



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. PFFPA13.5/2C.27.5/0028/17/0110” PARA LOGRAR LA RESTAURACIÓN AMBIENTAL DE LAS LAGUNAS: VALLE DE LAS GARZAS Y CUYUTLÁN, COLIMA.

**MEDICIONES DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN LA LAGUNA DEL VALLE DE LAS GARZAS Y DE LA PTAR.
AGOSTO 2019-JULIO 2020.**

Responsable: Dr. Aramis Olivos Ortiz

Elaboró: Dr. Aramis Olivos Ortiz

Revisó: Dr. Manuel Patiño Barragán

Informe anual, agosto 2019-julio 2020

Índice

| | |
|---|----|
| I. Introducción..... | 1 |
| I.1. Antecedentes | 3 |
| I.2. Objetivos del programa..... | 6 |
| I.2.1. Objetivo General..... | 6 |
| I.2.2. Objetivos particulares | 6 |
| II. Indicadores ambientales y metas del programa..... | 7 |
| III. Descripción de trabajos-Metodología empleada..... | 7 |
| III.1 Área de estudio..... | 7 |
| III.2 Actividades en campo..... | 9 |
| III.3. Actividades en laboratorio..... | 10 |
| IV.1 Parámetros Físico-Químicos del Agua Superficial..... | 12 |
| IV.1.1. Nutrientes inorgánicos disueltos:..... | 12 |
| IV.1.2. Temperatura:..... | 13 |
| IV.1.3. Salinidad:..... | 14 |
| IV.1.4. Oxígeno disuelto..... | 15 |
| IV.1.5. Conductividad..... | 16 |
| IV.1.6. Potencial de Hidrógeno | 17 |
| IV.1.7. Cloro libre residual (Cl ₂)..... | 18 |
| IV.1.8. Sólidos Suspendidos Totales (SST)..... | 19 |
| IV.1.9. Sólidos sedimentables..... | 20 |

| | |
|---|----|
| IV.1.10. Material flotante | 21 |
| IV.1.11. DBO ₅ | 22 |
| IV.1.12. Grasas y aceites..... | 23 |
| IV.1.13. Metales pesados | 23 |
| IV.2 Parámetros Físico-Químicos del Agua Intersticial | 29 |
| VI Tendencia de la Calidad Ambiental | 45 |
| VII Sugerencias para Mejorar la Calidad Ambiental | 46 |
| VIII. Conclusiones | 48 |
| VII. Bibliografía..... | 51 |

Índice de Tablas

| | |
|--|---|
| Tabla 1. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Gazas, Puerto interior y Tapeixtles. | 9 |
|--|---|

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación de zonas de muestreo..... | 8 |
| Figura 2. Medición de parámetros físico-químicos en el agua superficial e intersticial de la Laguna del Valle de las Garzas. Mes de junio de 2020..... | 10 |
| Figura 3. Actividades en laboratorio para determinación de parámetros abióticos durante el mes de junio de 2020..... | 11 |
| Figura 4. Variación espaciotemporal de los distintos nutrientes en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... | 13 |
| Figura 5. Variación espaciotemporal de la temperatura distribuida en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... | 14 |
| Figura 6. Variación espaciotemporal de la salinidad distribuida en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... | 15 |
| Figura 7. Variación espaciotemporal del Oxígeno disuelto en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... | 16 |
| Figura 8. Variación espaciotemporal de la Conductividad en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... | 17 |
| Figura 9. Variación espaciotemporal del pH en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... | 18 |

Figura 10. Variación espaciotemporal del CI2 en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... 19

Figura 11. Variación espaciotemporal del SST en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... 20

Figura 12. Variación espaciotemporal del SST en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... 21

Figura 13. Variación espaciotemporal del Material flotante en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... 22

Figura 14. Variación espaciotemporal del DBO5 en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... 22

Figura 15. Variación espaciotemporal del Grasas y Aceites en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... 23

Figura 16. Variación espaciotemporal del As en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... 24

Figura 17. Variación espaciotemporal del Cd en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... 24

Figura 18. Variación espaciotemporal del Cu en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... 25

Figura 19. Variación espaciotemporal del CrT en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... 26

Figura 20. Variación espaciotemporal del Hg en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... 26

Figura 21. Variación espaciotemporal del Ni en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... 27

Figura 22. Variación espaciotemporal del Pb en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... 28

