



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.- DICIEMBRE 2021 (AGOSTO-DICIEMBRE 2021)

Responsable técnico del programa: Dr. Ramón Sosa Ávalos

Coordinador técnico del proyecto: Dr. Manuel Patiño Barragán



**UNIVERSIDAD
DE COLIMA**

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	10
I.1. Antecedentes.....	12
II. OBJETIVOS.....	13
II.1. Objetivos específicos.....	13
III. INDICADORES AMBIENTALES Y METAS DEL PROGRAMA.....	14
IV. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA.....	14
IV.1. Área de estudio.....	14
IV.2. Trabajo de campo.....	15
IV.3. Trabajo de laboratorio.....	17
IV.3.1. Coliformes.....	17
IV.3.2. Huevos de Helmintos.....	24
V. RESULTADOS.....	29
V.1. Coliformes.....	29
V.2. Helmintos.....	40
VI. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	45
VI.1. Coliformes.....	45
VI.2. Helmintos.....	46
VII. CONCLUSIONES.....	47
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	48



MARINA
SECRETARÍA DE MARINA

**PUERTOS
Y MARINA
MERCANTE**
COORDINACIÓN GENERAL



UNIVERSIDAD
DE COLIMA

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 16

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, PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017.30



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 15

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 16

Figura 3. Colecta de muestras de agua en frascos estériles para determinar bacterias coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*..... 18

Figura 4. Frascos estériles con agua destilada para dilución con muestras. 19

Figura 5. Muestras de agua del área de estudio y frascos estériles con agua destilada en los que se diluye el volumen de muestra. Recolecta de agua de muestra (a), dilución de muestra en agua destilada estéril (b). 20

Figura 6. Dilución del reactivo Colilert-18 en la muestra de agua en frascos con agua esterilizada 21

Figura 7. Muestras de agua vertidas en las charolas Quanti-Tray de 97 celdas. 21

Figura 8. Charolas Quanti-Tray rotuladas por estación, fecha y tipo de coliformes. 22

Figura 9. 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). 22

Figura 10. Charolas Quanti-Tray selladas que contienen muestras, las cuales son inmediatamente colocadas en estufas de cultivo 23

Figura 11. Charolas con muestras de agua incubadas en la estufa para determinar coliformes totales a 35 °C (a, c) y coliformes fecales a 44 °C (b, d). 24

Figura 12. Recolección de agua para determinar huevos de helminto (izquierda), la muestra es fijada con formol para preservar el agua hasta el laboratorio (derecha).	25
Figura 13. Garrafones de plástico de 5 L de capacidad en los que se colecta la muestra de agua en las estaciones.	26
Figura 14. Cubetas de plástico en las que se vierte el agua de la muestra, que se dejan sedimentar por más de 3 horas.	26
Figura 15. Filtrado de la muestra de agua para retener el material sedimentado con el tamiz 28	28
Figura 16. Centrifuga y botellas de policarbonato de 250 ml conteniendo muestras.	28
Figura 17. Vasos de precipitados conteniendo muestra con agua destilada y botellas de plástico con muestra para centrifugar.	29
Figura 18. Charolas Quanti-Tray que muestran el crecimiento de bacterias coliformes totales (superior) y coliformes fecales (inferior) en el PI.....	31
Figura 19. Charolas Quanti-Tray que muestran el crecimiento de bacterias coliformes fecales en la LVG (a) y en la LC (b).	32
Figura 20. Variación espacial de la abundancia de los coliformes totales (CT) en la LVG.....	33
Figura 21. Variación espacial de la abundancia de los coliformes totales (CT) en LSP	33
Figura 22. Valor de los coliformes totales (CT) en la LT.....	34
Figura 23. Variación espacial de la abundancia de los coliformes totales (CT) en la LC.....	34

Figura 24. Variación espacial de los coliformes fecales en la LVG. La línea horizontal roja marca el límite máximo permisible (1000 NMP/100 ml) de CF, para descargas de aguas residuales vertidas a aguas, para la protección a la vida acuática en agua dulce, incluyendo humedales (NOM-001-SEMARNAT, 1996). . 35

Figura 25. Variación espacial de los coliformes fecales en LSP. La línea horizontal azul marca el límite máximo permisible, para la protección a la vida acuática en aguas costeras y estuarios (LFD-SEMARNAT, 2016), la línea roja es el límite máximo para la navegación y protección de la vida acuática en aguas dulces y humedales (NOM-001-SEMARNAT, 1996). 35

Figura 26. Coliformes fecales en la LT. La línea horizontal roja marca el límite máximo permisible (1000 NMP/100 ml) de CF, para descargas de aguas residuales vertidas a aguas, para la protección a la vida acuática en agua dulce, incluyendo humedales (NOM-001-SEMARNAT, 1996). 36

Figura 27. Distribución espacial de los coliformes fecales en la LC. 36

Figura 28. Las charolas muestran evidencias del crecimiento de *Escherichia coli* al presentar fluorescencia ante la lámpara de luz ultravioleta. (a) Crecimiento de EC en muestra de la LVG, (b) crecimiento de EC solo en tres celdas de la E-11 en la LC..... 37

Figura 29. Variación espacial de *Escherichia coli* en la LVG. La línea negra continua representa el límite permisible de 1400 NMP/100 ml para arroyos, canales, embalses, lagunas y estuarios que establece PROY-NOM-001-SEMARNAT (2017). 38

Figura 30. Variación espacial de *Escherichia coli* en el LSP. La línea negra continua representa el límite permisible de 1400 NMP/100 ml para arroyos, canales, embalses, lagunas y estuarios que establece PROY-NOM-001-SEMARNAT (2017). 39

Figura 31. Valor de <i>Escherichia coli</i> en la LT. La línea negra continua representa el límite permisible de 1400 NMP/100 ml para arroyos, canales, embalses, lagunas y estuarios que establece el PROY-NOM-001-SEMARNAT (2017).....	39
Figura 32. Variación espacial de <i>Escherichia coli</i> en la LC.	40
Figura 33. Abundancia de huevos de helmintos en las estaciones localizadas en la LVG. La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que el límite máximo permisible de huevos de helminto debe ser ≤ 5 H _L /L, para aguas residuales vertidas en aguas con distintos usos. La línea horizontal verde marca el límite de la norma	40
Figura 34. Abundancia de huevos de helmintos en las estaciones localizadas en LSP. La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que el límite máximo permisible de huevos de helminto debe ser ≤ 5 H _L /L, para aguas residuales vertidas en aguas con distintos usos. La línea horizontal verde marca el límite de la norma	41
Figura 35. Abundancia de huevos de helmintos en la LT. La NOM-001-SEMARNAT-1996 (1996) establece que el límite máximo permisible de huevos de helminto debe ser ≤ 5 H _L /L, para aguas residuales vertidas en aguas con distintos usos. La línea horizontal verde marca el límite de la norma.....	42
Figura 36. Abundancia de huevos de helmintos en las estaciones localizadas en la LC. La NOM-001-SEMARNAT-1996 (1996) establece que el límite máximo permisible de huevos de helminto debe ser ≤ 5 H _L /L, para aguas residuales vertidas en aguas con distintos usos. La línea horizontal verde marca el límite de la norma	42
Figura 37. Abundancia de huevos por género de helmintos en las distintas estaciones del área de estudio.....	43
Figura 38. Huevos de géneros de helmintos identificados en las muestras del área de estudio. (a) <i>Ancylostoma ssp.</i> , (b) <i>Diphyllobothrium spp.</i> , (c) <i>Paragonimus ssp.</i> , (d) Larva (e) <i>Schistosoma ssp.</i> , (f) <i>Strongyloides stercoralis</i>	44



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 algunas de 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).

El resultado de la recepción de agua residual en zonas costeras origina cambios fisicoquímicos, incremento en las concentraciones de bacterias patógenas (coliformes y *Escherichia coli*), debido al enriquecimiento por materia orgánica (Barrera-Escorcia y Namihira-Santillán, 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).

Algunos organismos patógenos encontrados en aguas residuales son *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, fecales y *Escherichia coli* (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.

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). La capacidad de los coliformes fecales de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, entre otras variables. Swiatecki (1997) reportó que los cambios estacionales en temperatura son correlacionados con la dinámica del desarrollo de bacterias en ecosistemas acuáticos. La concentración de oxígeno y el pH tienen un efecto negativo combinado sobre el crecimiento de las bacterias, debido a que estos microorganismos crecen bajo condiciones de hipoxia (bajo oxígeno) y bajo pH.

