



MARINA
SECRETARÍA DE MARINA

**PUERTOS
Y MARINA
MERCANTE**
COORDINACIÓN GENERAL



**“SEGUIMIENTO AMBIENTAL PUERTO DE MANZANILLO
PROGRAMA MAESTRO DE DESARROLLO PORTUARIO 2000-
2010”**

LICITACIÓN PÚBLICA NO. LA-009J3B001-E71-2021

**Monitoreo de las lagunas: Valle de las Garzas, San Pedrito y
Cuyutlán**

CALIDAD DEL AGUA. COLIFORMES

INFORME.- ENERO-JULIO 2022

Responsable técnico del programa: Dr. Ramón Sosa Ávalos

Coordinador técnico del proyecto: Dr. Manuel Patiño Barragán



UNIVERSIDAD
DE COLIMA



ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	5
	I.1. Antecedentes	7
II.	OBJETIVOS.....	8
	II.2. Objetivos específicos.....	8
III.	INDICADORES AMBIENTALES Y METAS DEL PROGRAMA.....	8
IV.	DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA.....	9
	IV.1. Área de estudio.....	9
	IV.2. Trabajo de campo	9
	IV.3. Trabajo de laboratorio	10
	IV.3.1. Coliformes.....	10
	IV.3.2. Huevos de Helmintos	20
V.	RESULTADOS.....	25
	V.1. Laguna Valle de las Garzas	26
	V.2. Laguna San Pedrito	27
	V.3. Laguna Tapeixtles.....	29
	V.4. Laguna de Cuyutlán	29
VI.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	33
VII.	CONCLUSIONES	37
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas, Puerto Interior, Laguna Tapeixtles (E-10) y Laguna de Cuyutlán. 11

Tabla 2. Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos en aguas monitoreadas de la Laguna Valle de las Garzas, Puerto Interior, Laguna de Tapeixtles y Laguna de Cuyutlán (Vaso III), de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, Ley Federal

de Derechos-SEMARNAT-2016: Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales, NOM-001-SEMARNAT-2021. NA, no aplica 25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas, Puerto Interior y Laguna de Tapeixtles. Además, se incluye el Anexo MAPAS DWG, AVES, FQ y MANGLE donde se presentan planos en formato DWG..... 10

Figura 2. Localización de las estaciones de muestreo en la Laguna de Cuyutlán. Además, se incluye el Anexo MAPAS DWG, AVES, FQ y MANGLE donde se presentan planos en formato DWG..... 11

Figura 3. Colecta de muestras de agua en frascos estériles para determinar bacterias coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*. 13

Figura 4. Colecta de agua en garrafones desinfectados que es utilizada para cuantificar e identificar huevos de helminto..... 14

Figura 5. Frascos estériles con muestras de agua de la LVG. 15

Figura 6. Frascos estériles con agua destilada en los que se diluye el volumen de muestra. 15

Figura 7. Dilución del reactivo Colilert-18 en la muestra de agua en frascos con agua esterilizada. 16

Figura 8. Charolas Quanti-Tray de 97 celdas rotuladas por estación, tipo de coliformes y fecha de muestreo. 16

Figura 9. Charolas Quanti-Tray en donde se coloca la muestra sembrada con el reactivo...... 17

Figura 10. Charolas Quanti-Tray selladas por calor en donde se observa el ingreso de la charola antes de sellar (a) y después la charola sellada (b)..... 17

Figura 11. Charolas con muestras de agua incubadas en la estufa para determinar coliformes totales a 35 °C (a) y coliformes fecales a 44 °C (b)..... 18

Figura 12. Presencia de *Escherichia coli* en muestras de agua colectadas en el área de estudio..... 19

Figura 13. Muestras de agua que fueron colectadas en garrafones de plástico de 5 L. ... 20

Figura 14. Cubetas de plástico en las que se vierte el agua de la muestra, que se deja sedimentar por más de 3 horas. 21

Figura 15. Filtrado de la muestra de agua con el tamiz para retener el sedimento mayor a 170 μm , el cual es eliminado..... 23

Figura 16. Muestras de agua centrifugadas en botellas de 250 ml, en las cuales se observa el sedimento. 23

Figura 17. El sobrenadante de las botellas de plástico es diluido en agua destilada, que se deja sedimentar por más de 3 horas.	24
Figura 18. Muestras concentradas para identificación y cuantificación de huevos de helminto.	24
Figura 19. Charolas Quanti-Tray que muestran el crecimiento de bacterias coliformes totales y coliformes fecales (charolas superior e inferior) en muestras de la LVG.	26
Figura 20. Variación espacial de la abundancia de los parámetros microbiológicos en la LVG. La línea horizontal roja en (b) marca el límite máximo permisible de 1000 NMP/100 ml de CF, para la protección a la vida acuática en agua dulce, incluyendo humedales (NOM-001-SEMARNAT-1996; LFD-SEMARNAT-2016). La línea negra continua en (c) representa el P.D. de 500 NMP/100 ml de EC, que es el límite permisible, para descargas de aguas residuales en arroyos, canales, embalses, lagunas y estuarios (NOM-001-SEMARNAT-2021).	28
Figura 21. Variación espacial de la abundancia de los parámetros microbiológicos en la LSP. La línea horizontal roja y azul en (b) marcan el límite máximo permisible de 1000 y 240 NMP/100 ml de CF, respectivamente, para la protección a la vida acuática en cuerpos de agua costeros, explotación pesquera y navegación (NOM-001-SEMARNAT-1996; LFD-SEMARNAT-2016).	30
Figura 22. Abundancia de los parámetros microbiológicos en la LT. La línea horizontal azul y roja en (b) marcan el límite máximo permisible de 240 y 1000 NMP/100 ml de CF, respectivamente, para la protección a la vida acuática en cuerpos de agua costeros y explotación pesquera (NOM-001-SEMARNAT-1996; LFD-SEMARNAT-2016). La línea negra continua en (c) representa el límite permisible expresado como V.I. (600 NMP/100 ml) de EC, para la descarga de aguas residuales en arroyos, canales, embalses, lagunas y estuarios (NOM-001-SEMARNAT-2021).	31
Figura 23. Variación espacial de la abundancia de los parámetros microbiológicos en la LC. La línea horizontal roja y azul en (b) marcan el límite máximo permisible de 1000 y 240 NMP/100 ml de CF, respectivamente, para la protección a la vida acuática en cuerpos de agua costeros, explotación pesquera y navegación (NOM-001-SEMARNAT-1996; LFD-SEMARNAT-2016).	32
Figura 24. Abundancia de huevos por género de helmintos en las distintas estaciones del área de estudio.	34
Figura 25. Huevos de géneros de helmintos identificados en las muestras del área de estudio. a) Larvas y b) <i>Paragonimus spp.</i>	35



I. INTRODUCCIÓN.

Los ambientes acuáticos cercanos a las ciudades suelen ser propensos a sobrecargarse con una variedad de contaminantes, ya sea a través de descargas directas o indirectas que provienen de algunas actividades humanas (Doreen et al., 2015). Esta situación puede empeorar por la descarga indiscriminada de desechos no tratados, que a menudo están muy cargados de aguas residuales de uso activo. Las aguas residuales transportan microorganismos, algunos de los cuales son patógenos para los humanos (Lipp *et al.*, 2001). De tal forma que, las descargas de aguas residuales crudas contienen cantidades alarmantes de agentes microbianos patógenos, que representan una de las causas de contaminación en los ecosistemas acuáticos (Huttly, 1990; Adjahouinou *et al.*, 2015).

Varios investigadores han documentado la importancia para la salud pública de la contaminación fecal de las aguas naturales. Aparte de los problemas de salud, el vertido indiscriminado de residuos sin tratar en los medios acuáticos provoca deterioros físicos, químicos y biológicos de dichos ecosistemas cuando estos vertidos superan su capacidad de autodepuración (Sweeney y Sañudo-Wilhelmy, 2004).

La contaminación bacteriana por estos agentes microbianos puede causar potenciales riesgos a la salud humana y efectos adversos a los ecosistemas (Erhardt *et al.*, 2016). La composición de las comunidades bacterianas puede ser influenciadas por muchos factores incluyendo la temperatura, patrones de lluvias, oxígeno disuelto, pH, turbidez, salinidad concentración de metales pesados, materiales tóxicos y otros factores ambientales (Altinoluk-Mimiroglu y Camur-Elipek, 2018).

Los efluentes de aguas residuales pueden contener organismos patógenos como *Campylobacter*, *Escherichia*, *Salmonella*, *Shigella*, *Pseudomonas*, *Streptococcus*, *Clostridium*, *Entamoeba*, *Giardia*, *helmintos*, entre otros (Adingra *et al.*, 2012). La calidad microbiológica de los ecosistemas acuáticos también puede ser



determinada a partir de bacterias indicadoras de contaminación fecal, entre las cuales se encuentran los coliformes totales y fecales (Prats *et al.*, 2008; Rivera *et al.*, 2010; Robert, 2014), debido a que forman parte de la flora gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente. Están presentes en grandes cantidades y permanecen durante más tiempo en el agua con respecto a las bacterias patógenas. Adicionalmente, se pueden utilizar los estreptococos fecales como indicadores de contaminación fecal en lagunas y estuarios (WHO, 2003; Konan *et al.*, 2009).

Las enfermedades ocasionadas por el agua contaminada se encuentran entre las que aumentan las tasas de mortalidad en los países en desarrollo (Bou Saab *et al.*, 2007; Hamaidi *et al.*, 2009). Estas enfermedades debidas a gérmenes patógenos que se encuentran en el agua tienen, en su mayoría, efectos epidemiológicos (Hebert y Legare, 2000).

Diversos autores a nivel mundial han evaluado el uso de los huevos de helmintos como indicadores de contaminación fecal. El riesgo se genera por el contacto directo con el agua residual contaminada, los biosólidos y los alimentos regados con dicha agua (Jiménez, 2007a; Jiménez *et al.*, 2007; Nelson y Darby, 2001). Los huevos de helmintos se encuentran en el ambiente y son de gran importancia en salud pública, debido a su mínima dosis infectiva y a su alta resistencia a diversas condiciones ambientales, como la temperatura, el pH y la humedad, así como a la desinfección con cloro (Jiménez, 2007b; Maya *et al.*, 2012). Los géneros más predominantes son *Ascaris*, *Trichuris*, *Ancylostoma*, *Taenia*, *Necator*, *Strongyloides* e *Hymenolepis*. La presencia de parásitos de Helminto en aguas residuales es de gran preocupación para la salud humana. El huevo constituye la etapa contagiosa de los parásitos de Helminto, que son excretados en las heces fecales de organismos de sangre caliente.

El crecimiento desmedido de las zonas urbanas ha ocasionado aumento de desechos municipales e industriales, ejerciendo mayor presión en los sistemas costeros y generando problemas en la capacidad de las plantas de tratamiento, para

proporcionar un adecuado tratamiento de las aguas residuales (Baños-Cruz, 2012). La Laguna del Valle de las Garzas en el municipio de Manzanillo, recibe aguas residuales de la planta de tratamiento municipal, sin un adecuado tratamiento, además, existen descargas no controladas que ocasionan contaminación bacteriológica, con riesgo hacia la salud pública.

