is reported by Cazares, who concluded in 2014, that the 45 analyzed drinking water samples reached ≥ 1100 NMP/100 mL of total coliforms, in correlation, this indicates that the water that reaches the homes from this municipality does not have a good quality due to a high microbiological load. (Cazares and Alcántara, 2014)

After the analysis conducted in the municipality of Ecatepec, it was found that the Tulpetlac, Santa Clara, Cd. Azteca and Valle de Aragón colonies show the maximum level of MPN (≤ 2400) stated in the NMX-042-SSA1-2015 Standard, with presence of total and fecal coliforms during the warm-dry season, while, for the cold-humid season, the MPN index of total and fecal coliforms decreased in the Tulpetlac, Santa Clara, Valle de Aragón and Jardines de Morelos colonies; these results could be related to the inhibition of bacterial growth derived from the change in temperatures of each season, because, when the temperature and precipitations increase, conditions are fostered for the transmission of most intestinal pathogenic bacteria (Table 2) (Hernández C., 2018).

apliquen de manera adecuada y con ello disminuir la incidencia y prevalencia de enfermedades gastrointestinales (Hernández Alvarado and Vázquez Hernández, 2019).

El acceso y abastecimiento de agua de buena calidad, es uno de los principales elementos de la atención primaria para la salud de la población (Calixto Flores y Ramírez Sosa, 2022). En el oriente del Estado de México el agua es distribuida por tuberías y en algunos casos mediante camiones de abastecimiento que reparten el recurso a través de las colonias de los distintos municipios que conforman la entidad (CAEM, 2019). Es frecuente que la calidad del agua potable presente variaciones en las concentraciones de microorganismos dañinos a la salud humana, lo que podría afectar indirectamente el aumento en la incidencia de enfermedades gastrointestinales (SEMARNAT, 2021).

Es importante saber que, las infecciones intestinales fueron el segundo tipo de enfermedad más común en México, en 2019 se estimó un total de 5.4 millones de casos en el país, la mayoría de dichos casos se presentaron en adultos de entre 25 a 44 años y en niños pequeños de 1 a 4 años (Epidemiología, 2021). En el Estado de México, se registró un ingreso hospitalario de 307930 personas con alguna enfermedad provocada por enterobacterias en el 2021 (Epidemiológico, 2021).

Los resultados obtenidos en esta investigación se derivaron de las pruebas presuntiva, confirmatoria y complementaria. Como resultado de las pruebas, se encontró que en el municipio de Nezahualcóyotl ninguna colonia cumple con el nivel permisible de inocuidad (Cuadro 1) (COFEPRIS, 2021). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Cazares quien concluyó en el 2014 que las 45 muestras analizadas de agua potable alcanzaron ≥ 1100 NMP/100 mL de coliformes totales, en correlación esto indica que el agua que llega a los domicilios de este municipio no cuenta con una buena calidad debido a una alta carga microbiológica (Cazares y Alcántara, 2014)

Tras el análisis hecho en el municipio de Ecatepec, se encontró que las colonias Tulpetlac, Santa Clara, Cd. Azteca y Valle de Aragón muestran el nivel máximo de NMP (≤ 2400) establecido en la Norma NMX-042-SSA1-2015, con la presencia de coliformes totales y fecales durante la época cálida-seca, mientras que, para la época fría-húmeda, el índice del NMP de coliformes totales y fecales disminuyó en las colonias Tulpetlac, Santa Clara, Valle de Aragón y Jardines de Morelos; estos resultados podrían estar relacionados con la inhibición del crecimiento bacteriano derivado del cambio de temperaturas de cada época; debido a que, cuando se eleva la temperatura y

Results support the research developed by Hernández del Sol et al. (2018), who after a seasonality study, verify the greater isolation frequency of intestinal pathogenic bacteria such as *Salmonella*, *Shigella* and *Aeromonas* during the most warm and rainy months (Hernández, 2018; Farfán, 2016 and Bautista, 2013) (Table 2); likewise, based on the results obtained about this municipality, it is concluded that, although the low levels of total and fecal coliforms during the autumn, these do not meet the quality standards established by the NMX-042-SSA1-2015 Standard.

Results showed in Table 3 for the municipality of La Paz, after the analysis and comparison with the standards, demonstrated that, during the warm-dry season, the colonies that presented a high level of the MPN index for total and fecal coliforms were San Vicente and Magdalena with more than 600 and 2000 units respectively, in this sense, these colonies do not meet the quality standards established by the NMX-042-SSA1-2015 Standard, consequently, these results provide a first overview of the drinking water quality in this municipality.