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*, *Schistosoma*, *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.

El presente informe pretende mostrar el comportamiento temporal de los parámetros microbiológicos en las lagunas LVG, LSP, LT y LC, además de compararlos con resultados del estudio realizado en 2019.

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).

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



MARINA
SECRETARÍA DE MARINA

**PUERTOS
Y MARINA
MERCANTE**
COORDINACIÓN GENERAL



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. En el presente año (2021) API Manzanillo realizó 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. En general, los resultados muestran que las condiciones microbiológicas de la LVG no han cambiado significativamente con el tiempo, indicando que mantiene mala calidad del agua, mientras que en LSP los resultados bacteriológicos presentan variaciones con el tiempo que determinan la calidad del agua.

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.1. 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 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 (Figura 2, Tabla 1).

IV.2. Trabajo de campo

Se colectaron muestras de agua superficial en la Laguna del Valle de las Garzas (LVG), excepto la E-2 (se están realizando trabajos de dragado y la profundidad del sitio es muy somero para colectar el agua), en Laguna San Pedrito,

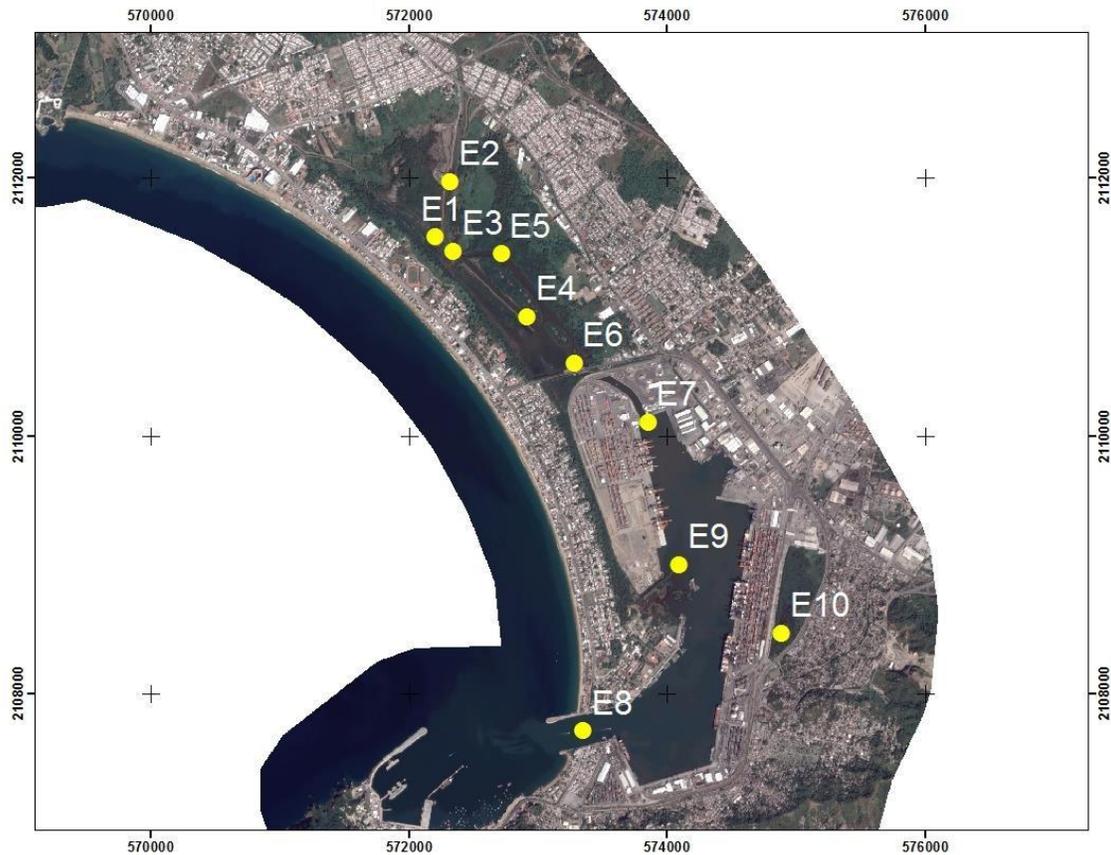


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas, Puerto Interior y Laguna de Tapeixtles. Además, se incluye el Anexo MAPAS DWG, AVES, FQ y MANGLE donde se presentan planos en formato DWG.

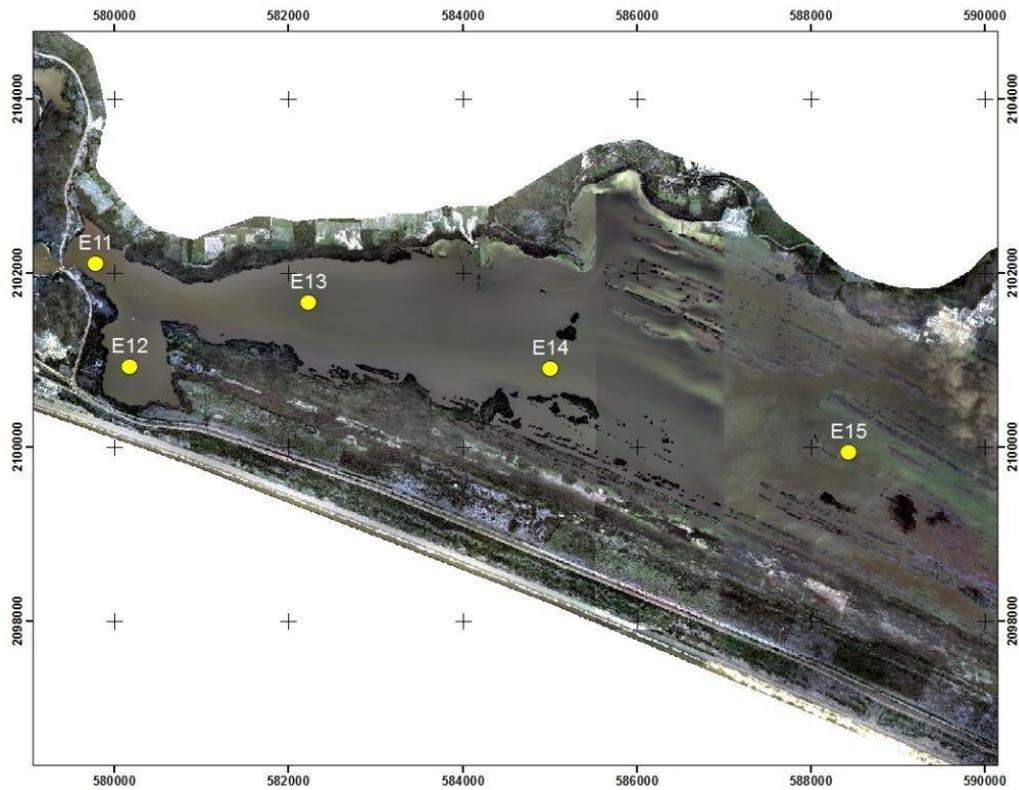


Figura 2. Localización de las estaciones de muestreo en la Laguna de Cuyutlán. Además, se incluye el Anexo MAPAS DWG, AVES, FQ y MANGLE donde se presentan planos en formato DWG.

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		
	Estación	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 Estación	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

Laguna Tapeixtles y en la Laguna de Cuyutlán. El agua 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 (Figura 3). Para determinar la presencia de huevos de helminto se recolectaron 5 L de agua en garrafones de plástico, previamente lavados y desinfectados con cloro al 6% de cada sitio de muestreo.

IV.3. Trabajo de laboratorio

IV.3.1. Coliformes

Se utilizó el método de autoanálisis Colilert (Edberg *et al.*, 1988; Covert *et al.*, 1989), el cual fue aprobado por Environmental Protection Agency (EPA, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos. El método permite detectar tanto los coliformes totales, coliformes fecales como *Escherichia coli* en un plazo de 24 horas. 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 4, 5).