I.1. Antecedentes

Las características ideales de un buen indicador sanitario incluyen: a) estar limitados al hábitat intestinal; b) ser detectados en la muestra cuando los patógenos fecales están presentes; c) mostrar mayor resistencia que los patógenos frente a desinfectantes y condiciones adversas en el ambiente; d) ser incapaces de multiplicarse en el ambiente; e) de detección fácil, rápida y con métodos económicos; y f) la densidad del indicador debe correlacionarse con el grado de contaminación fecal o con el riesgo a la salud (Leclerc *et al.*, 2001; Barrera-Escorcia y Wong-Chang, 2005; Savichtcheva y Okabe, 2006). Una vez que se ha demostrado la presencia de estos grupos indicadores, se puede inferir qué microorganismos patógenos se encuentran presentes y su comportamiento frente a diferentes factores como pH, temperatura, presencia de nutrientes y tiempo de retención hídrica (Del Pilar *et al.*, 2005; Ávila de Navia y Estupiñan, 2009).

La Laguna Valle de las Garzas ha sufrido modificaciones en el vaso lacustre en la última década, que consisten en azolvamiento por sedimentos, disminución de la profundidad, aumento en la tasa de evaporación, mayor cobertura vegetal (mangle, árboles y arbustos), incremento en la presión antropogénica y contaminación del ecosistema. En 2019, API Manzanillo realizó actividades de dragado en este ecosistema, para proporcionar mejor circulación de agua por efectos de la marea y que el tiempo de residencia del agua fuera baja, para mejorar la calidad ambiental de la laguna. Sin embargo, en 2020 las lluvias arrastraron cantidades importantes de material terrígeno de la cuenca alta, que ocasionaron asolvamiento de la laguna. Entre 2021 y 2022, se han realizado nuevamente actividades de dragado, para desazolvar la laguna y permitir mayor circulación de agua.



En la Laguna Valle de las Garzas (LVG) y Laguna San Pedrito (LSP) se han realizado estudios desde 2010 por parte del IMTA (2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016), para monitorear las condiciones ambientales de estos cuerpos de agua. Además, entre 2019-2020 la Universidad de Colima realizó monitoreos mensuales para conocer las condiciones ambientales de estos ecosistemas. Asimismo, personal de la Universidad de Colima tiene más de una década monitoreando mensualmente la Laguna de Cuyutlán (LC).

II. OBJETIVOS

Determinar la calidad microbiológica del agua de la Laguna Valle de las Garzas, Puerto Interior de San Pedrito, Laguna Tapeixtles y Laguna de Cuyutlán, de acuerdo a la normativa vigente en el país, durante un ciclo anual como un parámetro indicativo para evaluar el avance de su recuperación ambiental en función de las Consideraciones del Término Séptimo, Condicionante 7 inciso b) de la Resolución Administrativa No. PFPA13.5/2C.27.5/0028/17/0110 de PROFEPA.

II.2. Objetivos específicos

II.2.1. Identificar la calidad del agua de los componentes del ambiente en el área de influencia del Proyecto, considerando los cambios y tendencias que se presentan a corto y mediano plazo.

II.2.2. Precisar cualitativa y cuantitativamente si hay influencia negativa en el ambiente por contaminación producida por las actividades antropogénicas.

III. INDICADORES AMBIENTALES Y METAS DEL PROGRAMA

Los indicadores ambientales de este programa son las bacterias coliformes totales y fecales, *Escherichia coli* y los huevos de helminto, cuya presencia ayuda a determinar la calidad sanitaria y ecológica del área de estudio, como resultado de las actividades antropogénicas a la que han estado sujetos estos cuerpos de agua.



La meta del programa está asociada a la variabilidad temporal y espacial de la abundancia de estos organismos, con lo cual se establecerá la calidad microbiológica de los cuerpos de agua receptores.

IV. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA

IV.1. Área de estudio

La Laguna del Valle de las Garzas se localiza entre 19°05'15.40" de latitud Norte, 104°17'55.20" de longitud Oeste y, 19°06'08.77" Norte con 104°19'31.33" de longitud Oeste. Mientras que el Puerto Interior se localiza entre las posiciones 19°03'37.73" norte, 104°18'10.55" Oeste y 19°05'08.58" Norte, 104°18'03.26" Oeste (Figura 1).

La laguna se encuentra limitada al Oriente por los Barrios I, II, III y IV, en el Norte por el Barrio V, al Poniente por la Bahía de Manzanillo y al Sur por el Puerto Interior, el cual al Poniente limita con las colonias Las Brisas y Del Pacífico, al Oriente con el poblado de Tapeixtles y parte de la ciudad de Manzanillo, al Sur con la Colonia Burócrata y al Norte con la Laguna del Valle de las Garzas (Figura 1; Tabla 1).

La Laguna de Cuyutlán se encuentra separada del océano Pacífico por una barra arenosa y mantiene comunicación con el mar adyacente por el canal de Tepalcates, canal de Ventanas y el Tapo, se localiza entre 18°56' y 19°03' de latitud Norte, 104°00' y 104°19' de longitud Oeste (Figura 2, Tabla 1).

IV.2. Trabajo de campo

El agua superficial fue colectada el 2 de julio en la Laguna Valle de las Garzas, el 5 en la Laguna de Cuyutlán y el 8 del mismo mes en Laguna San Pedrito y Tapeixtles (Figura 1 y 2). El agua colectada de cada estación fue recolectada en frascos estériles de 100 ml y se mantuvieron a 4°C hasta su traslado al laboratorio para su procesamiento y cuantificación de bacterias patógenas (coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*; Figura 3). Para determinar la presencia de huevos de helminto se recolectaron 5 L de agua de cada sitio de muestreo en

garrafones de plástico, previamente lavados y desinfectados con cloro al 6% (Figura 4).

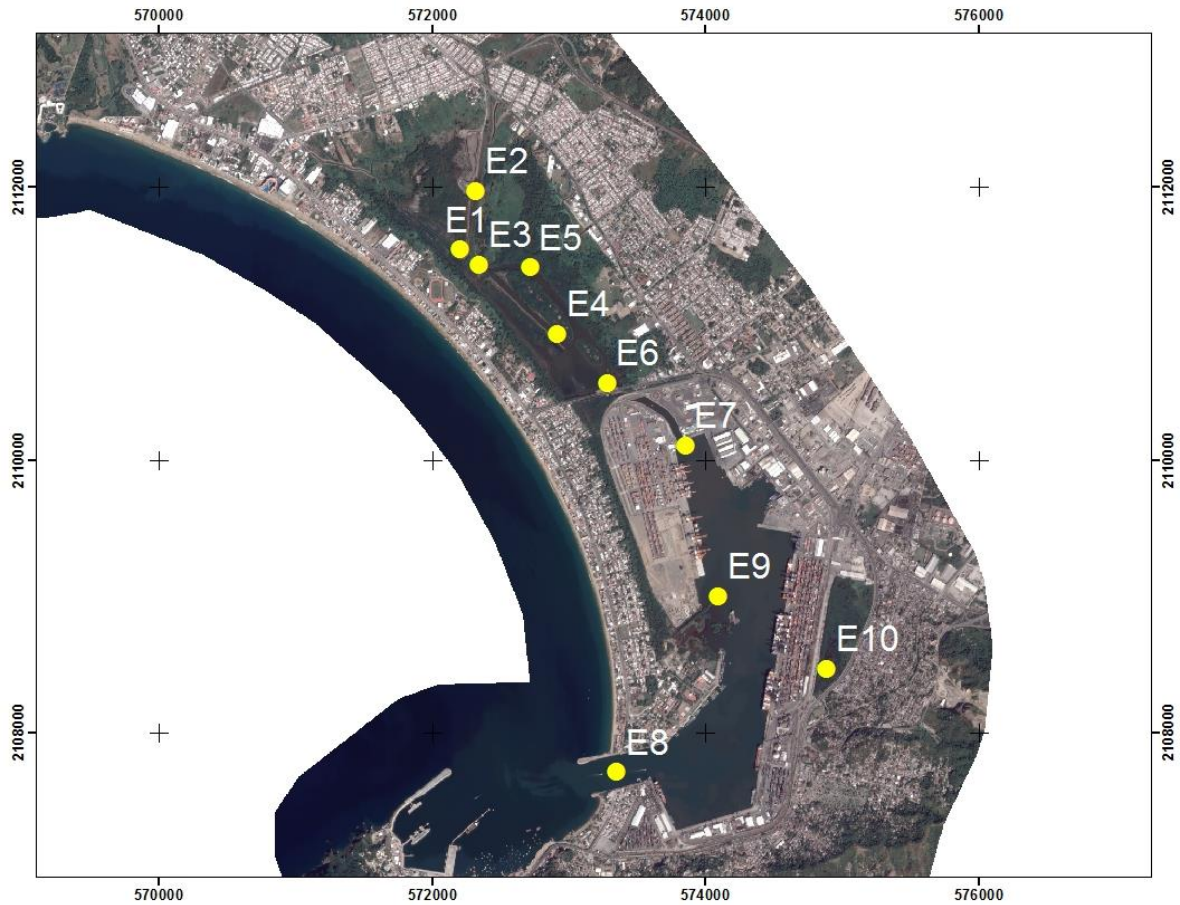


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas, Puerto Interior y Laguna de Tapeixtles. Además, se incluye el Anexo MAPAS DWG, AVES, FQ y MANGLE donde se presentan planos en formato DWG.

IV.3. Trabajo de laboratorio

IV.3.1. Coliformes

Se utilizó el método Colilert-18® (IDEXX) certificado por ISO 9308-2:2012 para determinar los coliformes totales y fecales en las muestras de agua, de acuerdo con el método descrito por Edberg *et al.* (1988). La prueba Colilert-18 utiliza indicadores de nutrientes de ONPG y MUG de tecnología de sustrato definido (DST) patentada para detectar coliformes y *E. coli*. Los coliformes utilizan su enzima β -galactosidasa para metabolizar el ONPG y cambiar su tonalidad de incolora a amarilla.

La *E. coli* usa β -glucuronidasa para metabolizar el MUG y crear fluorescencia. Como la mayoría de los no coliformes no poseen estas enzimas, no pueden crecer ni interferir. Los escasos no coliformes que sí tienen estas enzimas están suprimidos de manera selectiva por la matriz formulada específicamente para la prueba Colilert-18.