Likewise, during the dry season, the San Sebastián colony showed high levels of total and fecal coliforms, these results could be related to the poor distribution and supply practices of drinking water for these areas, because, according to the Organismo Público Descentralizado para la Prestación de Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OPDAPAS) the water supply is intermittent, for this, it is suggested that the presence of microorganisms in this colonies could be related to the drinking water distribution. In the other colonies analyzed (Jorge Jiménez Cantú, El Salado and San Sebastián) the levels of total and fecal coliforms are within the safety limits (Table 3) (Galdos A., 2017).

After the analysis developed in different areas of the municipality of Chalco, it was determined that in the Emiliano Zapata and Agrarista colonies, the MPN index of total coliforms for the warm-dry season is above 100 units, while the San Miguel colony meets the safety levels established by the NMX-042-SSA1-2015 Standard (Table 4). Compared to the rest of the municipalities, Chalco showed the lower levels of pollution due to total and fecal coliforms; however, so far there are no previous reports about the water quality in this municipality, therefore, the results provide important data on the water quality at microbiological level.

Also, through the growth with differential agars and using the simple and Gram staining, it was deter-

umentan las precipitaciones se propician las condiciones para la transmisión de la mayoría de las bacterias patógenas intestinales (Cuadro 2) (Hernández C., 2018).

Los resultados apoyan la investigación realizada por Hernández del Sol et al. (2018), quienes tras un estudio de estacionalidad corroboraron la mayor frecuencia de aislamientos de bacterias patógenas intestinales como *Salmonella*, *Shigella* y *Aeromonas* en los meses más cálidos y lluviosos (Hernández, 2018; Farfán, 2016 y Bautista, 2013) (Cuadro 2); asimismo, con base en los resultados obtenidos de este municipio, se concluye que, a pesar de los niveles bajos de coliformes totales y fecales durante el otoño, estos no cumplen con los estándares de calidad establecidos en la Norma NMX-042-SSA1-2015.

Los resultados que se muestran en el Cuadro 3, para el municipio de La Paz tras el análisis y comparación con las normas, demostraron que, durante la época cálida-seca, las colonias que presentaron un nivel elevado del índice del NMP para coliformes totales y fecales fueron San Vicente y Magdalena con más de 600 y 2000 unidades respectivamente, en este sentido, estas colonias no cumplen con los estándares de calidad establecidos por la Norma NMX-042-SSA1-2015, por lo que estos resultados brindan un primer panorama acerca de la calidad del agua potable en este municipio.

Asimismo, durante la época seca únicamente la colonia San Sebastián presentó niveles elevados de coliformes totales y fecales, estos resultados podrían estar relacionados con las malas prácticas de distribución y suministro del agua potable para estas zonas, ya que, de acuerdo con el Organismo Público Descentralizado para la Prestación de Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OPDAPAS) el suministro del líquido se da en forma intermitente, por tal motivo esto sugiere que la presencia de los microorganismos en estas colonias podría estar asociado a la distribución del agua potable; en el resto de las colonias analizadas (Jorge Jiménez Cantú, El Salado y San Sebastián) los niveles de coliformes totales y fecales se encuentran dentro de los límites de inocuidad (Cuadro 3) (Galdos A., 2017).

Posterior al análisis realizado en diferentes zonas del municipio de Chalco, se determinó que en las Colonias Emiliano Zapata y Agrarista el índice del NMP de coliformes totales para la época cálida-seca se ubica por arriba de las 100 unidades, mientras que la Colonia San Miguel cumple con los niveles de inocuidad establecidos en la Norma NMX-042-SSA1-2015 (Cuadro 4). Comparado en el resto de los municipios, Chalco mostró los niveles más bajos de contaminación por coliformes totales y fecales; sin embargo, hasta el momento no existen reportes previos acerca de la

mined that in all municipalities there are bacteria such as *E. coli*, *Shigella* and mesophilic aerobic microorganisms; the morphology of the bacteria found, corresponds to what was previously described in the literature about the group of Gram-negative rod-shaped enterobacteria for the case of *E. coli* and *Shigella*, spherical-shaped and coccobacillus shaped for mesophilic aerobic microorganisms (Hernández, 2018; Johnson, 2018; Moyes, 2009a and Moyes, 2009b).

In a study developed by Rubino, in 2018, about containers that storage drinking water in households of different areas of Guadalajara, in Mexico, there were found total coliforms, but there was not *E. coli*, based on the previously described standards (Rubino F., 2018). Despite the use of the same methodologies, the results obtained in this study, show the presence of this enterobacteria in the water aimed at human utilization and consumption in the municipalities of Nezahualcóyotl, Ecatepec, La Paz and Chalco.