Se utilizaron 10 ml de agua de las muestras de Laguna San Pedrito (LSP) y Laguna de Cuyutlán (LC), que fueron diluidos en 90 ml de agua destilada estéril. A cada frasco con la muestra diluida en agua destilada se le agregó el reactivo



Colilert-18 (Figura 6), el cual fue mezclado por agitación mecánica. Posteriormente el contenido de los frascos con muestra de agua y reactivo fue vertido en charolas Quanti-Tray de 97 celdas, que son previamente rotuladas (Figuras 7 y 8). Para poder sellar las charolas se utilizó una selladora por calor Quanti-Tray (IDEXX), las charolas son introducidas a la selladora con la muestra en su interior (Figura 9). Las charolas selladas conteniendo las muestras (Figura 10) fueron colocadas en estufas de cultivo a 35°C para determinar coliformes totales y *Escherichia coli*, a 44°C para coliformes fecales por un periodo de incubación de 24 horas (Figura 11).

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



Figura 4. Frascos estériles con agua destilada para dilución con muestras.



(a)



(b)



Figura 5. Muestras de agua del área de estudio y frascos estériles con agua destilada en los que se diluye el volumen de muestra. Recolecta de agua de muestra (a), dilución de muestra en agua destilada estéril (b).



Figura 6. Dilución del reactivo Colilert-18 en la muestra de agua en frascos con agua esterilizada.

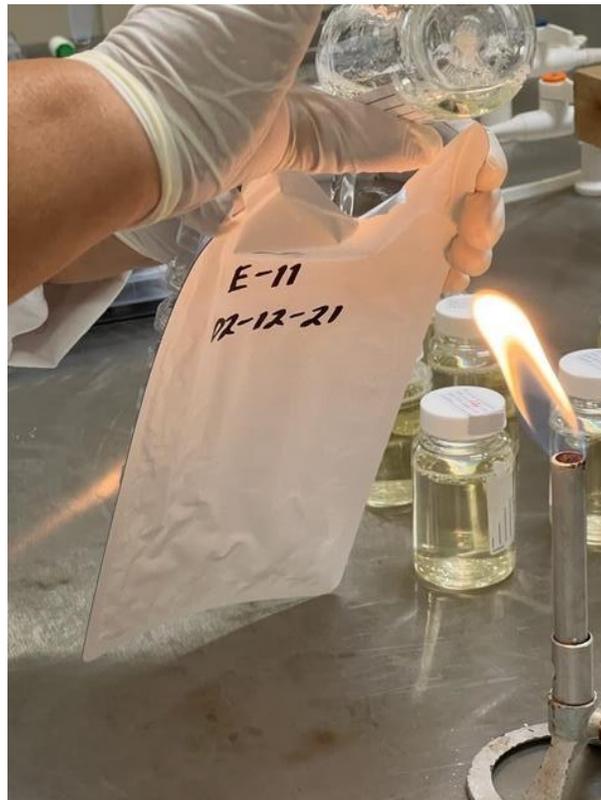


Figura 7. Muestras de agua vertidas en las charolas Quanti-Tray de 97 celdas.



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

(a)



(b)



Figura 9. 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).



Figura 10. Charolas Quanti-Tray selladas que contienen muestras, las cuales son inmediatamente colocadas en estufas de cultivo.

(a)

(b)



(c)



(d)



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

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 siguiente diagrama de flujo y gráficamente se muestran evidencias del procesamiento de las muestras por medio de fotografías (Figuras 12 a 17).



Figura 12. Recolección de agua para determinar huevos de helminto (izquierda), la muestra es fijada con formol para preservar el agua hasta el laboratorio (derecha).



Figura 13. Garrafones de plástico de 5 L de capacidad en los que se colecta la muestra de agua en las estaciones.

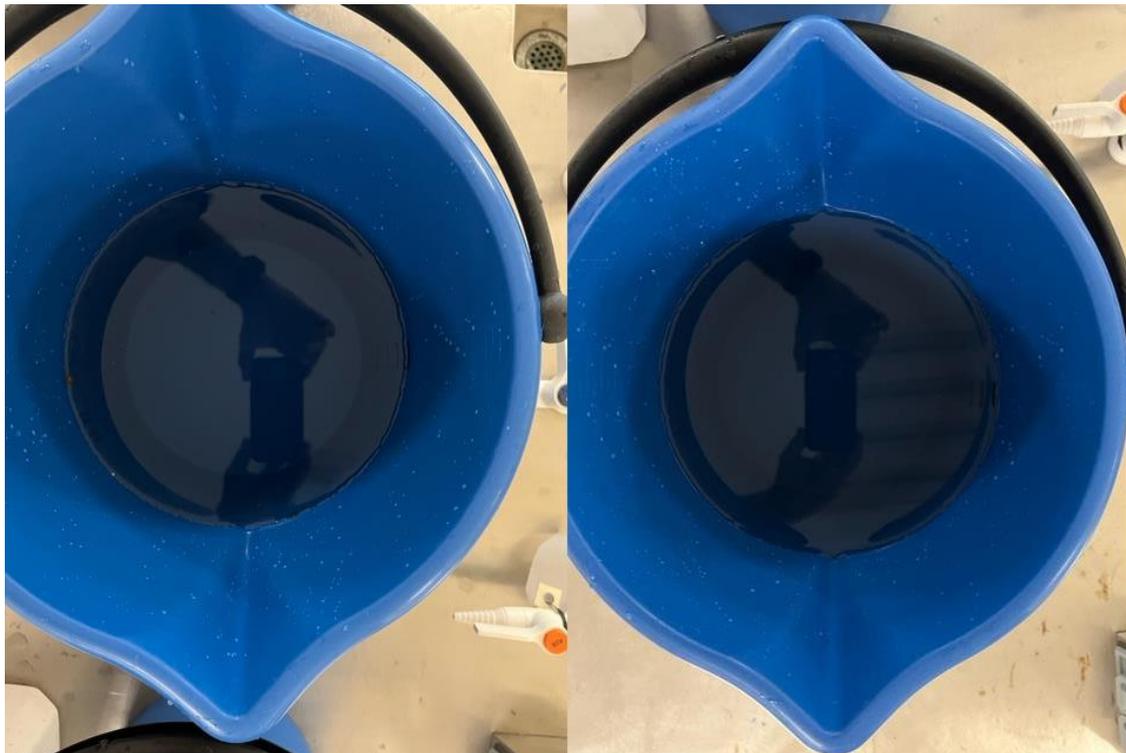


Figura 14. Cubetas de plástico en las que se vierte el agua de la muestra, que se dejan sedimentar por más de 3 horas.

Diagrama del procedimiento de las muestras.

