



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**

**Actividades antrópicas y uso de suelo relacionado  
con la presencia de bacterias en un sistema  
acuático para consumo humano: Caso Presa  
Madin, Estado de México**

**T E S I S**

**Que para obtener el título de  
Licenciada en Biología**

**P R E S E N T A**

**Cassandra Rosales García**

**DIRECTOR(A) DE TESIS**

**Diego de Jesus Herrera Chaparro**



Los Reyes Iztacala Tlalnepantla, Estado de México 2023



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Dedicatoria:**

En memoria de mi abuelo Ruben García Sanchez...

Mientras suena “De mi esperanza” de fondo, reflexiono sobre los momentos que compartimos juntos, no puedo evitar sentir una profunda gratitud por todo lo que me diste, especialmente por la educación que me brindaste.

Aquel día en el que compartí contigo mi emoción al entrar a la universidad sigue grabado en mi memoria, tu carita reflejaba el más puro orgullo y tus palabras de aliento, impulsándome a dar lo mejor de mí en esta nueva etapa. Sin embargo, jamás imaginé entonces que cuando llegara el día de culminar mi carrera, ya no estarías aquí para celebrar junto a mí.

Una de las cosas que más extraño desde tu partida es nuestra manera única de hablar sobre ciencia. Nadie más comprendía mi fascinación por la biología, las teorías y los misterios del universo como tú lo hacías.

Tus enseñanzas trascienden mucho más allá de las aulas de la vida. Cada historia, cada consejo y cada gesto de cariño que compartiste conmigo se convirtieron en los cimientos de mi aprendizaje y crecimiento. Recuerdo las tardes en las que pacientemente me enseñabas lecciones valiosas, transmitiendo conocimientos que no se encuentran en los libros, sino en la sabiduría de tu experiencia.

Tu dedicación y amor por el aprendizaje han dejado una huella imborrable en mi vida, aunque ya no estés físicamente a mi lado, tu legado educativo vive en cada paso que doy. Me siento afortunada por haber sido guiada por tu sabiduría y por el inmenso amor que siempre me brindaste.

Esta tesis es el fruto de tus enseñanzas y el reflejo de tu incansable deseo por verme triunfar. Tu sabiduría y tus valores están entrelazados en cada línea de este trabajo. Aunque tu ausencia física se siente profundamente, tu espíritu vive en cada logro alcanzado. Gracias por ser mi guía, mi inspiración y mi héroe.

¡Te amo papi !

## **Agradecimientos:**

A la Universidad Nacional Autónoma de México que me ha brindado mucho más que conocimientos académicos; ha sido un espacio para crecer, aprender y descubrir quién soy.

A mi querida Fes Iztacala que me permitió cumplir una de mis mayores metas en la vida, saber que he completado esta etapa marca el inicio de un nuevo capítulo lleno de posibilidades y oportunidades, es un verdadero honor ser egresada de la Fes Iztacala.

A todos mis maestros que me prepararon profesionalmente durante toda la carrera, no tengo palabras suficientes para expresar la gratitud que siento hacia cada uno de ustedes, su dedicación y pasión por la educación han dejado una huella imborrable en mi camino y estaré eternamente agradecida por ello.

Al laboratorio de microbiología ambiental, por brindarme un espacio donde pude desarrollarme profesionalmente de la mano de mis maestros y amigos.

A mi asesor de tesis el Dr. Diego de Jesús Chaparro Herrera, por haberme dado la confianza de ser parte de su equipo de investigación y permitirme tener una de las etapas más bonitas de mi vida, su compromiso, dedicación y conocimientos compartidos han enriquecido mi experiencia académica de una manera que va más allá de los objetivos de la tesis. Estar bajo su tutela ha sido un privilegio que guardaré en mi corazón.

Al Dr. Pedro Ramirez Garcia, por haber creído en mí y por haberme brindado la oportunidad de crecer académica y profesionalmente a través de este proyecto de tesis. Su influencia en mi vida académica será recordada con gratitud y aprecio durante mucho tiempo.

A mi sinodal Catriona Andrea Zuñiga Ramos por su habilidad para transmitir conocimientos con entusiasmo y creatividad ha hecho que cada lección sea algo más que simplemente aprender. Si algún día llegara a dar clases, sería gracias a la maravillosa experiencia que fue estar en su aula de clases.

A mi sinodal Miguel Angel Sanchez Gomez, tu paciencia, guía y apoyo han sido fundamentales en mi proceso de aprendizaje. Cada clase contigo ha sido una oportunidad para crecer, aprender y descubrir nuevas perspectivas gracias a tu inteligencia y experiencia. Valoraré siempre tus enseñanzas, no solo en el ámbito académico, sino también en la forma en que has modelado mi forma de enfrentar los desafíos personales.

A mi sinodal Claudio Dario Rueda Barrios, a pesar de nuestras diferentes personalidades, siempre he sentido tu compromiso con la excelencia académica y tu interés genuino por mi crecimiento y desarrollo como estudiante, gracias por haberme desafiado a mejorar constantemente y por haberme guiado de manera constructiva a lo largo de este proceso.

A mis abuelos, que han sido mi pilar durante toda mi vida, siempre estaré en deuda con ustedes por haberme dado protección, educación y sobre todo mucho amor. No encuentro las palabras suficientes para expresar el inmenso amor y gratitud que siento hacia ustedes. Han sido mucho más que mis padres; han sido mis guías, mis héroes y el ejemplo vivo del amor incondicional.

Niño Luben, una tesis dedicada a ti es nada a comparación de lo que mereces y aunque siento que me faltó una vida entera para abrazarte, fui la más afortunada de haber compartido 25 años junto a ti. Mi Maris, mi Reina hermosa, quiero expresar mi profundo agradecimiento por todo lo que has hecho y sigues haciendo por mí y por todos nosotros, le pido a la vida que nos dé muchos años más juntitas para poder seguir riéndonos y abrazándonos como lo hacemos hasta ahora.

A mi familia chiquita que Diosito me regaló. Euardo, mi Apitch eres un gran hombre con un corazón inmenso, tu apoyo incondicional ha significado el mundo para mí, gracias por creer en mí cuando dudaba, por secar mis lágrimas y celebrar mis alegrías. Es un placer crecer a tu lado, estoy emocionada por lo que el futuro nos depara.

A mi Hijo Leonardo, mi panzoncito eres el regalo más bonito que la vida me ha dado, tu amor es el amor mas puro que he sentido en toda mi vida, me has enseñado tanto sobre la vida, el amor, la paciencia y la generosidad. Haber compartido contigo esta etapa, es algo que no tiene precio. Gracias por acompañarme a mis clases, ayudarme a mis experimentos y compartir mi fascinación por la vida en la Tierra.

A mi Madrecita y a mi Gordota. Madrecita a pesar de nuestras diferentes personalidades y percepciones de la vida, agradezco que sigamos juntas y poder seguir disfrutando la vida. Gracias por creer en mí y siempre empujarme a dar lo mejor que tengo, ... gordita fuiste el primer regalo que la vida me dio y espero que sepas lo especial que eres para mi. Gracias por ser la hermana que siempre quise, gracias por apoyarme en todo porque tu eres mi fan #1.

A mis Tíos y Tías, que desde el primer día que me acogieron, me brindaron amor, apoyo y cuidado como si fuera su propia hija. Su dedicación y sacrificio no pasan desapercibidos; cada gesto, cada consejo y cada abrazo han sido el sostén de mi crecimiento y felicidad. Gracias Lari, Gracias Vale y Arturo, Gracias Ale y Pepe. Por todo lo que han hecho, por todo lo que han sido y por el amor incondicional que me han brindado, les estoy eternamente agradecida.

A mis primos, desde que éramos pequeños, hemos compartido aventuras, risas, y momentos inolvidables que han enriquecido mi existencia. Su cercanía, comprensión y complicidad han sido pilares fundamentales en mi desarrollo y felicidad. Gracias Fabi, Gracias Rebe, Gracias Nena, Gracias Luis, Gracias Alex y Gracias Rubens. Por ser parte fundamental de mi vida, por compartir tantas vivencias y por ser esos hermanos que la vida me concedió, les estaré eternamente agradecida.

A mi familia política que me brindaron su apoyo y cariño en los momentos que necesitaba, desde el momento en que entré en sus vidas, fui recibida con los brazos abiertos y calidez incondicional. Gracias Francisco, Gracias Lupita, Gracias Fran, Gracias Pau y Paquito, Gracias Abuelo Gil y Abuela Isa.

A mi familia paterna, que este pequeño gesto de agradecimiento refleja la inmensidad de mi amor y aprecio hacia ustedes. Espero poder seguir honrando su legado y haciendo que se sientan orgullosos cada día. Gracias abuelos Lupita y Ramon. Gracias Turi y Luci.

A mis mejores amigos, gracias por estar ahí en los momentos más difíciles, por escuchar mis preocupaciones, por celebrar mis logros y por estar presentes en cada instante importante en mi vida. Gracias Diana, Gracias Fer, Gracias Karla, Gracias Roy, Gracias Charlie, Gracias Cesar, Gracias Víctor, Gracias Pablo. A cada una de sus Familias gracias porque no solo ha sido el hogar de mis amigos, sino que se ha convertido en un refugio para mí también, gracias por ser esa extensión de familia que siempre he valorado.

A mis Amigos de la universidad, Por ser parte esencial de mi crecimiento académico y personal, por compartir tantas vivencias y por ser esos amigos con quienes he compartido los mejores años de mi vida universitaria. Gracias Frida, Gracias Leslie, Gracias Karlita, Gracias, Dianita, Gracias Citlali, Gracias Armando, Gracias Huevito, Gracias Sergio, Gracias Miguel, Gracias Axel, Gracias Heredy, Gracias Juan, Gracias Abraham, Gracias Emiliano.

Querida familia y amigos este logro no es solo mío, sino también de ustedes. Su fe en mí y su apoyo incondicional fueron el impulso que necesitaba para llegar hasta el final.

## **1.1 Índice**

<b>1.1 ÍNDICE .....</b>	<b>pág.6</b>
<b>2.1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>pág.7</b>
<b>3.1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>pág.9</b>
<b>4.1 OBJETIVOS.....</b>	<b>pág.11</b>
<b>5.1 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>pág.11</b>
<b>6.1 MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>pág.12</b>
<b>7.1 RESULTADOS .....</b>	<b>pág.16</b>
<b>8.1 DISCUSIÓN .....</b>	<b>pág.27</b>
<b>9.1 CONCLUSIONES.....</b>	<b>pág.31</b>
<b>10.1 BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>pág.31</b>
<b>11.1 ANEXOS .....</b>	<b>pág.37</b>

## 2.1 Introducción

El agua es el elemento más esencial entre los recursos naturales para el ser humano y el resto de los seres vivos, pues constituye un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos básicos (Westall & Brack, 2018), gracias a sus propiedades únicas. Según las Naciones Unidas cada persona, necesita por lo menos de 20 a 50 litros de agua potable y limpia para poder cubrir todas sus necesidades diarias, desde bañarse hasta beber agua limpia y segura (Angulo et al., 2019).

Durante los últimos 100 años, los seres humanos han alterado el medio ambiente acuático de muchas maneras, estos problemas varían en términos de severidad, extensión geográfica y duración (Bryhn, 1999). Cada vez más áreas no urbanizadas en el área metropolitana de México que albergan bosques, quebradas, cuencas, ríos y cultivos están siendo invadidas por el crecimiento y la expansión descontrolados de la ciudad. (Gaceta UNAM, 2019).

Se le llama mancha urbana al incremento acelerado de la población, generando por consecuencia una serie de afectaciones como lo son, la sobreexplotación de las aguas dulces, la contaminación y el deterioro de los sistemas naturales (Postel, 2006).

La degradación de los sistemas acuáticos causada por las actividades humanas, actualmente se clasifica como una de las principales problemáticas en México. Entre las principales problemáticas como consecuencia de las actividades antrópicas humanas, está la gran cantidad de producción de basura y el nulo manejo adecuado hacia los desechos (Hernández, 2010).

Por lo tanto, la contaminación del agua es una grave amenaza para el planeta y el bienestar humano (Islam, 2015), varios estudios han demostrado que existe una estrecha relación entre los niveles de contaminación del agua y la salud de la población (Bryhn, 1999). La contaminación microbiológica en los cuerpos acuáticos se caracteriza a través de la detección de organismos conocidos como bioindicadores como las bacterias del tipo coliformes (totales y fecales) (Barrera et al., 2013).