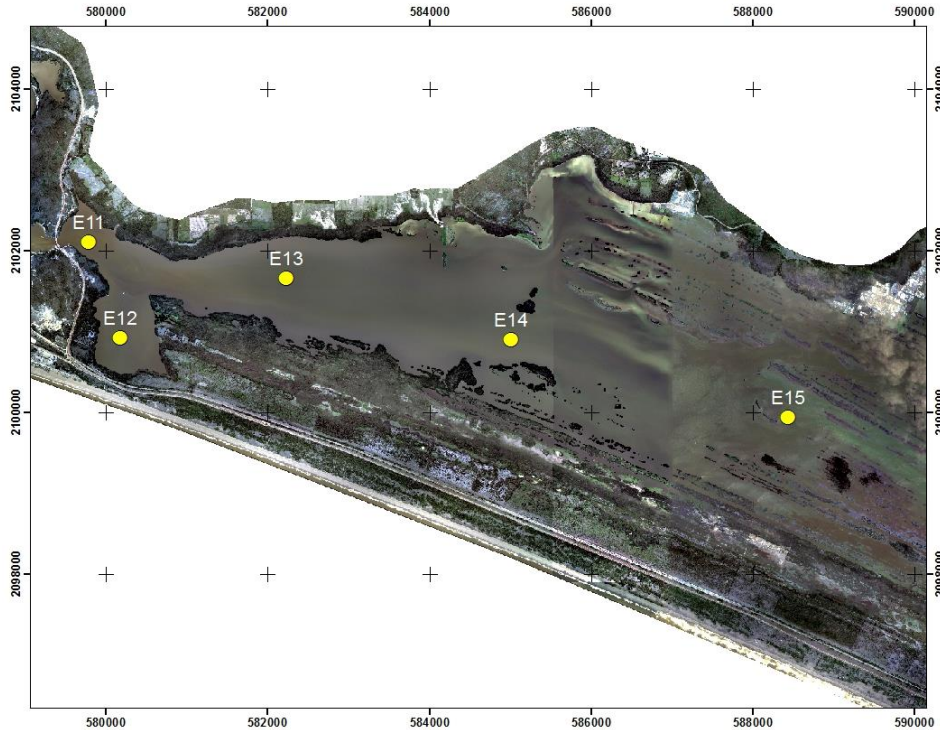


Figura 2. Localización de las estaciones de muestreo en la Laguna de Cuyutlán. Además, se incluye el Anexo MAPAS DWG, AVES, FQ y MANGLE donde se presentan planos en formato DWG.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas, Puerto Interior, Laguna Tapeixtles (E-10) y Laguna de Cuyutlán.

Laguna de las Garzas	Coordenadas	
Estación	X	Y

1	572204.00	2111542.00
2 PTAR	572323.0	2111972.0
3	572347.00	2111432.00
4	572920.00	2110923.00
5	572719.00	2111409.00
6	573284.00	2110564.00

Puerto Interior	Coordenadas	
	X	Y
7	573855.9	2110106.3
8	573352.6	2107711.4
9	574096.4	2108999.0
10 (Laguna Tapeixtles)	574888.5	2108466.2

Laguna de Cuyutlán	Coordenadas	
	X	Y
11	579782.00	2102111.00
12	580172.00	2100927.00
13	582223.00	2101659.00
14	585011.00	2100905.00
15	588438.84	2099941.37

Este enfoque es diferente del medio tradicional, que ofrece un ambiente rico en nutrientes que promueve el crecimiento tanto de los organismos objetivo como de los organismos no objetivo. Cuando los organismos no objetivo crecen e imitan a los organismos objetivo, se obtienen falsos positivos. El crecimiento de los organismos no objetivo también suprime a los organismos objetivo y da falsos negativos en el medio tradicional. Para suprimir los organismos no objetivo, el medio tradicional suele incluir altos niveles de sales, detergentes u otros agentes selectivos que pueden suprimir organismos objetivo de manera inadvertida y dar más falsos negativos.

Todo el material y agua destilada utilizados en el procesamiento de las muestras son previamente esterilizados. Se utilizaron dos frascos estériles de 120 ml de capacidad por cada muestra (uno para coliformes totales y otro para coliformes fecales). Se sembró 1 ml de agua de las muestras de las estaciones de la Laguna Valle de las Garzas y E-10 (Laguna Tapeixtles) que fueron diluidos en 99 ml de agua

destilada (dilución 1:100) (Figuras 5, 6), mientras que de las muestras de las lagunas San Pedrito y Cuyutlán, se tomaron 10 ml de agua que fue diluida en 90 ml de agua destilada esterilizada.



Figura 3. Colecta de muestras de agua en frascos estériles para determinar bacterias coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*.

Posteriormente se agrega el reactivo Colilert-18 a la muestra que es disuelto por agitación mecánica (Figura 7), la muestra es colocada en charolas Quanti-Tray de 97 celdas (Idexx) previamente rotuladas (Figura 8 y 9), que son selladas por calor al introducirlas a la selladora Quanti-Tray (Figura 10). Las charolas son colocadas en estufas de cultivo por 24 horas, que es el tiempo requerido para determinar el

crecimiento de los coliformes totales (35 °C) y coliformes fecales (44.5 °C) (Figura 11).



Figura 4. Colecta de agua en garrafones desinfectados que es utilizada para cuantificar e identificar huevos de helminto.



Figura 5. Frascos estériles con muestras de agua de la LVG.



Figura 6. Frascos estériles con agua destilada en los que se diluye el volumen de muestra.



Figura 7. Dilución del reactivo Colilert-18 en la muestra de agua en frascos con agua esterilizada.

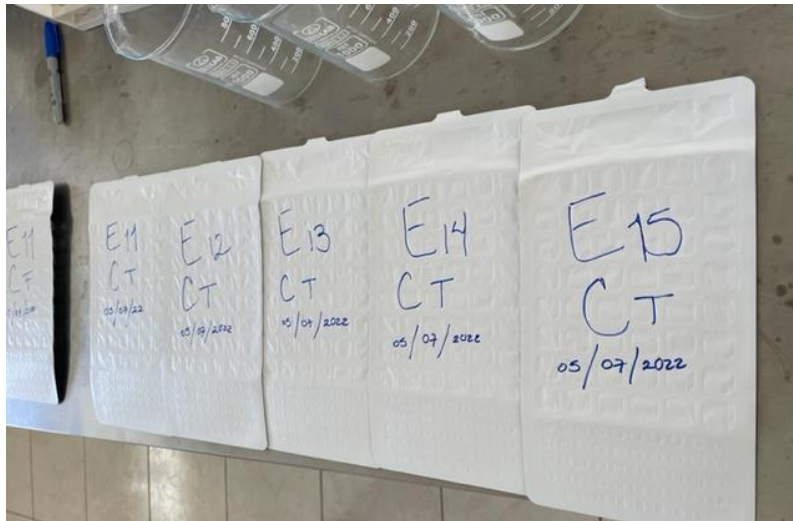


Figura 8. Charolas Quanti-Tray de 97 celdas rotuladas por estación, tipo de coliformes y fecha de muestreo.



Figura 9. Charolas Quanti-Tray en donde se coloca la muestra sembrada con el reactivo.

(a)

(b)



Figura 10. Charolas Quanti-Tray selladas por calor en donde se observa el ingreso de la charola antes de sellar (a) y después la charola sellada (b).

(a)



(b)



Figura 11. Charolas con muestras de agua incubadas en la estufa para determinar coliformes totales a 35 °C (a) y coliformes fecales a 44 °C (b).

Para determinar la abundancia de *Escherichia coli* se utiliza una lámpara ultravioleta (UV) de 6 watts con fluorescencia en la longitud de onda de 365 nm. Las celdas de las charolas Quanti-Tray que emitan fluorescencia se consideran positivas a *E. coli* (Figura 12).

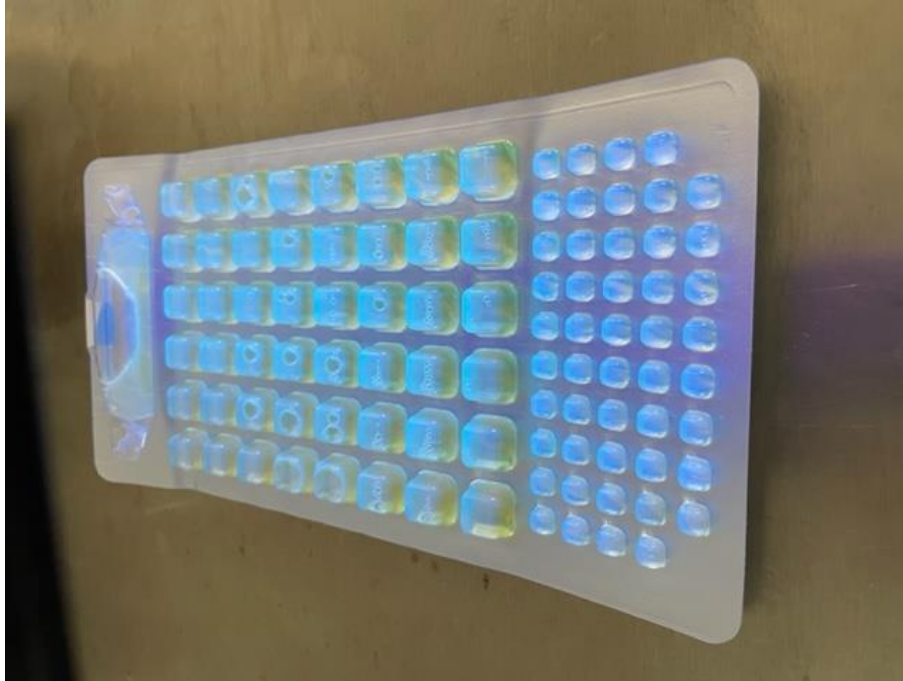


Figura 12. Presencia de *Escherichia coli* en muestras de agua colectadas en el área de estudio.

Se calculó el promedio diario (P.D.) de *E. coli* en cada laguna, que fue obtenido como la media geométrica, a partir de los resultados de las muestras simples, excepto en la Laguna de Tapeixtles (LT) en donde se utilizó el valor instantáneo (V.I.), debido a que solo se colecta una muestra. Los resultados de las muestras simples, el P.D. y el V.I. están expresados como NMP/100 ml. La media geométrica fue estimada como:

$$\hat{\chi} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \chi_i} \quad (1)$$

Donde $\hat{\chi}$ es la media geométrica y χ_i es el resultado obtenido de cada muestra simple.

El P.D. de la LVG, LSP y LC fue contrastado con el P.D. de la NOM-001-SEMARNAT-2021, que representa el límite máximo permitido de 500 NMP/100 ml,

mientras que el resultado de E. coli de LT fue comparado con el V.I de 600 NMP/100 ml, que es el límite máximo de la norma.

IV.3.2. Huevos de Helmintos

El agua recolectada en cada estación fue procesada de acuerdo a la metodología propuesta por la NMX-AA-113-SCFI (2012), para cuantificar e identificar los huevos de helminto. El método comprende los procesos de sedimentación, flotación, decantación y la técnica bifásica para recuperar los huevos de helminto y efectuar el conteo. El método se describe en el diagrama de flujo y gráficamente se muestran evidencias del procesamiento de las muestras por medio de fotografías (Figuras 13 a 18).



Figura 13. Muestras de agua que fueron colectadas en garrafones de plástico de 5 L.