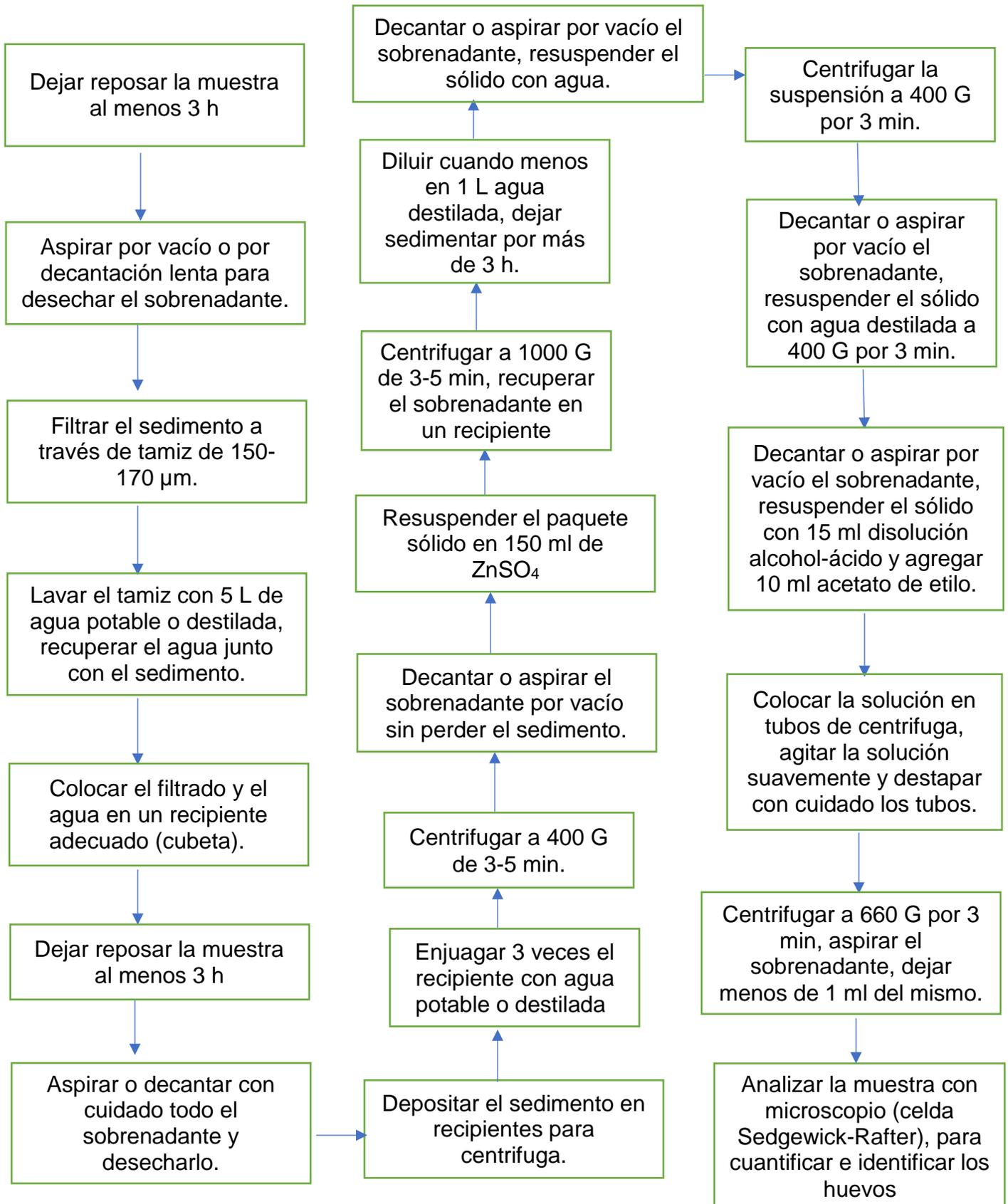




Figura 15. Filtrado de la muestra de agua para retener el material sedimentado con el tamiz.



Figura 16. Centrifuga y botellas de policarbonato de 250 ml conteniendo muestras.



Figura 17. Vasos de precipitados conteniendo muestra con agua destilada y botellas de plástico con muestra para centrifugar.

V. RESULTADOS

En el presente informe se muestran los resultados microbiológicos del mes de diciembre, los cuales son utilizados como indicadores de la calidad del agua de acuerdo con las respectivas normas mexicanas (Tabla 2).

V.1. Coliformes

El crecimiento de las bacterias coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) después del periodo de incubación, se determina por el cambio de coloración en las celdas de las charolas Quanti-Tray; que cambian de incoloro a amarillo (Figura 18 y 19). En las figuras se puede observar el crecimiento de los coliformes totales en celdas grandes y pequeñas de las distintas charolas, así como el crecimiento de CF en las estaciones de la LVG y PI, mientras que en las muestras de la LC los

CF prácticamente no están presentes porque las charolas no demuestran crecimiento de estos organismos (Figura 19b).

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, PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017.

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	2000 NMP/100 ml	1000 NMP/100 ml	240 NMP/100 ml
<i>Escherichia coli</i>	1400 NMP/100 ml	1400 NMP/100 ml	1400 NMP/100 ml	1400 NMP/100 ml
Huevos de Helmintos	5 H _L /L	5 H _L /L	5 H _L /L	5 H _L /L

La abundancia de CT en la LVG no presenta variación espacial cuyos valores fueron > 241,960 NMP/100 ml (Figura 20). Estos resultados son similares a los reportados en los meses de septiembre a noviembre del presente año y continúan siendo altos en el cuerpo de agua.

En la Laguna San Pedrito la abundancia de CT varió de 556 NMP/100 ml en E-8 a > 24,196 NMP/100 ml en la E-7, con una media de 9,469 NMP/100 ± 12,848 NMP/100 ml (desviación estándar) (Figura 21).

Por su parte, la Laguna de Tapeixtles (LT) tuvo una abundancia de CT de 41,060 NMP/100 ml (Figura 22), que es menor a otros meses.

Mientras que en la Laguna de Cuyutlán (LC) la abundancia varió de 336 NMP/100 ml en la E-13 a 2,909 NMP/100 ml en E-14, cuya media y desviación estándar son 1,596 ± 1,113 NMP/100 ml (Figura 23).



Figura 18. Charolas Quanti-Tray que muestran el crecimiento de bacterias coliformes totales (superior) y coliformes fecales (inferior) en el PI.



(a)



(b)



Figura 19. Charolas Quanti-Tray que muestran el crecimiento de bacterias coliformes fecales en la LVG (a) y en la LC (b).

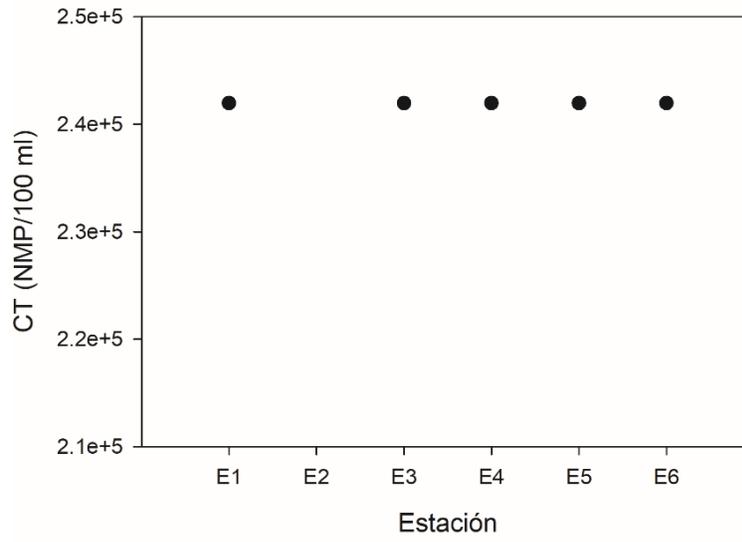


Figura 20. Variación espacial de la abundancia de los coliformes totales (CT) en la LVG.

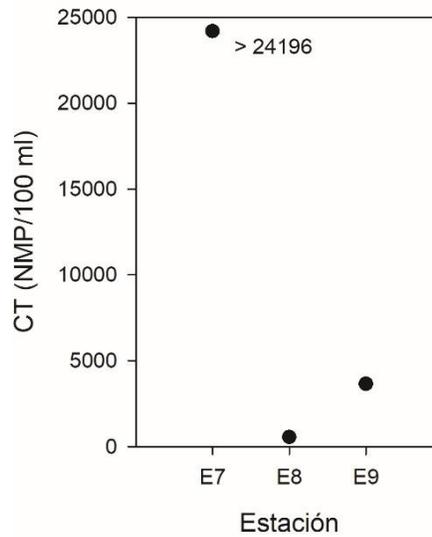


Figura 21. Variación espacial de la abundancia de los coliformes totales (CT) en LSP.

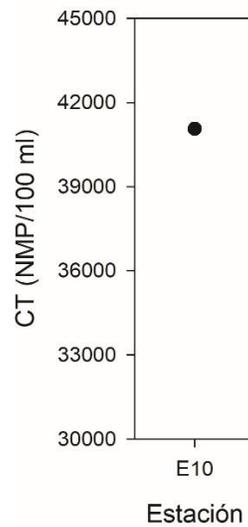


Figura 22. Valor de los coliformes totales (CT) en la LT.

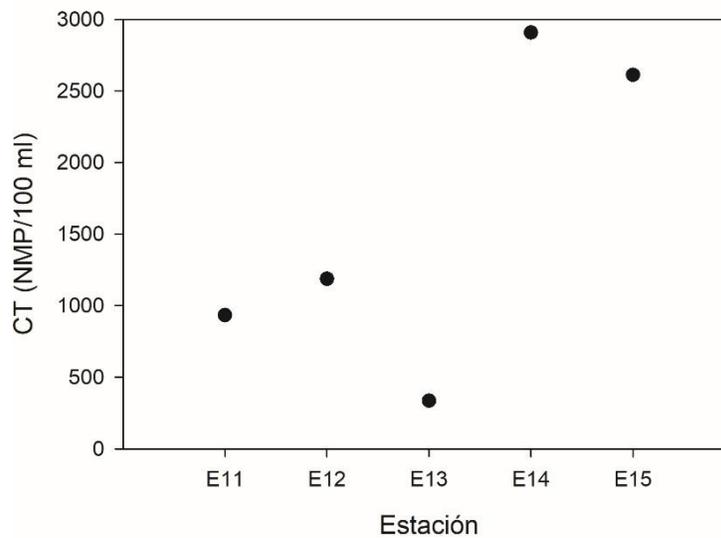


Figura 23. Variación espacial de la abundancia de los coliformes totales (CT) en la LC.