Es por esto, que los análisis microbiológicos del agua potable tienen como objetivo prevenir y proteger a los seres humanos de enfermedades causadas por ciertos microorganismos que se sabe que infectan a los seres humanos conocidos como patógenos, realizándose a través de dichos análisis de contaminación de tipo fecal. (Figueras & Borrego, 2010).

Se consideran coliformes totales aquellas bacterias fecales y ambientales capaces de fermentar lactosa a 35-37°C produciendo gas, ácido y aldehído, son fermentadoras de lactosa produciendo la enzima  $\beta$ -galactosidasa y pueden encontrarse en el medio ambiente, sin embargo su presencia no indica necesariamente una contaminación fecal, este grupo incluye a los géneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Kluyvera*, *Leclercia* y algunos miembros del género *Serratia* (Ashbolt et al., 2001; Figueras & Borrego, 2010; Ashbolt ; OMS, 2018 ).

Debido a que existen organismos indicadores para diversos fines, en este caso se considera a *Escherichia coli* como el principal indicador de contaminación fecal, debido a su dependencia de un hospedero, no obstante existen otros géneros de bacterias que son considerados termotolerantes como lo son *Klebsiella*, *Proteus* y *Enterobacter*. La principal característica por la que *Escherichia coli* se puede diferenciar de los demás coliformes, es por la capacidad para producir indol a partir del triptófano o por la producción de la enzima  $\beta$ -glucuronidasa (OMS, 2018; Sueiro et al., 2001).

Se ha demostrado que la especie *E. coli* es de origen entérico debido a esto no puede persistir por mucho tiempo fuera de su huésped por lo tanto, actúan como indicadora de eventos de contaminación recientes (Abberton et al., 2016)

Valiente y Mora en el 2002 mencionaron en su proyecto de investigación que más de un billón de personas consumen agua contaminada y Según información de la Organización Mundial de la Salud, solo las enfermedades diarreicas relacionadas con el consumo de agua o alimentos contaminados causan alrededor de 2 millones de muertes cada año, en su mayoría niños menores de 5 años (Bofill-Mas et al., 2005), representan uno de los problemas de salud más graves en muchos países, incluida la Ciudad de México.

Estas afecciones de salud son esencialmente el resultado de problemas socioeconómicos y ambientales interrelacionados, como el saneamiento deficiente, el consumo de alimentos contaminados y la falta de educación que conducen a malas prácticas de higiene (Margulis, 1992). En los últimos años el crecimiento poblacional en el Estado de México ha incrementado de manera significativa, como consecuencia, la contaminación también se ha incrementado (Philip, 2017).

Tal es el caso de la Presa Madin la cual se encuentra dentro de la Zona Metropolitana del Valle de México, la información sobre la calidad del agua proporcionada por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica y la Comisión Nacional del Agua, indica que la presa Madin, tiene una calidad aceptable en general, excepto por los altos niveles de coliformes fecales (National Research Council, 1995).

Desde el 2006 la presa madín es considerada como un embalse eutrofizado, el origen de los contaminantes es variado sin embargo el principal contaminante son las descargas domésticas directas provenientes de las colonias de los alrededores como lo son Nuevo y Viejo Madín, no obstante las descargas clandestinas no son el único contaminante de la presa, el tiradero de basura de Santiago Tepatlaxco actualmente se encuentra parcialmente cerrado ya que los lixiviados de la basura eran una alta fuente de contaminación (Comisión de cuenca presa Madín, 2021).

Estos estudios son de gran importancia gracias a que ayudan a predecir fácilmente la concentración de bacterias coliformes utilizando factores de calidad del agua (Seo, 2019). Por lo que la Organización Mundial de la Salud, está promoviendo la implementación de soluciones tecnológicas de bajo costo, tales como la cloración del agua, la desinfección del agua por luz solar y cambios de comportamiento en la población (World health organization, 2002).

### **3.1 Antecedentes**

Por otra parte, Ramírez y colaboradores en el 2009, indagaron sobre el impacto que tienen las actividades humanas sobre los mantos subterráneos que constituyen una de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable en México. Llegando a la conclusión que en 9 de los 13 pozos analizados se encontraban contaminados por bacterias de origen fecal, el pozo más contaminado contó con una media de 107 UFC/100ml, siendo 100 UFC/100 ml el límite permisible para considerarse como fuente de abastecimiento de agua potable o riego agrícola según la NOM-127-SSA1-1994 .Sin embargo en todos los pozos las coliformes totales estuvieron presentes.

En el año 2012, Castro Mendza llevó a cabo un diagnóstico de la degradación de la presa Madin. En dicho análisis se mencionó que la alta demanda de agua potable en la zona metropolitana del Valle de México ha tenido un impacto significativo en la calidad y cantidad de este recurso. Entre las principales consecuencias se destacan la contaminación por descargas domésticas, que ha resultado en la presencia de coliformes fecales, así como la generación de lixiviados de residuos biológico-

infecciosos. Esto ha desencadenado problemas como florecimientos algales y proliferación de malezas acuáticas como: lirio acuático. Por consiguiente, se vuelve imperativo detener los efectos adversos que está experimentando la Presa del Madín debido a la rápida degradación del entorno ecológico.

Bradshaw en el 2016, correlacionó los parámetros de calidad del agua con la presencia de patógenos, investigando las posibles relaciones, donde la temperatura del agua se correlacionó negativamente con la aparición de *Campylobacter* en el agua, sin embargo, tuvo una relación directa con la aparición de *Salmonella* en el agua, por otro lado, la toxina shiga en el agua, producida por *E. coli* se correlacionó negativamente con el pH.

Por otro lado, Velázquez Aldaco en el 2016 realizó un estudio donde determinó la calidad del agua de dos cuerpos de agua (Presa La Purísima y la Laguna de Yuriria) mediante parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, teniendo como resultado la contaminación de origen fecal por bacterias tales como *E. coli* y *Salmonella* sp; sin embargo, se concluye que en ambos cuerpos de agua presentan contaminación del género *Salmonella* de origen fecal.

De igual manera, La comisión de la cuenca de la Presa Madín en septiembre del 2021 realizó un estudio ambiental donde describe la Presa Madín como un ambiente eutrofizado desde el 2006, reportando como principal contaminante las descargas de aguas residuales y lixiviados del tiradero de basura de Santiago Tepatlaxco causando graves problemas ambientales. Como consecuencia, se declaró emergencia sanitaria por la muerte masiva de peces. Esto es confirmado por la investigación de Pérez Coyotl en el 2019 donde el número de ejemplares de carpa común ha disminuido notablemente en el embalse, que recibe drenaje doméstico directo de dos localidades, así como de numerosos barrios a lo largo del río Tlalnepantla.

En el período comprendido entre 2013 y 2021, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) llevó a cabo un monitoreo exhaustivo de las aguas superficiales y subterráneas, incluyendo la presa Madín, utilizando la NOM-127 . Los resultados de este extenso periodo de monitoreo revelaron que, los niveles de agua en la presa Madín excedieron los límites permisibles establecidos durante estos años. Esta situación ha generado preocupación constante en términos de la calidad del agua y ha llevado a CONAGUA a tomar medidas adicionales para abordar y gestionar la situación a lo largo de estos años.

Otro estudio realizado por Rosales en el 2022 en la presa Iturbide, una cuenca de agua con características de actividades recreativas similares al sitio de estudio del presente proyecto, llevó a cabo un diagnóstico ambiental en donde se encontraron valores muy bajos de coliformes totales y fecales (2 NMP 100ml), entrando en el límite permisible dentro de la NOM-127-SSA1-2021 sin embargo estos pueden ser perjudiciales para el consumo humano.

#### **4.1 Objetivos**

Objetivo general:

- Evaluar el efecto de las actividades humanas en la diversidad y distribución de coliformes en el sistema acuático para uso humano: Caso Presa Madín, Sistema Cutzamala, Estado de México.

Objetivos particulares:

- Examinar los parámetros fisicoquímicos con la calidad de agua del sistema acuático para consumo humano, Presa Madin.
- Determinar la posible relación entre los nutrientes presentes y las bacterias.
- Aislar e identificar a nivel de género las bacterias, por métodos microbiológicos, a partir de las muestras naturales tomadas directamente en la Presa Madín.

#### **5.1 Justificación**

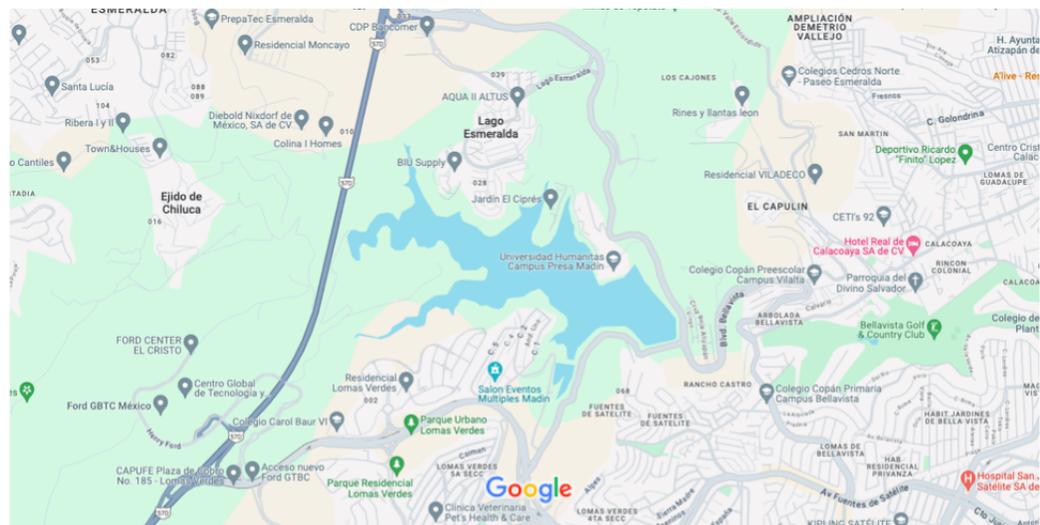
El suministro de agua de calidad está disminuyendo globalmente, incluyendo el Estado de México, donde el crecimiento poblacional está contaminando los sistemas acuáticos con residuos fecales y basura. Esto ha generado la presencia de bacterias patógenas que representan riesgos para la salud humana. El sistema Cutzamala, vital para la CDMX y el Estado de México, suministra el 26% del agua potable en la región, pero la Cuenca de la Presa del Madín, parte de este sistema, ha experimentado una eutrofización debido a la expansión urbana y la contaminación, principalmente de desagües domésticos. El proyecto propone estudiar el impacto de las actividades humanas en la calidad del agua suministrada a varios municipios del Estado de México, evaluando parámetros físico-químicos, coliformes y nutrientes. Además, destaca la necesidad de educación ambiental para comprender la importancia crucial de este recurso para la vida.

## 6.1 Materiales y Métodos

Se realizaron un total de 9 muestreos durante el periodo de tiempo de julio 2022- Febrero 2023 en la cuenca del Estado de México Presa Madin. La presa Madín es un embalse de gran importancia para el Estado de México, ya que abastece de agua potable a los municipios de Naucalpan y Atizapán.

### 6.1.1 Área de estudio

La presa Madín ubicada en los límites de Atizapán (Figura 1), Jilotzingo y Naucalpan, fue construida entre 1972 y 1974 a los 99° 15' 33" longitud Oeste y 19° 31' 37" latitud Norte para regular los caudales del río Tlanepantla y potabilizar parte del volumen almacenado. Cuenta con 99,93 km<sup>2</sup>, de los cuales 0,81 km<sup>2</sup> corresponden al nivel de embalse máximo de la presa. Fue inaugurada en 1980 y tiene una capacidad límite de 25,000,000 m<sup>3</sup>, aunque solo almacena 13,000,000 m<sup>3</sup>, previendo caudales mayores, parte del volumen que es almacenado se procede a potabilizar en la planta potabilizadora, para su futura distribución a la zona del Estado de México, principalmente a los municipios de Atizapán, Naucalpan y Tlanepantla (Martínez *et al.*, 2006; Castro-Mendoza, 2013). La corriente principal de La presa Madín es el Río Tlanepantla, presenta una temperatura media anual de 10,24 °C y precipitación media anual de 1090,4 mm con base en los datos climatológicos de 11 estaciones meteorológicas. El principal uso de suelo es el forestal, seguido del urbano y pequeñas áreas de suelo agrícola (Castro Mendoza, 2013).



