

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL
POR INVESTIGACIÓN

PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

Presencia de enterobacterias en tilapias y agua del canal Puente de Urrutia,
San Gregorio Atlapulco, Xochimilco.

QUE PRESENTA LA ALUMNA

Monserrat Peña Cano

2193073006

ASESORES:

Dr. Eduardo Maya Peña
No. Económico:24563

Dra. Patricia Martínez Cruz.
No. Económico: 18488

Ciudad de México

Fecha: 16 de abril del 2025

INDICE

Resumen:	4
Introducción:	5
Justificación:	6
Objetivos:	6
Objetivo general:.....	6
Objetivos particulares:.....	6
Marco teórico.	7
Canales de Xochimilco “Puente de Urrutia”.	7
Nutrientes y calidad de agua.	7
Compuestos nitrogenados.	8
Amonio.	8
Nitritos.	8
Nitratos.	8
Presencia de fósforo en agua.	9
Fosfatos.	9
Dinámica Ecosistémica:.....	9
Eutrofización.	9
Lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>).	10
Impacto microbiológico.	10
Precipitación y escorrentía como mecanismo de transporte microbiológico.	10
Enterobacterias.	10
Metodología:	11
Área de estudio.....	11
Trabajo en campo	11
Captura de tilapias.....	12

Trabajo de laboratorio	12
Análisis de calidad de agua.	12
Análisis microbiológico:	12
Actividades realizadas	14
Monitoreo de la calidad de agua.	14
Análisis microbiológico.	14
Metas alcanzadas.	18
Resultados.....	19
Diagnóstico.....	19
Árbol de problemas.	19
Calidad de agua.	21
Resultados microbiológicos.	23
Enterobacterias detectadas.	26
Enterobacterias detectadas.	31
Conclusiones.....	32
Recomendaciones.....	32
Referencias.	34
Anexos.	36
Microrganismos en muestras de agua.....	36

Resumen:

El agua en el puente de Urrutia es considerada un recurso muy importante, pues es utilizada para diversas actividades humanas que ayudan al sector social, cultural y económico, en dichas actividades destacan la pesca, el uso para riego de cultivos y el turismo. Sin embargo, esta zona se ha visto afectada por las mismas actividades humanas. La contaminación en el canal es causada mayormente por descargas de desechos humanos, intensificación de la agricultura y un consiguiente aumento en la utilización de fertilizantes químicos.

Debido a que este canal es tratado con aguas residuales las enterobacterias son frecuentes en el ambiente, muchos de estos organismos poseen cepas patógenas, ocasionando enfermedades gastrointestinales, respiratorias y urinarias volviéndose un riesgo para la salud pública. Considerando esto, es importante identificar a las especies de enterobacterias que se encuentran en el Puente de Urrutia, así también destacar el medio y los factores en donde estos organismos se desarrollan.

Actualmente no se encuentra mucha información con respecto al estado del agua en este sitio, es por esto que, se realizaron visitas a campo y se midieron algunos parámetros fisicoquímicos como temperatura y pH. Se tomaron parámetros de calidad de agua; Amonio, nitrito, nitrato y fosfato. También se desempeñaron actividades microbiológicas, en donde se detectó la presencia de algunas especies de enterobacterias.

Como resultado, se encontraron cinco especies de enterobacterias diferentes, cuatro de estas fueron encontradas en el agua del Puente de Urrutia, específicamente en los sitios con mayor materia orgánica (MO); *Escherichia coli*, *Serratia marcescens*, *Enterobacter cloacae*, *Edwardsielleae tarda*. Por otro lado, *Citrobacter freundii* fue detectada en muestras de tilapia (*Oreochromis sp*). Una de las razones principales por las cuales se encontraron estos organismos, fue el exceso de nitratos y fosfatos, debido a que, las enterobacterias se desarrollan y desempeñan bien en entornos ricos de nutrientes, así también, los parámetros fisicoquímicos como la temperatura (C°) y el pH son variables importantes, ya que desempeñaron valores óptimos que facilitaron el crecimiento y supervivencia.

Palabras clave: Calidad de agua, contaminación, enterobacterias, parámetros fisicoquímicos, exceso de nutrientes.

Introducción:

La Zona Lacustre de Xochimilco es un gran ecosistema en la cuenca de México, comprende un sistema de canales irregulares y lagunas que rodean terrenos chinamperos y no chinamperos, así como porciones que antes eran pueblos separados y ahora forman parte del mismo conglomerado urbano (Vázquez, et al., 2017).

El puente de Urrutia en San Gregorio Atlapulco, es un canal muy transitado a través de trajineras para turistas, pero también es fundamental para sus pobladores, ya que es uno de los operadores principales en el recorrido turístico que conecta con canales menos concurridos, contiene un paisaje natural principalmente agrícola, debido a que alrededor se puede observar la ruralidad a través de las chinampas con cultivos de hortalizas y un modo de vida para los pobladores que viven alrededor, donde son muy comunes las prácticas rurales como es la pesca y siembra de cultivos o agricultura (Méndez, 2023). Dichas prácticas son importantes, pues fortalecen el sector social y económico.

Sin embargo, debido a las actividades y asentamientos humanos se ha dado como resultado un aumento desmedido en las descargas domésticas de fertilizantes y otros desechos agrícolas, provocando un alto contenido de materia orgánica.

El exceso de materia orgánica en el agua proporciona un entorno con niveles elevados de nitratos, fosfatos y otros nutrientes, generando un proceso denominado eutrofización y gran parte de este se debe a las actividades antropogénicas de la zona. Esto abre paso a la aparición de un incremento en la actividad microbiológica, dicho aumento puede hacer que el estado del agua se pueda ver afectado (Molina Cabrera, et al., 2003).

La presencia de bacterias en los cuerpos de agua se debe principalmente a la descarga de aguas residuales domésticas sin tratar adecuadamente. Tamm (2013), menciona que la contaminación microbiológica más importante se concentra principalmente en los canales, cerca de las zonas más urbanizadas, tal es el caso de Puente de Urrutia.

Uno de los organismos más comunes en los canales de Xochimilco, son las enterobacterias. Su presencia está determinada por múltiples factores ambientales y antropogénicos que generan condiciones específicas para su desarrollo y proliferación. Las enterobacterias son una familia grande, caracterizadas por ser bacilos gramnegativos distribuidos en la naturaleza de forma amplia. Pueden encontrarse en el suelo, agua, sobre las plantas, así también, es común encontrarlos en el tracto digestivo de los seres humanos y los animales.

En canales de Xochimilco, existen varios estudios que han detectado enterobacterias por niveles muy altos de coliformes fecales y otros patógenos intestinales (Channah Rock, 2014). Se pueden encontrar diversos géneros como: *Escherichia*, *Enterobacter* y *Citrobacter*. Cada uno de estos microorganismos presenta características específicas de adaptación y supervivencia que les permite colonizar diferentes microhábitats dentro del ecosistema.

Es importante mencionar que el estado del agua en el que se encuentra el Puente de Urrutia es de interés a la salud pública, pues, la alta concentración de enterobacterias representa un riesgo significativo para la salud humana y animal, debido a que estas pueden ser patógenas oportunistas, causando enfermedades gastrointestinales, respiratorias y urinarias.

Por lo anterior, la presente investigación busca brindar un estudio en la detección y caracterización de enterobacterias en el agua, y algunas tilapias del Puente de Urrutia.

Justificación:

El Puente de Urrutia se encuentra en Xochimilco y es una zona declarada patrimonio de la humanidad por la UNESCO, reconocido por su atractivo turístico, histórico y cultural (Ramos Ortiz & Ruvalcaba García, 2005).

Sin embargo, esta zona se ha deteriorado significativamente en las últimas décadas. La rápida urbanización y crecimiento poblacional han llevado a un aumento en descargas de aguas residuales y desechos urbanos e industriales en los canales. Esto ha resultado en grandes niveles de contaminación orgánica e inorgánica.

Además, el exceso de nutrientes provenientes de fertilizantes y desechos orgánicos ha provocado la eutrofización de las aguas, lo que conduce en un aumento en algas y plantas acuáticas (Moreno, 2024). Debido a la mala calidad de agua se han creado condiciones adversas para las personas que habitan en esta zona, volviéndose un tema de salud pública.

Existe una amplia variedad de microorganismos que se pueden encontrar en el agua, estos pueden ser patógenos o no patógenos. Los estudios de evaluación de la calidad de agua en Xochimilco demuestran que las bacterias que se aislan son un peligro para la población, debido a que estas pueden ser causantes de enfermedades. En su mayoría, se han detectado casos relacionadas a la gastroenteritis (C. Apella & Z. Araujo, 2016).

Sin embargo, actualmente no se disponen de datos precisos para el Puente de Urrutia. Estudios realizados en áreas cercanas, han mostrado niveles altos de contaminación fecal en el agua. Es razonable inferir que la situación en este canal puede ser igual o peor, dependiendo de las condiciones locales específicas.

Dado que el Puente de Urrutia es una zona de aguas residuales, en donde se encuentran desechos domésticos, es probable encontrar indicadores de contaminación fecal, como ciertas especies de enterobacterias.

Las enterobacterias son comunes en estos ambientes y son parte del microbiota de los animales y seres humanos, por esto, es probable detectarla en especies abundantes de la zona, tal es el caso de la tilapia (*Oreochromis sp*). Para obtener un poco más de información al respecto, esta investigación se realizó con la finalidad de detectar la presencia de enterobacterias en el agua y en algunas tilapias del puente de Urrutia, así también relacionar la presencia de estos organismos con el entorno y conocer las características en donde se facilita su supervivencia y proliferación.

Objetivos:

Objetivo general:

Detectar la presencia de enterobacterias en la zona conocida como “Puente de Urrutia”.

Objetivos particulares:

Caracterizar a las comunidades de enterobacterias patógenas mediante métodos microbiológicos tradicionales.

Marco teórico.

Canales de Xochimilco “Puente de Urrutia”.

Los canales de Xochimilco, ubicados al sur de la Ciudad de México, representan un patrimonio cultural y ecológico único que refleja siglos de historia y tradición. El Puente de Urrutia emerge como un punto emblemático dentro de este complejo sistema de canales, símbolo de la conexión histórica entre la agricultura chinampera y el desarrollo urbano de la región.

Originalmente construido como parte del sistema agrícola prehispánico, el Puente de Urrutia no es solo una estructura arquitectónica, sino un testigo vivo de la transformación de Xochimilco. Este lugar conecta diferentes zonas de los canales, facilitando el movimiento de personas, productos y representando un punto estratégico para las actividades tradicionales y económicas de la zona.

Las actividades sociales y económicas en torno a los canales de Xochimilco, incluido el Puente de Urrutia, son diversas y complejas. La agricultura chinampera, sistema de cultivo milenario desarrollado por los aztecas, sigue siendo fundamental. Las chinampas, islas artificiales construidas con capas de vegetación y lodo, permiten cultivos intensivos de verduras, flores y plantas medicinales que abastecen gran parte del mercado de la Ciudad de México. La producción de plantas ornamentales, especialmente de flores como claveles y rosas, se ha convertido en una actividad económica crucial para muchas familias de la región (Arana Magallón, *et al.*, 2017).