La abundancia de CF en la LVG continúa alta con la misma tendencia que los CT, con valores > 241,960 NMP/100 ml en la mayoría de las estaciones monitoreadas, excepto en la E-3, en E-2 no fue posible coleccionar la muestra de agua (Figura 24). La media y desviación estándar de CF fue $228,226 \pm 30,710$ NMP/100 ml.

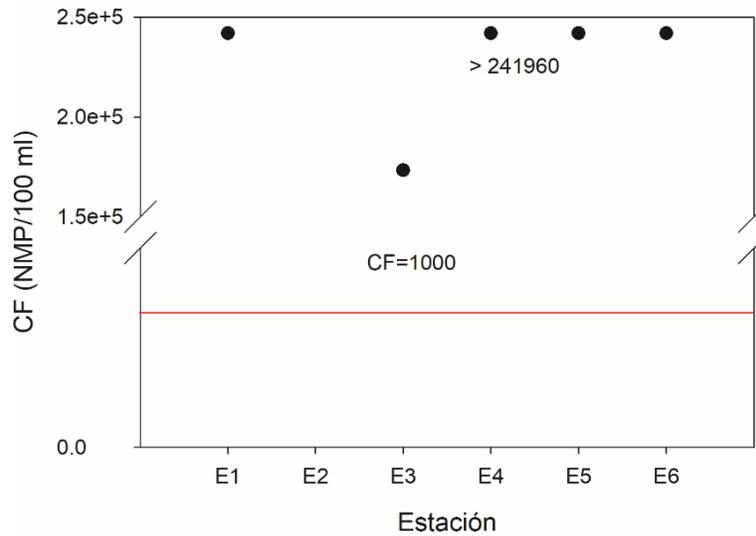


Figura 24. Variación espacial de los coliformes fecales en la LVG. La línea horizontal roja marca el límite máximo permisible (1000 NMP/100 ml) de CF, para descargas de aguas residuales vertidas a aguas, para la protección a la vida acuática en agua dulce, incluyendo humedales (NOM-001-SEMARNAT, 1996).

En LSP la abundancia de CF varió de 211 a >24,196 NMP/100 ml en E-8 y E-7, respectivamente, con una media y desviación estándar de $8,465 \pm 13,629$ NMP/100 ml (Figura 25).

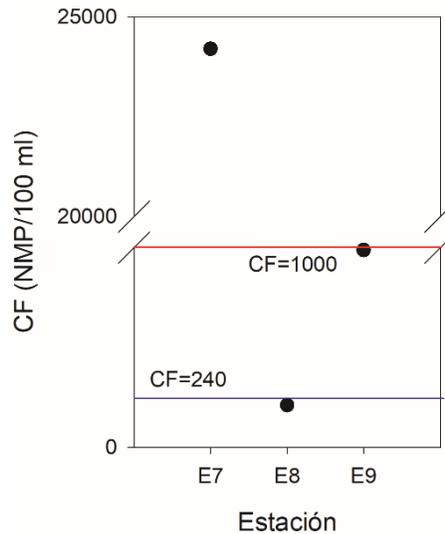


Figura 25. Variación espacial de los coliformes fecales en LSP. La línea horizontal azul marca el límite máximo permisible, para la protección a la vida acuática en aguas costeras y estuarios (LFD-SEMARNAT, 2016), la línea roja es el límite máximo para la navegación y protección de la vida acuática en aguas dulces y humedales (NOM-001-SEMARNAT, 1996).



En la LT la abundancia de CF fue de 2,350 NMP/100 ml (Figura 26), que fue significativamente más bajo que los meses anteriores.

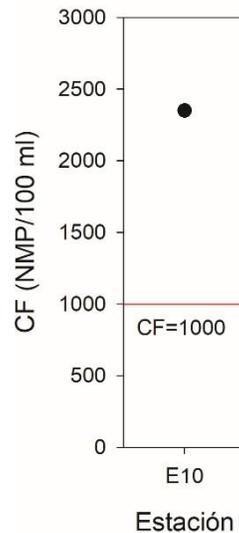


Figura 26. Coliformes fecales en la LT. La línea horizontal roja marca el límite máximo permisible (1000 NMP/100 ml) de CF, para descargas de aguas residuales vertidas a aguas, para la protección a la vida acuática en agua dulce, incluyendo humedales (NOM-001-SEMARNAT, 1996).

En la LC la abundancia estimada de CF tuvo un rango de < 10 a 10 NMP/100 ml, que fue inferior a lo reportado en septiembre y noviembre (Figura 27).

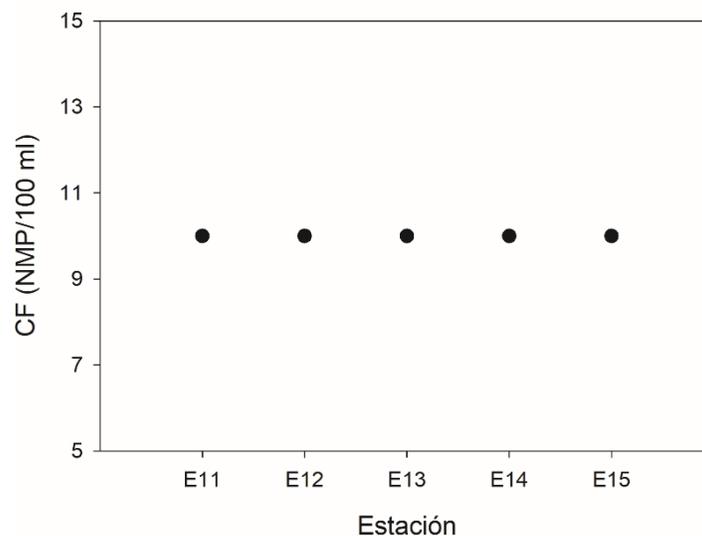
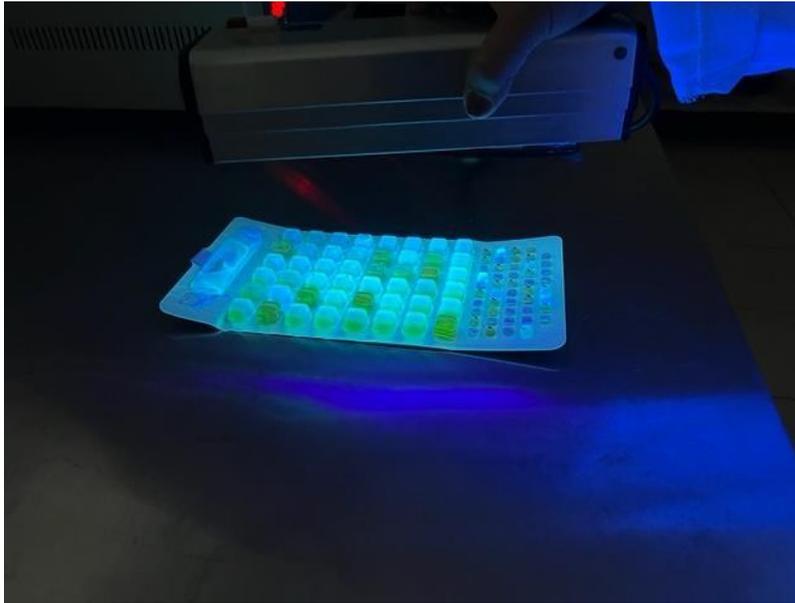


Figura 27. Distribución espacial de los coliformes fecales en la LC.



La presencia de *Escherichia coli* en muestras de agua se determina cuando las celdas emiten fluorescencia al ser irradiadas con una lámpara de luz UV, indicando que son positivas a E. coli (Figura 28).