Figura 23. Variación espaciotemporal del Zn en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar..... 28

Figura 24. Parámetros fisicoquímicos en el agua intersticial en la zona de estudio. Agosto 2019-julio 2020. (de izquierda a derecha, agosto, septiembre etc.)..... 30

Figura 25 Metales pesados (As, Cd, Cu y Cr) en el agua intersticial en la zona de estudio. Agosto 2019-julio 2020. (de izquierda a derecha, agosto, septiembre etc.).
..... 32

Figura 26. Metales pesados (Hg, Ni, Pb y Zn) en el agua intersticial en la zona de estudio. Agosto 2019-julio 2020. (de izquierda a derecha, agosto, septiembre etc.).
..... 33

I. Introducción.

Los sistemas lagunares costeros son ambientes complejos que cumplen funciones clave desde el punto de vista ecológico, integran ecosistemas de gran capacidad biológica y productividad, además de que constituyen hábitats de especial importancia para la flora y fauna costera. Su distribución corre de forma paralela a la costa y tienen comunicación permanente o temporal, natural o artificial con el océano adyacente a través de una o varias bocas de comunicación, con influencia temporal de agua dulce proveniente de ríos, escorrentías o aportes antropogénicos; por lo que en ellos ocurren amplias fluctuaciones en sus características geomorfológicas, físicas, químicas y biológicas (de Wit, 2011).

Por su posicionamiento geográfico estos ecosistemas poseen altos niveles de productividad biológica y una gran diversidad, actuando como sumidero y fuente de carbono, como transformadores de material químico y biológico, actúan como protectores de la línea de costa, son reguladores de los suministros y flujos de agua entre los ambientes costeros, por lo que se les ha caracterizado como ambientes capaces de depurar aguas contaminadas (Duck y Figueiredo da Silva, 2012).

Parte determinante de su funcionamiento son sus canales de intercomunicación con el océano adyacente ya que su profundidad y amplitud, se conectan con los canales internos a través de los cuales se establece la circulación interna y recambio de sus aguas debido a la influencia mareal, la cual está ligada con otros factores de forzamiento como el viento local, morfología, profundidad y el balance termohalino, que de forma conjunta determinan el tiempo de residencia del agua en su interior y con esto las relaciones bióticas/abióticas que dan forma a sus distintos ecotipos (Lacerda, 2002).

Por sus características, estos cuerpos se establecen patrones de energía en espacio y tiempo que se traduce en variabilidad en cuanto a procesos de sedimentación y geomorfología, los cuales determinan distintas relaciones entre parámetros que permiten clasificarlos según la principal fuente de energía que

induce el movimiento del agua: 1) sistemas controlados por aportes continentales, donde las estaciones de lluvia y estiaje provocan las variaciones en el patrón de circulación; 2) controlados por marea, donde el flujo y reflujo inducen la circulación y mezcla y 3) controlados por la fricción del viento y su morfología; estos factores también influyen en su balance termohalino que determina en mayor parte la variación de sus parámetros fisicoquímicos, aunque por su posición latitudinal, pueden ocurrir mezcla de procesos donde esta clasificación puede generar ambientes mixtos (Aldeco & Salas-de León, 1994).

En estos cuerpos costeros la hidrodinámica y la productividad primaria son fundamentales en la distribución del material orgánico en su interior, de lo que además depende la disponibilidad del oxígeno disuelto y por tanto la remineralización de nutrientes, que aunado a los aportes continentales (naturales o antropogénicos), convierten a estos sistemas en zonas altamente productivas, en cuyas partes internas con poca circulación, se producen condiciones anóxicas; sin embargo, la poca profundidad y la fricción del viento ocasionan circulación que hace que la concentración de oxígeno disuelto (OD) no se agote y sea suficiente para que la biota se desarrolle, y por tanto aunque generalmente los sedimentos superficiales son hipóxicos, en su columna de agua ocurren variaciones diurnas y semidiurnas que permiten el establecimiento de cadenas tróficas complejas que soportan la productividad de estos sistemas (Contreras-Espinoza, 1993).

Por lo anterior, es importante el estudio y seguimiento de la disponibilidad, distribución y explotación de sus recursos; con esta finalidad se planteó el presente estudio, para dar seguimiento a la evolución del sistema lagunar del Valle de las Garzas debido a las modificaciones antropogénicas que controlan el flujo y reflujo de la marea con el propósito de que medir las variaciones en los parámetros físico químicos, como consecuencia de la modificación de los patrones de circulación.