El turismo representa otro pilar económico importante. Las tradicionales trajineras, embarcaciones coloridas que recorren los canales, atraen a miles de visitantes cada año. Familias, grupos de amigos y turistas disfrutan de paseos que combinan elementos culturales, gastronómicos y paisajísticos, generando ingresos significativos para la comunidad local.

La fauna y flora en el Puente de Urrutia también son muy importantes, ya que representan un ecosistema complejo y dinámico fundamental para la comprensión de los sistemas lacustres de Xochimilco. Su importancia ecológica cultural y ambiental trasciende los límites geográficos inmediatos configurándose como un espacio de interacciones biológicas y culturales únicas (Arana Magallón, *et al.*, 2017).

Nutrientes y calidad de agua.

Actualmente la realidad ecológica de Xochimilco presenta un panorama preocupante. La calidad del agua se ha degradado significativamente debido a múltiples factores. La contaminación urbana, descargas de aguas residuales, escorrentía agrícola y el crecimiento desordenado de la Ciudad de México han convertido estos canales en un ecosistema severamente comprometido.

La calidad del agua se ha valorado a partir de variables físicas, químicas y biológicas. Los parámetros fisicoquímicos dan una información extensa de la naturaleza y tienen incidencia directa sobre las condiciones de la calidad de agua. Y como consecuencia en la vida de los organismos que habitan en ese lugar (Martins, 2019).

Algunos rasgos ambientales destacables, son:

Temperatura: Su importancia radica en la aceleración de reacciones químicas, difusión de los gases, solubilidad de los minerales y por lo tanto en la distribución espacial y temporal de los organismos acuáticos. Los cambios bruscos de la temperatura suelen ser causados por vertidos industriales, agrícolas o urbanos. Casi todas las propiedades físicas, químicas y biológicas, dependen de la temperatura (CONACyT-CONAGUA, 2012).

pH: La intensidad de acidez o alcalinidad de una muestra se mide con la escala pH. El pH controla muchas reacciones químicas y la actividad biológica normalmente se restringe a una escala bastante estrecha.

Este parámetro se emplea para caracterizar el agua y dar un seguimiento a un proceso (neutralización, biológico anaerobio, corrosión) o bien, para controlar las condiciones de operación (precipitación, sistemas biológicos anaerobios, desinfección). (CONACyT-CONAGUA, 2012).

Nutrientes en agua.

Los sistemas acuáticos representan ecosistemas complejos donde la dinámica de nutrientes juega un papel fundamental en el equilibrio ecológico. En el contexto específico de los canales de Xochimilco, la interacción de compuestos nitrogenados y fosfatados configura un escenario de profunda relevancia científica y ambiental.

Los dos nutrientes de importancia en el agua natural y agua residual son el nitrógeno y fósforo. Ambos son esenciales para el crecimiento de las plantas y organismos, sin embargo, si estos se encuentran de una manera excesiva, pueden ser no deseables, conduciendo a menudo a la eutrofización (Bolaños Alfaro *et al.*, 2017).

Los ciclos biogeoquímicos del amonio, nitrato, nitrito y fosfato representan procesos fundamentales que conectan y transforman la materia entre los diferentes componentes de los ecosistemas terrestres y acuáticos. Estos nutrientes esenciales circulan a través de organismos, suelos, aguas y atmósfera en un complejo sistema de transformaciones químicas que sostienen la vida en el planeta.

Compuestos nitrogenados.

El ciclo del nitrógeno donde participan activamente el amonio, nitrato y nitrito, es particularmente relevante. Inicia con la fijación de nitrógeno atmosférico por bacterias especializadas que lo convierten en formas asimilables para plantas y microorganismos (Cárdenas Calvachi & Sánchez Ortiz, 2013).

Amonio.

El amonio (NH_4^+) es el producto inicial en la descomposición del nitrógeno orgánico y en condiciones aeróbicas, es oxidado en nitritos y estos en nitratos. Se encuentra en el agua principalmente por el metabolismo de organismos acuáticos, la descomposición de materia orgánica, procesos y descargas antropogénicas (Sardiñas Peña & Pérez Cabrera, 2004). Analizar las concentraciones en las que se encuentra es importante, pues representa un indicador crítico de la calidad del agua. En condiciones normales, funciona como nutriente esencial para el desarrollo de productores primarios, pero en altas concentraciones puede resultar tóxico para la fauna acuática, reduciendo los niveles de oxígeno disuelto y provocando la proliferación microbiológica. (Escudero, 2022).

Nitritos.

Son compuestos solubles, conformados molecularmente por nitrógeno y oxígeno. En el ambiente, el nitrito (NO^{2-}) es importante ya que se utiliza generalmente como indicador de contaminación fecal en aguas naturales. Cabe resaltar que el nitrito se encuentra en un estado intermedio entre el amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-).

En aguas superficiales, suele tener concentraciones muy bajas, pero puede aparecer en ocasiones a concentraciones sumamente elevadas, generalmente se debe a la contaminación industrial y aguas residuales domésticas (Escudero, 2022)

Nitratos.

Los nitratos (NO_3^-) son el producto de procesos de nitrificación bacterial, el nitrato representa la fase final de oxidación del nitrógeno. Su presencia refleja condiciones de estabilidad ecosistémica, son un elemento esencial para los organismos autótrofos

fotosintéticos, se le considera como una fuente limitante del crecimiento, por esta razón su uso predominante está en los fertilizantes. Sin embargo, fuera del equilibrio ocasiona el crecimiento exacerbado de plantas, acelerando y aumentando el proceso en la eutrofización (Molina Cabrera, *et al.*, 2003).

Presencia de fósforo en agua.

El fósforo en aguas naturales y específicamente en los canales de Xochimilco representa un elemento fundamental para la dinámica ecológica con características complejas y multifactoriales. Su presencia configura escenarios biogeoquímicos que determinan la estructura y funcionamiento de ecosistemas acuáticos. Participa en procesos fundamentales de transferencia de energía entre organismos e interviene en la formación de moléculas biológicas como ácidos nucleicos, membranas celulares y compuestos energéticos. Este elemento en el agua es muy importante, ya que su disponibilidad regula las interacciones tróficas en ecosistemas acuáticos (Flores Huilcapi, *et al.*, 2020)

Fosfatos.

El fósforo se encuentra en diferentes estados y compuestos químicos en el agua, en donde predominan las formas inorgánicas como fosfatos.

El fosfato emerge como nutriente limitante en ecosistemas acuáticos, fundamental para procesos de producción primaria. Su origen puede ser natural, es decir, los fosfatos pueden liberarse y llegar al agua por los sedimentos, rocas y descomposición de materia orgánica, liberando componentes del fósforo (fosfatos) de manera constante. Los suelos agrícolas, las corrientes subterráneas y la descomposición de organismos acuáticos contribuyen a su distribución, así también, los ciclos biogeoquímicos permiten su transformación y movilidad entre diferentes compartimentos ambientales.

El origen también puede ser antrópico, pues, las actividades humanas incrementan significativamente la concentración de fosfatos. Las descargas de aguas residuales, fertilizantes, agrícolas, detergentes y residuos industriales aportan cantidades considerables de este elemento. Los sistemas de chinampas en Xochimilco representan una fuente importante de introducción de fosfatos al ecosistema (Bolaños Alfaro, *et al.*, 2017).

Los nutrientes fosfatados, son esenciales para el crecimiento de los organismos en el agua, sin embargo, cuando se encuentra en cantidades muy altas, propicia la estimulación de micro y macroorganismos fotosintéticos, provocando problemas de eutrofización.

Dinámica Ecosistémica:

Eutrofización.

La interacción de fosfatos y nitratos en los canales de Xochimilco genera una cascada de efectos ecológicos. El aporte excesivo provoca un fenómeno conocido como eutrofización.

La eutrofización es un fenómeno de degradación ambiental que ocurre cuando un cuerpo de agua experimenta un enriquecimiento excesivo de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo. Este proceso desencadena una serie de cambios ecológicos profundos que pueden transformar radicalmente las características de un ecosistema acuático (Sandoval Contreras, 2008).

Cuando los niveles de nutrientes se elevan significativamente, generalmente por actividades humanas como descargas de aguas residuales, escorrentía agrícola o vertidos industriales, se genera un desequilibrio que estimula un crecimiento exponencial de productores primarios, especialmente de algas y cianobacterias.

Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*).

En cuerpos de agua, como los canales de Xochimilco el fenómeno de la eutrofización es notable, debido a la proliferación de productores primarios.

Una de las especies primarias más comunes de encontrar es el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*). Esta especie se encuentra en aguas donde las concentraciones de nutrientes generalmente son altas, debido a la escorrentía agrícola y tratamiento insuficiente de las aguas residuales. Cuando esta macrófita muere, se hunde y se descompone lo que vuelve al agua más eutrófica, debido a la cantidad de nutrientes. La calidad del agua se deteriora y se ve amenazada, provocando un impacto directo en la salud humana (Cervantes Ortiz, et al., 2021).

A pesar de ser una especie invasora, dentro de los canales de Xochimilco, se ha reportado que las bajas cantidades no afectan, pues es utilizada como fitoremedición para la captación de metales en agua. Sin embargo, es necesario mantener un control, evitando su proliferación excesiva.

Impacto microbiológico.

El impacto microbiológico de la eutrofización en los ecosistemas acuáticos es un proceso complejo y profundamente transformador que altera radicalmente las comunidades microbianas. En sistemas como los canales de Xochimilco, esta transformación se manifiesta mediante cambios dramáticos en la estructura y composición de los microorganismos.

Cuando un ecosistema experimenta eutrofización, se genera un escenario donde las comunidades bacterianas sufren una reconfiguración total. El exceso de nutrientes provoca una selección que favorece bacterias oportunistas capaces de proliferar rápidamente en condiciones de alta disponibilidad de materia orgánica (Moreno Samaniego, et al., 2021).

Se generan nuevos microambientes caracterizados por condiciones anóxicas donde proliferan bacterias anaeróbicas estrictas, incrementando las poblaciones de bacterias fermentativas y reduciendo significativamente la diversidad microbiana. Este proceso selectivo favorece la concentración de microorganismos patógenos, aumentando la presencia de coliformes, virus entéricos y elevando los riesgos sanitarios.

Precipitación y escorrentía como mecanismo de transporte microbiológico.

Las precipitaciones en Xochimilco son estacionales con una concentración principal durante los meses de junio a septiembre (CONACYT & CONAGUA, 2012). La variabilidad en la intensidad y volumen de las lluvias genera dinámicas específicas en los canales y chinampas.

Las escorrentías actúan como vehículos de transporte de diversos elementos como sedimentos, materia orgánica, residuos agrícolas, contaminantes urbanos y desechos de origen animal y humano. Estos flujos generan condiciones propicias para la multiplicación de microorganismos especialmente enterobacterias.

Las precipitaciones intensas provocan fenómenos como arrastre de microorganismos, dilución temporal de contaminantes, alteración de micro hábitats bacterianos y redistribución de sedimentos con carga bacteriana.

Enterobacterias.

Debido a que el Puente de Urrutia es un canal con aguas residuales que contiene concentraciones altas de nutrientes, las enterobacterias encuentran condiciones particularmente favorables para su proliferación y desarrollo, constituyéndose como un componente microbiológico crítico en estos ecosistemas alterados. En un ambiente eutrófico, las enterobacterias experimentan una serie de transformaciones y adaptaciones que les permiten no solo sobrevivir, sino también multiplicarse de manera exponencial.