As a result of the increased gastrointestinal diseases in the State of Mexico, with more than 300 thousand hospital admission in 2021, the drinking water pollution caused by enterobacteria in the eastern part of the State of Mexico, could be one of the main causes of gastrointestinal diseases (Belotserkovsky, 2018; Clements, 2012; Farfán, 2016; Riley, 2014 and Rios, 2019), due to the utilization and consumption of this water. So far, there are no previous studies published about the drinking water quality for these municipalities, this is why, these results offer evidence about the presence of *E. coli*, *Shigella* and mesophilic aerobic microorganisms in the water aimed at human utilization and consumption.

Conclusions

The analysis of the water quality in the different colonies of the municipalities of Nezahualcóyotl, Ecatepec, La Paz and Chalco, demonstrate the presence of total and fecal coliforms (*E. coli* and *Shigella*). The results provide the first overview about the microbiological contamination of the water supplied to these municipalities, for this, it is necessary to continue with this type of studies, that allow the monitoring programs to be effective, as well as the actualization of processes needed to guarantee the safety of drinking water supplied and consumed by the inhabitants of the eastern part of the State of Mexico.

Acknowledgment

The present study was conducted thanks to the support of the Programa Cátedras COMECyT 2021 through the economic stimulus with the folio CAT2021-0089,

calidad del agua en este municipio, por lo tanto, los resultados brindan datos importantes sobre la calidad de agua a nivel microbiológico.

Además, mediante el crecimiento en agares diferenciales y utilizando tinción simple y de Gram, se determinó que en todos los municipios existe la presencia de bacterias tales como *E. coli*, *Shigella* y mesófilos aerobios; la morfología de las bacterias encontradas corresponde a lo descrito previamente en la literatura perteneciendo al grupo de enterobacterias Gram negativas en forma de bacilo para el caso de *E. coli* y *Shigella*, cocos y coco bacilos para mesófilos aerobios (Hernández, 2018; Johnson, 2018; Moyes, 2009a y Moyes, 2009b).

En un estudio realizado por Rubino en el 2018 en contenedores que almacenan el agua potable en hogares de diferentes zonas de Guadalajara en México, encontraron la presencia de coliformes totales, pero no de *E. coli*, con base en las normas descritas con anterioridad (Rubino F., 2018). A pesar de haber utilizado las mismas metodologías, los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran la presencia de estas enterobacterias en el agua que es utilizada para uso y consumo humano en los municipios de Nezahualcóyotl, Ecatepec, La Paz y Chalco.

Debido a que en el Estado de México existe un incremento de enfermedades gastrointestinales con más de 300 mil ingresos hospitalarios en el año 2021, la contaminación del agua potable por enterobacterias en el Oriente del Estado de México podría ser una de las causas principales de enfermedades gastrointestinales (Belotserkovsky, 2018; Clements, 2012; Farfán, 2016; Riley, 2014 y Rios, 2019) por el uso y consumo de esta agua. Hasta el momento no existen estudios previos publicados sobre de la calidad del agua potable para estos municipios, por lo que estos resultados brindan indicios de la presencia de *E. coli*, *Shigella* y mesófilos aerobios contenidos en el agua que es utilizada para uso y consumo humano.

Conclusiones

El análisis de la calidad del agua en las diferentes colonias de los municipios de Nezahualcóyotl, Ecatepec, La Paz y Chalco demostraron la presencia de coliformes totales y fecales (*E. coli* y *Shigella*). Los resultados brindan el primer panorama de contaminación microbiológica del agua que se abastece en estos municipios, por tal motivo, es necesario continuar con este tipo de estudios, que permitan que los programas de vigilancia sean efectivos, así como la actualización de procesos necesarios para garantizar la inocuidad del agua potable que se abastece y consume por los habitantes del oriente del Estado de México.

and to the Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl, for contributing with the needed inputs and facilities to develop the project.