**Figura 1.** Ubicación de la Presa Madín en Atizapán de Zaragoza, Google Maps 2023

### 6.1.2 Trabajo de campo.

Se realizaron muestreos trimestrales durante el periodo de julio a febrero en la Presa Madín en 3 sitios litorales y superficiales, con el fin de tener 3 muestreos temporales

Temporada	Mes
Lluvias	Julio
Secas	Noviembre
Frio	Febrero

El sitio 1 (Figura 2) A simple vista es el sitio con más actividad humana, ya que a escasos metros de este sitio se encuentra la Universidad Humanitas Campus Madin, además cuenta con actividades recreativas como paseos en kayak y pesca.

El sitio 2 (Figura 2) se encuentra localizado cerca de la colonia Nuevo Madin, con alta probabilidad de contaminación y desagües.

El sitio 3 (Figura. 2) aparentemente es el sitio con menos actividad humana, ya que cerca de este sitio no se encuentra ningún establecimiento ni actividad recreativa, sin embargo, hay registros de descargas de agua y lixiviados cercanos al sitio de muestreo.



**Figura 2 .** Ubicación de los diferentes sitios de muestreo en Presa Madín en Atizapán de Zaragoza

### **6.1.3 Parámetros fisicoquímicos de la Presa Madin (Variables ambientales in situ)**

Los parámetros fisicoquímicos cuantificados fueron: porcentaje de saturación de oxígeno, oxígeno disuelto, pH y temperatura, se midieron aproximadamente a 1 m de distancia de la orilla con una profundidad variada con ayuda de una sonda multiparamétrica modelo portátil HQ40D.

### **6.1.4 Toma de muestra de agua para nutrientes**

Se recolectaron muestras de agua de cada sitio en botellas ámbar para conservar los nutrientes, transportándose en una hielera para mantenerlas a una temperatura aproximada a los 4°C. Posteriormente se realizaron las pruebas en el laboratorio con ayuda de Kits de pruebas químicas específicas para medir nutrientes de marca HACH, modelo TNT 840, TNT 846, consecuentemente de las lecturas con espectrofotómetro marca YSI modelo 9300.

### **6.1.5 Toma de muestra bacteriológica en el agua**

La toma de muestra para coliformes totales y fecales se realizó recolectando agua de la superficie con una bolsa estéril de polietileno con una capacidad de 100 ml, posteriormente para una conservación exitosa

se transportaron en un recipiente con hielos para mantenerlas a 4 °C y poder realizar en el laboratorio la técnica de Número más probable, según lo indica la NMX-AA-042-SCFI-2015. (Anexo 11.2)

### 6.1.6 Trabajo de laboratorio

- **Análisis de nutrientes presentes en la presa Madin**

Para el análisis de nutrientes en las muestras de agua, se utilizaron paquetes de pruebas químicas marca HACH modelos TNT 840, TNT 846, marca Hanna Instruments modelo HI 3824 y un fotómetro modelo YSI 9300.

- **Análisis de coliformes totales y fecales presentes en la Presa Madin**

Se realizó la determinación de coliformes por la técnica del número más probable (NMP), de acuerdo con los criterios de la NOM-112-SSA1-1994 y la NMX-AA-42-1987

- **Aislamiento bacteriano y tinción**

Posteriormente se sembró en agar MacConkey, donde se aíslan principalmente bacterias gram negativas, especialmente aquellas capaces de fermentar la lactosa. Este medio selectivo y diferencial permite identificar bacterias como *Escherichia coli* y otras de la familia Enterobacteriaceae que tienen la capacidad de fermentar la lactosa, mostrando colonias de color rosado o rojo debido a la producción de ácido durante la fermentación.( Anexo 11.3)

En contraste, el agar TCBS se utiliza para aislar bacterias del género *Vibrio*, específicamente *Vibrio cholerae*. En este medio, las bacterias de este género, al fermentar la sacarosa, desarrollan colonias amarillas, lo que permite su identificación diferencial frente a otras bacterias que no tienen esta capacidad específica y, por ende, no producen colonias amarillas en el agar TCBS.(Anexo 11.3)

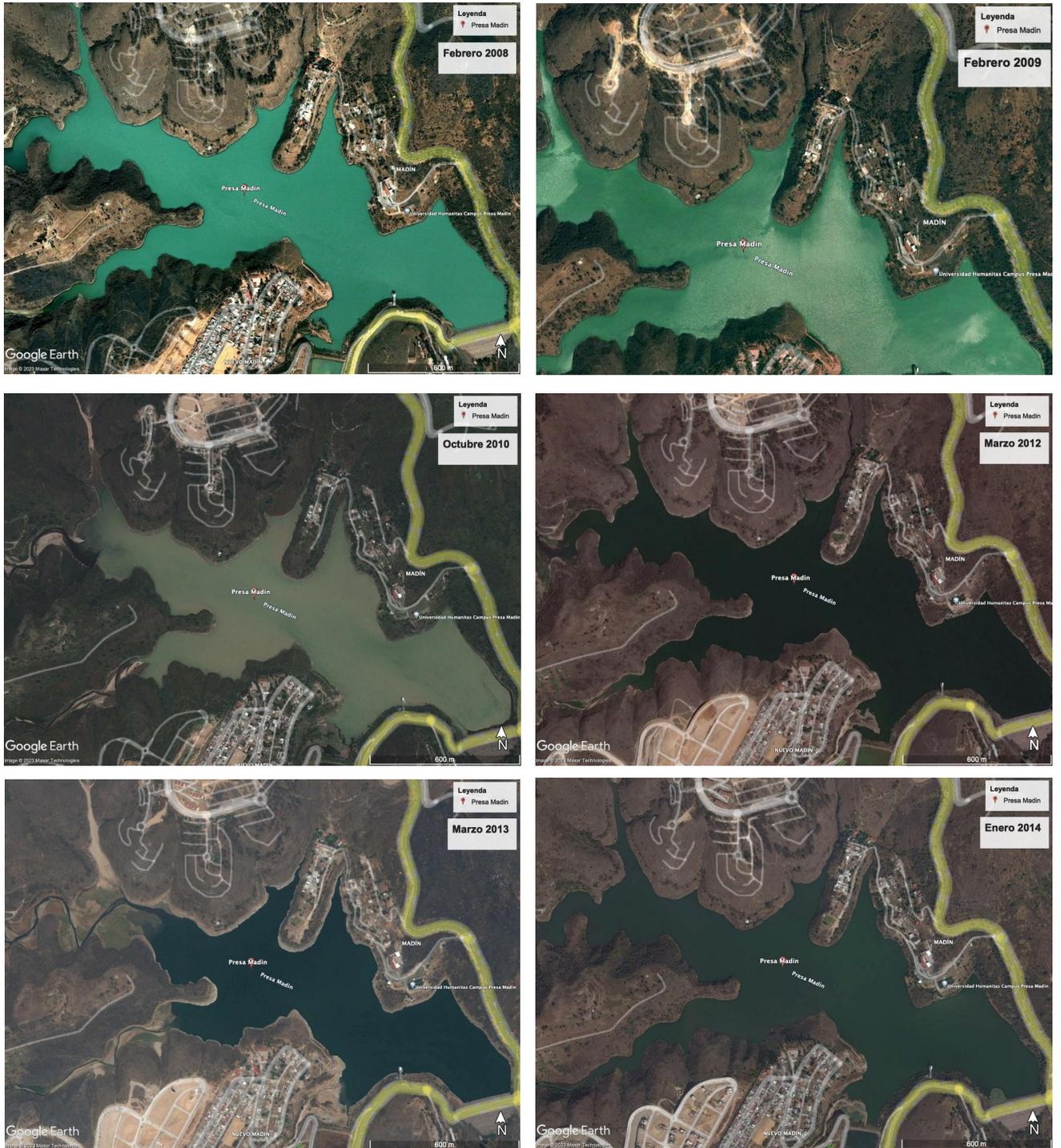
En este estudio, se emplearon pruebas bioquímicas para identificar el género de las bacterias presentes en las muestras analizadas. Estas pruebas, basadas en reacciones químicas específicas, permitieron caracterizar las propiedades bioquímicas de las bacterias y determinar su clasificación taxonómica (Anexo 11.5)

Seguidamente de la tinción de Gram es un procedimiento fundamental en microbiología para diferenciar y clasificar bacterias en dos grupos principales: gram positivas y gram negativas ( Anexo 11.4).

## 7.1 Resultados:

### 7.1.1 Actividades antrópicas:

Análisis de las imágenes satelitales de la zona que convergen en la presa Madin con el crecimiento poblacional y el volumen del agua.

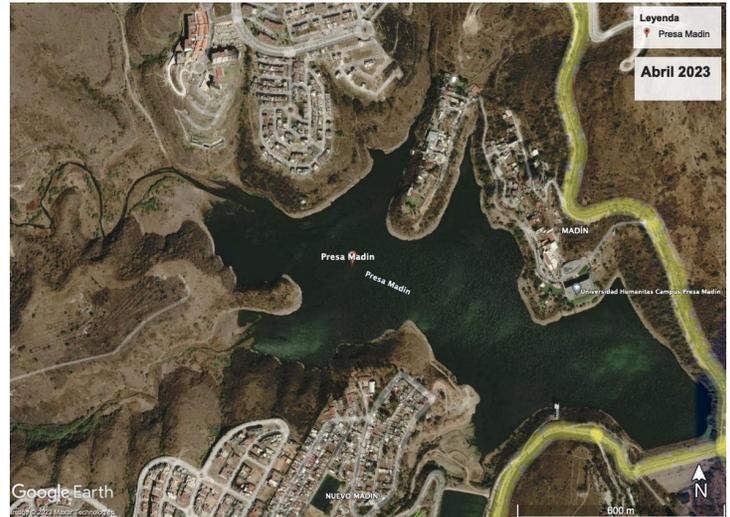
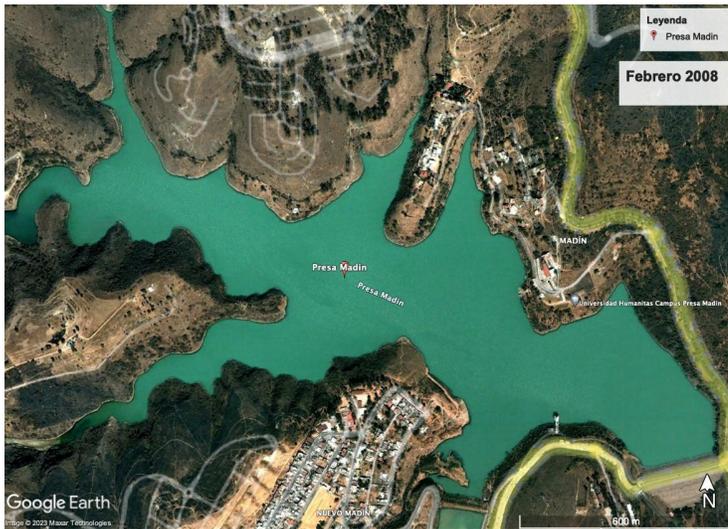


**Figura 3 :** Vista satelital del año los años 2008-2014 de la Presa Madin en Atizapán de Zaragoza, Edo. México. , Google earth Pro, 202





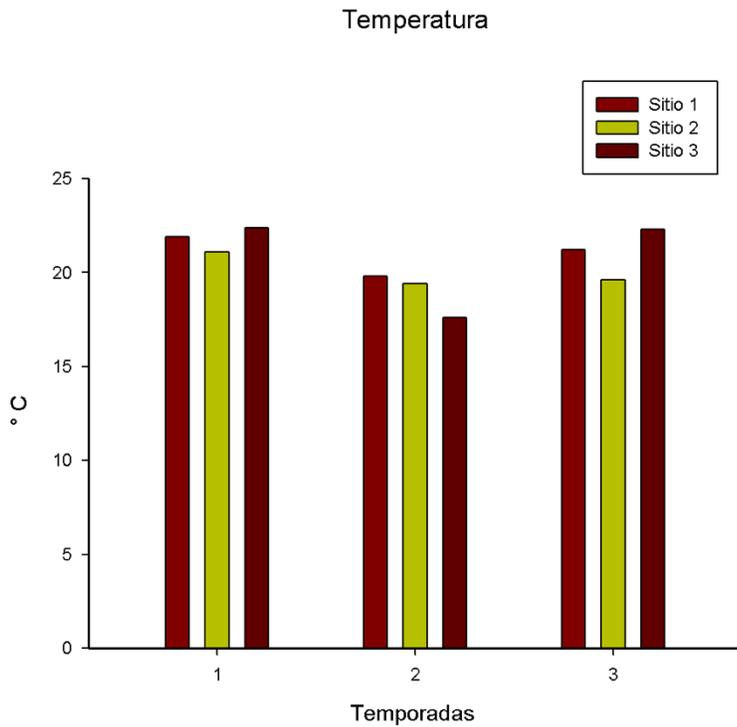
**Figura 5.** Vista satelital de los años 2021 y 2023 de la Presa Madín en Atizapán de Zaragoza, Edo. México. Google Earth Pro, 2023.