Esta familia, se caracteriza generalmente por ser bacterias Gram negativas que pueden tener morfología de cocos o bacilos. Los miembros de este grupo forman parte de la microbiota del intestino en los seres humanos y animales (Martins, 2019). Algunas especies pueden vivir en tierra, en plantas y en agua (C. Apella & Z. Araujo, 2016).

En aguas residuales, las enterobacterias pueden encontrarse al ser expulsadas por las heces de los seres vivos, siendo de mucha utilidad como indicadores de contaminación fecal.

Desde una perspectiva de salud pública, la proliferación de enterobacterias en medios eutróficos representa un riesgo multidimensional. Pueden contaminar recursos hídricos, transmitir enfermedades y afectar sistemas productivos como la agricultura chinampera. Su presencia se utiliza como indicador de contaminación fecal y biomarcador de la calidad del agua, proporcionando información crucial sobre el estado del ecosistema.

Metodología:

Área de estudio.

Xochimilco es una de las delegaciones pertenecientes a la Ciudad de México, y se localiza al sureste de la capital mexicana. El puente de Urrutia se encuentra en esta delegación y se localiza en los 19.260741 de latitud norte, 99.075091 de longitud oeste y una altitud de 2233,1m.

Para cumplir de manera adecuada con los objetivos del presente trabajo de investigación, fue necesario realizar visitas a campo en la zona Puente de Urrutia, ubicada en San Gregorio Atlapulco Xochimilco, Ciudad de México.

Diagnóstico

Se utilizó la metodología del marco lógico (Aldunate & Córdoba, 2011) y a partir de un árbol de problemas, se identificaron los problemas focales.

Trabajo en campo

Se seleccionaron aleatoriamente tres sitios de muestreo dentro de la zona de estudio y se recolectaron muestras de agua superficial en frascos estériles debidamente etiquetados.

Las colectas se realizaron en cuatro fechas distintas, con un intervalo aproximado de un mes entre cada una.

Primer muestreo: 22 de julio 2024.

Segundo muestreo: 22 de agosto 2024.

Tercer muestreo: 17 de septiembre 2024.

Cuarto muestreo: 31 de octubre 2024.



Figura 1; Sitios de recolección de agua en las diferentes fechas de muestreo de la zona de estudio “Puente de Urrutia”

Captura de tilapias.

Se capturaron seis tilapias (*Oreochromis sp.*), las cuales fueron trasladadas al laboratorio “Calidad y Uso del Agua” del Departamento “El Hombre y su Ambiente” de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco. Estas permanecieron 48 horas en purga con agua limpia y aireación constante, posteriormente el agua resultante fue colectada en un frasco estéril para un análisis microbiológico.

Trabajo de laboratorio

Análisis de calidad de agua.

La calidad de agua se evaluó a partir de cuantificar las concentraciones de amonio-amoniaco ($\text{NH}_3\text{-NH}_4$), nitritos (NO_2^-), nitritos (NO_3^-) y fosfatos (PO_4^{3-}), empleando un fotómetro HANNA HI 83099.

Análisis microbiológico:

Detección de enterobacterias en agua de sitios y tilapias del Puente de Urrutia.

De acuerdo con el “Manual de métodos básicos para el aislamiento e identificación de enterobacterias del agua” (Bustos Martínez, et al., 2007), se procesaron en el laboratorio las muestras recolectadas.

Incubación

Se cultivaron muestras de agua provenientes de tres sitios seleccionados en campo, utilizando agar MacConkey como medio de aislamiento selectivo, asegurando condiciones estériles durante el procedimiento. Antes de la siembra, las muestras en frascos estériles fueron agitadas para homogeneizarlas. Posteriormente se realizó la siembra por estría cruzada y las placas se incubaron a 37°C durante aproximadamente 24 horas.

Descripción morfológica de las enterobacterias.

Posterior al periodo de incubación, se describió la morfología colonial bacteriana de acuerdo con la forma, el color, opacidad, superficie, borde, elevación y consistencia.

Obtención de cultivos puros.

Para aislar cultivos puros, se realizó la resiembra de las colonias observadas en el primer cultivo. Las colonias seleccionadas se sembraron nuevamente en agar MacConkey y se incubaron a 37°C durante 24 horas.

Identificación de enterobacterias.

a) Tinción Gram.

El proceso de tinción Gram es un paso fundamental en la identificación de colonias bacterianas, ya que permite observar sus características microscópicas. Se empleó esta técnica para determinar la morfología, el tamaño y la disposición celular de las bacterias.

b) Pruebas bioquímicas

Para la identificación de las enterobacterias, se aplicaron pruebas bioquímicas basadas en métodos tradicionales, con el objetivo de caracterizar su metabolismo.

Las pruebas realizadas fueron:

- Agar hierro triple azúcar (TSI)
- Citrato de Simmons (CIT)
- Caldo Urea (URE)
- Caldo semisólido (SIM)
- Caldo Voges-Proskauer (VP)

Actividades realizadas

Monitoreo de la calidad de agua.

Se determinó la calidad del agua empleando un fotómetro, cuantificando la concentración de amonio, nitritos, nitratos y fosfatos (Figura 2).



Figura 2: Cuantificación de la concentración de amonio, nitritos, nitratos y fosfatos de las muestras de agua. **A**-Recolección de agua en el canal Puente de Urrutia, estas se trasladaron a el laboratorio “Calidad de agua”, fue importante procesar las muestras al instante sin ser agitadas, esto con el fin de evitar la alteración de datos. **B**-Aplicación de reactivos. **C**-Procesamiento de muestras.

Análisis microbiológico.

Se llevó a cabo el sembrado de las muestras correspondientes en cada uno de los sitios y fechas de muestreo (Figura 3), observándose colonias de bacterias con morfología macroscópicas diferentes.



Figura 3: Sembrado de las muestras de agua en el Puente de Urrutia. De acuerdo con las características macroscópicas, se pueden diferenciar las colonias de bacterias identificándolas fácilmente con el color (rosa y blanca), la forma, elevación, consistencia, borde, superficie y opacidad.

Las bacterias encontradas en el cultivo de agar MacConkey se aislaron (**Figura 4**), permitiendo un cultivo puro para la diferenciación de las colonias bacterianas.



Figura 4; Resembrado de las muestras de agua recolectadas en el Puente de Urrutia.

Todas las muestras de agua de los tres sitios y el agua de tilapias poseen forma de bastones (bacilos) y son bacterias Gram negativas pues se observa una tinción “rosada” (**Figura 5**).

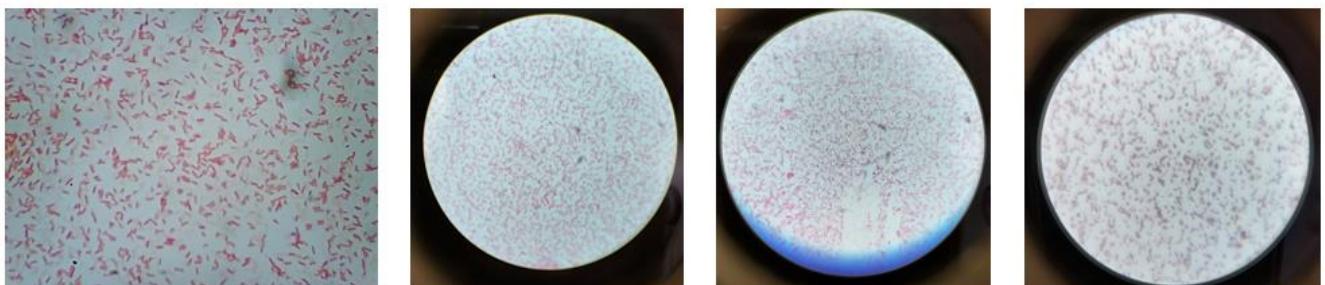


Figura 5; Tinción Gram de las muestras de agua de los sitios y tilapias del Puente de Urrutia.

La presencia de enterobacterias en especímenes ictiológicos expuestos a medios acuáticos contaminados se fundamenta en la inherente interrelación entre el organismo y su entorno. La **Figura 6** explica el proceso que se llevó a cabo para obtener los cultivos de las muestras por desechos de tilapias.

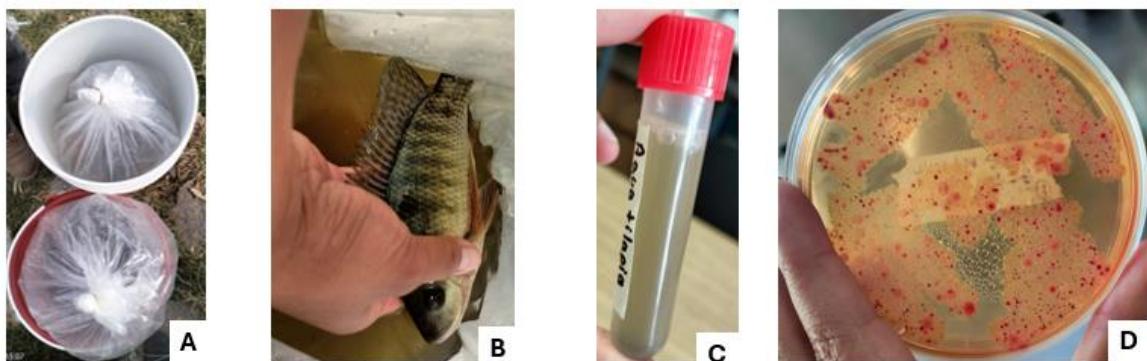


Figura 6; Proceso de la obtención del agua de tilapias para el cultivo en agar MacConkey. A)- La captura de las tilapias se realizó a lo largo del canal Puente de Urrutia, una vez colectadas se pusieron en bolsas con agua para transportarlas al laboratorio de “Calidad de agua”. B) - Las tilapias se cambiaron a un bote con agua limpia y aireación constante, en donde permanecieron 48 horas C) Posteriormente se colectó el agua con excretas de tilapia en un frasco estéril. D) Se hizo un cultivo en agar MacConkey, en donde las colonias resultantes obtuvieron un color rosa fuerte.

Detección de enterobacterias por métodos tradicionales.

Para la identificación de enterobacterias, la prueba catalasa debe dar un resultado positivo, mientras que la oxidasa debe ser negativa. Esto podemos observarlo en la **Figura 7**.



Figura 7; Prueba de oxidasa y catalasa para detección de enterobacterias. En todas las fechas y los sitios de muestreo, las colonias rosas cumplieron con esta prueba, La imagen A muestra un resultado positivo en la prueba de catalasa (+), debido a la producción de burbujas. La imagen B indica un resultado negativo en la prueba oxidasa (-), pues la coloración fue azul y no cambio al tener contacto con las colonias de bacterias.

Las pruebas bioquímicas se utilizaron como un método para identificar las características metabólicas de estas bacterias, los reactivos de estas pruebas detectan actividades enzimáticas específicas de los microorganismos. Tal como se muestra en la **Figura 8**, los resultados se pueden evaluar por cambios de color o turbidez.