Figura 14. Cubetas de plástico en las que se vierte el agua de la muestra, que se deja sedimentar por más de 3 horas.

Diagrama del procedimiento de las muestras.

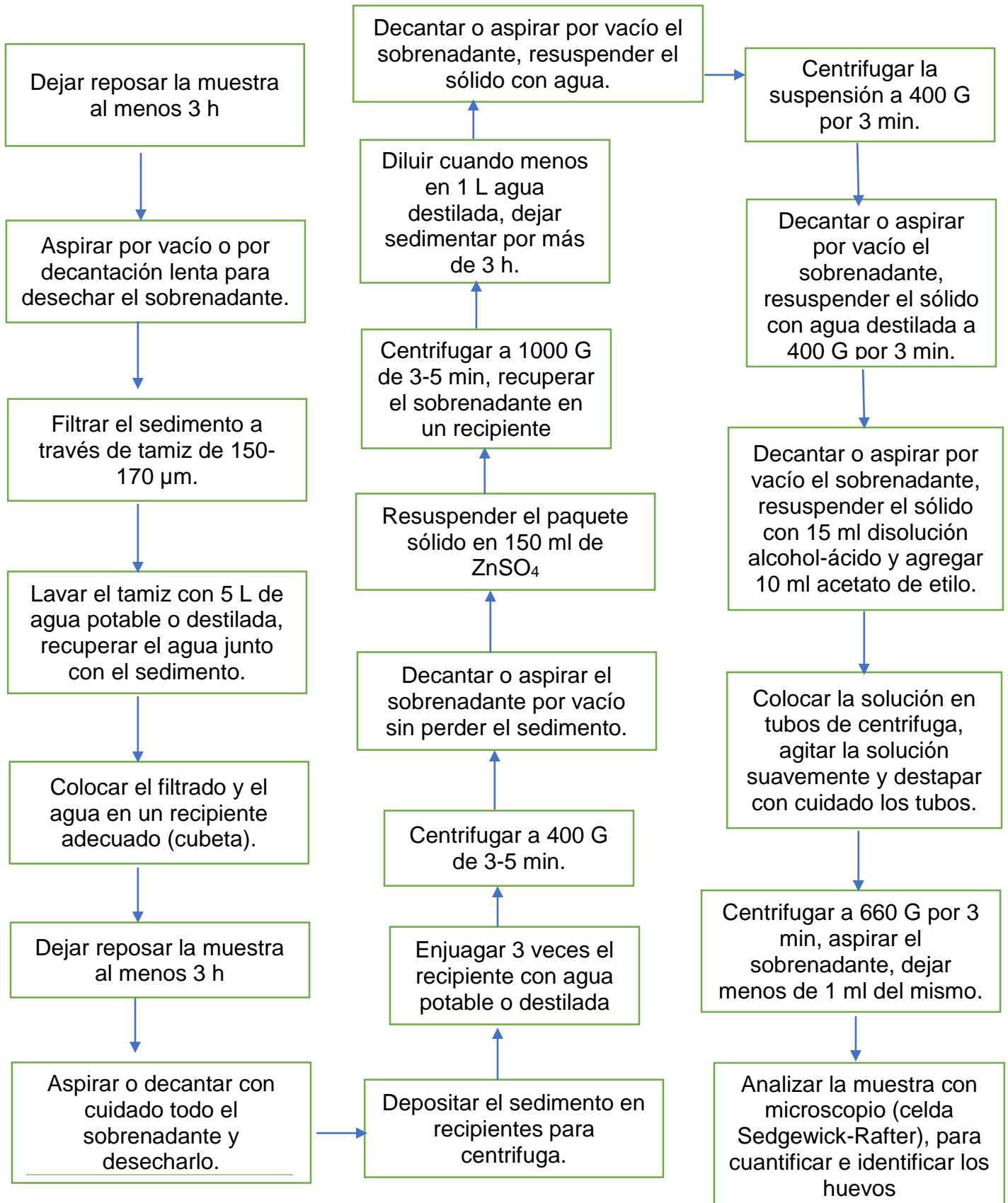




Figura 15. Filtrado de la muestra de agua con el tamiz para retener el sedimento mayor a 170 μm , el cual es eliminado.



Figura 16. Muestras de agua centrifugadas en botellas de 250 ml, en las cuales se observa el sedimento.



Figura 17. El sobrenadante de las botellas de plástico es diluido en agua destilada, que se deja sedimentar por más de 3 horas.

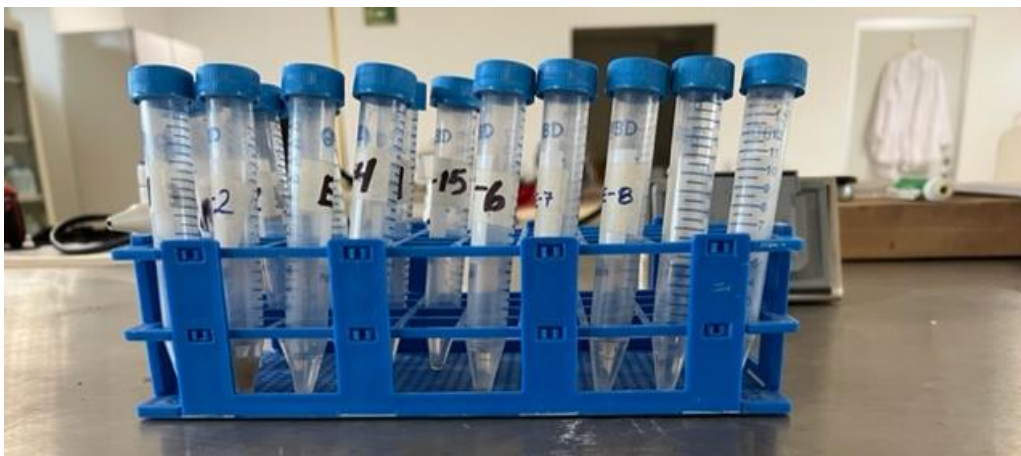


Figura 18. Muestras concentradas para identificación y cuantificación de huevos de helminto.

Los resultados de las muestras simples de las LVG, LSP y LC fueron utilizados para estimar la media geométrica (ec. 1), cuyo resultado representa el P.D. En el caso de la LT se reporta el V.I. como lo establece la NOM-001-SEMARNAT-2021.

V. RESULTADOS

En el presente informe se presentan los resultados de los parámetros microbiológicos del mes de julio, que son analizados de acuerdo con las respectivas normas mexicanas, en donde se establecen los diferentes usos y actividades (Tabla 2). Adicionalmente, en el apartado de Tendencias se comparan estos resultados con los reportados entre enero y junio del presente año. Con el propósito de comparar los resultados de *Escherichia coli* y huevos de helmintos entre los distintos meses, utilizando la NOM-001-SEMARNAT-2021, se estimó la media geométrica (P.D.) para cada mes por medio de la ecuación (1). Mientras que para el análisis comparativo de coliformes totales y fecales se estimó la media aritmética con su respectiva desviación estándar.

Tabla 2. Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos en aguas monitoreadas de la Laguna Valle de las Garzas, Puerto Interior, Laguna de Tapeixtles y Laguna de Cuyutlán (Vaso III), de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, Ley Federal de Derechos-SEMARNAT-2016: Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales, NOM-001-SEMARNAT-2021. NA, no aplica

Parámetro	Descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales.	Explotación pesquera, navegación.	Protección a la vida acuática: agua dulce incluyendo humedales.	Protección a la vida acuática: Aguas costeras y estuarios.
Coliformes totales	1000 NMP/100 ml	1000 NMP/100 ml	1000 NMP/100 ml	240 NMP/100 ml
Coliformes Fecales	1000 NMP/100 ml	1000 NMP/100 ml	1000 NMP/100 ml	240 NMP/100 ml

Parámetro	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas		
	P.M.	P.D.	V.I	P.M.	P.D.	V.I	P.M.	P.D.	V.I
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	250	500	600	250	500	600	250	500	600
Huevos de helmintos*	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Promedio diario (P.D.) establecido como límite permitido por la NOM-001-SEMARNAT-2021.

* La NOM-001-SEMARNAT-2021, no considera a los huevos de helmintos como indicador de contaminación para estos usos.

El crecimiento de las bacterias coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) se determina después de 24 horas de incubación. Las celdas de las charolas Quanti-Tray que cambian de incoloro a amarillo indican la presencia de coliformes. El desarrollo de CT se muestran en las charolas superior de izquierda a derecha (E-1 a E-6) y de CF en las charolas inferiores en la LVG (Figura 19).

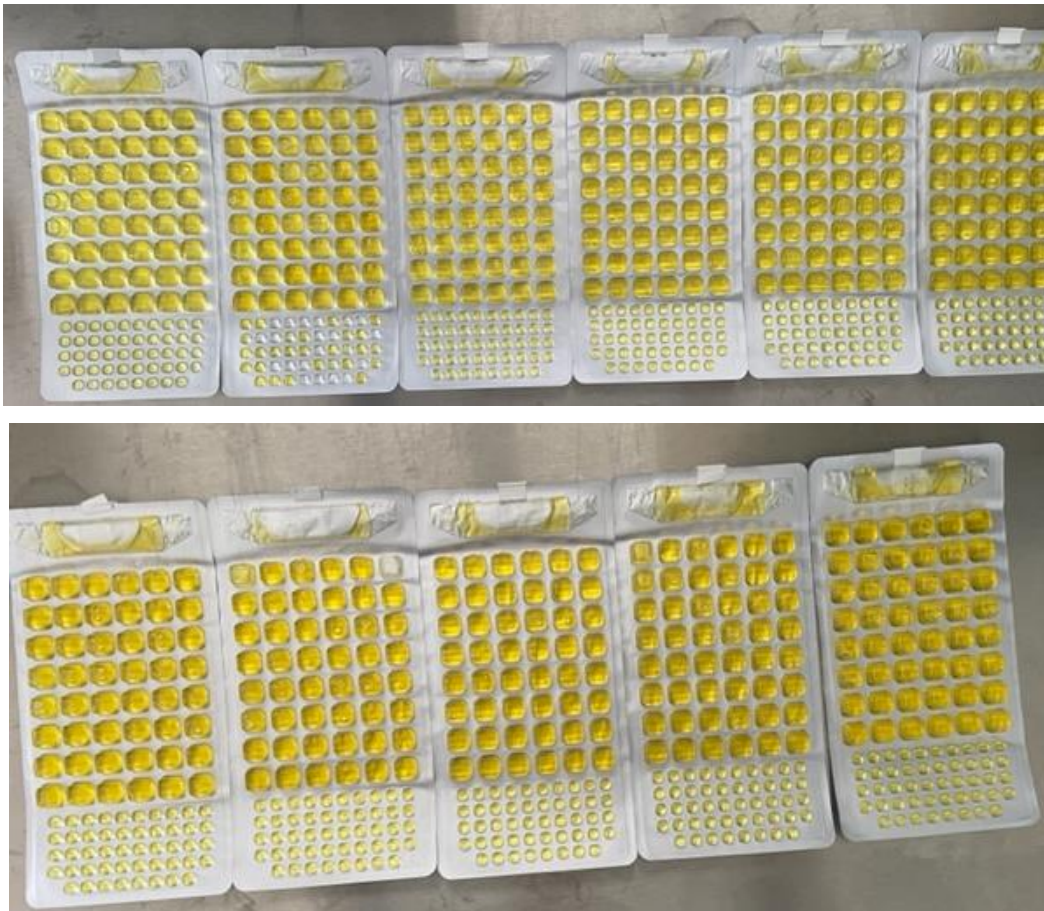


Figura 19. Charolas Quanti-Tray que muestran el crecimiento de bacterias coliformes totales y coliformes fecales (charolas superior e inferior) en muestras de la LVG.