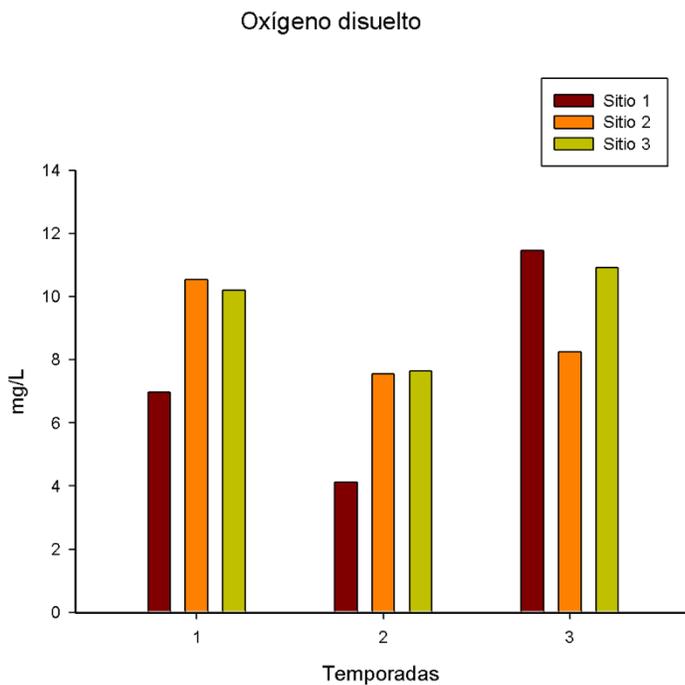
**Figura 6.** Vista satelital comparativa del año 2008 al año 2023 de la Presa Madín en Atizapán de Zaragoza. México. Google Earth Pro, 2023.

Se tomaron las imágenes satelitales con ayuda del sistema de información geográfica: Google Earth Pro 2023 (Figuras 3,4,5 y 6) comparando las imágenes desde el año 2008 hasta el año 2023 para tener un registro de los cambios visuales perceptibles a través de 15 años. El aumento de la población, el incremento de las actividades antrópicas así como el deterioro del área por el desarrollo y expansión de zonas residenciales es notable a través del tiempo. De igual manera se logra ver la reducción de los niveles de agua en la Presa Madín.

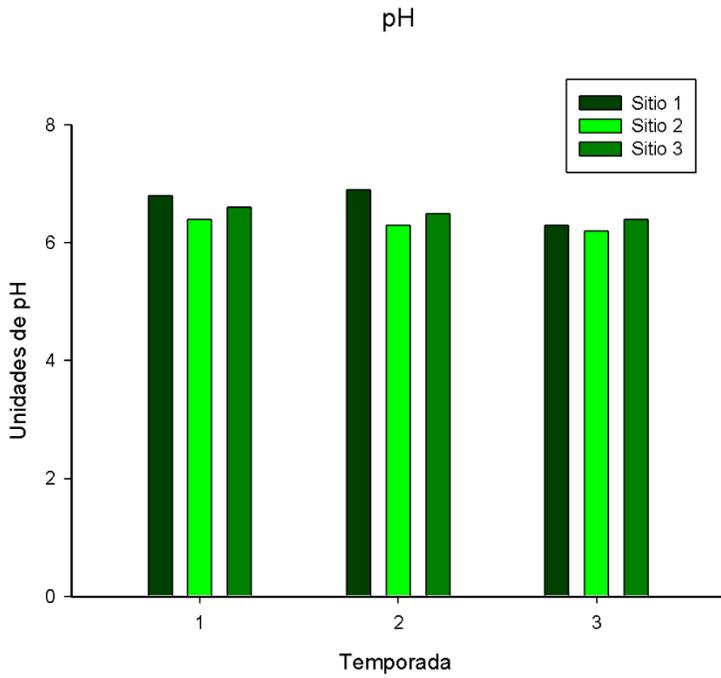
## 7.1.2 Parámetros fisicoquímicos



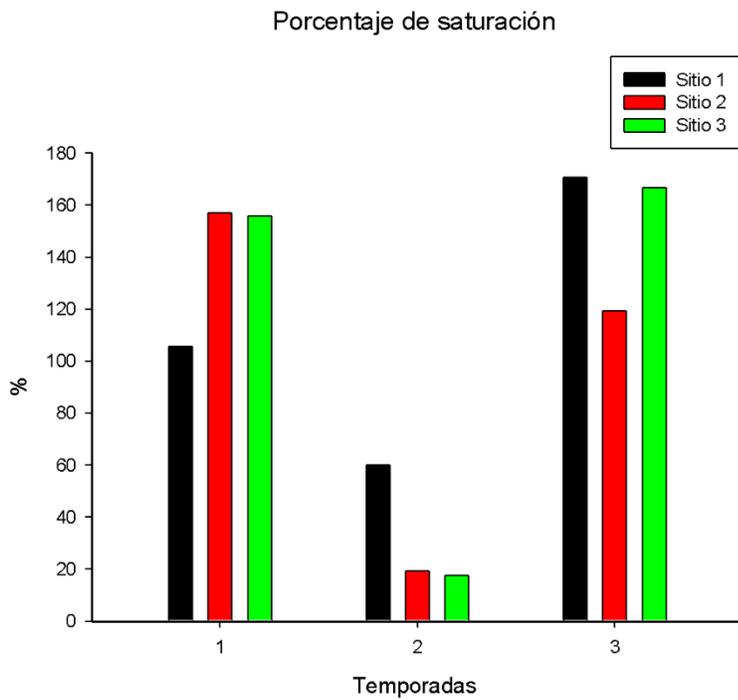
**Gráfica 1: Temperatura** datos registrados de la presa Madín para las temporadas de lluvia (1), frío (2) y secas (3) en los 3 sitios de muestreo.



**Gráfica 2: Oxígeno disuelto** datos registrados de la presa Madín para las temporadas de lluvia (1), frío (2) y secas (3) en los 3 sitios de muestreo.



**Gráfica 3: pH** datos registrados de la presa Madín para las temporadas de lluvia (1), frío (2) y secas (3) en los 3 sitios de muestreo.



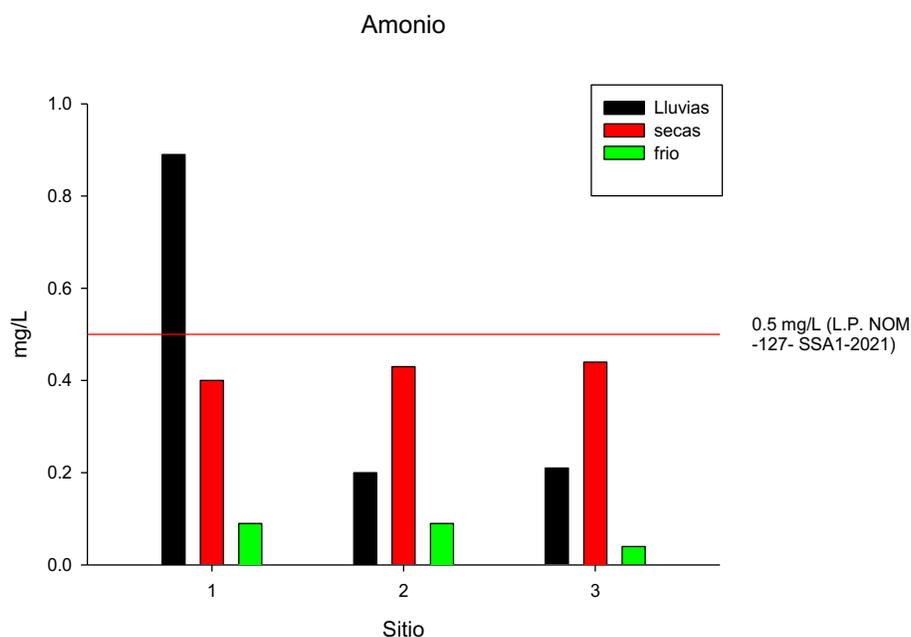
**Gráfica 4: Porcentaje de saturación** datos registrados de la presa Madín para las temporadas de llover (1), frío (2) y secas (3) en los 3 sitios de muestreo.

Se midieron los parámetros fisicoquímicos de la presa Madín en tres sitios diferentes durante 3 temporadas: de lluvias, de frío y de secas, los parámetros fueron: temperatura, oxígeno disuelto, pH y porcentaje de saturación.

La temperatura (Gráfica 1) promedio del agua fue de 20.57 °C, siendo la temporada de frío la que contó con las temperaturas más frías incluso por debajo de la temporada de secas, no obstante, se observó en todas las estaciones de muestreo el aumento en el número de los microorganismos hallados, consecuentemente con el aumento de la temperatura del agua. Los niveles de oxígeno disuelto (Gráfica 2) registrados en la temporada de secas fueron los más elevados con un valor de 11.45 mg/L en el sitio 1, sin embargo, las concentraciones de oxígeno disuelto halladas se encontraron dentro de los límites aceptables en todos los muestreos ( mayor o igual a 5 mg/L) según los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89

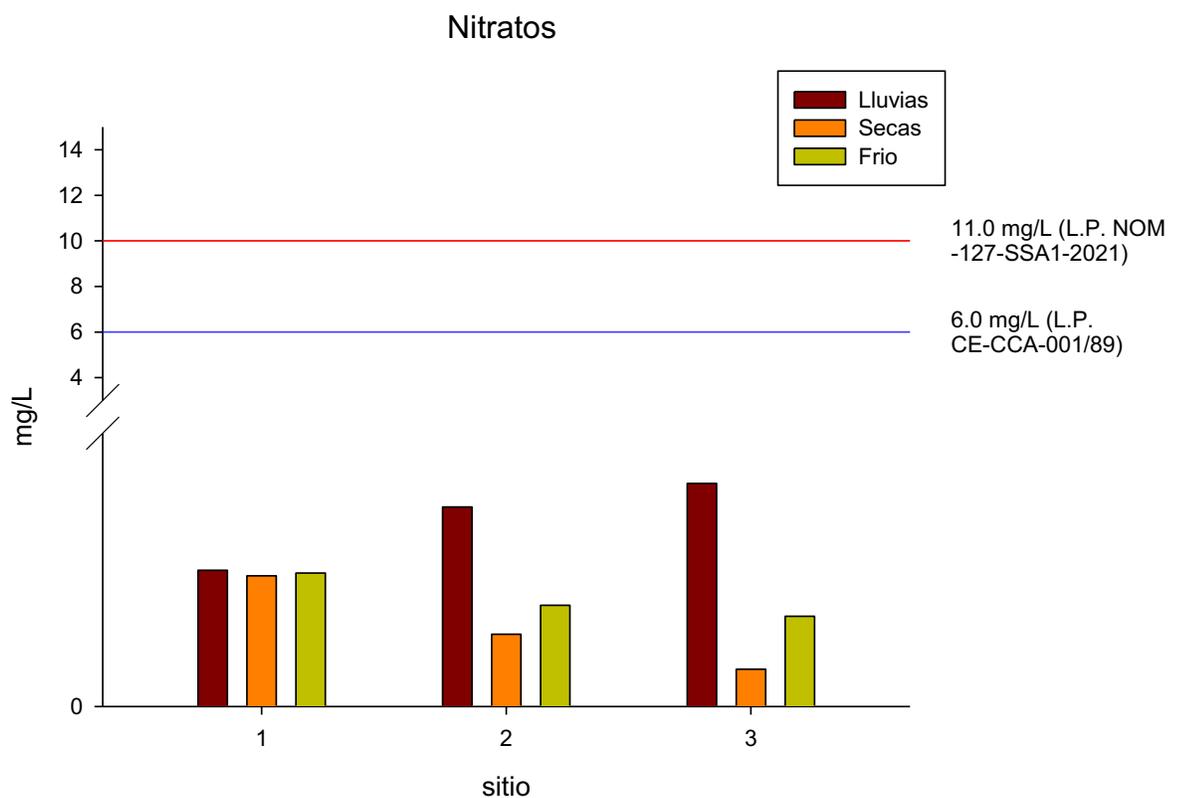
El pH óptimo para el crecimiento bacteriano oscila entre 5-8, en el cuerpo de agua estudiado se obtuvieron valores similares de pH (Gráfica 3) con un promedio de 6.48 sin embargo, en el caso de porcentaje de saturación (Gráfica 4) si se obtuvo una variabilidad entre sitios y temporadas siendo 19.4% el más bajo en la temporada de frío y 170% el más alto en la temporada de secas.