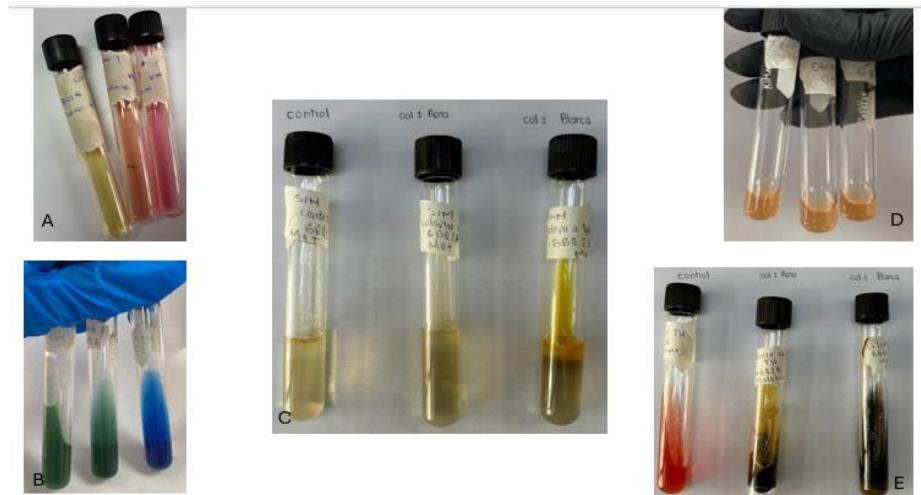


Figura 8; Pruebas bioquímicas realizadas en laboratorio para la detección de enterobacterias. El juego de pruebas bioquímicas utilizados en este estudio consiste en; A) Prueba Voges Proskauer- Rojo de Metilo B) Citrato de Simmons C) Caldo semisólido SIM D) Caldo urea E) Agar hierro triple azúcar TSI. Para cada prueba se ocuparon dos tubos, en uno se realizó el control y en los otros se sembraron las colonias con prueba de oxidasa negativa y prueba de catalasa positiva. Con las pruebas bioquímicas se facilitó la identificación de enterobacterias.

Metas alcanzadas.

Cada una de las actividades realizadas en campo y en laboratorio, fueron de gran importancia para obtener las metas alcanzadas de esta investigación.

Por medio de los resultados se demuestra que:

- ✓ La meta principal se cumplió con el objetivo general, debido a que se lograron detectar enterobacterias en el Puente de Urrutia.

Al comprobar la presencia de enterobacterias en la zona de estudio, fue importante contemplar las variables ambientales como las precipitaciones, la temperatura y el pH, debido a que sus características revelaron los entornos en los que estas bacterias crecen comúnmente.

Con la meta principal y las variables ambientales contempladas, se logró:

- ✓ Identificar enterobacterias en el agua y en tilapias.
- ✓ Se conocieron las características generales de las enterobacterias.
- ✓ Se destacó la relación de los parámetros de calidad de agua y la presencia de enterobacterias.
- ✓ Se brindó información nueva en la zona de estudio, al realizar muestreos en diferentes temporadas; así como caracterizar la calidad de agua asociada con las enterobacterias identificadas en la zona “Puente de Urrutia”.

Resultados

Diagnóstico.

Previo a la obtención de resultados fue importante realizar un diagnóstico de la zona de estudio, en donde, se identificaron algunas problemáticas y condiciones importantes que permitieron analizar el hábitat de enterobacterias.

Árbol de problemas.

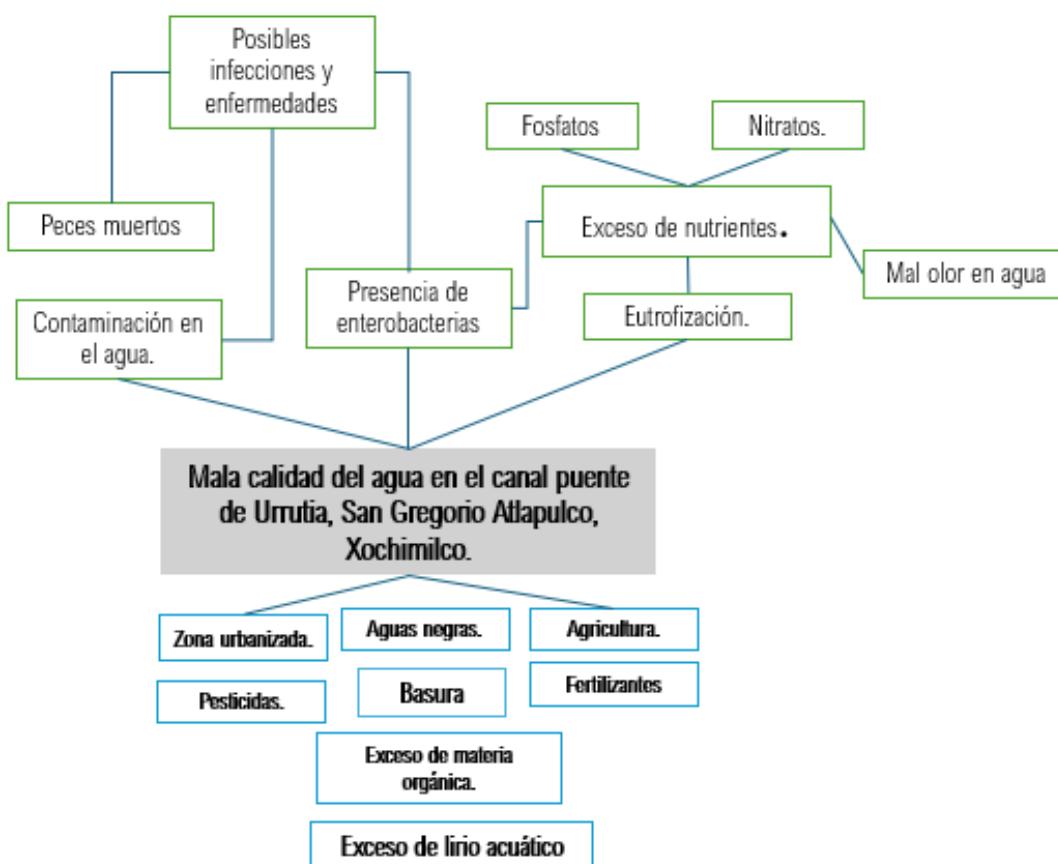


Figura 9; Árbol de problemas en la zona de estudio Puente de Urrutia.

Se muestra la representación de un árbol de problemas, en donde fue necesario analizar el área de estudio, con el fin de detectar los problemas y relacionarlos con la presencia de enterobacterias en el Puente de Urrutia.

Por medio del diagnóstico realizado con el árbol de problemas, podemos destacar que:

Al ser un lugar cercano a viviendas y negocios, la contaminación es notable, pues productos utilizados para la agricultura como; pesticidas y fertilizantes, así como desechos domésticos terminan en el canal. Todos estos desechos aumentan la concentración de nutrientes en el canal, provocando el proceso denominado eutrofización. Debido a la contaminación del agua en el Puente de

Urrutia, la presencia de enterobacterias era un resultado esperado, ya que, se encuentran en un entorno donde pueden propagarse. Además, variables como la temperatura y pH facilitan su supervivencia, pues sus valores son cruciales. (Corrales, *et al.*, 2015).

Durante las visitas en campo, se detectó mal olor en el canal por algunos peces muertos en proceso de descomposición, esto es debido al exceso de lirio acuático, indicando la reducción de oxígeno. Además, una vez que las plantas se pudren se convierte en materia orgánica. Entre más materia orgánica, hay una mayor probabilidad de encontrar enterobacterias, debido a que, son microorganismos saprofitos, es decir, buscan alimentarse de materia orgánica en descomposición como tejidos muertos o productos de desecho (Cortés-Sánchez, *et al.*, 2019).

Dentro de esta investigación, también fue necesario contemplar las precipitaciones frecuentes y la probable relación en la abundancia de colonias bacterianas en las muestras de agua, si bien, la materia orgánica juega un papel fundamental por el alto contenido en nutrientes, las lluvias también son muy importantes. Ya que, son un mecanismo que utilizan los microorganismos (algunas enterobacterias), para transportarse por escorrentía y dispersarse alrededor de todo el canal. También, las lluvias fuertes y constantes podrían causar la dilución de las enterobacterias. El proceso de dilución bacteriana resulta igualmente complejo. El aumento del volumen de agua reduce momentáneamente la concentración de microorganismos, pero no los elimina. Las enterobacterias poseen estrategias de supervivencia que les permiten adaptarse rápidamente a estas variaciones ambientales, pudiendo adherirse a partículas de sedimento o mantener su capacidad reproductiva.

Al encontrar enterobacterias, existe un riesgo para los seres humanos que habitan en esta zona, así también, para aquellas personas que visitan el lugar por turismo. Desde una perspectiva de salud pública, este fenómeno tiene implicaciones significativas. La dispersión no controlada de enterobacterias puede llevar a la contaminación de fuentes hídricas, incrementando el riesgo de enfermedades gastrointestinales y otros problemas de salud (Lozada Morales, 2014). Existen muchos focos de infección, el riesgo de estos aumenta al ser una zona urbana.

Algunos factores que son motivo de riesgo pueden ser:

- Riego de cultivos con el agua del Puente de Urrutia. Olabode (2000), menciona que la actividad negativa de utilizar aguas tratadas para el riego de hortalizas es un problema, ya que, en algunos reportes del agua de los canales de Xochimilco, se observa que estas contienen más de 10,000 coliformes por 100 ml de bacterias patógenas.
- Perros y gatos alrededor del canal, muchos de ellos beben agua, esto involucra un riesgo, pues pueden ser un foco de infección
- Una de las actividades principales de la zona es la pesca, en este canal hay una gran variedad de tilapias. El estado del agua puede reflejar la salud de los peces, muchos pueden tener enterobacterias patógenas, implicando un riesgo a los seres humanos.
- Higiene inadecuada después de tener contacto con el agua del canal.

Calidad de agua.

De acuerdo con los factores físicos observados en las visitas a campo, las variables ambientales como el pH, la temperatura, las precipitaciones, así también los nutrientes registrados por el estudio de calidad de agua fueron de gran importancia para la proliferación y detección de enterobacterias.

A continuación, se muestran los resultados de calidad de agua y microbiológicos en diferentes fechas de visitas a campo.

Parámetros de la calidad del agua														
Sitio	Fecha	Amonio (mg/L)			Nitrato (mg/L)		Nitrito (mg/L)			Fosforo (mg/L)			pH	Temperatura
		NH ₃₋	NH ₄₊	NH _{3-N}	NO ₃₋	NO _{3-N}	NO _{2-N}	NaNO ₂	NO ₂₋	PO ₄ ³⁻	P	P ₂ O ₅	log	C°
1	22/07/2024	5.34	5.67	4.39	79.1	17.9	6.0	29.0	19.0	7.0	2.3	5.3	7.7	24.4
	22/08/2024	2.23	2.36	1.83	53.3	12.0	8.0	42.0	28.0	15.0	4.9	11.2	8.1	23.2
	17/09/2024	2.41	2.56	1.98	28.9	6.5	10.0	47.0	31.0	11.8	3.8	8.8	7.5	26.1
	31/10/2024	2.04	2.17	1.68	86.8	19.6	13	63	42	21.1	6.9	15.8	8.1	25.5
2	22/07/2024	5.95	6.31	4.89	20.3	4.6	2.0	8.0	6.0	7.8	2.5	5.8	7.6	24.1
	22/08/2024	2.11	2.28	1.76	41.7	9.4	12.0	61.0	41.0	10.2	3.3	7.6	7.6	24.8
	17/09/2024	2.05	2.17	1.68	20.0	4.5	8.0	42.0	28.0	10.4	3.4	7.8	8.0	25.8
	31/10/2024	1.76	1.86	1.44	30.7	6.9	13	66	44	21.8	7.1	16.3	8.8	24.8
3	22/07/2024	5.18	5.49	4.26	55.2	12.5	3.0	17.0	11.0	7.2	2.3	5.4	7.6	23.8
	22/08/2024	2.10	2.23	1.73	41.8	9.4	12.0	58.0	39.0	9.1	3.0	6.8	7.8	24.3
	17/09/2024	2.28	2.42	1.88	20.0	4.5	7.0	32.0	21.0	13.8	4.5	10.3	7.3	25.9
	31/10/2024	4.83	5.12	3.97	45.5	16.9	12.0	59.1	40.5	14	4.6	10.4	8.0	25.5

Tabla 1; Valores de los parámetros de calidad del agua (amonio, nitrato, nitrito, fosfato, pH y temperatura)

En la **Tabla 1** se muestran los resultados de los parámetros en calidad de agua, con respecto a los sitios y fechas de muestreo. De manera general, se observa un entorno con exceso de nutrientes. Sin embargo, se encuentran algunos valores que se consideran más elevados y es importante destacarlos.