(a)



(b)

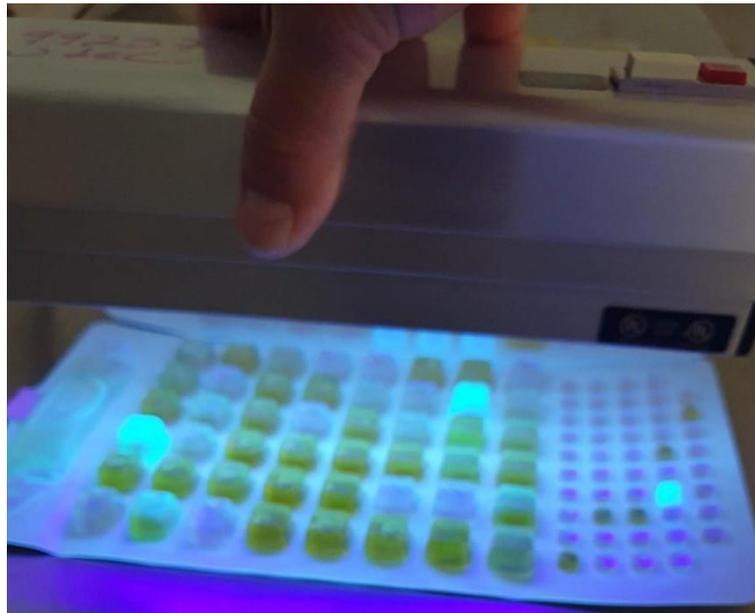


Figura 28. Las charolas muestran evidencias del crecimiento de *Escherichia coli* al presentar fluorescencia ante la lámpara de luz ultravioleta. (a) Crecimiento de EC en muestra de la LVG, (b) crecimiento de EC solo en tres celdas de la E-11 en la LC.

La abundancia de EC en la LVG tuvo el mismo comportamiento que los CF, con valores entre 173,290 y > 241,960 NMP/100 ml, con una media y desviación estándar de $228,226 \pm 30,710$ NMP/100 ml (Figura 29).

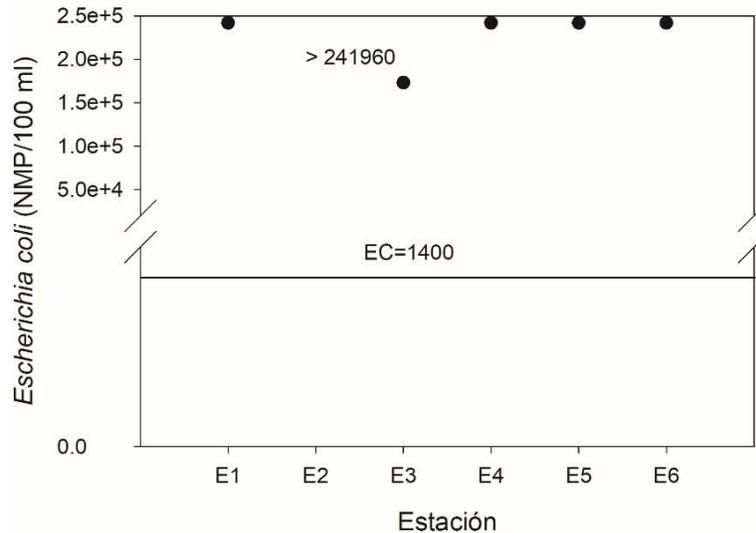


Figura 29. Variación espacial de *Escherichia coli* en la LVG. La línea negra continua representa el límite permisible de 1400 NMP/100 ml para arroyos, canales, embalses, lagunas y estuarios que establece PROY-NOM-001-SEMARNAT (2017).

En LSP la abundancia varió entre 158 y 9,606 NMP/100 ml en las estaciones E-8 y E-7, respectivamente, con una media y desviación estándar de $3,497 \pm 5,298$ NMP/100 ml (Figura 30).

Asimismo, el crecimiento de *E. coli* en la LT fue de 4,020 NMP/100 ml (Figura 31), que es menor al reportado en los meses anteriores.

Mientras que en la LC la abundancia de *E. coli* fue <10 NMP/100 ml en E-13 a 269 NMP/100 ml en E-11, la media y desviación estándar fue 70 ± 112 NMP/100 ml (Figura 32).

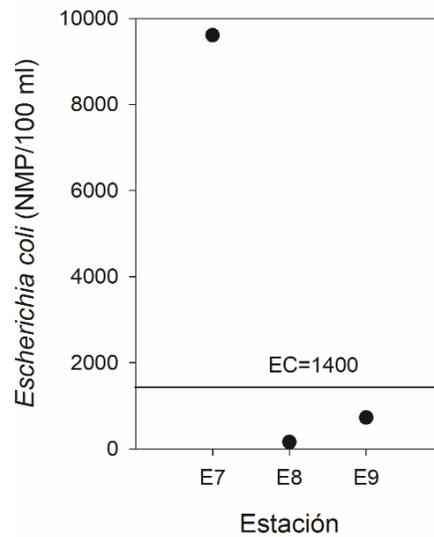


Figura 30. Variación espacial de *Escherichia coli* en el LSP. La línea negra continua representa el límite permisible de 1400 NMP/100 ml para arroyos, canales, embalses, lagunas y estuarios que establece PROY-NOM-001-SEMARNAT (2017).

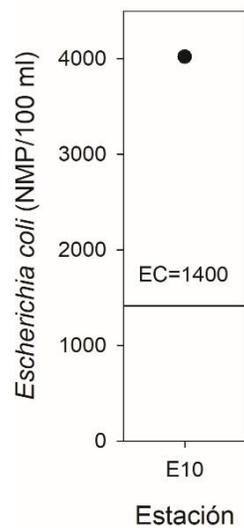


Figura 31. Valor de *Escherichia coli* en la LT. La línea negra continua representa el límite permisible de 1400 NMP/100 ml para arroyos, canales, embalses, lagunas y estuarios que establece el PROY-NOM-001-SEMARNAT (2017).

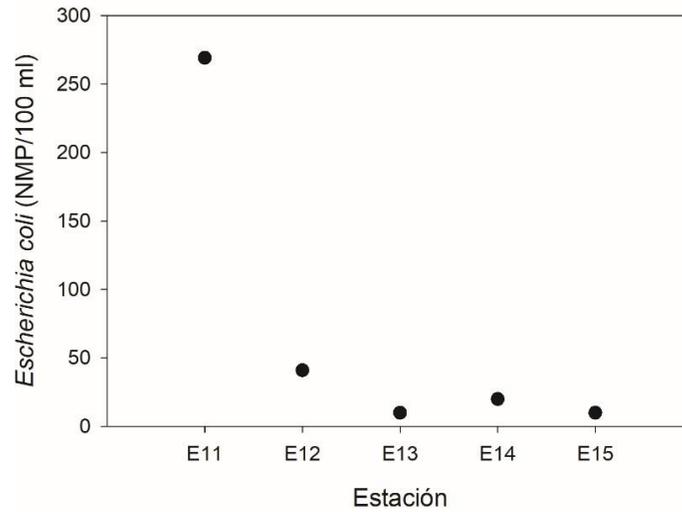


Figura 32. Variación espacial de *Escherichia coli* en la LC.

V.2. Helmintos

En el presente mes se observaron tanto huevos como larvas de helmintos, la abundancia de los huevos y larvas en las estaciones de muestreo de la LVG varió entre 7 a 13 huevos por litro (HL) en la estación E-3 y E-4, respectivamente (Figura 33), los valores más altos se registraron en las estaciones 1, 4 y 5. La media y desviación estándar fue de 10 ± 2.43 HL.

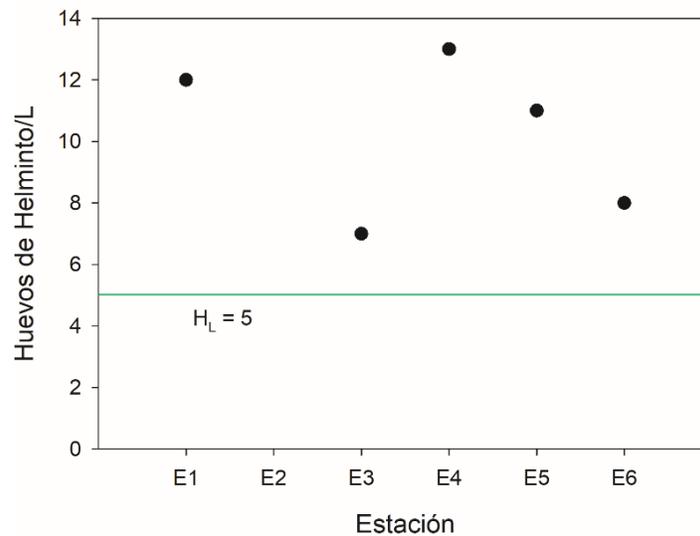


Figura 33. Abundancia de huevos de helmintos en las estaciones localizadas en la LVG. La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que el límite máximo permisible de huevos de helminto debe ser ≤ 5 HL/L, para aguas residuales vertidas en aguas con distintos usos. La línea horizontal verde marca el límite de la norma.