I.1. Antecedentes

Los muestreos realizados en los distintos vasos lagunares de estudio hasta el mes de junio de 2020, muestran en los parámetros analizados:

Alta concentración de N, P y Si que permiten clasificar al *Valle de las Garzas (VG)* y *Tapeixtles (Tap)* como cuerpos costeros híper-eutróficos producto de descargas antropogénicas o portuarias, y al *Puerto Interior (PI)* como eutrófico debido al efecto de dilución por intercambio mareal, representando una fuente de estos elementos hacia la zona costera adyacente.

La temperatura presenta valores más altos en partes internas del VG relacionadas con la climatología local, menor profundidad, mayor tiempo de residencia y el casi nulo intercambio de agua, similares en Tap por el bajo intercambio con PI. Los valores más bajos ocurren en el PI con un gradiente de descenso hacia el canal de entrada debido influencia mareal.

La salinidad en el VG se relaciona con las descargas de agua continental, con valores cercanos a 0 UPS en su parte interna debido a las descargas de la planta de tratamiento o escorrentías urbanas en época de lluvia, así como por la reducida influencia marina a través del canal de comunicación con el PI, lo cual pone en un estrés biológico a las especies vegetales y animales residentes. En Tap muestra variabilidad debido a la influencia marina a través de la alcantarilla de comunicación. En el PI los valores son similares a los marinos con valores bajos hacia la parte interna debido a los aportes del VG.

La conductividad muestra relación positiva con la salinidad y evidencia la entrada de agua continental vía descargas de la planta de tratamiento o escorrentías urbanas pluviales en el VG o descargas clandestinas (Tap) por influencia desde el PI, mientras que en este son los mayores valores debido la influencia de agua marina.

El OD mantiene valores anóxicos a hipóxicos en el VG debido a su agotamiento por los aportes de agua residual y la respiración bacteriana lo que pone en estrés

fisiológico a los organismos sobre todo bentónicos. En Tap su concentración es ligeramente mayor, aunque se alcanzan valores hipóxicos debido a la menor concentración o presencia de material orgánico, escurrimientos o vertidos difusos clandestinos de la zona urbana o portuaria aledaña. En el PI su concentración en baja en su interior, aunque no llega a valores hipóxicos, aumenta hacia el canal con la Bahía de Manzanillo lo que pone de manifiesto la dinámica y recambio de agua que favorece este parámetro.

El pH muestra valores alrededor de 7.5 por la entrada de agua urbana en la parte interna del VG y debido a los aportes pluviales de temporada, lo que también se ve reflejado, aunque en menor proporción en Tap debido a las esorrentías del puerto y la zona urbana aledaña lo que es más acusado en el verano por influencia pluvial. Por su parte el PI mantienen valores similares a los marinos (8.1) por su comunicación con la Bahía de Manzanillo y el factor de dilución, aunque en su estación interna se reflejas los aportes continentales.

El Cloro libre residual, en el VG aunque no muestra altas concentraciones por su agotamiento o desprendimiento hacia a atmosfera, es indicador de actividad antropogénica, lo que en algunos meses se detecta en Tap debido al uso de cloro en actividades antropogénicas de limpieza que llega debido a aportes clandestinos. Desde ambos cuerpos se nota influencia puntual en el PI debido a los procesos de circulación interna. Lo anterior es evidencia de las actividades antropogénicas en la zona portuaria colindante.

Los SST presentan mayores valores en zonas someras o internas del VG sin ser superiores a los 150 mg/l que marca la Norma, en Tap y en PI aunque altos no sobrepasan el límite pero su presencia deja ver una alteración en los cuerpos lagunares que llega hasta la Bahía de Manzanillo debido a las descargas o arrases continentales.

Los SS están representados por minerales provenientes de la cuenca alta y por degradación de material orgánico vegetal desde la rivera en el VG y en Tap, que

se mantiene suspendido, con presencia de basura como evidencia de actividad antrópica en algunos meses es detectada incluso en el PI.

El Material Flotante está presente principalmente en la parte interna del VG debido a la vegetación circundante y a la basura plástica urbana lo que también es evidencia de la influencia antropogénica, lo cual es común en Tap y en ocasiones fue registrado en el PI.