### 7.1.3 Nutrientes



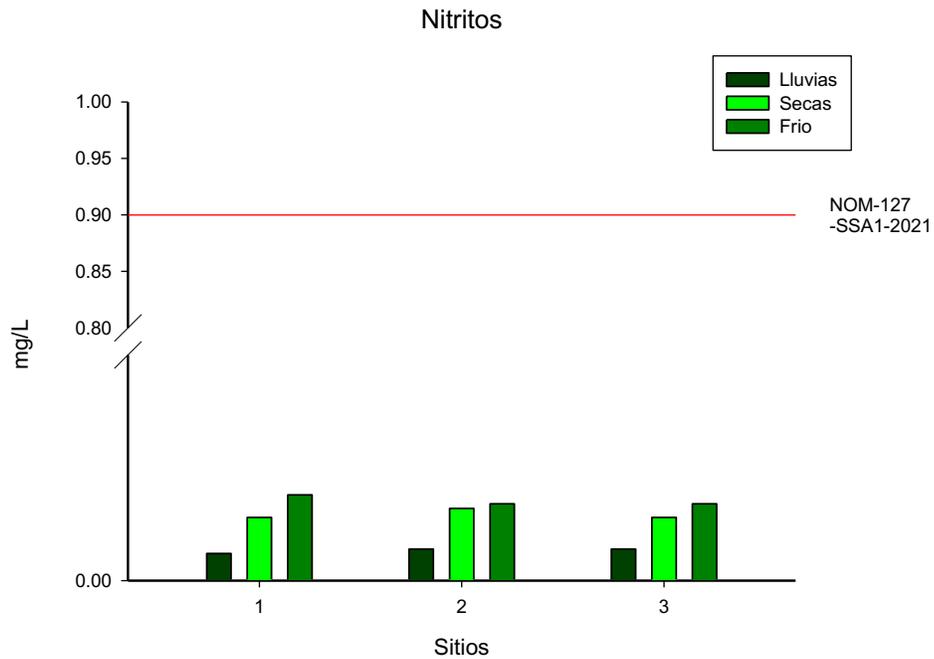
**Gráfica 5: Niveles de amonio en el agua de la Presa Madín medidos en mg/L , en 3 periodos estacionales.**

Los niveles de amonio (Gráfica 5) en el agua en la temporada de lluvia sobrepasaron únicamente en el primer sitio de muestreo, mientras que en los otros sitios se mantuvieron por debajo del límite permisible. Por otro lado, en la temporada de frío se mantuvieron los niveles al límite, a diferencia de la temporada de secas, donde los niveles estuvieron por debajo de los límites permisibles según la NOM-SSA1-2021, que menciona que para cuerpos de agua que son destinados para abastecimiento de agua potable, el límite máximo permisible es de 0.5 mg/L de N-NH<sub>4</sub> (nitrógeno amoniacal).



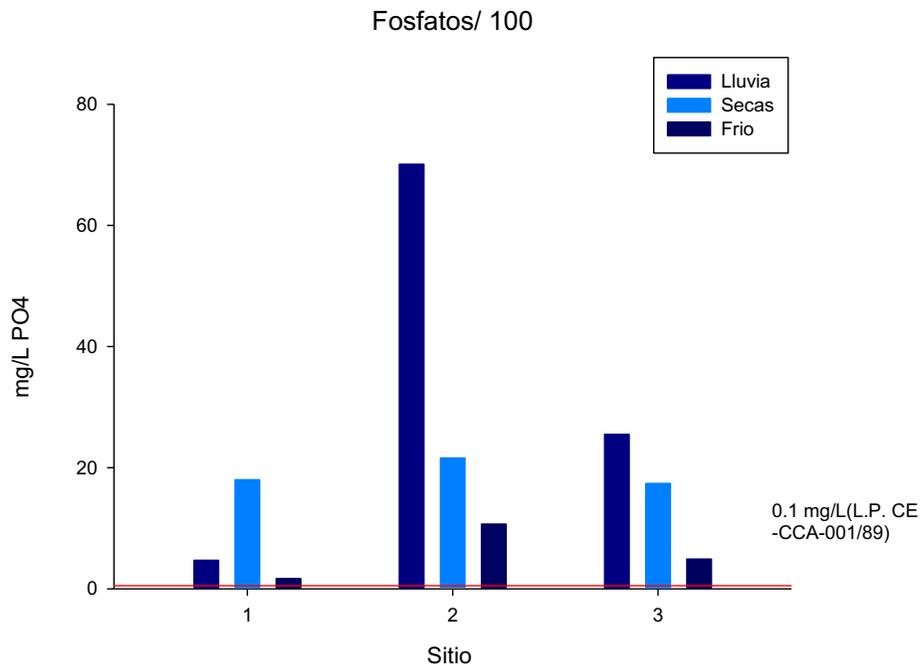
**Gráfica 6: Niveles de nitratos en el agua de la Presa Madín medidos en mg/L , en 3 periodos estacionales.**

Los niveles de nitratos (Gráfica 6) se mantuvieron dentro del límite permisible según la NOM-SSA1-2021 (11.0 mg/L)



**Gráfica 7: Niveles de nitritos en el agua de la Presa Madín medidos en mg/L , en 3 periodos estacionales.**

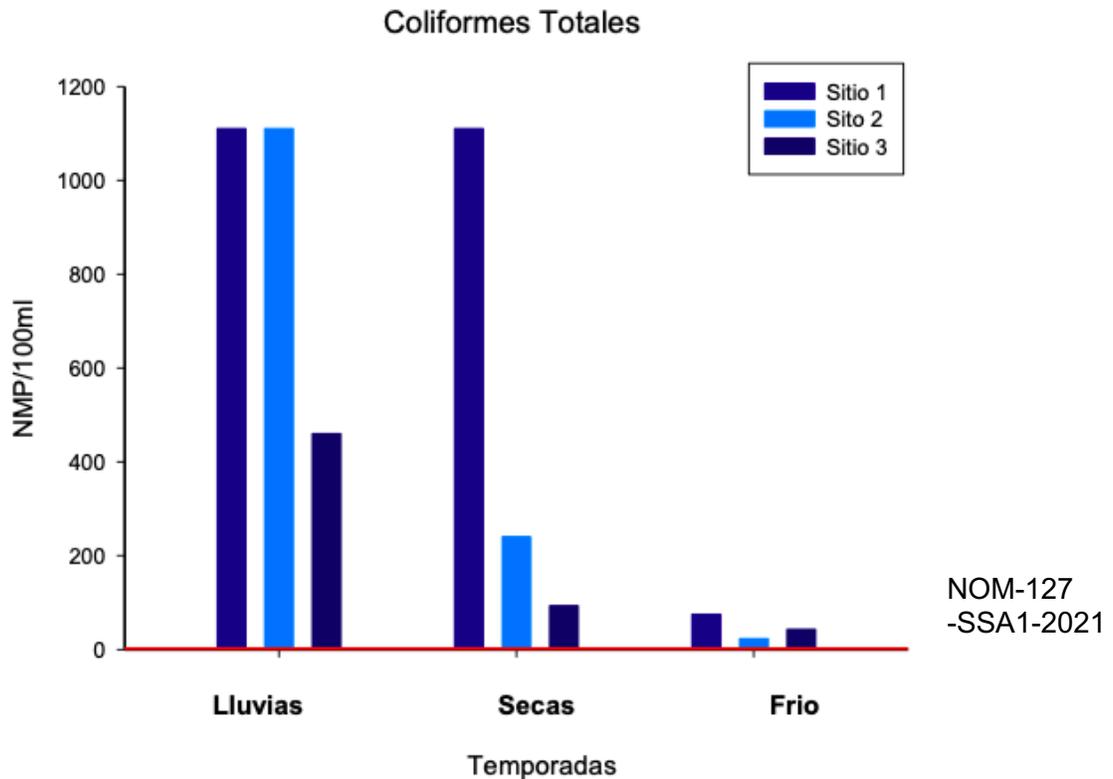
Los niveles de nitritos (Gráfica 7) en los diferentes muestreos estacionales se mantuvieron dentro de los rangos permisibles según la NOM-SSA1-2021 (0.05 mg/L)



**Gráfica 8: Niveles de Fosfatos /100 en el agua de la Presa Madín medidos en mg/L , en 3 periodos estacionales.**

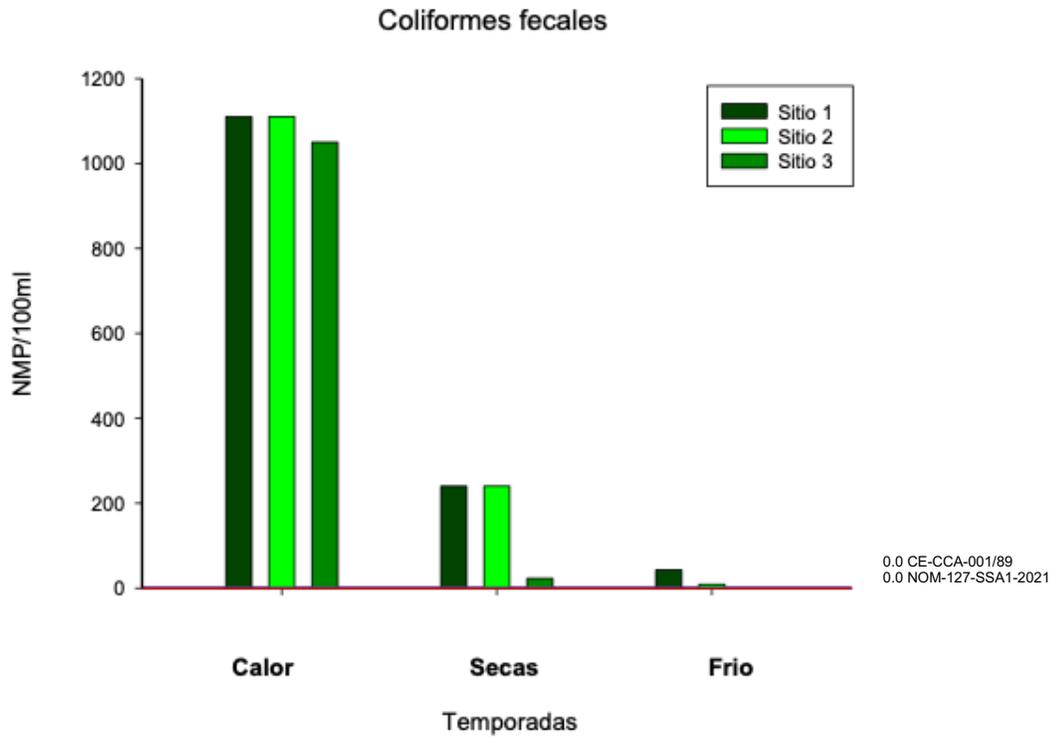
Segun los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, los fosfatos totales (Gráfica 8) , medidos como fósforo, no deberán exceder de 0.05 mg/l.

#### 7.1.4 Número más probable (NMP)



**Gráfica 9: Coliformes Totales (Medio EC) Datos de las temporadas de Lluvia, Secas y Frío representada con número más probable (NMP) por 100 ml de agua de la presa Madín**

En la gráfica número 9 se pueden observar los resultados de la cuantificación del NMP de los 3 puntos de muestreo de coliformes totales en 100 ml de agua de la Presa Madin. Claramente la temporada de lluvia fue la que obtuvo los valores más altos de NMxP, seguida de la temporada de frio. Por otro lado, los valores obtenidos en la temporada de secas fueron los más bajos, no obstante, aún sobrepasan los límites permisibles según la NOM-127-SSA1-2021 (0 NMP/100ml). Es importante resaltar que los niveles del sitio 1, en las 3 temporadas fueron siempre los más elevados.