End of English version

References / Referencias

- Bain R, G. S. (2012). Accounting for Water Quality in Monitoring Acces to Safe Drinking-Water as Part of the Millennium Development Goals: Lessons from Five Countries. *World Health Organ.*, 228-235. Recuperado de <http://doi.org/10.2471/BLT.11.094284>
- Baker.S. (2018). Recent insigthns into Shigella. *Curr Opin Infect Dis*, 449-454. Recuperado de <http://doi.org/10.1097/QCO.0000000000000475>
- Bautista A, T. J. (2013). Calidad microbiológica del agua obtenida por condensación de la atmósfera en Tlaxcala, Hidalgo y Ciudad de México. *Revista internacional de contaminación ambiental.*, 167 - 175. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/370/37028275003.pdf>
- Belotserkovsky I, S. P. (2018). Shigella and Enteroinvasive Escherichia Coli. *Curr Top Microbol Immunol.* , 1 - 26. Recuperado de https://doi.org/10.1007/82_2018_104
- Belotserkovsky I, S. P. (2018). Shigella and Enteroinvasive Escherichia Coli. *Curr Top Microbol Immunol.* , 1 - 26. Recuperado de https://doi.org/10.1007/82_2018_104
- CAEM. (2019). *Comisión del agua del Estado de México, Misión, visión y objetivos*. Obtenido de CAEM, Misión, Visión y objetivos. Recuperado de <https://caem.edomex.gob.mx>
- Bain R, G. S. (2012). Accounting for Water Quality in Monitoring Acces to Safe Drinking-Water as Part of the Millennium Development Goals: Lessons from Five Countries. *World Health Organ.*, 228-235. Recuperado de <http://doi.org/10.2471/BLT.11.094284>
- Calixto Flores, R., y Ramírez Sosa, I. (2022). La educación ambiental en las universidades pedagógicas: un estudio de las representaciones sociales del uso del agua. *REVISTA ELECTRÓNICA EN EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA. La educación ambiental en las universidades perez.electron.educ. pedagog*, 124-140. Recuperado de <https://revedupe.unicesmag.edu.com/>
- Cázares Méndez, I., y Alcántara Araujo J. (2014). Análisis microbiológico de la calidad de agua de ciudad Netzahualcoyotl, acorde a la Norma Oficial Mexicana NOM 127- SSA-1994. Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación. Recuperado de <https://goo.su/LsxLGv>
- Clements A, Y. J. (2012). Infection strategies of enteric pathogenic Escherichia Coli. *Gut Microbes*, 71-87. Recuperado de <https://doi.org/10.4161/gmic.19182>
- COFEPRIS. (2021). *COFEPRIS. Agua (Normas). Gobierno de México*. Obtenido de COFEPRIS. Recuperado de <https://www.gob.mx/cofepris>

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó gracias al apoyo del Programa Cátedras COMECyT 2021 a través del estímulo económico con el folio CAT2021-0089 y a la Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl, por aportar los insumos e instalaciones necesarias para la realización del proyecto.

Fin de la versión en español

- CONAGUA. (2016). *CONAGUA. LEYES. Gobierno de México*. Obtenido de CONAGUA. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua>
- E.M.B., A. (s.f.). *Ficha técnica E.M.B. Agar (con Eosina y Azul de Metileno)*. Obtenido de Britania Lab. Recuperado de <https://www.britanialab.com>
- Epidemiología. (2021). *Epidemiología, Secretaría de Salud. Gobierno Federal*. Obtenido de Epidemiología.salud.gob.mx. Recuperado de <https://www.epidemiologia.salud.gob.mx>
- Epidemiológico, B. (2021). *Boletín Epidemilógico, Secretaría de Salud. Gobierno del Estado de México*. Obtenido de ddsisem.edomex.gob.mx. Recuperado de <https://ddsisem.edomex.gob.mx>
- Farfán A, A. S. (2016). Virulence mechanisms of enteropathogenic Escherichia coli. *Rev Chilena Infectol*, 438-450. Recuperado de <https://doi.org/10.4067/S0716-10182016000400009>
- Galdos A, C. d. (2017). Evaluación cunatitativa del riesgo microbiológico por consumo de agua en San Critobal de las Casas, Chiapas, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 133-153. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353549831010>
- Hernández Alvarado, H. G., y Vázquez Hernández, L. E. (2019). Cultura del Agua para la sustentabilidad en Durango. La experiencia de una asignatura estatal en secundaria. En L. A. Sánchez Midence, E. Velázquez Cigarroa, y L. Victorino Ramírez, *Sostenibilidad y presente: Desafíos y aciertos en la construcción del futuro* (pág. 249). Texcoco- Chapingo, Estado de México: Colección Educación Ambiental. Recuperado de <https://omp.siea.org.mx/omp/index.php/ompsieao/catalog>
- Hernández del Sol, R., Hernández Vázquez, G., Delgado Meza, Z., Bermudez Aleman, R. I., Sotolongo Rodríguez, Y., Vázquez Hernández, G. (2018). Bacterias enteropatógenas asociadas a enfermedad diarreica aguda en niños. *Acta Medica del Centro*. Recuperado de <https://revactamedicacentro.sld.cu/index.php/amc/article/view/813/1067>
- Hernández C, V. G. (2018). Bacterias enteropatógenas asociadas a enfermedad diarreica aguda en niños. *Acta Medica del Centro*. Recuperado de <https://tinyurl.com/euuzhd5f>
- Hernández Cisneros, E., Martínez Rodríguez, M. C., y Silva Rodríguez de San Miguel, J. A. (2022). Intervenciones y estudios socioambientales. Gestión del agua potable en la alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México: una revisión de literatura. En O. R. Castro Martínez, J. M. Rivera Ramírez,