- El sitio 1 y 2 con la fecha del 31 de octubre muestra los valores más altos en nitratos, nitritos y fosfatos.
- El sitio 2 con fecha del 22 de julio destaca, pues los valores de amonio son los más altos de todas las fechas y sitios de muestreo.

Los sitios en las fechas resaltadas con niveles altos de nitratos, nitritos y fosfatos mostraron una mayor presencia de materia orgánica y vegetación como lirio acuático. Por otro lado, los sitios y fechas con un valor elevado en amonio se caracterizaron por tener una menor presencia de lirio acuático y materia orgánica.

La tabla también nos muestra los valores obtenidos de pH y temperatura (C°) en los diferentes sitios y fechas de muestreo. Podemos observar que la temperatura, no muestra diferencias significativas entre las fechas de muestreo, ya que ronda entre los 23 y 26 C°. Estos valores son ideales para el desarrollo de muchas especies de enterobacterias.

En cuanto al pH, observamos que el valor máximo es de 8.8, esto indica que los valores son normales, ya que, los sistemas acuáticos naturales generalmente se encuentran en equilibrio cuando el pH tiene valores que van de 6.5 a 8.8. Sin embargo, a pesar de que el pH está dentro de sus límites, también se consideran valores óptimos para la proliferación de algunas enterobacterias.

Resultados microbiológicos.

Morfología					
	Sitios con presencia de enterobacterias				
	Sitio 2 (julio)	Sitio 3 (agosto)	Sitio 1 (septiembre)	Sitio 1 y 2 (Octubre)	Sitio 3 (Octubre)
Forma	Irregular	Irregular	Irregular	Irregular	Irregular
Color	Rosa fuerte	Rosa fuerte	Rosa palido	Rosa fuerte	Rosa fuerte
Elevación	Elevada	Elevada	Plana	Plana	Elevada
Borde	Ondular	Rizado	Rizado	Continuo	Continuo
Consistencia	Gelatinosa	Gelatinosa	Gelatinosa	Mucosa	Gelatinosa
Opacidad	Opaca	Opaca	Opaca	Opaca	Opaca
Superficie	Lisa	Lisa	Rugosa	Rugosa	Rugosa
Tinción de Gram					
Forma	Bacilos	Bacilos	Bacilos	Bacilos	Bacilos
Gram	Negativas	Negativas	Negativas	Negativas	Negativas
Prueba oxidasa y catalasa					
Oxidasa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
Catalasa	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva

Tabla 2: Morfología de enterobacterias encontradas en los sitios y fechas de muestreo correspondientes.

La Tabla 2 describe la morfología de las bacterias detectadas en las muestras de agua.

Realizando la prueba de catalasa y oxidasa, se destacó que todas las colonias de coloración rosa son enterobacterias. Todas estas se caracterizaron por ser bacterias Gram negativas con forma de bacilos, la mayoría de estos poseen un tamaño corto. La tabla muestra las fechas en donde se encontraron enterobacterias.

- En las muestras de octubre, se detectaron enterobacterias en los tres sitios de muestreo, cabe resaltar que, en esta fecha, se encontró exceso de lirio acuática, y tilapias muertas, dando paso a una mayor presencia de materia orgánica.
- Por otro lado, en las fechas de julio, agosto y septiembre solo registraron enterobacterias en un sitio. Además, la presencia de lirio acuático y materia orgánica era menor a comparación de la última fecha de muestreo, en el mes de octubre.

Morfología		
Presencia de enterobacterias en agua de tilapias (<i>Oreochromis sp</i>)		
	Colonia 1	Colonia 2
Forma	Irregular	Irregular
Color	Rosa	Blancas
Elevación	Plana	Plana
Borde	Continuo	Ondular
Consistencia	Gelatinosa	Viscosa
Opacidad	Opaca	Opaca
Superficie	Rugosa	Rugosa
Tinción de Gram		
Forma	Bacilos	Bacilos
Gram	Negativas	Negativas
Prueba catalasa y oxidasa.		
Oxidasa	Negativa	Positiva
Catalasa	Positiva	Positiva

Tabla 3; Morfología de las enterobacterias en el agua colectada con desechos de algunas tilapias (*Oreochromis sp*).

Tal y como se muestra en la **Tabla 3**, en el cultivo de agua de tilapia se obtuvieron dos colonias de características diferentes, ambas se clasificaron como Gram negativas en forma de bacilos, sin embargo, con la prueba de oxidasa y catalasa, se descartó la posible presencia de enterobacterias en la colonia 2 (colonias blancas). Dejando a la colonia 1 (colonias rosas), como única enterobacteria para identificar en las muestras de tilapias.

			Pruebas bioquímicas para la identificación de enterobacterias										
Fecha	Muestra o sitio	Colonia	TSI		Gas	H2S	RM	VP	IN	Cit	Ure	Mov	Posible agente patógeno
			A/A	Alc/A									
22 de julio	2	Rosas	+		+	-	+	-	+	-	-	+	<i>Escherichia coli</i>
22 de agosto	3	Rosas	+		+	-	+	-	+	-	-	+	<i>Escherichia coli</i>
17 de septiembre	1	Rosas		+	-	-	-	+	-	+	-	+	<i>Serratia marcescens</i>
31 de Octubre	1	Rosas	+		+	-	-	+	-	+	+	+	<i>Enterobacter cloacae</i>
31 de Octubre	2	Rosas	+		+	-	-	+	-	+	+	+	<i>Enterobacter cloacae</i>
31 de Octubre	3	Rosas		+	+	+	+	-	+	-	-	+	<i>Edwardsielleae tarda</i>
31 de Octubre	Agua de tilapia	Rosas	+		+	+	+	-	-	+	-	+	<i>Citrobacter freundii</i>

Tabla 4; Resultados de pruebas bioquímicas para la detección de enterobacterias. Clave de interpretación: TSI. Agar hierro triple azúcar, H₂S. Sulfuro de hidrógeno, RM. Rojo de metilo, VP Voges Proskauer, IND indol, CIT citrato, URE ureasa, MOV movilidad, A/A pico de flauta ácido/fondo ácido, Alc/A pico de flauta alcalino/fondo ácido.

De acuerdo con las pruebas bioquímicas, se encontraron cinco especies de enterobacterias diferentes, de las cuales cuatro se detectaron en las muestras de agua; *Escherichia coli*, *Serratia marcescens*, *Enterobacter cloacae* y *Edwardsielleae tarda*. Tal como se muestra en la **Tabla 4**, podemos observar que dichas bacterias aparecieron en fechas y sitios diferentes.

Por otro lado, en el agua de las tilapias, se encontró a la especie *Citrobacter freundii*.

Todas las enterobacterias encontradas en las muestras son bacterias que tienen un hábitat variado, pueden hallarse en el suelo, el ambiente y el agua. Estas especies pueden ser patógenas oportunistas, causando enfermedades gastrointestinales, respiratorias y urinarias (María Lora-Suarez, et al., 2022).

Enterobacterias detectadas.

A continuación, se muestran los resultados de las enterobacterias detectadas, donde se observa el crecimiento en cultivo de agar MacConkey y en pruebas bioquímicas, así también, se muestra su morfología por medio de tinción de Gram. Es necesario mencionar que, para hacer más fácil la identificación de enterobacterias, se utilizó el “Manual de métodos básicos para el aislamiento e identificación de enterobacterias del agua” (Bustos Martínez, et al., 2007) y el “Manual de microbiología clínica de la asociación argentina de microbiología” (A. Lopardo, C. Predari, & Vay, 2016).

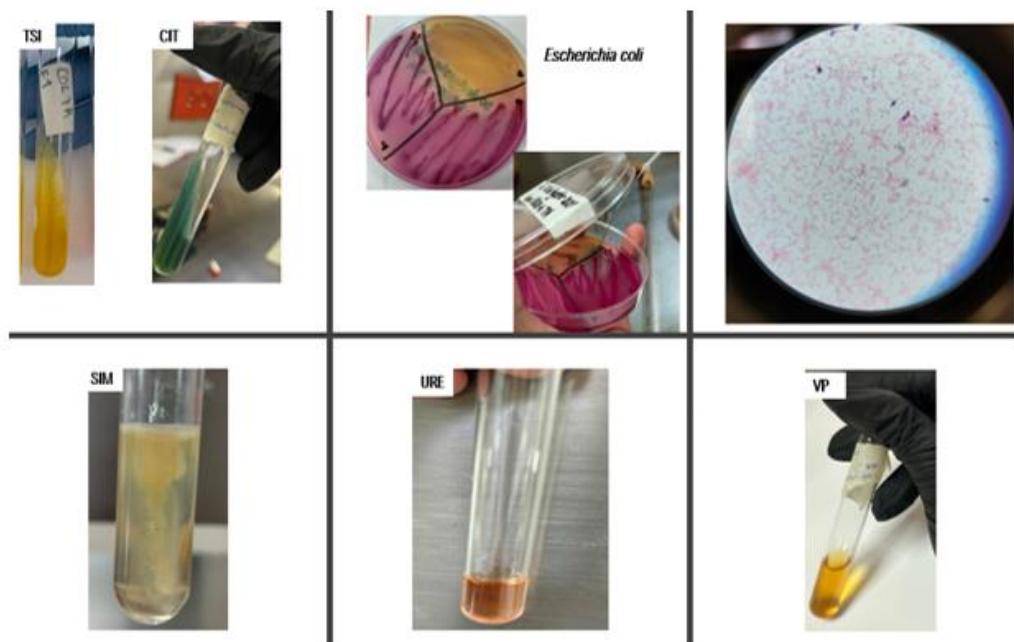


Figura 10; Resultados para la detección de *Escherichia coli*.

La **Figura 10**, muestra la detección de *Escherichia coli*, su crecimiento en el cultivo de agar MacConkey mostró un color rosa fuerte, dicha coloración en el agar, se debe a que estas bacterias son fermentadoras intensas de lactosa. Se observó por medio de la tinción de Gram, que, estas son bacilos cortos, además de ser Gram negativas.