**Gráfica 10: Coliformes Fecales (Medio verde bilis brillante) Datos de las temporadas de Lluvia, frio y secas representada con número más probable (NMP) por 100 ml de agua de la presa Madín**

Por otro lado en la gráfica número 10 se pueden examinar los resultados obtenidos de coliformes fecales en 100 ml de agua de la presa Madin. Al igual que en la prueba de coliformes totales, la temporada de lluvia fue la que obtuvo valores más elevados.

### 7.1.5 Aislamientos e identificación

Se lograron identificar dos tipos de morfologías en el agar **Macconkey**:

Tipo 1	Tipo 2
<b>Color: Rosado</b> <b>Elevación: convexa</b> <b>Bordes: redondeado</b> <b>Forma: circular</b> <b>Superficie: lisa</b> <b>Aspecto: húmedo</b> <b>Consistencia: butirosa</b> <b>Color agar : rosa fuerte</b>	<b>Color: amarillo</b> <b>Elevación: plana</b> <b>Bordes: ondulado</b> <b>Forma: irregular</b> <b>Superficie:lisa</b> <b>Aspecto:húmedo</b> <b>Consistencia:butirosa</b> <b>Color agar : amarillo ambar</b>

Según los criterios de los resultados morfológicos de colonias aisladas en agar Macconkey (210900 BD Bioxon® Agar MacConkey), las bacterias aisladas de las muestras de la presa Madín coinciden con las características de las especies *E. coli*, *Salmonella* sp y *Shigella* sp las cuales concuerdan con las descripciones hechas por (Aquila, 2007; González, 2013).

Con respecto al agar **TCBS** se obtuvo un único crecimiento con las siguientes características:

Tipo 1
<b>Color: verde</b> <b>Elevación: convexa</b> <b>Bordes: redondeado</b> <b>Forma: circular</b> <b>Superficie: lisa</b> <b>Aspecto: húmedo</b> <b>Consistencia: butirosa</b>

Tomando en cuenta lo anterior las colonias aisladas en este agar tienen claras características de la especie *Vibrio parahaemolyticus* según los criterios de la ficha técnica de los especialistas en cultivos MCD LAB, dichas características coinciden con las características descritas por (Arévalo et al., 2013)

## 8.1 Discusión:

El crecimiento de áreas urbanas circundantes (Figura 6) ha impactado negativamente en la presa de varias formas: la expansión de superficies pavimentadas disminuye la capacidad natural del suelo para absorber agua de lluvia, generando más lixiviados contaminantes. La demanda creciente de agua potable para uso urbano conlleva la extracción directa de grandes volúmenes de la presa. Además, las descargas de aguas residuales, parcial o no tratadas, causan una considerable contaminación en la presa, desbordando los sistemas de alcantarillado. Según Olmos (2011), el municipio generó alrededor de 488 toneladas de residuos urbanos diarios en 2011, principalmente de casas habitación. Las descargas contaminantes provienen de comunidades vecinas, nuevos fraccionamientos y la industria en el municipio colindante de Naucalpan de Juárez.

La calidad del agua se mide por diversos factores, como lo son los parámetros fisicoquímicos, las concentraciones de nutrientes y los niveles bacterianos. Se conoce que la temperatura afecta directamente a los procesos físicos, químicos y biológicos relacionados al transporte y almacenamiento de agua potable (Blokker & Pieterse, 2013) ya que, tiene un papel muy importante en la supervivencia y reproducción de las bacterias. En este proyecto la temperatura se mantuvo acorde con las temperaturas esperadas para cada temporada del año (Gráfica 1) con un promedio de 18.93 °C, los valores más altos de coliformes corresponden a las temperaturas más elevadas (Gráfica 9 y 10.) durante la temporada de lluvias en el mes de julio con un promedio de 21.8 °C. Lo mencionado anteriormente, coincide con los resultados de (Abberton et al., 2016) donde asegura, que la actividad biológica, aumenta en meses cálidos en las instalaciones relacionadas con el abastecimiento de agua potable.

En el caso del oxígeno disuelto, para la protección de la vida acuática tanto en ambientes de agua dulce como marinos, la ley mexicana (CE-CCA-001-89) establece un límite mínimo de 5 mgL<sup>-1</sup> en los criterios ecológicos de calidad del agua (Muñoz et al., 2015) niveles bajos de oxígeno disuelto pueden ser señal de contaminación, eutrofización. Una mayor concentración de oxígeno disuelto generalmente indica agua de mayor calidad. Se logró observar (Gráfica 2) un valor promedio de 8.62mgL<sup>-1</sup> para los niveles de oxígeno disuelto en la presa Madin, similar a lo reportado por Rosales-Barbosa en el 2022 en la Presa Iturbide, un cuerpo de agua con características semejantes a la presa Madin, concluyendo que los niveles de oxígeno disuelto en la presa madin se encuentran en los rangos aceptables.

La relación entre el oxígeno disuelto en el agua y la presencia de bacterias es un tema importante en la ecología acuática y la gestión de recursos hídricos. La cantidad de oxígeno disuelto en el agua es fundamental para el desarrollo y la supervivencia de los organismos acuáticos, incluyendo las bacterias. Dado que los microorganismos que descomponen los

desechos orgánicos consumen el oxígeno disponible, los vertidos de materia orgánica a los cuerpos de agua tienen un impacto negativo en la concentración de este componente (Delzer & MacKenzie, 2003).

El pH para el agua potable de uso y consumo humano se encuentra por lo general entre 6.5 y 8.5, según la NOM-127-SSA1-2021 Y CE-CCA-01/89, no obstante es importante mencionar que el pH para un crecimiento bacteriano óptimo oscila entre 5-8. En el caso de los valores de pH (Gráfica 3) en los 3 sitios de la presa Madín, se observó que en los sitios 1 y 3 se encontraron dentro de los límites permisibles, por el contrario en el sitio 2 los valores se encontraron por debajo del límite permisible en todas las temporadas. Sin embargo Crites & Tchobanoglous (2000) mencionan que estos valores no son lo suficientemente bajos para alterar las condiciones de vida de los organismos de la Presa Madín, dentro de estos organismos podemos encontrar a las bacterias.

Los impactos de origen antrópico simultáneamente de la urbanización alteran la calidad de agua en los cuerpos de agua, ya que aumentan las cargas de contaminantes como los nutrientes (Proaño, 2019). Los resultados en general indican que los niveles de nutrientes de las muestras de agua para consumo humano de la Presa madín, se encuentran dentro de la normativa de NOM-SSA1-2021 CE-CCA-001-89, (Gráfica 5,6,7 y 8) a pesar de que los nitratos y nitritos frecuentemente están presentes por la contaminación con aguas residuales o escorrentía residual (OMS, 2018), los niveles de estos, en este proyecto se mantuvieron en límite permisible.

Los niveles de amonio (Gráfica 5) registrados durante la temporada de lluvia, excedieron únicamente en el primer sitio de muestreo según los criterios de la NOM-127, sitio donde se encuentra la Universidad Humanitas. Es posible que los niveles de amonio registrados en el sitio de muestreo del agua estén relacionados con el uso de fertilizantes por parte de la Universidad para el mantenimiento de sus jardines y plantas de ornato. La aplicación de estos fertilizantes, especialmente aquellos ricos en nitrógeno, podría contribuir a su presencia en el agua, ya que estos compuestos pueden ser arrastrados por la escorrentía hacia las fuentes hídricas cercanas.

Es común el uso de fertilizantes con altos contenidos de nitrógeno en la agricultura ya que, de los 17 elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo vegetal, el Nitrógeno es considerado el más importante, sin embargo, se puede dar lugar a la lixiviación de este, el cual abarca compuestos como el amonio, hacia cuerpos de agua cercanos. Este proceso puede manifestarse después de lluvias intensas, transportando consigo los nutrientes hacia las fuentes hídricas.(Carvajal 2014; Galindo. 2020; Pedraza et al.,2022) Es importante controlar y mantener los niveles de amonio en el agua dentro de los límites aceptables, ya que concentraciones elevadas pueden ser perjudiciales para la vida acuática.

Otra problemática derivada del mal uso del suelo y las descargas domésticas, es la presencia de niveles elevados de fosfatos en el agua. El tripolifosfato de sodio, también conocido como trifosfato de sodio, se utiliza en una amplia variedad de actividades, incluyendo limpieza y conservación de alimentos. Los fosfatos han sido tradicionalmente utilizados en detergentes como agentes constructores. Estos agentes constructores, también conocidos como potenciadores, refuerzan la acción de los detergentes al ablandar el agua (eliminando el calcio y el magnesio). (Herrera et al.,2020; Insua et al.,2010; Quiroa M.Y. 2016)

La erosión del suelo, particularmente en áreas agrícolas o deforestadas, puede transportar partículas de suelo que contienen fosfatos hacia cuerpos de agua. Este transporte puede ocurrir durante eventos de lluvia intensa o debido a un manejo inadecuado del suelo. Los hallazgos de este estudio respaldan las observaciones previas, ya que se detectaron niveles elevados de fosfatos en el agua exclusivamente durante la temporada de lluvias en el sitio de muestreo cercana a la colonia de Viejo Madín. Este patrón sugiere una posible contribución de la erosión del suelo, especialmente durante eventos de precipitaciones intensas, como fuente principal de la entrada de fosfatos al cuerpo de agua en cuestión.

Con respecto a los resultados de coliformes totales y fecales se pudo observar que el 100 % de las muestras analizadas (Gráfica 9 y 10) sobrepasaron los límites permisibles, según los criterios de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-2021 y la ley Mexicana CE-CCA-001-89. La mala calidad bacteriológica del agua que se registró en la presa Madín indica que existe un posible riesgo relacionado con las actividades que se realizan dentro de esta y las localidades circundantes.

Los paseos recreativos en kayak, instalaciones como asadores, palapas, el crecimiento urbano, además de residuos sólidos y una serie de descargas domésticas de localidades colindantes a la presa (Mendoza, 2012), son ejemplos del deterioro constante y el incremento de conflictos relacionados con la calidad y disponibilidad de agua.

Lo mencionado anteriormente coincide con los resultados obtenidos en este proyecto, a escasos metros de el sitio 1 se encuentra la Universidad Humanitas Campus Madin y diferentes actividades recreativas, por lo tanto es una zona susceptible de contaminación. En este sitio, durante la temporada de lluvias se registraron los valores más elevados (Gráfica 9 y 10) con >1100 NMP/ 100ml; conforme a los datos proporcionados por el climograma de Castro Mendoza 2012 (Anexo 11.7). Podemos notar que en el mes de Julio tuvieron las mayores precipitaciones de acuerdo con Mendoza en el 2012, quién menciona que la erosión de los suelos por causa de la lluvia transporta y deposita las partículas y microorganismos

en la cuenca de agua, por lo tanto, es posible que los valores hayan incrementado a causa de estas precipitaciones.

De igual manera Postigo & Barceló (2015) mencionan la existencia de factores que están relacionados con la calidad del agua. Entre estas se encuentran las características de origen geológico que rodean la fuente de agua y el uso del suelo, también factores como la cantidad de precipitaciones y las actividades antropogénicas que se realizan en el área de estudio, como la descarga directa de contaminantes.

Según el estudio de Olmos-Mercado en 2011, las comunidades rurales cercanas a la Presa Madín enfrentan irregularidades en el servicio de recolección de basura, a veces incluso careciendo de él en ciertos períodos, lo que lleva a prácticas como la quema, entierro o vertido de desechos en el cuerpo de agua. Respecto al sitio 2, se registran descargas de aguas residuales procedentes de varias colonias circundantes, lo que se relaciona con niveles elevados de coliformes, como se evidenció en julio con >1100 NMP/100ml.

La comisión de cuenca Presa Madin en el año 2021 presentó la denuncia de descargas de aguas residuales de origen doméstico en 4 puntos, dos de ellas provienen de la colonia Nuevo Madin que se encuentra a limitados metros del sitio 2. Por el contrario, en el sitio 3 los registros de coliformes en el mes de febrero fueron los más bajos, con <3 NMP /100 ml, esto quiere decir que la presencia de coliformes fecales es escasa, estos resultados coinciden con el estudio ambiental realizado por Rosales Barbosa en el 2022, donde obtuvo valores de 2 NMP/100ml por lo tanto esta agua al presentar niveles bajos de coliformes se podría utilizar para el consumo humano, después de haber tenido un tratamiento de potabilización adecuado. (Rodriguez, 2008).