- y J. C. Fontalvo Buelvas, *Intervenciones y estudios socioambientales : Experiencias interdisciplinarias para la sustentabilidad* (pág. 268). Texcoco, Estado de México, México: Colección Educación Ambiental. Recuperado de <https://omp.siea.org.mx/omp/index.php/ompsieao/catalog>
- Hernández Cortés, C.A.A. (2011). Situación de las enfermedades gastrointestinales en México. *ENF INF MICROBIOL*, 137-151. Recuperado de <https://tinyurl.com/mw3h34zx>
- Industria, B. D. (s.f.). *Catálogo de Medios de cultivo Deshidratado*. Obtenido de BD BIOXON: Recuperado de <http://www.dq.com.mx/site/pdf/bioxon.pdf>
- Johnson J, R. T. (2018). Molecular Epidemiology of Extraintestinal Pathogenic Escherichia Coli. *EcoSal Plus*, 124-130. Recuperado de <https://doi.org/10.1128/ecosalplus.ESP-0004-2017>
- Lampel K, F. S. (2018). A brief history of Shigella. *EcoSal Plus*, 10.1128. Recuperado de <https://doi.org/10.1128/ecosalplus.ESP-0006-2017>
- Moyes R, R. J. (2009a). Differential staining of bacteria: gram stain. *Curr Protoc Microbiol*, Appendix 3. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/9780471729259.mca03cs15>
- Moyes R, R. J. (2009-b). Preliminary staining of bacteria: simple stains. *Curr Protoc Microbiol*, Appendix 3E. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/9780471729259.mca03es15>
- Normas Oficiales Mexicanas, a. (2015). *Secretaría de Salud. Normas Oficiales Mexicanas, agua*. Obtenido de Transparencia.cofepris.gob. Recuperado de <https://www.transparencia.cofepris.gob.mx>
- Pulles, M. (2014). Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en Cuba. *CENIC*, 25-36. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181230079005.pdf>
- Ramos L, V. L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la Bahía de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 88. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028004007>
- Riley L. (2014). Pandemic lineages of extraintestinal pathogenic Escherichia Coli. *Clin Microbiol Infect*, 380-90. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/1469-0691.12646>
- Rios D, C. J. (2019). *Eschechiria coli* enterotoxigénica y enteroagregativa: prevalencia, patogénesis y modelos muridos. *Gaceta Médica de México*, 410-416. Recuperado de <https://tinyurl.com/26butra9>
- Rios S, A. R. (2017). Patógenos e indicadores microbilógicos de calidad del agua para consumo humano. *Rev Fac Nac Salud Pública*, 236-247. Recuperado de <https://tinyurl.com/4hxxkjuvy>
- Rojas, R (2002). Guía para la vigilancia y control del agua para consumo humano. Centro panamericano de ingeniería sanitaria, 1-9. Recuperado de <https://iris.paho.org/handle/10665.2/55439>
- Rubino F, C. Y. (2018). Bacterial Contamination of Drinking Water in Guadalajara, México. *Int J Environ Res Public Health*, 67. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/ijerph16010067>
- SEMARNAT. (2021). *SEMARNAT*. Obtenido de semarnat.gob.mx. Recuperado de <https://www.gob.mx>
- WHO. (2018). *WHO, Water, Sanitation and Hygiene strategy*. Obtenido de apps.who.int: Recuperado de <https://apps.who.int/int/iris/handle/10665/274273>
- WHO/UNICEF. (2008). *Progress on drinking-water and sanitation:special focus on sanitation* . Obtenido de USA. WHO/UNICEF. Recuperado de <https://apps.who.int>
- XLD, A. (2019). *Científica SENNA S.A. DE C.V*. Obtenido de DIBICO. Recuperado de <https://www.cientificasenna.com>
- XLD, A. (s.f.). *Ficha técnica BD XLD Agar (Xylose-Lysine-Desoxycholate Agar)*. Recuperado de <https://www.cientificasenna.com>