Con las pruebas bioquímicas se identificaron ciertas características de la enterobacteria *Escherichia coli*, algunas pruebas a destacar fueron:

La prueba de **TSI** mostró una coloración amarilla con presencia de gas. Indicando que el medio de estas bacterias es ácido, y pueden fermentar la glucosa, sacarosa y lactosa.

El citrato Simmons **CIT** mostró que la bacteria no ocupa el carbono como fuente principal de energía, por esto la coloración de este citrato con el cultivo sembrado de esta bacteria no cambió.

Con el medio semisólido **SIM** se presentó movilidad, se observa un medio “turbio”. El caldo urea **URE** conservó su color indicando que la prueba es negativa y que *Escherichia coli* no degrada la urea. Por otro lado, la prueba **VP** fue negativa, pues la coloración fue amarilla, mostrando que la bacteria no presenta la molécula acetoina.

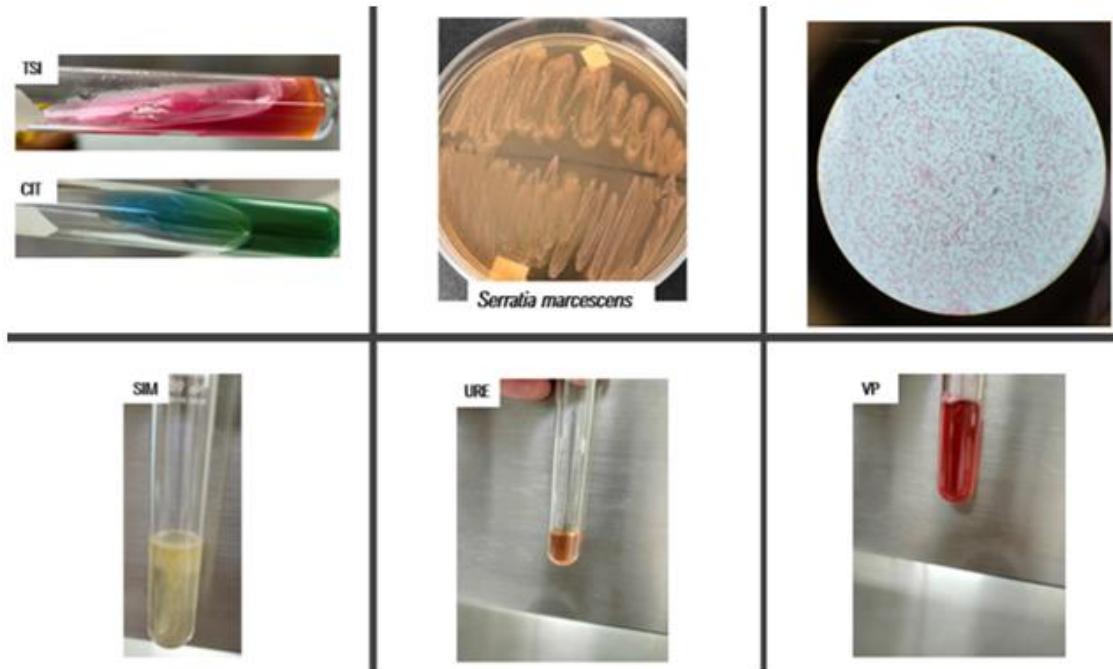


Figura 11; Resultados para la detección de *Serratia marcescens*

La **Figura 11**, muestra la detección de *Serratia marcescens*, su crecimiento en el cultivo de agar MacConkey puede variar, ya que, el color va de rojo oscuro a rosa pálido. De acuerdo con los resultados, la coloración se muestra rosa pálido, esto significa que la fermentación es lenta. Con respecto a la tinción de Gram, estas son negativas con forma de bacilos cortos.

Con las pruebas bioquímicas se identificaron ciertas características de la enterobacteria *Serratia marcescens*, algunas pruebas a destacar son:

Prueba TSI: Esta prueba mostró una coloración con pico rosa/rojo y la profundidad amarilla, es decir, que el medio con esta bacteria se muestra alcalino/ácido y es capaz de fermentar glucosa, con presencia de gas. El citrato de Simmons **CIT** mostró un cambio de color (color azul), indicando que *Serratia marcescens* utiliza como fuente de energía principal el carbono. En la prueba semisólida **SIM**, hay presencia de movilidad y el medio es turbio.

El caldo urea **URE** fue una prueba negativa, debido a que la coloración no presentó cambios indicando que la prueba es negativa y que la bacteria no degrada la urea, por último, la prueba de Voges Proskauer **VP** es positiva, es decir, que hay presencia de acetoina, esto se puede observar por la coloración roja que presenta el medio al sembrar esta bacteria

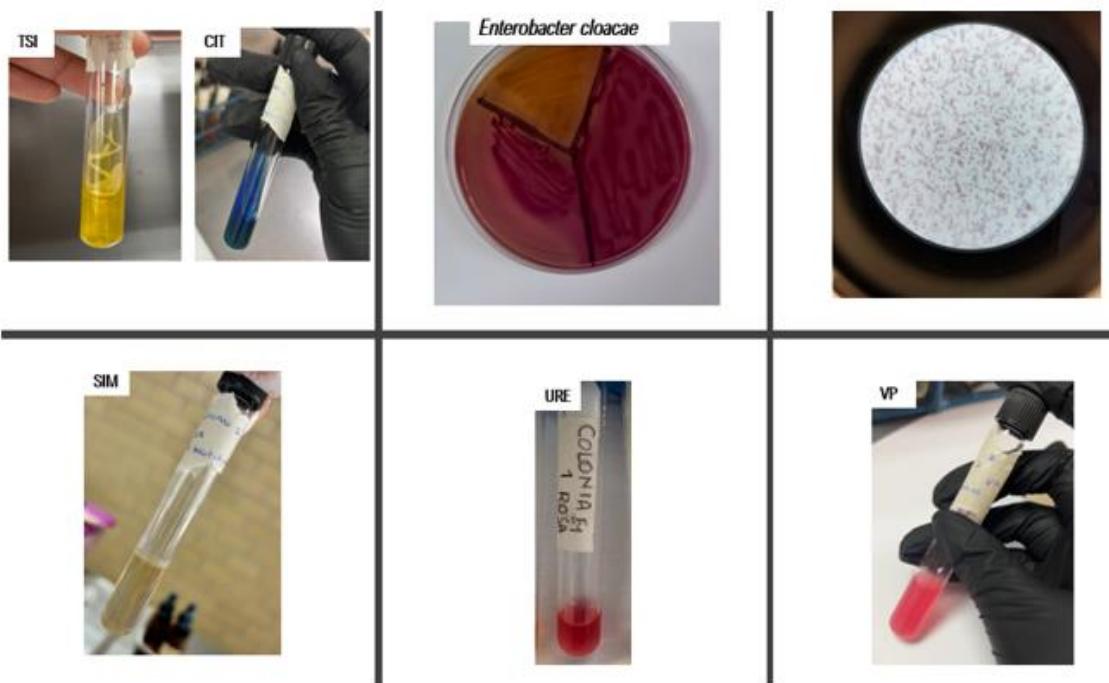


Figura 12; Resultados para *Enterobacter cloacae*.

La coloración de la enterobacteria *Enterobacter cloacae* en agar MacConkey es rosa fuerte, indicando que son fermentadoras rápidas o intensas de lactasa. Son bacterias Gram negativas, con forma de bacilos cortos.

Respecto a las pruebas bioquímicas, podemos destacar lo siguiente:

La prueba **TSI** mostró un medio acido/acido, debido a que el color fue completamente amarillo, capaz de fermentar los tres carbohidratos (glucosa, sacarosa y lactosa) además se encontró presencia de gas. La prueba **CIT**, se observó con una coloración azul intensa, indicando que, *Enterobacter cloacae* utiliza el carbono como fuente principal de energía.

La prueba **SIM**, muestra movilidad y un medio turbio, La prueba **URE** es positiva, ya que, la bacteria puede degradar la urea, sintetizando amoniaco, provocando que el medio se vuelva alcalino y se presente una coloración roja o rosa fuerte.

La prueba **VP** es positiva, esto lo observamos por el color rojo, indicando presencia de acetona.

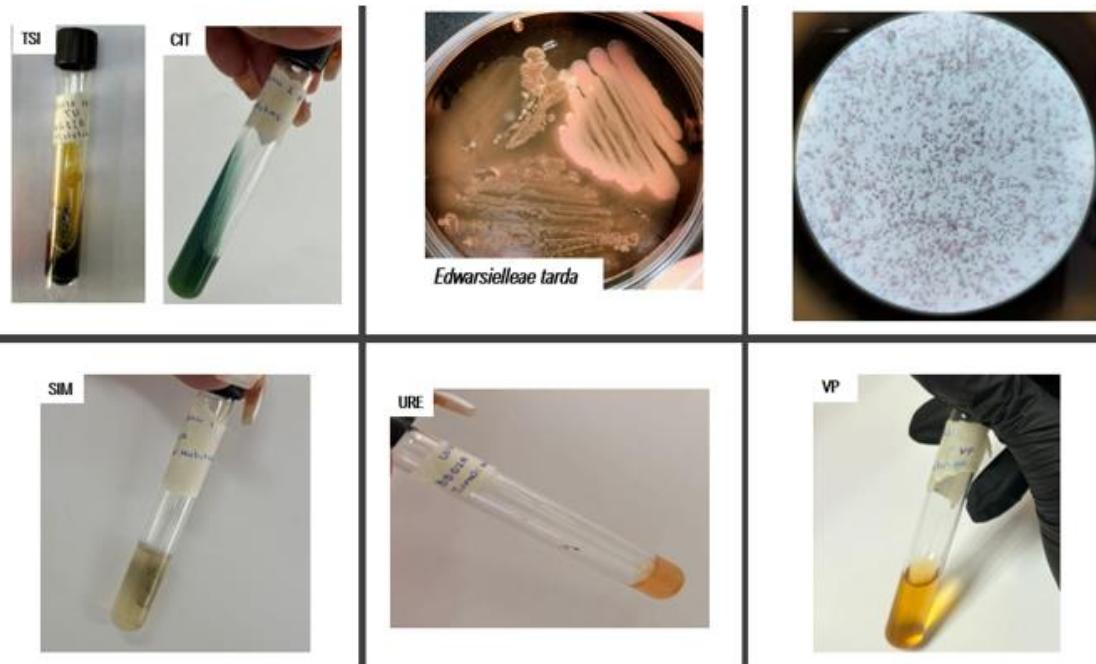


Figura 13; Resultados para *Edwardsielleae tarda*.

Las colonias de *Edwardsielleae tarda*, son incoloras o rosa pálido pues no fermentan lactosa. Son bacterias Gram negativas con forma de bacilos cortos.

Las pruebas bioquímicas nos muestran lo siguiente:

La prueba **TSI** mostró un color rojizo en el pico y una profundidad amarilla donde el medio es alcalino/ácido con presencia de gas, sin embargo, está también presentó una coloración negra, indicando que la bacteria forma sulfuro de hidrógeno (H_2S), de la misma forma la prueba **SIM**, presenta una coloración negra, indicando presencia de H_2S , además el medio tiene movilidad y se puede observar un medio turbio.

Las pruebas **CIT**, **URE** y **VP** son negativos, debido a que la coloración del medio no presentó cambios, destacando que *Edwardsielleae tarda* no ocupa como fuente principal el carbono, no puede degradar la urea y no produce acetoina.