Es crucial mencionar que las coliformes fecales no pueden persistir por mucho tiempo fuera de su huésped por lo tanto, actúan como bioindicadores de eventos de contaminación recientes (Abberton et al., 2016) en concreto, conforme mayor sea el número de coliformes en agua, mayor será la probabilidad de una contaminación reciente.

De las muestras estudiadas la mayoría de las colonias registradas pertenecen al género *Escherichia*, sin embargo, se lograron aislar cepas de los géneros, *Salmonella*, *Shigella* y *Vibrio*. Las identificaciones se realizaron con el apoyo de las fichas técnicas de los laboratorios especialistas en medios de cultivo; MCD LAB y BD Bioxon®, comparando las características de las colonias aisladas con los criterios de las fichas, dichas características coinciden con las descripciones de (Aquili, 2007; Arévalo et al., 2013; González, 2013). Lo anteriormente expuesto confirma que el origen de contaminantes es de origen fecal.

El principal uso del agua es: el público urbano y se concentra en la parte baja de la cuenca, ya que en esta zona la cantidad y calidad del agua

superficial no es aceptable según los datos de coliformes fecales registrados (Castro-Mendoza 2012) a su vez, la Comisión Nacional del Agua CONAGUA indica que la calidad es aceptable en general a excepción de los altos niveles de coliformes fecales.

### 9.1 Conclusiones:

- Las descargas domésticas son el principal factor de contaminantes por coliformes fecales de la presa.
- La actividad biológica de las bacterias aumenta en temperaturas del agua más cálidas.
- Se confirma la existencia de cepas bacterianas gram negativas de enterobacteriaceae.
- Todas las muestras de agua analizadas presentaron contaminación con bacterias coliformes, con valores que sobrepasaron el límite máximo permisible de la norma NOM-127-SSA1-2021.
- La contaminación y presencia de coliformes aumenta en zonas urbanas, alterada por los seres humanos.

### 10.1 Bibliografía

Abberton, C.L., Bereschenko, L., van der Wielen, P.W.J.J., Smith, C.J. 2016. Survival, biofilm formation, and growth potential of environmental and enteric *Escherichia coli* strains in drinking water microcosms. *Applied and Environmental Microbiology*, 82(17), 5320-5331. <https://doi.org/10.1128/AEM.01569-16>

Agar citrato simmons, Ficha técnica MCD LAB consultado en: <file:///Users/casandra/Downloads/FT%20Agar%20Citrato%20de%20Simmons.pdf>

Allen, M. E. (2005). MacConkey agar plates protocols. *American Society for Microbiology*, 1-4.

Alvarado, D. M., Rojas, J. C., González, E., & Coto, M. (1990). El grupo coliforme: importancia como indicador sanitario en los abastecimientos de aguas de consumo humano. *Tecnología en Marcha*, 10(1), 68-77

Angulo, L. A., & Hernández, A. E. (2019). Importancia de los servicios de agua potable y saneamiento básico en la zona rural del Perú: revisión sistemática (Trabajo de investigación). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/21342>

Aquili V. D., 2007 .Caracterización de cepas de Escherichia coli con fenotipos de multirresistencia inducidos o seleccionados in vitro con antimicrobianos o con fármacos no antimicrobianos. Tesis doctoral. Universidad de las Palmas de Gran Canaria .

Arévalo, Z., Clavijo, A. M., Álvarez, M., Conroy, D., Infante, D., & Santander, J. (2003). Aislamiento de Vibrio cholerae a partir de lisas y tilapias en Venezuela. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 23(2), 127-130.

Ashbolt NJ, Grabow WOK, Snozzi M (2001) Indicators of microbial water quality. In: Fewtrell L, Bartram J, eds. Water quality-Guidelines, standards and health: Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. London, IWA Publishing, pp. 289–315

Avanza la mancha urbana sobre la CDMX/ Universidad Nacional Autónoma de México. En: Gaceta UNAM. no. 5,415 (Enero 14, 2019). México: UNAM, Dirección General de Información, 2019. Suplemento Especial no. 1 (p. 4-6).

Barrera-Escorcía, Guadalupe, Fernández-Rendón, Carlos Leopoldo, Wong-Chang, Irma, & Ramírez Romero, Patricia. (2013). La sensibilidad del grupo coliforme como indicador de la presencia de enterobacterias patógenas en cuatro cuerpos acuáticos de México. *Hidrobiológica*, 23(1), 87-96. Recuperado en 11 de septiembre de 2023, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-88972013000100009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972013000100009&lng=es&tlng=es).

Blokker, E.J.M., Pieterse-Quirijns, I., 2013. Modeling temperature in the drinking water distribution system. *Journal American Water Works Association*, 105, E19-E28. <https://doi.org/10.5942/jawwa.2013.105.001>

Bofill-Mas, Sílvia, Clemente-Casares, Pilar, Albiñana-Giménez, Néstor, Maluquer de Motes Porta, Carlos, Hundesa Gonfa, Ayalkibet, & Girones Llop, Rosina. (2005). Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 253-269. Recuperado en 03 de marzo de 2022, de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-57272005000200012&lng=es&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200012&lng=es&tlng=es).

Bradshaw, J. K., Snyder, B. J., Oladeinde, A., Spidle, D., Berrang, M. E., Meinersmann, R. J., ... & Molina, M. (2016). Characterizing relationships among fecal indicator bacteria, microbial source tracking markers, and associated waterborne pathogen occurrence in stream water and sediments in a mixed land use watershed. *Water research*, 101, 498-509.

Castro Mendoza, Itzel. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34(2), 3-16. Recuperado en 07 de junio de 2023, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382013000200001&lng=es&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382013000200001&lng=es&tlng=pt)

Cavallini ER. 2005. *Bacteriología General: Principios Y Prácticas de Laboratorio*. Editorial Universidad de Costa Rica. 477pp

Caycedo Lozano, L., Ramírez, L. C. C., & Suárez, D. M. T. (2021). Las bacterias, su nutrición y crecimiento: una mirada desde la química. *Nova*, 19(36), 49-94.

Crites R, Tchobanoglous G (2000) *Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Tomo I. McGraw-Hill Interamericana, Colombia. 1084 p.

Eduardo Espinosa Medel, 2017. Modelo de análisis para determinar las estrategias del ordenamiento territorial para la mitigación y adaptación al cambio climático: estudio de caso: cuenca de la presa Madín 2000 - 2016". Tesis para optar obtener el grado de Maestro. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Acatlán.

Figueras, MJ; Borrego, JJ Nuevas Perspectivas en el Monitoreo de la Calidad Microbiana del Agua Potable. En t. J. Medio Ambiente. Res. Salud Pública 2010 , 7 , 4179-4202. <https://doi.org/10.3390/ijerph7124179>

Front Matter." National Research Council. 1995. *Mexico City's Water Supply: Improving the Outlook for Sustainability*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/4937. recuperado de <https://www.nap.edu/read/4937/chapter/1>

Galar-Martínez M., López-López E., Amaya-Chávez A., Gómez-Oliván L., Sedeño-Díaz J.E. 2006, Estudios de toxicidad y captación de aluminio en agua sobre diversas especies de peces de la presa madín , Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, , México D.F, México.

Galindo, L. A. G., Rivas, A. C., Melendez, J. P., & Mayorquín, N. (2020). Alternativas microbiológicas para la remediación de suelos y aguas contaminados con fertilizantes nitrogenados. *Scientia et Technica*, 25(1), 172-183.

González. M. J., 2013. Caracterización fenotípica de las cepas de *Escherichia coli* uropatógena en pacientes pediátricos y sus perfiles de resistencia a aminoglucósidos, quinolonas y betalactámicos. Tesis para otorgar el grado de licenciado en ciencias. Universidad de la república uruguaya.

Håkanson, L., & Bryhn, A. (1999). Water pollution. *Backhuys Publ, Leiden*.

Halder, J. N., & Islam, M. N. (2015). Water pollution and its impact on the human health. *Journal of environment and human*, 2(1), 36-46.

Herrera, O. F., Vargas, O. Y., & Marin, C. P. (2000). La contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo del tomate. *SCIENTIA gerundensis*, 5-12.

J. de Victorica, M. Galván; *Pseudomonas aeruginosa* as an indicator of health risk in water for human consumption. *Water Sci Technol* 1 June 2001; 43 (12): 49–52. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0710>

Insua, D. A., García, C. P., Monteagudo, A. M., Vásquez, Z. A. V., & Marcel, A. M. (2010). Evaluación ecotoxicológica de detergentes comerciales y naturales, como criterio de contaminación ambiental. *REDVET. Revista electrónica de Veterinaria*, 11(3B), 1-9.

Levine, M., and H.W. Schoenlein. 1930. A compilation of culture media for the cultivation of microorganisms. The Williams & Wilkins Company, Baltimore.

Mendoza. C.I. (2012), Diagnosis of the Madin's dam Basin, State of Mexico, Tesis de Maestría, Montecillo Texcoco, Edo. de México.

Margulis, S. (1992). *Back-of-the-envelope estimates of environmental damage costs in Mexico* (Vol. 824). Country Department II Latin America and the Caribbean Regional Office/The World Bank.

Miguel Angel Olmos Mercado. Diagnóstico ambiental de las inmediaciones de la Presa Madin, en el municipio Atizapan de Zaragoza, en el Estado de México. 2011. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. recuperado de: <http://132.248.9.195/ptb2011/septiembre/0673173/Index.html>

Millions consumed potentially unsafe water in the past 10 years by: Agnel Philip, Elizabeth Sims and Jordan Houston, 2017 recovered from <https://publicintegrity.org/environment/millions-consumed-potentially-unsafe-water-in-the-past-10-years/>

Mora, X. (2012). Manual UAM Diferenciando bacterias gram+ y gram. *Selecciones avícolas*, 25-27.

Mossel, D. A. A., Mengerink, W. H. J., & Scholts, H. H. (1962). Use of a modified MacConkey agar medium for the selective growth and enumeration of Enterobacteriaceae. *Journal of Bacteriology*, 84(2), 381.  
MUNN CB. Marine Microbiology: ecology and applications. New York: BIOS Scientific Publisher; 2004.

Muñoz, H., Orozco, S., Vera, A., Suárez, J., García, E., Neria, M., & Jiménez, J. (2015). Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(5), 59-74.

Olvera Viascán, V. (1992). Estudio de eutroficación de la presa Valle de Bravo, México.

OMS, Organización Mundial de la Salud. (2018). Capítulo 11, en: Guías para la calidad del agua de Consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Licencia: CCBY-NC-SA 3.0 IGO.

Pärn, J., Pinay, G., & Mander, Ü. (2012). Indicators of nutrients transport from agricultural catchments under temperate climate: A review. *Ecological indicators*, 22, 4-15.

Pérez-Coyotl et. al 2019 Polluted water from an urban reservoir (Madín dam, México) induces toxicity and oxidative stress in *Cyprinus carpio* embryos, *Environmental Pollution*, Volume 251, Pages 510-521, ISSN 0269-7491

Postel, S. (2006). Conservando los ecosistemas de agua dulce. *The Worldwatch Institute: La situación del mundo*, 15-40.

Postigo, C., & Barceló, D. (2015). Compuestos orgánicos sintéticos y sus productos de transformación en aguas subterráneas: aparición, destino y mitigación. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 503, 32-47.

Proaño Pinargote, E. M. (2019). *Determinación de la calidad de agua en época de lluvia del río Chimbo, provincia del Guayas* (Bachelor 's thesis, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil).

Quiroa Muñoz, Y. H. (2016). Determinación del contenido de fosfatos en detergentes para lavavajillas y daños que produce al medio ambiente en la Región Callao.

RAMIREZ, Elizabeth et al. Calidad microbiológica del acuífero de Zacatepec, Morelos, México. *Rev. Int. Contam. Ambient* [online]. 2009, vol.25, n.4 [citado 2023-07-01], pp.247-255

RODRÍGUEZ, D. C. (2008). Potabilización del agua. Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua. *Madrid: EOI Escuela de Negocios.*

Seo, M.; Lee, H.; Kim, Y. Relationship between Coliform Bacteria and Water Quality Factors at Weir Stations in the Nakdong River, South Korea. *Water* 2019, 11, 1171. <https://doi.org/10.3390/w11061171>

Sueiro RA et al. (2001) Evaluation of Coli-ID and MUG Plus media for recovering *Escherichia coli* and other coliform bacteria from groundwater samples. *Water Science and Technology*, 43:213–216.