V.1. Laguna Valle de las Garzas

La abundancia de CT se mantuvo homogénea en las distintas estaciones de la laguna y presentan el mismo valor $>241,960$ NMP/100 ml, por tanto, su media aritmética es este valor (Figura 20a). Este mismo comportamiento fue observado por los CF y EC, cuya abundancia es $>241,960$ NMP/100 ml (Figura 20b y Figura 20c).

La media geométrica estimada para EC fue de 241,960 NMP/100 ml, que representa el promedio diario (PD) como lo establece la NOM-001-SEMARNAT-2021. La abundancia de huevos de helminto presentó variación espacial con valores altos en las estaciones E-1 y E-2 y menor en E-6, describiendo un gradiente en la abundancia hacia el Mirador (Figura 20d). El intervalo de la biomasa es de 4 HL y 24 HL, con un P.D. de 10 HL.

La abundancia promedio de CT y CF permiten evaluar las condiciones ambientales de la laguna, en la cual se establece que el agua se encuentra contaminada por coliformes (totales y fecales), por consiguiente, el agua no es apta para la protección de la vida acuática en agua dulce y humedales. Asimismo, el P.D. de EC indica que la laguna rebasa el límite permitido para descargas de aguas residuales en embalses, lagos y lagunas, como lo establece la NOM-001-SEMARNAT-2021 (2022). Además, menciona que los huevos de helmintos No Aplican como indicador de contaminación en ecosistemas acuáticos, receptores de aguas residuales para determinar la calidad del agua de dichos cuerpos acuáticos, independientemente de la abundancia de los huevos de helmintos, aun cuando el P.D. es 2 veces mayor que el límite máximo permitido en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

V.2. Laguna San Pedrito

Los CT cambiaron de 364 NMP/100 ml en E-8 a > 6,488 NMP/100 ml en la E-7, se observa un gradiente en la biomasa a partir de la dársena norte hacia el canal de entrada al puerto (Figura 21a). La media aritmética y desviación estándar es de $2,896 \pm 3,197$ NMP/100 ml. La abundancia de CF fue baja en la estación E8 (72 NMP/100 ml), pero en E-7 la abundancia fue 1,727 NMP/100 ml (Figura 21b), con una media y desviación estándar de 718 ± 885 NMP/100 ml.

La abundancia de EC observa el mismo patrón que los coliformes, en donde la E-7 registra valor de 269 NMP/100 ml y en E-8 20 NMP/100 ml, con un gradiente de abundancia hacia el canal del puerto (Figura 21c). El P.D. estimado a partir de la media geométrica es de 88 NMP/100 ml, que es menor al P.D. (500 NMP/100 ml) establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021.

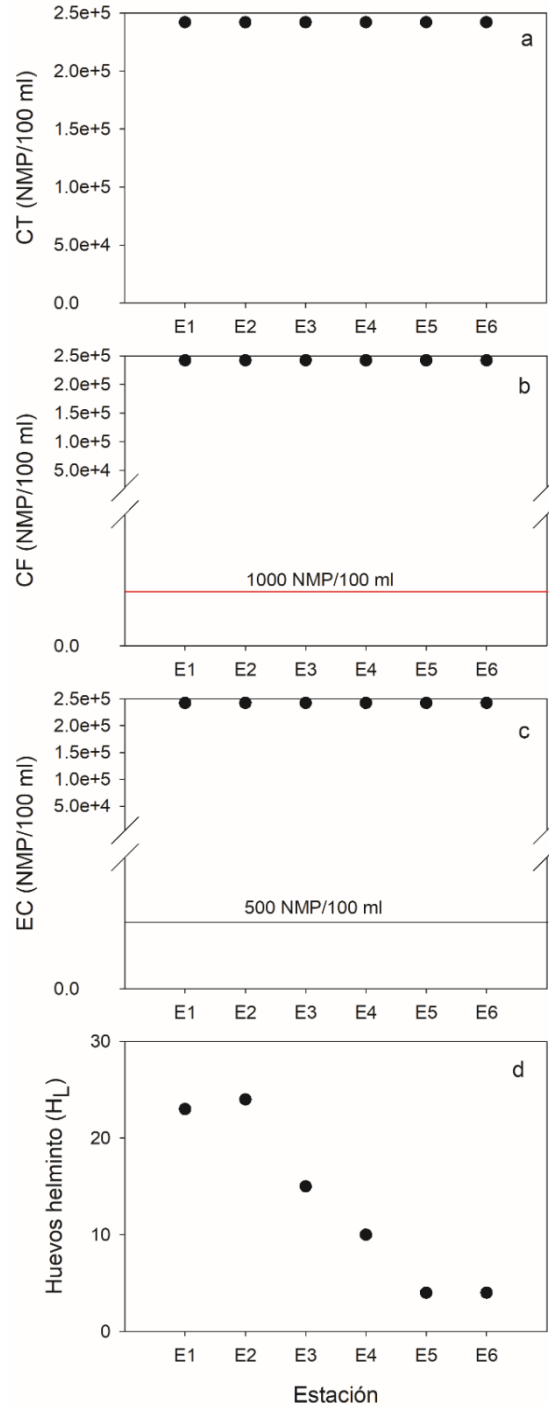


Figura 20. Variación espacial de la abundancia de los parámetros microbiológicos en la LVG. La línea horizontal roja en (b) marca el límite máximo permisible de 1000 NMP/100 ml de CF, para la protección a la vida acuática en agua dulce, incluyendo humedales (NOM-001-SEMARNAT-1996; LFD-SEMARNAT-2016). La línea negra continua en (c) representa el P.D. de 500 NMP/100 ml de EC, que es el límite permisible, para descargas de aguas residuales en arroyos, canales, embalses, lagunas y estuarios (NOM-001-SEMARNAT-2021). El número de huevos de helmintos registra valores entre 9 y 12 HL en las estaciones E-8 y E-7, respectivamente (Figura 21d), con un P.D. de 11 HL.

El promedio de coliformes fecales es menor al límite máximo permitido en la norma, lo que significa que el agua de la laguna es apta para la navegación y explotación pesquera, pero no es apta para la protección a la vida acuática en lagunas costeras. El P.D. de EC es menor al límite permitido en la NOM-001-SEMARNAT-2021 de 500 NMP/100 ml, por tanto, la laguna puede funcionar como receptor de aguas residuales.

V.3. Laguna Tapeixtles

El valor instantáneo (V.I.) de CT fue de 21,870 NMP/100 ml, de 8,200 NMP/100 ml de CF y de 2,180 NMP/100 ml para EC (Figura 22a-22c), mientras que el V.I. de huevos de helmintos fue 21 H_L (Figura 22d). La abundancia de CT y CF evidencian la mala calidad del agua y no es aceptable para la protección a la vida acuática en lagunas costeras y explotación pesquera. Con respecto a la abundancia de EC el agua de la laguna no es funcional para recibir aguas residuales.

V.4. Laguna de Cuyutlán

La abundancia de CT observa variación espacial desde 1,291 a 4,611 NMP/100 ml en E-13 y E-14, respectivamente, con tendencia a incrementar la abundancia hacia el interior del Vaso III (Figura 23a). La media y desviación estándar estimada fue $2,519 \pm 1,521$ NMP/100 ml. Por su parte, la abundancia de CF muestra un comportamiento heterogéneo con valor bajo (10 NMP/100 ml) en E-15 y alto (2,909 NMP/100 ml) en E-14 (Figura 23b). La media estimada es de $739 \pm 1,227$ NMP/100 ml. Un patrón irregular también es observado en EC con abundancia baja (31 NMP/100 ml) en E-11 y más alta (17 NMP/100 ml) en E-12, a partir de la estación E-13, la abundancia tiene a incrementar hacia el interior del Vaso III (Figura 23c). El P.D. de EC fue de 71 NMP/100 ml. Con respecto a los huevos de helmintos, la abundancia incrementa hacia el interior de la laguna, los valores oscilaron de 7 a 47 H_L en E-13 y E-15, respectivamente (Figura 23d), y el P.D. fue de 14 H_L.

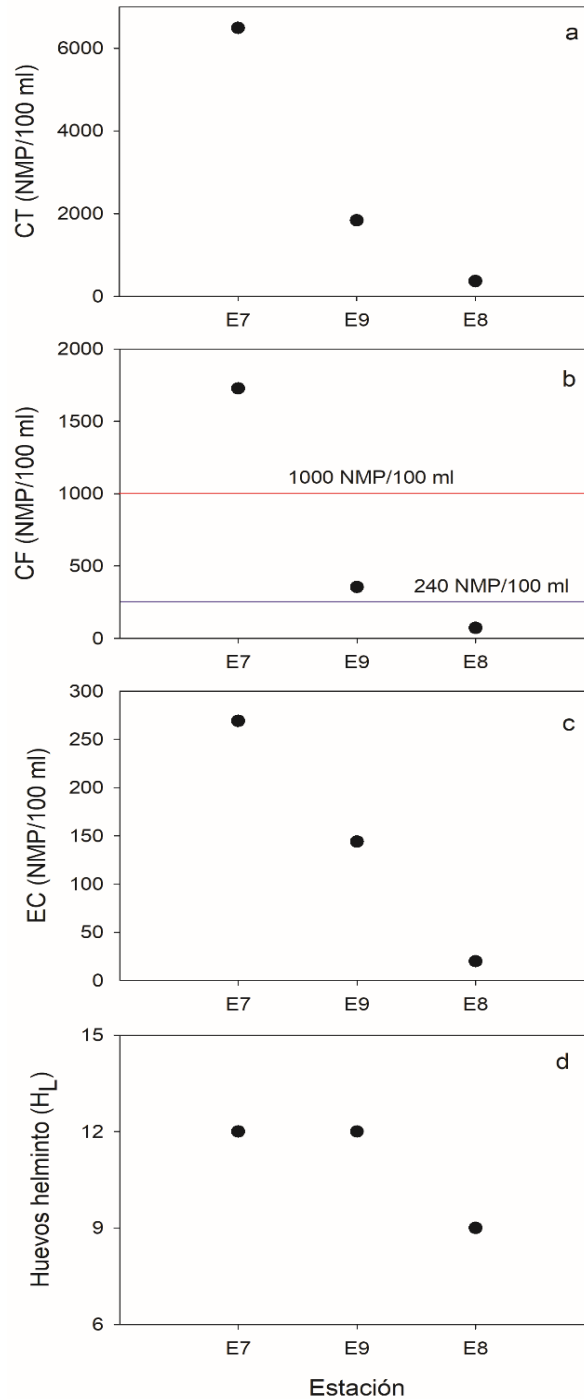


Figura 21. Variación espacial de la abundancia de los parámetros microbiológicos en la LSP. La línea horizontal roja y azul en (b) marcan el límite máximo permisible de 1000 y 240 NMP/100 ml de CF, respectivamente, para la protección a la vida acuática en cuerpos de agua costeros, explotación pesquera y navegación (NOM-001-SEMARNAT-1996; LFD-SEMARNAT-2016).