En la LSP los valores variaron entre 11 y 55 H_L en las estaciones E-8 y E-9, respectivamente, con una media y desviación estándar de 26 ± 25 H_L, que es menor a los valores reportados en octubre (Figura 34).

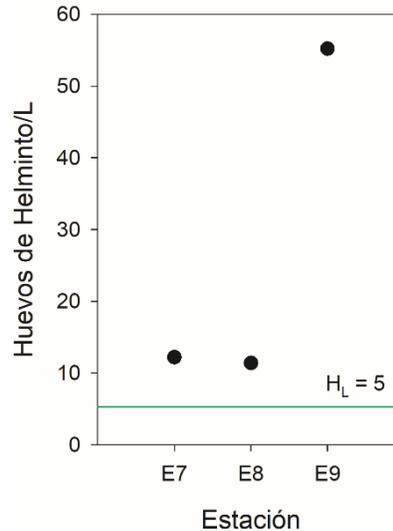


Figura 34. Abundancia de huevos de helmintos en las estaciones localizadas en LSP. La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que el límite máximo permisible de huevos de helminto debe ser ≤ 5 H_L/L, para aguas residuales vertidas en aguas con distintos usos. La línea horizontal verde marca el límite de la norma.

Mientras que en la LT la abundancia de huevos de helminto fue de 6 H_L, menor al valor reportado en otros meses (Figura 35).

En la LC los valores de huevos de helmintos fueron 9 en E-12 a 115 H_L en la E-15, la abundancia más alta se cuantificó en la parte interna del Vaso III, la media y desviación estándar fue 43 ± 44 H_L, que fueron más altos comparados con otros meses (Figura 36).

Los géneros más abundantes que predominaron en la LVG fueron *Ascaris spp.*, *Schistosoma spp.*, *Hymenolepsis spp.* y *Taenia ssp.* (Figura 37). En la LSP los géneros dominantes fueron *Ascaris spp.*, *Anquilostoma spp.*, *Schistosoma spp.*, *Taenia spp.*, *Trichuris spp.* e *Hymenolepsis ssp.* (Figura 37). En la LT los géneros predominantes son: *Ascaris spp.* y *Taenia spp.*, mientras que en la LC los géneros *Hymenolepsis spp.* y *Diphyllobothrium spp.* fueron los más abundantes, y en menor grado *Schistosoma spp.* y *Ascaris spp.* (Figura 37).

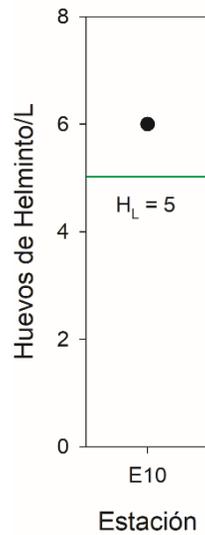


Figura 35. Abundancia de huevos de helmintos en la LT. La NOM-001-SEMARNAT-1996 (1996) establece que el límite máximo permisible de huevos de helminto debe ser $\leq 5 H_L/L$, para aguas residuales vertidas en aguas con distintos usos. La línea horizontal verde marca el límite de la norma.

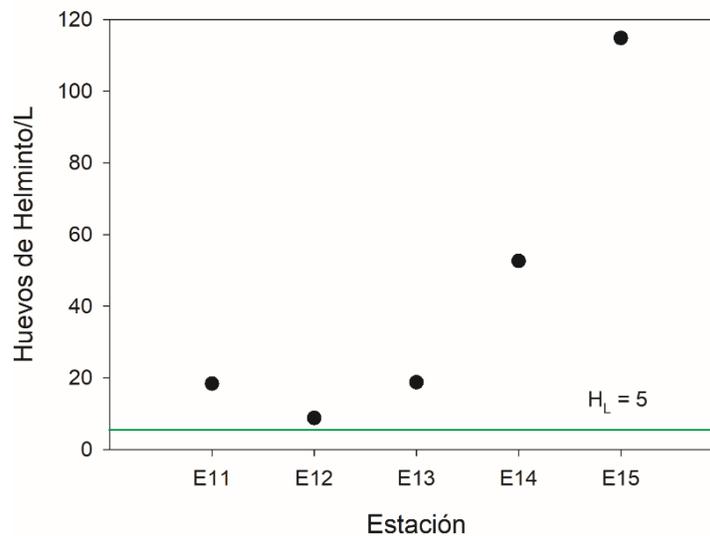


Figura 36. Abundancia de huevos de helmintos en las estaciones localizadas en la LC. La NOM-001-SEMARNAT-1996 (1996) establece que el límite máximo permisible de huevos de helminto debe ser $\leq 5 H_L/L$, para aguas residuales vertidas en aguas con distintos usos. La línea horizontal verde marca el límite de la norma.

Algunos ejemplos de géneros de huevos y larvas de helmintos identificados en las muestras del área de estudio se presentan en la Figura 38.

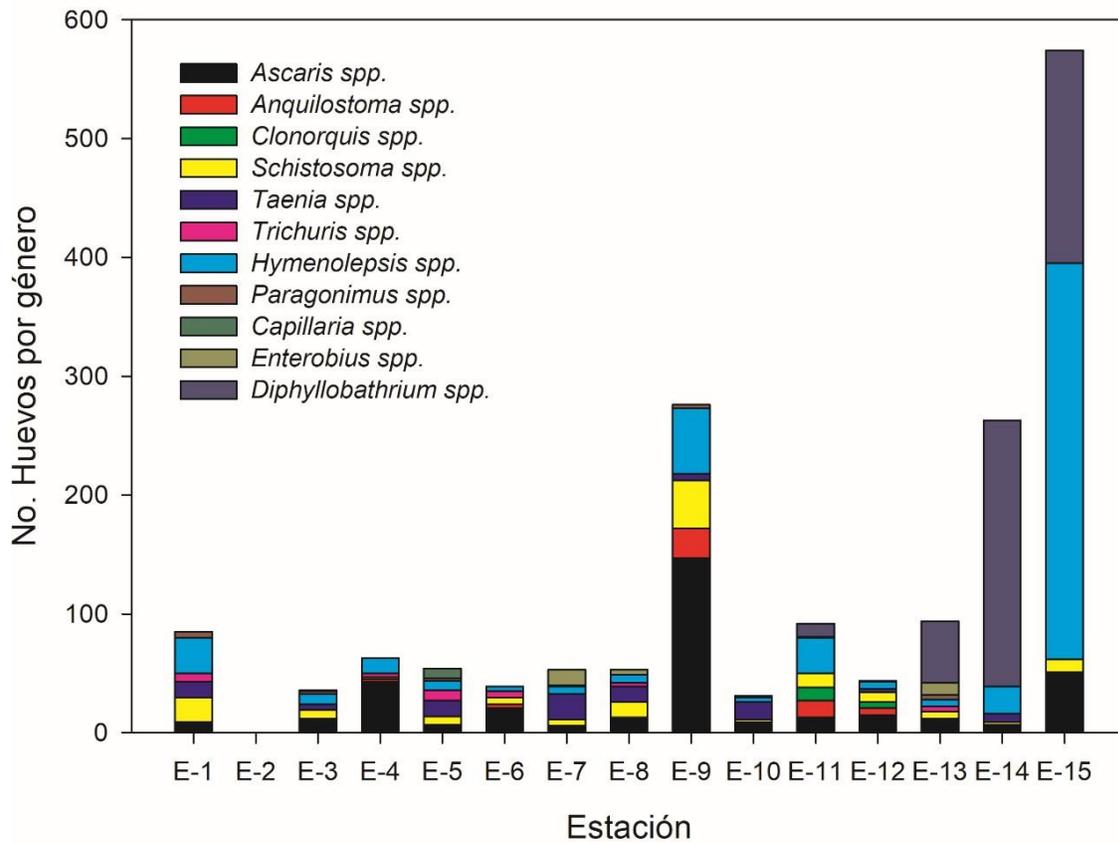
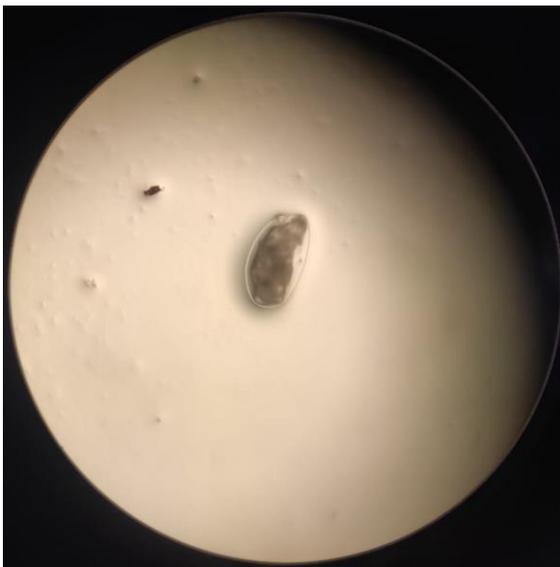
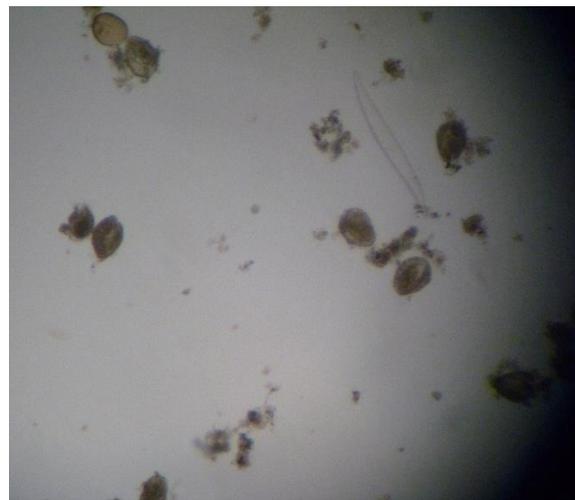