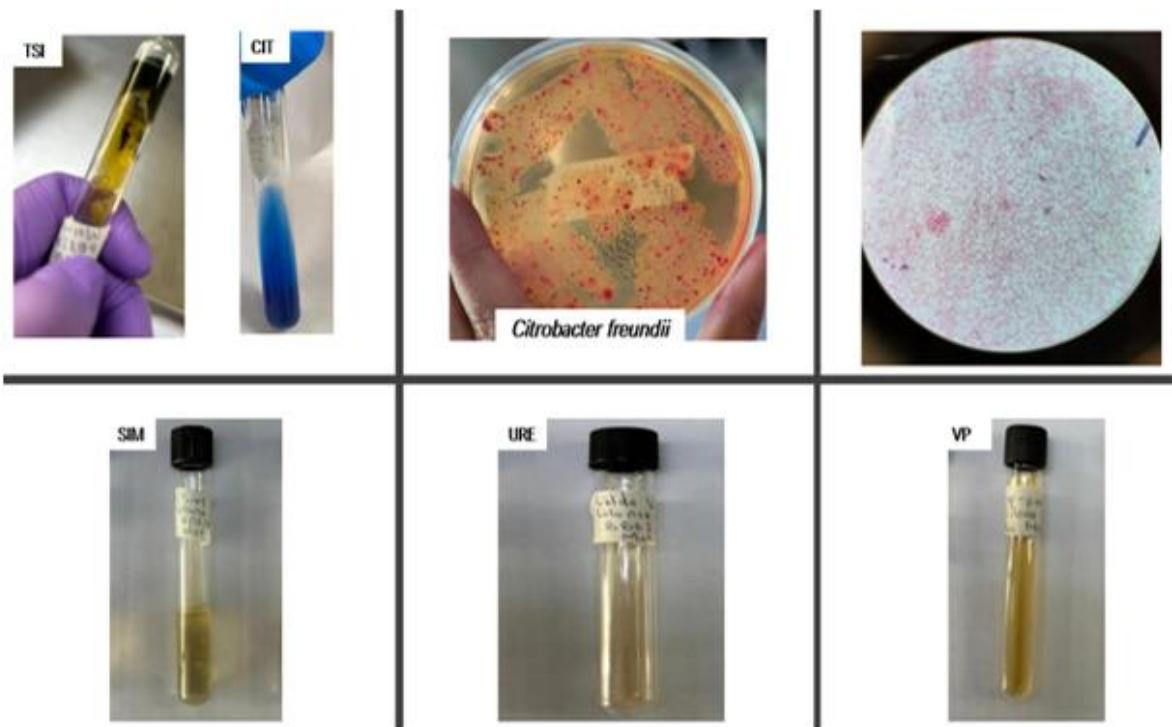


Figura 14; Resultados para la detección de *Citrobacter freundii*.

Las colonias de *Citrobacter freundii* son rosa fuerte en agar MacConkey, pues son fermentadoras intensas de lactosa. Se caracterizan por ser bacterias Gram negativas con forma de bacilos cortos.

Las pruebas bioquímicas mostraron lo siguiente:

Esta bacteria, también presenta H₂S, esto lo podemos observar en las pruebas bioquímicas SIM y TSI.

En el medio **TSI** se muestra la producción de gas, además de la coloración negra, el medio es amarillo indicando acido/acido, esto significa que la bacteria fermenta glucosa. El medio **SIM** presenta movilidad y turbiedad.

La prueba **CIT**, es positiva, el color es azul intenso. Mostrando que *Citrobacter freundii* utiliza el carbono como fuente de energía principal.

El caldo de urea **URE** y la prueba de Voges Proskauer **VP** son negativas, es decir, que la bacteria no puede degradar urea y no produce acetoina.

Enterobacterias detectadas.

En general, las enterobacterias se encuentran en el sistema intestinal de mamíferos y aves (C. Apella & Z. Araujo, 2016). Su presencia en agua, pueden indicar contaminación fecal. (Chiroles Rubalcaba, *et al.*, 2007). Algunas son más frecuentes que otras, tal es el caso de *Escherichia coli*.

Escherichia coli reside en la parte baja del intestino de los seres humanos y animales homeotermos, un ambiente que provee un vasto suplemento de nutrientes para el crecimiento bacteriano. Dentro de los organismos, esta bacteria posee un tiempo de sobrevivencia de dos días. En los ambientes externos no tiene una tasa de sobrevivencia alta. El origen de esta bacteria es únicamente fecal (Larrea Murrel, *et al.*, 2012) Sin embargo, el continuo volumen transferido de fuentes humanas y animales mantienen una estable población fuera del hospedante animal, esto hace que esta enterobacteria sea bastante común. Además, de acuerdo con los resultados, las condiciones ambientales de temperaturas optimas y grandes concentraciones de nutrientes favorecen su proliferación.

Las especies *Enterobacter cloacae*, *Citrobacter freundii* y *Serratia marcescens* también son comunes y, debido a que se encuentran en el intestino de los animales, estas pueden ser utilizadas como indicadores de contaminación fecal, sin embargo, al contrario de *Escherichia coli*, estas especies son saprofitos, es decir, tienen una mejor supervivencia y una mayor proliferación en lugares donde los niveles de nutrientes sean altos. Se encuentran en el agua, pero son organismos muy versátiles, se pueden encontrar en diferentes lugares como; plantas, suelo, y en productos químicos (Chisavo Rippe & Husserl Orjuela, 2018).

La presencia de *Edwarsieliae tarda*, también es común en aguas residuales, esta es una especie predominante, ya que habita en el microbiota de los peces. Sin embargo, esta podría volverse un problema cuando las condiciones de higiene no son las adecuadas. Los peces infectados pueden ser un riesgo, pues es la única especie de *Edwarsieliae* que se aísla en el ser humano (Cortés-Sánchez, *et al.*, 2019).

Conclusiones.

En el Puente de Urrutia, Xochimilco, es normal encontrar enterobacterias, dado que es un canal con aguas residuales que alberga distintos tipos de fauna. Las enterobacterias están presentes en la microbiota de los animales y seres humanos, su proliferación representa un escenario complejo y crítico que refleja la intrincada relación entre el ecosistema urbano y los microorganismos.

La constante entrada de nutrientes provenientes de descargas residuales, escorrentías agrícolas y actividades humanas genera un caldo de cultivo perfecto para la proliferación de enterobacterias. Esta carga orgánica presente en los canales del Puente de Urrutia permite que especies como *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Citrobacter freundii*, *Serratia marcescens*, *Edwarsielaeae tarda* y otras especies encuentren condiciones óptimas para su proliferación, estas, si bien no son generalmente patógenas, si son indicadores de presencia de microbios potencialmente patógenos, por lo que, detectarlas, se vuelve importante al revelar el estado en el que un cuerpo de agua se encuentra, esto es fundamental desde el punto de vista sanitario.

Aún no hay muchos estudios con respecto a la presencia de enterobacterias en el Puente de Urrutia. Volviéndose un tema donde convergen factores ambientales, humanos y microbiológicos, evidenciando la necesidad de realizar más investigaciones y brindar más información a la comunidad cercana o visitante de este lugar.

Recomendaciones.

El Puente de Urrutia en Xochimilco representa un ecosistema hídrico complejo donde la proliferación de enterobacterias configura un escenario de riesgo epidemiológico significativo para las comunidades aledañas. La particularidad del sistema de chinampas, caracterizado por canales interconectados y una rica carga orgánica, potencia la transmisión y supervivencia de microorganismos patógenos.

Las condiciones ambientales específicas de esta zona, con temperaturas que oscilan entre 15 y 26 grados centígrados, sistemas de agua semicerrados y constante aporte de materia orgánica, generan un microclima ideal para la multiplicación bacteriana. Especies como *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Citrobacter freundii*, *Edwarsielaeae tarda* y *Serratia marcescens* encuentran en este entorno condiciones óptimas de desarrollo.

La proximidad de zonas agrícolas, descargas de aguas residuales sin tratamiento adecuado y la intensa actividad humana en los canales incrementan exponencialmente el riesgo de transmisión de enterobacterias. Los habitantes, locales, agricultores y población flotante están particularmente expuestos a potenciales infecciones gastrointestinales, dérmicas y sistémicas.

Esta investigación se encargó de la detección de enterobacterias, en un tiempo determinado. Sin embargo, con base en los problemas detectados, se necesita mencionar ciertas recomendaciones específicas para el Puente de Urrutia:

Intervención Sanitaria Inmediata: Implementar un programa de monitoreo microbiológico permanente que contemple muestreos mensuales en múltiples puntos del canal. La caracterización molecular de las cepas bacterianas permitirá comprender sus mecanismos de virulencia y potencial patógeno específico para la zona.

Control de Fuentes de Contaminación: Diagnosticar de donde provienen las descargas de aguas residuales que alimentan el sistema de canales. Esto implica un trabajo coordinado con autoridades locales para mejorar la infraestructura de drenaje, reducir la carga orgánica y minimizar el aporte de nutrientes que favorecen la proliferación bacteriana.

Estrategia de Biorremediación: Diseñar e implementar sistemas de humedales artificiales que aprovechen las características ecológicas de Xochimilco. La introducción de plantas y microorganismos nativos con capacidad de filtración bacteriana puede constituirse en una herramienta efectiva de control microbiológico.

Intervención Comunitaria: Desarrollar programas de educación sanitaria específicos para la población local, con énfasis en:

- Prácticas de higiene en la manipulación de agua
- Métodos de potabilización doméstica
- Reconocimiento de signos de infección
- Importancia del saneamiento básico

Vigilancia Epidemiológica: Establecer un sistema de alerta temprana que permita:

- Identificación rápida de brotes
- Seguimiento de casos clínicos asociados
- Mapeo de rutas de transmisión específicas del territorio

Intervención Agrícola: Trabajar con agricultores locales para:

- Reducir el uso de aguas contaminadas en cultivos
- Implementar métodos de tratamiento de agua de riego
- Establecer protocolos de higiene en la producción

Investigación Científica: Promover estudios que profundicen en:

- Mecanismos de adaptación bacterial
- Impacto en la salud local
- Estrategias de intervención ecosistémica

La intervención en el Puente de Urrutia requiere un abordaje integral que reconozca la complejidad del ecosistema de Xochimilco. No se trata solo de controlar bacterias, sino de comprender y restaurar el equilibrio microbiológico, protegiendo la salud de las comunidades y preservando un patrimonio natural único.

Referencias.