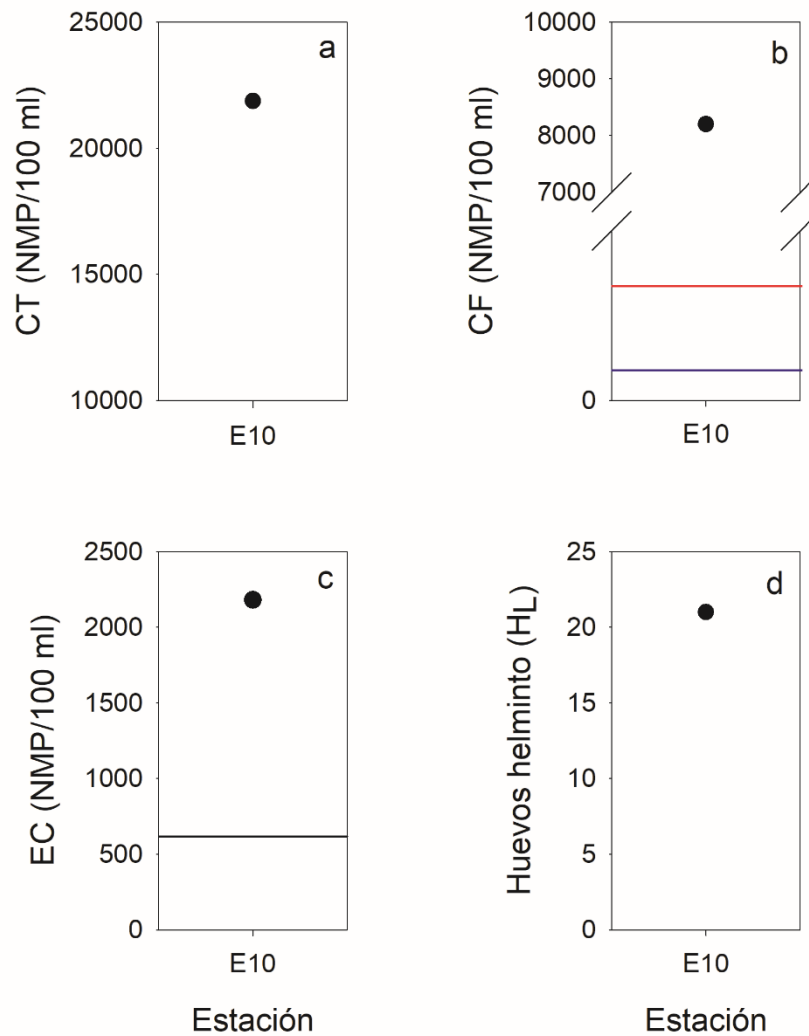


Figura 22. Abundancia de los parámetros microbiológicos en la LT. La línea horizontal azul y roja en (b) marcan el límite máximo permisible de 240 y 1000 NMP/100 ml de CF, respectivamente, para la protección a la vida acuática en cuerpos de agua costeros y explotación pesquera (NOM-001-SEMARNAT-1996; LFD-SEMARNAT-2016). La línea negra continua en (c) representa el límite permisible expresado como V.I. (600 NMP/100 ml) de EC, para la descarga de aguas residuales en arroyos, canales, embalses, lagunas y estuarios (NOM-001-SEMARNAT-2021).

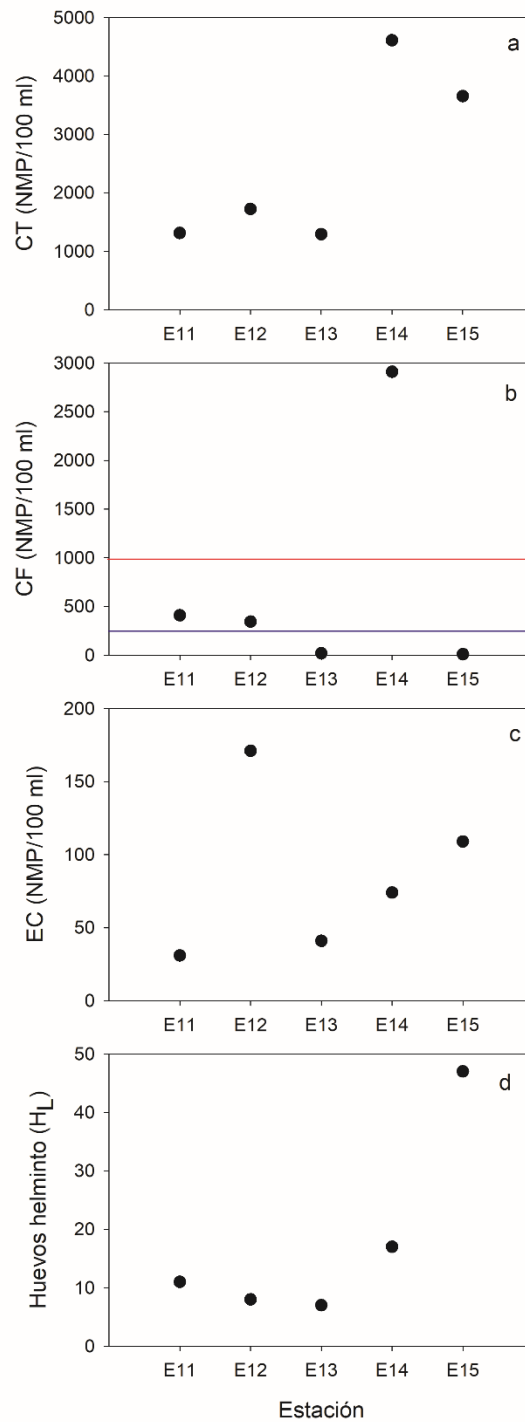


Figura 23. Variación espacial de la abundancia de los parámetros microbiológicos en la LC. La línea horizontal roja y azul en (b) marcan el límite máximo permisible de 1000 y 240 NMP/100 ml de CF, respectivamente, para la protección a la vida acuática en cuerpos de agua costeros, explotación pesquera y navegación (NOM-001-SEMARNAT-1996; LFD-SEMARNAT-2016).

Los resultados promedio de los parámetros microbiológicos demuestran que el agua es adecuada para la explotación pesquera y navegación (NOM-001-SEMARNAT-1996; LFD-SEMARNAT-2016), pero no así para la protección a la vida acuática en lagunas costeras. Adicionalmente, puede actuar como cuerpo receptor de descargas de aguas residuales en lagunas costeras (NOM-001-SEMARNAT-2021).

Los géneros de huevos de helmintos más representativos de la LVG fueron: *Ascaris spp.*, *Taenia spp.*, *Hymenolepsis spp.* y *Schistosoma spp.*, únicamente en la E-2 fue dominante el género *Paragonimus spp.* En la LSP dominaron los géneros *Ascaris spp.*, *Anquilostoma spp.*, *Schistosoma spp.*, *Hymenolepsis spp.* y *Enterobius spp.* Por otra parte, en la LT se observaron cuatro géneros importantes; *Ascaris spp.*, *Taenia spp.*, *Trichuris spp.* e *Hymenolepsis spp.* Mientras que en la LC los géneros de huevos de helmintos más representativos son: *Ascaris spp.*, *Schistosoma spp.*, *Taenia spp.* e *Hymenolepsis spp.*, sin embargo, en la estación E-15 también se registraron los géneros *Enterobius spp.* y *Diphyllobothrium spp.* (Figura 24). En la Figura 25 se presentan ejemplos de huevos de helmintos identificados hasta género en muestras de agua colectadas en el área de estudio.

VI. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados promedio de la abundancia de CT y CF indican que las condiciones ambientales de la LVG no cumplen con la norma, debido a que estos valores son ~242 veces más altos que el límite máximo permitido (1000 NMP/100 ml), por tanto, el agua no es apta para la protección a la vida acuática en agua dulce y humedales. El P.D. de EC es más alto ~484 veces que el P.D. (500 NMP/100 ml) establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021, indicando que este cuerpo receptor no debe recibir descargas de aguas residuales. Las abundancias de estos parámetros microbiológicos fueron homogéneas en la laguna y no se observan cambios entre las estaciones. Con respecto a los huevos de helmintos, la abundancia presenta un gradiente hacia la E-6, si bien, la NOM-001-SEMARNAT-2021 no utiliza a estos

organismos para evaluar las descargas de aguas residuales, el P.D. (10 HL) es mayor al límite permitido por la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Los promedios altos de los parámetros microbiológicos, son como resultado de las actividades antropogénicas que descargan aguas residuales pobremente tratadas de la planta de tratamiento, así como descargas de aguas residuales clandestinas sin tratamiento. Aunado a esto, la marea que penetra a la laguna mezcla el agua y la transporta hacia el norte de esta, ocasionando mayor turbulencia que se refleja en las abundancias.