Figura 37. Abundancia de huevos por género de helmintos en las distintas estaciones del área de estudio.

(a)



(b)





(c)



(d)



(e)



(f)



Figura 38. Huevos de géneros de helmintos identificados en las muestras del área de estudio. (a) *Ancylostoma* ssp., (b) *Diphyllobothrium* spp., (c) *Paragonimus* ssp., (d) Larva (e) *Schistosoma* ssp., (f) *Strongyloides stercoralis*.



VI. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

VI.1. Coliformes

Los resultados de los parámetros bacteriológicos (CT, CF y EC) en la LVG rebasaron significativamente los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, LFD-SEMARNAT-2016 y PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017. Estos resultados indican que la calidad del agua en la LVG no es apta para la protección a la vida acuática de aguas dulces y humedales, para la pesca, navegación y contacto primario, debido a que la laguna se encuentra contaminada por este tipo de bacterias.

En LSP la abundancia de CT, CF y EC en E-7 se encuentran por arriba de los límites máximos establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, y los CF y EC en las estaciones E-8 y E-9 están dentro de la norma. Sin embargo, cuando se promedia la abundancia de los parámetros bacteriológicos, estos son mayores a los límites que establece la norma. Es decir, que las aguas de LSP no son aptas para la navegación, pesca, protección a la vida acuática y recreación, porque se encuentran contaminadas por CT, CF y EC.

La LT por las condiciones que presenta se analiza como un ecosistema distinto a la LSP. Los valores de abundancia de los parámetros bacteriológicos rebasan los límites máximos permitidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, y muestran evidencias de que el agua está contaminada por CT, CF y EC.

Con respecto al Vaso III de la LC, los valores de CF y EC son menores a los límites máximos permitidos por la norma, por consiguiente, esta zona de la laguna es apta para la protección a la vida acuática, navegación y pesca. El promedio de CF y EC fueron significativamente más bajos que los límites de la norma.

La presencia de CF y EC en los cuerpos de agua indican la existencia de contaminación fecal reciente de origen humano o animal y constituyen un indicador de degradación de los cuerpos de agua (Pulido *et al.*, 2005), ya que las heces contienen bacterias termotolerantes que soportan temperaturas hasta de 45°C, siendo EC la más representativa, con un 90-100 % (Carrillo y Lozano, 2008; Badgley *et al.*, 2011). Las bacterias entéricas como EC y estreptococos fecales



son consideradas las principales indicadores de contaminación fecal, estrechamente asociadas a problemas de salud como enfermedades gastrointestinales y cutáneos, infecciones en las vías respiratorias y auditivas (USEPA, 2003).

VI.2. Helmintos.

Las estaciones de la LVG registraron abundancias de huevos de helmintos mayores al límite máximo permisible (5 H_L) establecido en la norma, con una media dos veces mayor a dicho límite. Los resultados demuestran que la LVG se encuentra contaminada por helmintos.

En LSP las tres estaciones tuvieron abundancias superiores al límite máximo permisible descrito en la norma, de tal forma que, el promedio de los huevos de helminto fue cinco veces más alto que el límite de la norma, evidenciando contaminación de sus aguas por estos organismos.

El número de huevos en la LT fue ligeramente mayor al límite establecido en la norma, indicando que la laguna se encuentra contaminado por helmintos.

Este mismo patrón fue observado en la LC cuya media es de 43 huevos por litro, que es ocho veces mayor al límite máximo permitido por la norma. Esto es una clara evidencia de que las aguas del Vaso III de la laguna están contaminadas con huevos de helminto. La mayor contaminación por estos organismos se registra en las estaciones E-14 y E-15.



VII. CONCLUSIONES

La abundancia de los parámetros microbiológicos en la LVG durante el mes de diciembre, rebasan los límites máximos permisibles establecidos por la norma (NOM-001-SEMARNAT-1996), indicando que el agua se encuentra contaminada con CT, CF, EC y huevos de helminto.

Además, el agua de la LVG está contaminada con los parámetros microbiológicos reportados en el periodo agosto-diciembre de 2021, que fueron más altos a los determinados para el mismo periodo en 2019. Estos resultados demuestran que la calidad del agua no es apta para la protección a la vida acuática: agua dulce y humedales, explotación pesquera, navegación, recreación y riego agrícola.

Los parámetros microbiológicos en LSP muestran que las aguas se encuentran contaminadas con CT, CF, EC y huevos de helminto en diciembre, debido a que rebasan los límites máximos permisibles en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

La LSP está contaminada por CT, CF y EC en tres de los cinco meses, mientras que los huevos de helminto contaminaron las aguas en todos los meses del estudio. Por consiguiente, el agua de LSP no es apta para los distintos usos descritos en la norma (protección a la vida acuática, navegación y pesca).

El agua de la LT rebasó los límites máximos permitidos por la norma para CF, EC y huevos de helminto, en diciembre y durante el periodo agosto-diciembre de 2021, por consiguiente, este cuerpo de agua se encuentra contaminado y no cumple con la calidad del agua, para la protección a la vida acuática en cuerpos de agua costeros y pesca.

En cuanto a la LC, el agua del Vaso III se encuentra contaminada por huevos de helminto en diciembre, y en el periodo agosto-diciembre. Con respecto a las bacterias patógenas de CF y EC, estas contaminaron el agua en octubre y diciembre y no es apta para recreación, pesca y protección a la vida acuática por presentar mala calidad del agua. Sin embargo, es el ecosistema que mantiene mejor calidad y salud ecológica.



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.
- 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-Escorcía, G. y P. E. Namihira-Santillán. 2004. Contaminación microbiológica en la zona costera de Akumal, Quintana Roo, México. *Hidrobiológica*, 14(1): 27-35.
- Barrera-Escorcía, 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. Ouaini. 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.
- Covert, T. C., L. C. Shadix, E. W. Rice, J. R. Haines, R. W. Freyberg. 1989. Evaluation of the autoanalysis Colilert test for detection and enumeration of total coliforms. *Applied and Environmental Microbiology*, 55: 2443-2447.
- 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. Kremsner, W. Rabsch, K. Becker, F. T. Foguim, T. Kuczius, 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.



MARINA
SECRETARÍA DE MARINA

**PUERTOS
Y MARINA
MERCANTE**
COORDINACIÓN GENERAL



UNIVERSIDAD
DE COLIMA

- 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.
- 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.
- Swiatecki, A. 1997. Spatial and seasonal changes in bacterioplankton of heated Koninskie lakes. *Archives of Polish Fisheries*, 5(1): 167-182.
- 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>



MARINA
SECRETARÍA DE MARINA

PUERTOS
Y MARINA
MERCANTE
COORDINACIÓN GENERAL



UNIVERSIDAD
DE COLIMA

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.