La DBO_5 muestra valores altos como evidencia de actividades antrópicas que aportan material orgánico que debe ser degradado, generando estrés biológico por consumo de OD en los distintos cuerpos lagunares monitoreados, lo que es más acusado en el VG y el Tap, disminuyendo drásticamente en el PI debido a la influencia mareal y al efecto de dilución.

Las G y A mostraron valores asociados a contaminación urbana e industrial desde zonas aledañas, por aporte de agua residual en el VG o en Tap por influencia del industrial del puerto lo que se puede relacionar con el lavado y arrastre de material desde los patios de contenedores aledaños. Su concentración es baja pero detectable algunos meses en el PI lo que deja ver influencia antropogénica aledaña que a pesar de su dilución se hace presente y debe ser considerada.

Los Metales pesados en la columna de agua como el CrT muestran influencia de asentamientos urbanos en el VG, aunque la presencia de Pb y Zn en Tapeixtles evidencia influencia portuaria debido a escurrimientos difusos y son detectados incluso en PI donde la actividad portuaria puede ser su principal fuente. Metales como el Ni, a pesar de estar en su límite de detección son evidencia antrópica que también puede estar ligada al escurrimiento desde el puerto debido al tráfico de pellets o como en el caso del Cu a su utilización en pinturas de embarcaciones destinadas a evitar la incrustación de organismo en sus cascos.

En el agua intersticial los metales pesados, grasas y aceites y los nutrientes presentaron un comportamiento similar al agua superficial lo que es evidencia de influencia antropogénica.

La salinidad en el agua intersticial muestra que en el área de estudio no existe impedimento para la conservación de mangle (31.2 UPS), así como para su desarrollo en sitios con salinidad intersticial menor (1.0 UPS).

I.2. Objetivos del programa.

I.2.1. Objetivo General

Medición mensual de parámetros fisicoquímicos en el agua superficial de la Laguna del Valle de las Garzas, Puerto Interior y Laguna de Tapeixtles como parte del programa de ejecución de compromisos de la Administración Portuaria Integral Manzanillo S.A. de C.V. (API Manzanillo), sobre medidas correctivas ordenadas por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPa) en la resolución administrativa no. PFPA.5/2C.27.5/0028/17/0110, para lograr la restauración ambiental de las lagunas: Valle de las Garzas y Cuyutlán, Colima.

I.2.2. Objetivos particulares

Entre agosto de 2019 y julio de 2020, de manera mensual determinar la concentración, variabilidad y relación/efectos de:

- Nutrientes inorgánicos disueltos metales pesados, DBO₅, grasas y aceites.
- Temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto y conductividad.
- Sólidos Suspendidos Totales, Sedimentables y material flotante.

II. Indicadores ambientales y metas del programa

Los parámetros fisicoquímicos que se monitorean mensualmente son los indicadores ambientales de este programa que ayudan a determinar el estado de conservación o alteración de los componentes ambientales de la Laguna del Valle de las Garzas, Puerto Interior y Laguna de Tapeixtles: Nutrientes inorgánicos disueltos metales pesados, DBO₅, grasas y aceites, temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, conductividad, Sólidos Suspendidos Totales, Sedimentables y material flotante. Esto parte de las medidas correctivas ordenadas por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) en la resolución administrativa no. PFPA.5/2C.27.5/0028/17/0110, para lograr la restauración ambiental de las lagunas: Valle de las Garzas y Cuyutlán, Colima.

La meta del programa se relaciona con la variabilidad espacial y temporal de los parámetros antes mencionados que deben mantener rangos óptimos, mostrar ciclicidad y una amplitud propia de un cuerpo lagunar tropical que permitan demostrar que, derivado de la ampliación de la Zona Norte del Puerto Interior de Manzanillo, en los cuerpos lagunares mencionados se han alcanzado condiciones de equilibrio dinámico.

III. Descripción de trabajos-Metodología empleada.

III.1 Área de estudio.

La zona de estudio está compuesta por 3 cuerpos de agua localizados en el litoral del Pacífico Mexicano en el Municipio de Manzanillo, Colima. Se encuentra limitada al Poniente por la Bahía de Manzanillo y Sur por la Laguna de Cuyutlán. El muestreo se realiza en 9 puntos de agua superficial, entre las 8:00 y las 17:00 h a bordo de lanchas con motor fuera de borda en las distintas estaciones, 6 en la Laguna del Valle de las garzas, 2 en el Puerto Interior y 1 en la Laguna de Tapeixtles (Tabla 1; Figura 1).