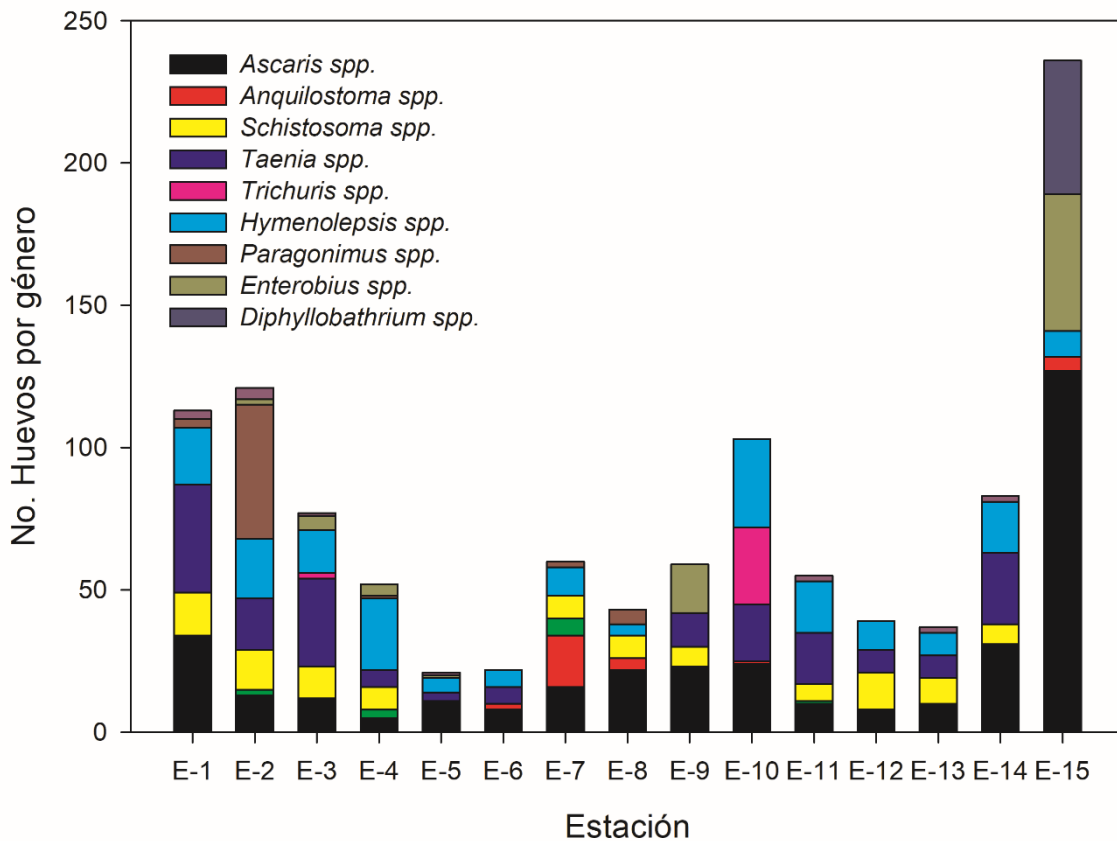
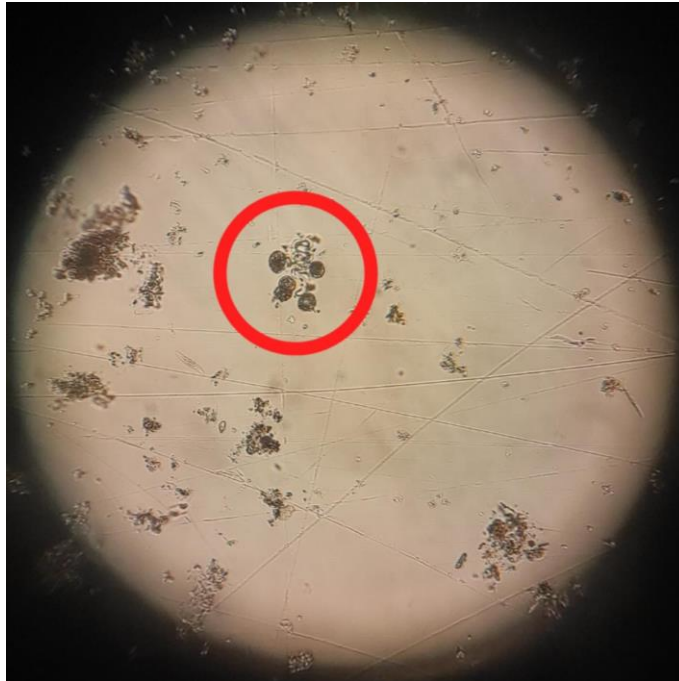


Figura 24. Abundancia de huevos por género de helmintos en las distintas estaciones del área de estudio.

a)



b)

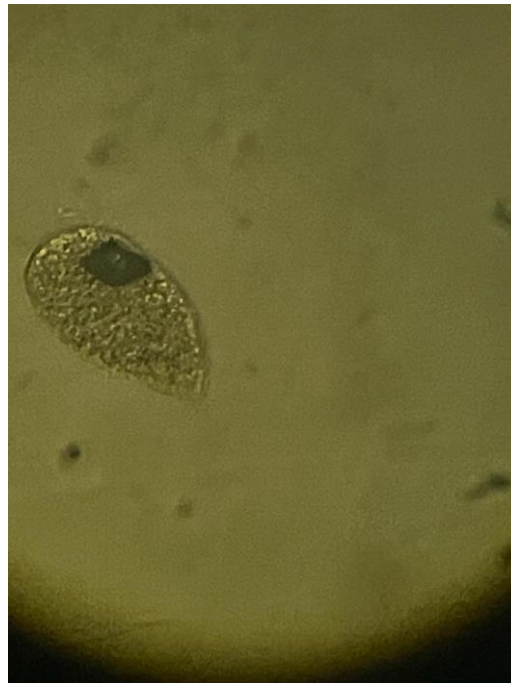


Figura 25. Huevos de géneros de helmintos identificados en las muestras del área de estudio. a) Larvas y b) *Paragonimus* spp.

El promedio de la abundancia de CT en la LSP fue mayor al límite permitido por la norma, los valores muestran un gradiente desde la dársena norte hacia el canal de entrada al puerto. Este mismo comportamiento es observado por los CF y EC en donde la media aritmética y el P.D., respectivamente, son menores a los límites permitidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996, la LFD-SEMARNAT-2016 y NOM-001-SEMARNAT-2021. Los resultados de coliformes demuestran que el agua de la LSP no es apta para protección a vida acuática en lagunas, estuarios y zona costera. Mientras que el PD de EC es menor al límite máximo (500 NMP/100 ml) permitido en la NOM-001-SEMARNAT-2021, por consiguiente, el agua no está contaminada con estos organismos y el ecosistema puede actuar como un cuerpo receptor de aguas residuales. Los huevos de helmintos dejaron de ser un referente de contaminación del agua en la modificación de la NOM-001-SEMARNAT-2021, independientemente del P.D., estos No Aplican (NA) como indicador para determinar si un cuerpo de agua puede recibir descargas de aguas residuales.

El V.I. de los parámetros microbiológicos registrados en la LT, son una muestra de que el agua se encuentra contaminada por CT, CF y EC debido a que la abundancia rebasa el límite máximo permitido por la NOM-001-SEMARNAT-1996, LFD-SEMARNAT-2016 y NOM-001-SEMARNAT-2021 (V.I. = 600 NMP/100 ml para EC). Por lo tanto, de acuerdo con los coliformes se considera que el agua no es apta para la protección a la vida acuática en cuerpos de agua costeros y explotación pesquera. Considerando el resultado de EC, se puede determinar que la LT no debe recibir descargas de aguas residuales.

El promedio de la abundancia de CT y CF en la LC permiten establecer que, el agua es aceptable para la explotación pesquera y navegación, sin embargo, no es apropiada para protección a la vida acuática en lagunas costeras, porque el promedio de CF es mayor al límite máximo permitido en la LFD-SEMARNAT-2016 (240 NMP/100 ml para CF). Considerando el P.D. de EC, se concluye que la laguna puede recibir descargas de aguas residuales, porque no rebasa el límite permitido en la NOM-001-SEMARNAT-2021 (PD = 500 NMP/100 ml para EC). El P.D. de

huevos de helmintos fue de 14 HL, pero su abundancia No Aplica para determinar si un cuerpo de agua puede ser receptor de aguas residuales (NOM-001-SEMARNAT-2021).

La presencia de bacterias patógenas como CT, CF y EC en exceso (mayor a los límites máximos permitidos por la norma) en cualquier cuerpo de agua, son indicadoras de contaminación fecal reciente de origen humano o animal (Pulido *et al.*, 2005; Larrea *et al.*, 2012), en donde EC constituye alrededor del 90 % de la abundancia (Carrillo y Lozano, 2008; Badgley *et al.*, 2011). Las bacterias entéricas como E. coli y estreptococos fecales, son consideradas las principales indicadoras de contaminación fecal, estrechamente asociadas a problemas de salud como enfermedades gastrointestinales y cutáneos, infecciones en las vías respiratorias y auditivas (USEPA, 2003). Por tanto, estos organismos representan un riesgo importante de salud pública para la población aledaña a los cuerpos de agua receptores de aguas residuales pobremente tratadas. Aunado a esto, la dinámica de los cuerpos de agua costeros debido principalmente a la marea y en menor grado a la velocidad del viento, ocasionan variaciones en la abundancia de estos organismos.

VII. CONCLUSIONES



- a) El promedio de la abundancia de los parámetros microbiológicos en julio en la LVG es más alto que los límites máximos permisibles en la NOM-001-SEMARNAT-1996, LFD-SEMARNAT-2016 y NOM-001-SEMARNAT-2021. Esto permite concluir que el agua no es adecuada para la protección a la vida acuática en agua dulce y humedales, explotación pesquera y navegación.
- b) La calidad del agua en la LVG con relación a los parámetros microbiológicos continúa siendo mala durante el periodo enero-julio de 2022, porque los promedios de la abundancia de CT y CF son más altos que los límites establecidos en las distintas normas, lo que significa que la calidad del agua no es favorable para la protección a la vida acuática, explotación pesquera y navegación. Este mismo patrón fue observado en el periodo enero-julio de 2020. Por otra parte, el agua no se debe utilizar para riego, debido a que los valores de EC y huevos de helmintos, respectivamente rebasan los límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017 y NOM-001-SEMARNAT-2021.
- c) El promedio de la abundancia de los CF en la LSP durante julio fue menor al límite máximo permitido por la norma para explotación pesquera y navegación. Sin embargo, el valor es más alto que 240 NMP/100 ml para protección de la vida acuática. Asimismo, la laguna puede funcionar como cuerpo receptor de aguas residuales, de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- d) La calidad del agua en LSP no es aceptable con relación a CT y CF entre febrero y junio de 2022, concluyendo que el agua no es favorable para protección a la vida acuática, explotación pesquera y navegación como lo marca la norma (LFD-SEMARNAT-2016). Adicionalmente, los P.D. de la laguna rebasan el límite máximo permitido por la NOM-001-SEMARNAT-2021 en los meses de enero, febrero y mayo de 2022. Con relación a los huevos de helmintos, el agua se encuentra contaminada por estos parásitos y no debe utilizarse para riego (NOM-001-SEMARNAT-1996). A partir de abril los huevos de helmintos no aplican como un indicador de la calidad del agua,



para determinar si los ecosistemas acuáticos deben recibir descargas de aguas residuales (NOM-001-SEMARNAT-2021).

- e) El valor instantáneo de CF y EC en julio en la LT son más altos que los límites permitidos por las normas, por lo tanto, el agua no es favorable para protección a la vida acuática en lagunas costeras y estuarios y explotación pesquera.
- f) La calidad del agua en la LT con respecto a CF no es adecuada de enero a julio 2022 porque los valores son mayores al límite permitido en la norma. Esto significa que, la calidad del agua no es apta para protección a la vida acuática, excepto en febrero. Con relación a EC el agua tiene mala calidad durante enero-julio 2022, excepto en mayo. Por lo tanto, no se debe verter descargas de aguas residuales a la laguna, de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-2021. Entre los meses de enero a marzo los valores de huevos de helmintos son más altos que el límite máximo descrito en la NOM-001-SEMARNAT-1996. Mientras que de abril a julio este indicador de calidad de agua no aplica como lo marca la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- g) En julio el promedio de la abundancia de CF en la LC es mayor al límite máximo permitido por la norma. Por consiguiente, la calidad del agua no es aceptable para la protección a la vida acuática en lagunas costeras, pero si es apta para explotación pesquera y navegación. Los huevos de helmintos no aplican como indicador de calidad de agua en la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- h) La salinidad y la concentración de oxígeno disuelto son los parámetros que más afectan negativamente el crecimiento de los organismos patógenos y parásitos.



VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Aanderud, Z. T., J. C. Vert, J. T. Lennon, T. W. Magnusson, D. P. Breakwell, A. R. Harker. 2016. Bacterial dormancy is more prevalent in freshwater than hypersaline lakes. *Frontiers in Microbiology*, 7: 853. DOI:10.3389/fmicb.2016.00853.
- Adingra, A. A., A. N. Kouadio, M. C. Blé, A. M. Kouassi. 2012. Bacteriological analysis of Surface water collected from the Grand-Lahou lagoon, Côte d'ivoire. *African Journal of Microbiology Research*, 6(13): 3097-3105.
- Adjahouinou, D. C., M. Lagnika, N. D. Tossavi, E. D. Fiogbe. 2015. Fecal contamination level of Cotonou Lagoon waters (Benin, West Africa). *International Journal of Multidisciplinary and Current Research*, 3: 245-250.
- Altinoluk-Mimiroglu, P. y B. Camur-Elipek. 2018. Comparative analysis of chemical and bacterial distribution of coastal lagoons and freshwater lakes in Turkish Thrace. *Hidrobiológica*, 28(1): 61-69.
- Ávila de Navia, S. L. y S. M. Estupiñan. 2009. Calidad sanitaria del agua de la Ciénaga Mata de Palma en el Departamento del Cesar, Colombia. *NOVA*. 7(11):85-91.
- Badgley, B. D., F. I. M. Thomas, V. J. Harwood. 2011. Quantifying environmental reservoirs of fecal indicator bacteria associated with sediment and submerged aquatic vegetation. *Environmental Microbiology*, 13(4): 932-942.
- Baños-Cruz, L. G. 2012. Distribución y concentración de coliforms totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y enterococos en el agua y sedimento en el Estero Salado. Tesis de Maestría, Universidad de Guayaquil. 60 pp.
- Barrera-Escorcia, G. y I. Wong-Chang. 2005. Contaminación por microorganismos en zonas costeras. *En: Botello, A. V., J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot, C. Agraz-Hernández (eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. 2ª ed. Univ. Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 475-486.



- Bou Saab, H. N. Nassif, A. G. El Samrani, D. Rosette, S. Medawar, N. Ouai'ni. 2007. Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (Rivière Nahr Ibrahim, Liban). *Revue des Sciences de l'Eau*, 208(49): 341- 352.
- Carrillo, E. M. y A. M. Lozano. 2008. Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando Agar Chromocult. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.
- Camacho-Cruz, K. A., M. G. Ortiz-Hernández, A. Sánchez, L. Carrillo, A. J. Navarrete. 2020. Water quality in the eastern karst region of the Yucatan Peninsula: nutrients and stable nitrogen isotopes in turtle grass, *Thalassia testudinum*. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(14), 15967–15983. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04757-3>
- Del Pilar M, S. Ávila, S. Mónica, A. C. Gómez. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA - Publicación Científica*. 3(4):1794-2470.
- Doreen, N., J. Okot-Okumu, F. J. Muyodi. 2015. Microbial safety assessment of recreation water at Lake Nabugabo, Uganda. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 9(10): 773-782. DOI:10.5897/AJEST2015.1979.
- Edberg, S. C., M. J. Allen, D. B. Smith, the National Collaborative Study. 1988. National field evaluation of a defined substrate method for the simultaneous enumeration of total coliforms and *Escherichia coli* from drinking waters: comparison with the standard multiple tube fermentation method. *Applied Environmental Microbiology*, 54: 1595-1601.
- Ehrhardt, J., A. S. Alabi, P. G. Kreamsner, W. Rabsch, K. Becker, F. T. Foguim, T. Kuczus, M. Esen, F. Schaumburg. 2016. Bacterial contamination of water samples in Gabon, 2013. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, 50(5): 718-722. DOI:10.1016/j.jmii.2016.03.009.
- Hamaidi, M. S., F. Hamaidi, A. Zoubiri, F. Benouaklil, Y. Dhan. 2009. Etude de la dynamique des populations phytoplanctoniques et résultats préliminaires sur les blooms toxiques à cyanobacteries dans le barrage de Ghrib (Ain Defla-Algérie). *European Journal of Scientific Research*, 32(3): 369-380.



- Hebert, S. y S. Legare. 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement. Ministère de l'Environnement, Québec, envirodoq, no.ENV-2001-0141, rapport no. QE-123. pp.24.
- Huttly, S. R. 1990. The impact of inadequate sanitary conditions on health in developing countries, World Health Statistics, 48. pp. 118-126.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2010. Programa de monitoreo de las condiciones ambientales en la Laguna de Valle de las Garzas y Laguna San Pedrito, Manzanillo, Colima, año uno. Coordinación de tratamiento y calidad del agua. Pp. 110.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2011. Programa de monitoreo de las condiciones ambientales en la Laguna de Valle de las Garzas y Laguna San Pedrito, Manzanillo, Colima, año dos. Coordinación de tratamiento y calidad del agua. Pp. 133.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2012. Programa de monitoreo de las condiciones ambientales en la Laguna de Valle de las Garzas y Laguna San Pedrito, Manzanillo, Colima, año tres. Coordinación de tratamiento y calidad del agua. Pp. 114.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2013. Programa de monitoreo de las condiciones ambientales en la Laguna de Valle de las Garzas y Laguna San Pedrito, Manzanillo, Colima, año cuatro. Coordinación de tratamiento y calidad del agua. Pp. 154.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2014. Programa de monitoreo de las condiciones ambientales en la Laguna de Valle de las Garzas y Laguna San Pedrito, Manzanillo, Colima, año cinco. Coordinación de tratamiento y calidad del agua. Pp. 81.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2015. Programa de monitoreo de las condiciones ambientales en la Laguna de Valle de las Garzas y Laguna San Pedrito, Manzanillo, Colima, año seis. Muestreo y análisis de calidad de agua y sedimento para la gestión de autorizaciones de vertimiento. Coordinación de tratamiento y calidad del agua. Pp. 109.



- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2016. Programa de monitoreo de las condiciones ambientales en la Laguna de Valle de las Garzas, Laguna San Pedrito y Laguna de Cuyutlán, Manzanillo, Colima, año siete. Coordinación de tratamiento y calidad del agua. Pp. 98.
- Jiménez, B. 2007a. Helminth ova removal from wastewater for agriculture and aquaculture reuse. *Water Sci. Technol.*, 55: 485-493.
- Jiménez, B. 2007b. Helminth ova control in sludge: A review. *Water Sci. Technol.*, 56: 147-155.
- Jiménez, B., A. Barrios, C. Maya. 2007. Helminth ova control in wastewater and sludge for advanced and conventional sanitation. *Water Sci. Technol.*, 56: 43-51.
- Konan, K. S., A. M. Kouassi, A. A. Adingra, D. Gnakri. 2009. Spatial and temporal variation of fecal contamination indicators in Grand-Lahou lagoon, Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 23: 1422-1435.
- Larrea-Murrell, J. A., M. M. Rojas-Badía, B. Romeu-Álvarez, B., N. M. Rojas-Hernández, M. Heydrich-Pérez. 2012. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de las aguas: revisión de la literatura. *CENIC. Ciencias Biológicas*, 44(3): 24-34.
- Leclerc, H., D. A. A. Mossel, S. C. Edberg, C. B. Struijk. 2001. Advances in the bacteriology of the coliform group: Their suitability as markers of microbial water safety. *Annual Review Microbiology*, 55: 201-234.
- Lipp, E. K., S. A. Farrah, J. B. Rose. 2001. Assessment and impact of microbial fecal pollution and human enteric pathogen in a coastal community. *Maritime Pollut Bull*, 42(4): 286 – 293.
- Maya, C., F. Torner, E. Lucario, E. Hernández, B. Jiménez. 2012. Viability of six species of larval and non-larval helminth eggs for different conditions of temperature, pH and dryness. *Water Res.*, 46: 4770-4782.
- Nelson, K. y J. Darby. 2001. Inactivation of viable *Ascaris* eggs by reagents during enumeration. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67: 5453-5459.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. 1997. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales



en aguas y bienes nacionales. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. 1998. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre de 1998.

Prats, J., T. García-Armisen, J. Larrea, P. Servais. 2008. Comparison of culture-based methods to enumerate *Escherichia coli* in tropical and temperate freshwaters. Letters in Applied Microbiology, 46(2):243-248.

Proyecto Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.

Pulido, M. A., S. Ávila de Nava, S. Estupiñán-Torres, A. Gómez-Prieto. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Nova Publicación Científica, 3(4): 69-79.

Rivera, R., P. De Los Ríos, Á. Contreras. 2010. Relations fecal coliforms/ fecal streptococci as indicators of the origin of fecal pollution in urban and rural water bodies of Temuco, Chile. Cien Inv Agr. 37(2):141-149.

Robert, M. 2014. Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en Cuba. Revista CENIC Ciencias Biológicas, 45(1): 32-43.

Savichtcheva, O. y S. Okabe. 2006. Alternative indicators of fecal pollution relations with pathogen and conventional indicators, current methodologies for direct pathogen monitoring and future applications perspectives. Water Research, 40: 2463-2476.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2016. Ley Federal de Derechos, Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales. Comisión Nacional del Agua. pp. 173.

Sweeney, A. y S. A. Sañudo-Wilhelmy. 2004. Dissolved metal contamination in the East River-long Island Sound System: potential biological effects. Marine Pollut Bull., 48(7-8): 663-670.



MARINA
SECRETARÍA DE MARINA

PUERTOS
Y MARINA
MERCANTE
COORDINACIÓN GENERAL



UNIVERSIDAD
DE COLIMA

- Universidad de Colima. 2020. Medición y análisis de factores bióticos y abióticos para cumplir con el “Programa de ejecución de compromisos de la Administración Portuaria Integral Manzanillo S.A. de C.V. (API Manzanillo) de las medidas correctivas ordenadas por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) en la resolución administrativa no. PFPA13.5/2c.27.5/0028/17/0110” para lograr la restauración ambiental de las lagunas: Valle de las Garzas y Cuyutlán, Colima.
<https://www.puertomanzanillo.com.mx/esps/2111683/ano-2020-estudios-realizados-por-la-universidad-de-colima-en.html>
- United States Environment Protection Agency. 2003. Bacterial water quality standards for recreational waters (freshwater and marine waters), status report. Office of Water (4305T). EPA-823-R-03-008. pp. 32.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2008. EPA’s Report on the Environment. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC. 366 pp.
- World Health Organization. 2003. Guidelines for safe recreational water environments, volume 1: Coastal and fresh waters. WHO Library Cataloguing in Publication Data. pp. 253.