Vargas, R. V., Martínez, P., & Arevalo, J. J. (2017). Evaluación preliminar de un sistema de recirculación de aguas para un prototipo implementado en la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Ingeniería y Región*, 18, 25-33.

Vasquez, A., Acevedo, H., & Ramírez, D. (2012). Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia. *Gestión y ambiente*.

Velazquez Aldaco, P., Alejo Iturvide, F., & Márquez Lucio, M. A. (2016). Estudio microbiológico de dos cuerpos de agua del estado de guanajuato: “la presa la purísima” y “laguna de yuriria”. *jóvenes en la ciencia*, 2(1), 71–75.

Westall, F., Brack, A. The Importance of Water for Life. *Space Sci Rev* 214, 50 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11214-018-0476-7>

World Health Organization. WHO Highlights Global Impact of Unsafe Water. Reuters Health Information (en línea) 2001 march 22 (fecha de acceso 27 de marzo de 2001) (2) disponible en: <http://id.medscape.com/reuters/prof/2001/03/03.23/20010322publ002.html>

## **11.1 Anexos:**

### **11.2 Análisis bacteriológico en el agua**

Para el análisis bacteriológico en el agua , se trabajó con las muestras previamente recolectadas , tratando siempre de manipularlas con cuidado. Se abrió cuidadosamente la bolsa y con una pipeta previamente esterilizada se transfirieron a los tubos de de ensayo con agua de dilución (1 L de agua destilada + 1.25ml de solución de fosfatos + 5ml Solución de magnesio) para las diferentes diluciones. Se realizó una dilución seriada de la muestra tomada de la presa Madin para finalmente tener 3 diluciones, 1/10, 1/100 y 1/1000.

Para realizar la prueba presuntiva, de cada dilución se tomó una alícuota de 1 ml y se pasó a series de 3 tubos con 10 ml de caldo lactosado ya que es un medio rico en nutrientes y no contiene inhibidores del crecimiento bacteriano (Cavallini, 2005) en seguida se incubaron a 35°C por 24 horas en espera de un resultado. Una vez pasadas las 24 horas si los tubos presentaron una burbuja en la campana de Durham o turbidez en el medio se considera como un resultado positivo por la fermentación de la lactosa se produce ácido y gas (el cual se evidencia al utilizar las campanas Durham) .

Para la prueba confirmativa, se transfirieron dos asadas de cada tubo con resultado positivo, dentro del área estéril se tomó el tubo de caldo lactosado positivo y con ayuda de un asa de siembra se sembró en los tubos con una campana de Durham invertida con medio EC y verde bilis brillante , realizando 3 repeticiones de cada uno. De igual manera, después de etiquetar cada tubo correctamente se incubaron los medios a 35 °C, posteriormente se realizaron las lecturas a las 24 y 48 h ,registrándose el número de tubos positivos para poder buscar en el código de tablas para determinar el NMP de organismos coliformes totales según los criterios de la NMX-AA-42-1987

Se seleccionaron estos medios, ya que en el caso del medio de cultivo verde billis brillante , la peptona aporta los nutrientes necesarios para el adecuado desarrollo bacteriano, la bilis y el verde brillante son los agentes

selectivos que inhiben el desarrollo de bacterias Gram positivas y Gram negativas a excepción de coliformes, y la lactosa es el hidrato de carbono fermentable, es decir este medio nos indica la presencia de coliformes fecales.

En cambio, el medio EC , la tripteína es la fuente de péptidos, aminoácidos y nitrógeno la lactosa es el hidrato de carbono fermentable y favorece el desarrollo de bacterias coliformes, las sales biliares inhiben el crecimiento de la flora acompañante Gram positiva, las sales fosfato constituyen un sistema buffer que impide que los productos ácidos originados por la fermentación de lactosa afecten el crecimiento microbiano y el cloruro de sodio mantiene el balance osmótico. Análisis de aguas manual

### **11.3 Aislamiento Género Enterobacter**

Los tubos con crecimiento bacteriano se re sembraron en agar Mac Conkey de manera estriada, ya que las peptonas aportan los nutrientes para el desarrollo bacteriano, la lactosa es el hidrato de carbono fermentable, la mezcla de sales biliares y el cristal violeta son los agentes selectivos que inhiben el desarrollo de gran parte de la microbiota Gram positiva para permitir el aislamiento de bacterias Gram negativas. Las bacterias que fermentan la lactosa producen ácido láctico y/o ácido acético como subproductos, lo que reduce el pH del medio y provoca un cambio de color en el indicador pH, volviéndose rosado o rojo. Las bacterias que no fermentan la lactosa no provocan este cambio y forman colonias incoloras. (Mossel et al., 1862 ; Allen, 2005).

Por otra parte se sembraron de igual manera en agar TCBS, es un medio de cultivo específico utilizado principalmente para el aislamiento y la identificación de bacterias del género *Vibrio*, ya que el extracto de levadura, la peptona de carne y la tripteína aportan los nutrientes para el desarrollo microbiano. La bilis de buey, el citrato de sodio y el pH alcalino inhiben el desarrollo de flora acompañante, favoreciendo el crecimiento de *Vibrio* spp (Levine, 1930).

### **11.4 Tinción de gram**

Una vez teniendo las colonias bacterianas aisladas en los distintos agares, se seleccionaron ciertas colonias al azar para poder realizar la tinción de gram según los criterios del manual de microbiología de la UAM ( Ramos & Perez, 2004), esto diferencia a las bacterias en dos grandes grupos. Se llama bacterias Gram positivas a aquellas que retienen la tinción azul-violeta, y se denomina bacterias Gram negativas a las que se decoloran y después se tiñen con safranina.

La cual consistió en tomar la colonia con ayuda de un asa de siembra y se extiende en un portaobjetos fijando la muestra con calor , después se aplicó el tinte de violeta de genciana sobre el portaobjetos y esperando un minuto para posteriormente enjuagar suavemente con agua destilada para poder aplicar después lugol esperando un minuto más , el lugol y el violeta de genciana forman un complejo insoluble en agua capaz de penetrar en la pared de las células bacterianas. Una vez pasado el minuto se enjuaga con alcohol, opcionalmente se puede añadir una tinción de safranina o fucsina para distinguir las gram negativas que aparecerán bajo el microscopio (en lugar de incoloras) con un tono rosado o rojo. Lavar con agua. (Mora, 2012)

En el caso de las bacterias gram positivas, los complejos insolubles se quedan atrapados entre las capas de peptidoglicano de la pared bacteriana, sin disolver y dando la coloración morada característica al observarlas al microscopio. En cambio, en las bacterias gram negativas estos compuestos sí que se disuelven y pierden su color. Al microscopio se verán incoloras o de color rosa-rojo, en función de si se ha añadido la fucsina al final de la técnica de tinción de Gram (Mora, 2012)

### **11.5 Pruebas bioquímicas**

La evaluación fenotípica del crecimiento bacteriano puede ser útil como primera evaluación bacteriana, ya que puedes clasificar a los microorganismos en una familia, género e incluso en algunos casos a nivel de especie gracias a la morfología de las colonias (tamaño, color y forma) (Tang & Stratton, 2012); sin embargo, se realizaron pruebas bioquímicas para una identificación precisa. En general, las pruebas de identificación bioquímica pueden clasificarse en dos grandes grupos: los sistemas convencionales de pruebas de identificación microbiana de banco y los sistemas comerciales de identificación microbiana de base bioquímica.

#### **11.5.1 Medio simmons**

Es un medio semisólido que se utiliza para diferenciar cepas de bacilos gramnegativos de la familia Enterobacteriaceae y verificar la movilidad, producción de indol y de sulfuro de hidrógeno en microorganismos. Permite detectar el citrato sódico como fuente única de carbono y energía para los microorganismos. La fermentación del citrato sódico induce acidificación, lo que produce un cambio de color en el medio en presencia de azul bromotimol, un indicador de pH. Por lo tanto, se considera un resultado positivo si el medio cambia de color y hay crecimiento bacteriano. MCD-LAB.

#### **11.5.2 Medio MIO**

Es un medio de cultivo altamente nutritivo por la presencia de extracto de levadura, peptona y tripteína, la glucosa es el hidrato de carbono fermentable, la ornitina es el sustrato para la detección de la enzima ornitina decarboxilasa. Los microorganismos fermentadores de glucosa acidifican el medio de cultivo y producen viraje del color púrpura al amarillo. Las condiciones de acidez son favorables para la actividad enzimática ornitina decarboxilasa, que actúa sobre la ornitina generando pu-trescina, con la consecuente alcalinización del medio de cultivo y viraje al color púrpura. A partir de un cultivo puro del microorganismo en estudio, se siembra por punción profunda utilizando aguja de inoculación, si este presenta turbidez o crecimiento bacteriano es un resultado positivo.

### **11.5.3 Medio Hierro Lisina**

Medio de cultivo utilizado para diferenciar microorganismos, especialmente *Salmonella* spp., basado en la decarboxilación y desaminación de la lisina y en la producción de ácido sulfhídrico. Los microorganismos fermentadores de glucosa acidifican el medio y provocan el viraje del color púrpura al amarillo, los microorganismos fermentadores de glucosa que no tienen actividad lisina decarboxilasa, producen un viraje de la totalidad del medio de cultivo al color amarillo. A las 24 horas de incubación se observa el fondo del tubo color amarillo y la superficie de color violeta debido al consumo de las peptonas que producen alcalinidad. A partir de un cultivo puro del microorganismo en estudio y mediante el uso de aguja de inoculación, se inocula el medio de cultivo, realizando una punción en el fondo y extendiendo sobre la superficie de este. MCD-LAB

### **11.5.4 Medio Triple azúcar**

Medio universalmente empleado para la diferenciación de enterobacterias, con base en la fermentación de los hidratos de carbono (glucosa, lactosa y sacarosa) y a la producción de ácido sulfhídrico. Por fermentación de azúcares, se producen ácidos, que se detectan por medio del indicador rojo de fenol, el cual vira al color amarillo en medio ácido. El tiosulfato de sodio se reduce a sulfuro de hidrogeno que reacciona luego con una sal de hierro proporcionando el típico sulfuro de hierro de color negro. A partir de un cultivo puro del microorganismo en estudio, con aguja de inoculación se inoculó el medio de cultivo, realizando una punción en el fondo y extendiéndose sobre la superficie del mismo.

## **11.7 Climograma Presa Madín**

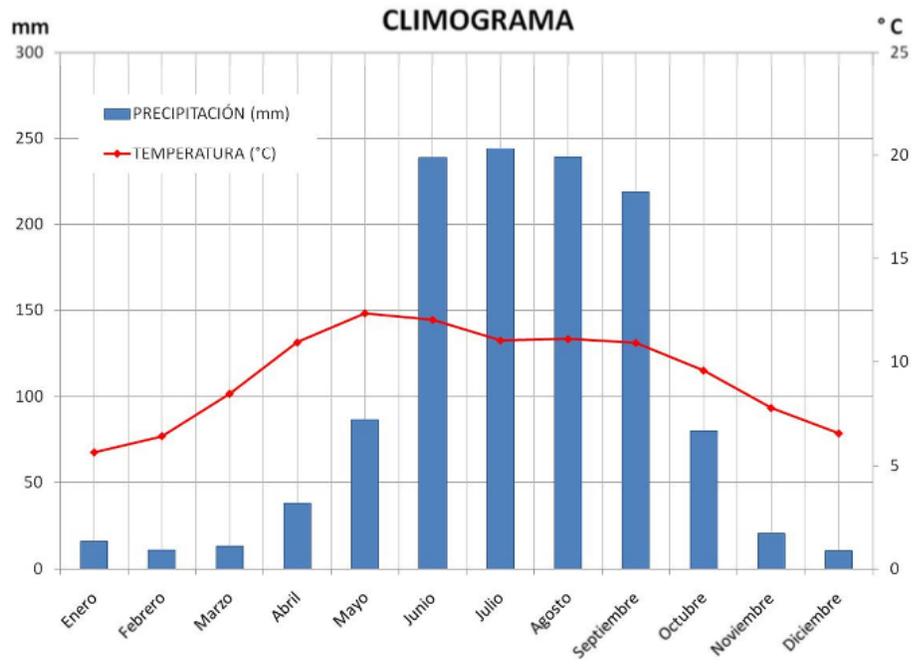


Fig. 15: Climograma Presa Madín, Castro Madín 2012