- Aldunate, E., & Córdoba, J. (2011). *Formulación de programas con la metodología de marco lógico*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Alfredo Bernabeu, A. y otros, 2002. Identificación de huevos por helmintos en aguas residuales. *Tecnología del agua*, p. 7.
- A. Lopardo, H., C. Predari, S., & Vay, C. (2016). *Manual de microbiología clínica de la asociación argentina de microbiología*. Buenos Aires: Asociación argentina de microbiología.
- Arana Magallón, F. y otros, 2017. *Contaminación química y biológica en la zona lacustre de Xochimilco*. Primera edición ed. Ciudad de México p.342.
- Bolaños Alfaro, J. D., Cordero Castro, G. & Segura Araya, G., 2017. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionadas por el hombre. *Tecnología en marcha*, p. 13.
- Bustos Martínez, J. A., Elisa, D. S., Ramírez Ibarra, R. & Rojas Serranía, N., 2007. Métodos básicos para el aislamiento e identificación de enterobacterias del agua.
- Cárdenas Calvachi, G. L. & Sánchez Ortiz, I. A., 2013. Nitrógeno en aguas residuales: Orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y su salud pública. *Universidad y salud*, 15(1).
- C. Apella, M. & Z. Araujo, P., 2016. Microbiología del agua. *SOLAR SAFE WATER*, p. 18.
- Cervantes Ortiz, F., Mariscal Amaro, L. & Arambúla Villa, G., 2021. Lirio acuático (*Eichornia crassipes*). *Universidad de Costa Rica*.
- Channah Rock, B. R., 2014. *La calidad del agua, E.coli y su salud*, Arizona : Cooperative extensión.
- Chiroles Rubalcaba, S. y otros, 2007. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en aguas del río Almendras. *Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología, Infanta*.
- Chisavo Rippe, A. A. & Husserl Orjuela, J., 2018. *Control Biológico De Enterobacterias En Aguas Residuales Mediante*. Bógota : s.n.
- CONACYT & CONAGUA, 2012. Segundo informe de validación en campo: Zona lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. *Ciudad Universitaria*, p. 29.
- Corrales, C., Antolinez Romero, D. M. & Corredor Vargas, A. M., 2015. Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de vida en el planeta. *Nova*, p. 27.
- Cortés-Sánchez, A. D. J. y otros, 2019. *Edwardsiella tarda Ewing y McWhorter 1965: alimentos y pescado*.
- Escudero, G. A., 2022. *Distribución espacial del estado trófico de los canales de San Gregorio Atlapulco-Xochimilco* CDMX. Ciudad de México: s.n.

- Flores Huilcapi, A. G., Carrera Almendáriz, L. S. & Medina Serrano, C. A., 2020. Análisis de aguas superficiales con alto contenido de fosfatos para el diseño de una planta de tratamiento de agua potable. *Conciencia Digital*, 3(3), p. 17.
- Gómez Márquez, J. L., Peña Mendoza, B., Guzmán Santiago, J. L. & Gallardo Pineda, V., 2013. Composición, abundancia del zooplancton y calidad del agua. *Hidrobiológica*, 23(2).
- Kuon Yeng, C. L. & Rey Guevara, R., 2019. Ascariasis: Actualización sobre una Parasitosis Endémica. *Rev. Hallazgos*, p. 13.
- Larrea Murrel, J. A., Rojas Badía, M. M. & Pérez Heydrich, M., 2012. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Departamento de Microbiología y Virología, Facultad de Biología, Universidad de La Habana*, p. 12.
- Lozada Morales, M., 2014. *Evaluación del nitrógeno en sus diferentes formas y su relación con las bacterias nitrificantes en el lago de Xochimilco*. Ciudad de México: s.n.
- María Lora-Suarez, F., Sierra-Rengifo, L. & Loango-Chamorro, N., 2022. Identificación de parásitos y bacterias asociados a fuentes de agua en la zona rural del municipio de Circasia, Quindío. p. 15.
- Martins, A., 2019. *Resistencia a antimicrobianos de enterobacterias aisladas de aguas destinadas al abastecimiento público en la región centro-oeste del estado de São Paulo, Brasil*. [En línea] at: <http://dx.doi.org/10.5123/s2176-6223201900065>
- Mendez, A. N., 2023. *El problema del agua en San Gregorio Atlapulco*, Ciudad de México, Xochimilco: s.n.
- Molina Cabrera, E., García Hernández, L., Gómez Ruíz, H. & Cañizares Macías, M. d. P., 2003. *Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre el método de flujo y un método estándar*. Ciudad de México: s.n.
- Moreno, M. I., 2024. *La tilapia, invasión biológica y gastronómica*, Ciudad de México: s.n.
- Moreno Samaniego, M., Guashpa Caiza, Y. & Joselyn, O. P., 2021. Caracterización microbiológica de muestras de aguas servidas pre filtradas de la comunidad de San Vicente de Iacás. *Polo de Conocimiento*, 6(9), p. 21.
- Ramos Ortiz, B. & Ruvalcaba García, A., 2005. *Evaluación del estado trófico en el lago de Xochimilco, Mex*. Ciudad de México: s.n.
- Sandoval Contreras, J., 2008. *Evaluación de la calidad del agua en los canales de Xochimilco para su recuperación ecológica*. México D.F: s.n.
- Sardiñas Peña, O. & Pérez Cabrera, A., 2004. Determinación de nitrógeno amoniacial y total en aguas de consumo y residuales por el método de fenato.
- Tamm, A. I. V. B., agosto, 2013. *Tilapias, chinampas y ajolotes: Discursos sobre la restauración ecológica en el lago de Xochimilco*. Ciudad de México: s.n.
- Torrejon, S. E. & Vargas Rodríguez, E., 2022. *Catálogo de los Chironomidae (Diptera)*. 1a ed. Argentina: INECOA.

Anexos.



Figura 15; Comparación de la vegetación en diferentes sitios del Puente de Urrutia

La **Figura 15** muestra la diferencia en los sitios con exceso de vegetación **A)** y sitios donde su presencia era menor **B)**. La presencia de lirio acuático genera un aumento en la materia orgánica (MO). Creando un ambiente donde la proliferación microbiana se desarrolla exponencialmente con el exceso de materia orgánica. Bacterias, enterobacterias, microorganismos patógenos y biopelículas encuentran condiciones ideales para su multiplicación. Esta dinámica modifica los parámetros ambientales reduciendo oxígeno disponible incrementando turbidez alterando pH y modificando temperaturas.

Microrganismos en muestras de agua.

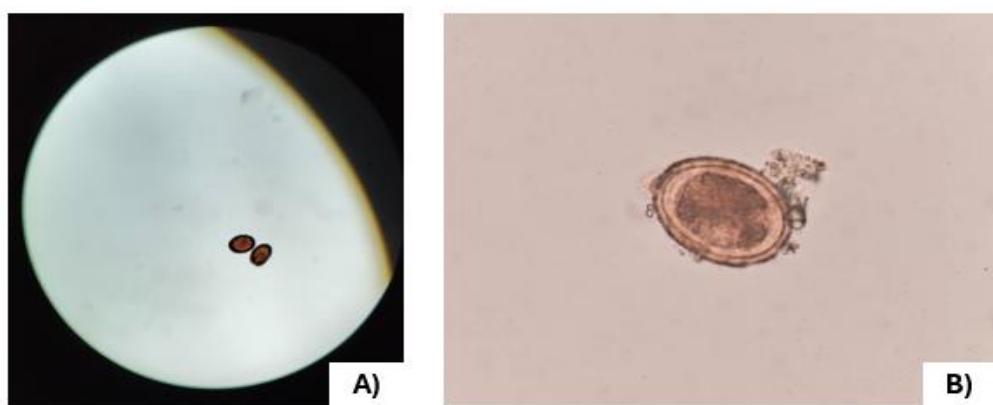


Figura 16; Posible huevo del género *Ascaris sp.* encontradas en el agua del Puente de Urrutia

En parasitología, las aguas residuales contienen con frecuencia estructuras de distinta etiología, un caso muy común, es encontrar huevos y larvas de helmintos. La imagen **A)** muestra un posible huevo del género *Ascaris sp.* Este parásito es uno de los más comunes en lugares con heces frecuentes. Es muy importante desde el punto de vista epidemiológico del fecalismo al aire libre, ya

que los sitios donde se deposita la materia fecal contienen los huevos que pueden ser diseminados por diferentes mecanismos (Kuon Yeng & Rey Guevara, 2019). En la imagen **B**) se observa un huevo del género *Ascaris sp.* por (Alfredo Bernabeu, *et al.*, 2002) . Se menciona que este género se utiliza para englobar huevos ovoides de cubierta externa gruesa de color amarillo/marrón. En su interior contiene una masa ovoide de protoplasma granulado.



Figura 17; Larva de quironómido observadas en el microscopio.

En la imagen **A)** se muestra un quironómido observado en microscopio. Dicho organismo se encontró en muestras de agua. La imagen **B)** fue tomada por el “Catálogo de los *Chironomidae* (Diptera)” (Torrejon & Vargas Rodríguez, 2022)

Ambas imágenes, nos permiten relacionar y facilitar la identificación de los quironómidos. Estas especies también conocidas como gusano rojo. Son larvas de mosquito, muy abundantes en los canales de Xochimilco, debido a la alta vegetación, como la presencia del lirio acuático en el canal. Además, estos organismos son indicadores de elevadas cargas de nutrientes (nitratos y fosfatos).

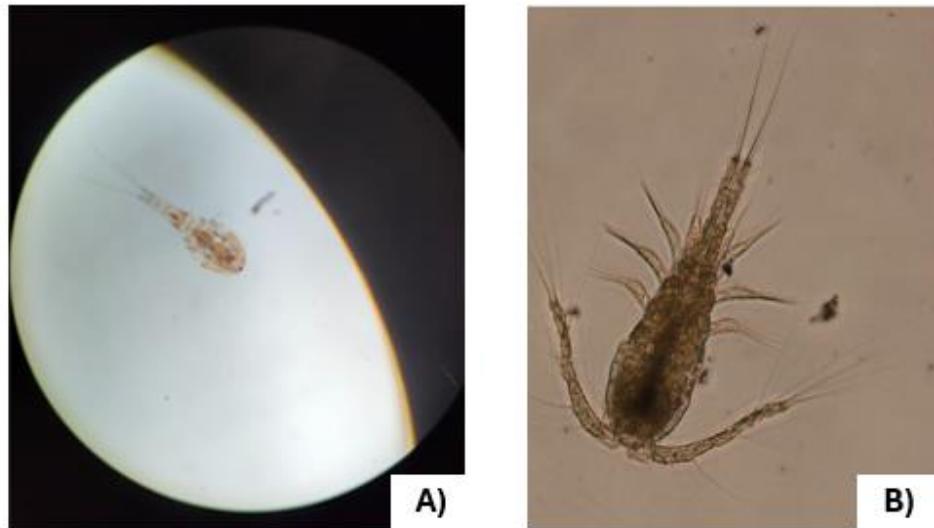


Figura 18; Copépodos observados en microscopio

La imagen A) muestra presencia de copépodos encontrados en el Puente de Urrutia, estos indican abundante materia orgánica y una alta disponibilidad de nutrientes en el sitio. El agua turbia favorece su presencia ya que les proporciona protección. En la zona de estudio, los copépodos se observaron con facilidad en días con lluvias y con una mayor presencia y visualización de materia orgánica. La imagen B) fue tomada por (Gómez Márquez, *et al.*, 2013) y menciona que la descomposición de vegetación acuática genera un ecosistema rico en microorganismos que sirven como fuente de alimentación para estos pequeños crustáceos. La temperatura relativamente estable los niveles de pH compatibles y la existencia de microhabitats con diferentes características permiten que los copépodos encuentren zonas de refugio y reproducción. Entre la vegetación acuática y los intersticios de los canales estos organismos desarrollan ciclos de vida complejos aprovechando los recursos disponibles.

Visto Bueno de asesores.



Dr. Eduardo Maya Peña (24563)

Departamento El Hombre y su Ambiente

UAM Xochimilco



Dra. Patricia Martínez Cruz (18488)

Departamento de sistemas biológicos

UAM Xochimilco