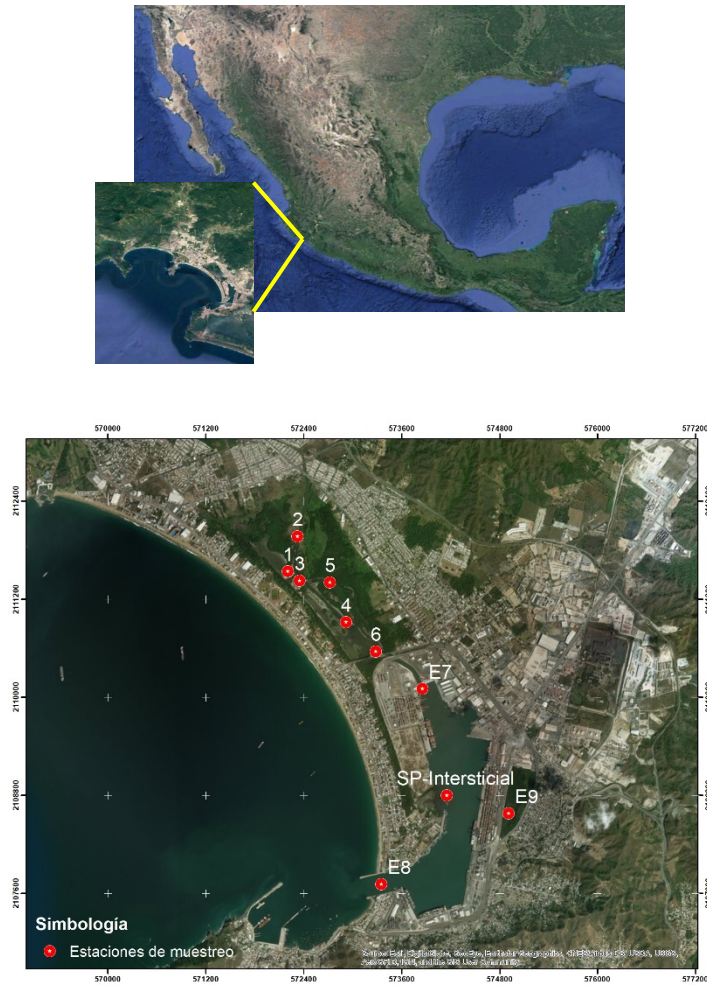


Figura 1. Ubicación de zonas de muestreo.

La posición geográfica de las estaciones de monitoreo de agua superficial e intersticial se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Gazas, Puerto interior y Tapeixtles.

| Estación | Punto X | Punto Y | Latitud N | Longitud O |
|----------|-------------|--------------|---------------|-----------------|
| 1 | 572204.0000 | 2111542.0000 | 19° 5' 44.00" | 104° 18' 48.94" |
| 2 | 572323.0000 | 2111972.0000 | 19° 5' 57.97" | 104° 18' 44.81" |
| 3 | 572347.0000 | 2111432.0000 | 19° 5' 40.40" | 104° 18' 44.07" |
| 4 | 572920.0000 | 2110923.0000 | 19° 5' 23.77" | 104° 18' 24.53" |
| 5 | 572719.0000 | 2111409.0000 | 19° 5' 39.61" | 104° 18' 31.34" |
| 6 | 573284.0000 | 2110564.0000 | 19° 5' 12.04" | 104° 18' 12.12" |
| 7 | 573855.9405 | 2110106.3298 | 19° 4' 57.08" | 104° 17' 52.61" |
| 8 | 573352.5850 | 2107711.3649 | 19° 3' 39.23" | 104° 18' 10.16" |
| 9 | 574911.5738 | 2108578.9077 | 19° 4' 07.25" | 104° 17' 16.70" |

III.2 Actividades en campo

De manera mensual, entre agosto de 2019 a julio 2020, entre las 12:00 y las 19:00 h, las variables fisicoquímicas en agua superficial e intersticial mediante embarcaciones con motor fuera de borda fueron medidas *in situ* con una sonda multiparámetros YSI PRO2030 con la cual se determinó la temperatura, salinidad, conductividad y el oxígeno disuelto.

Para la determinación de Cloro libre residual (Cl_2) se tomó una pequeña muestra de agua en un recipiente de vidrio que fue analizada a bordo de la embarcación utilizando un kit colorimétrico de campo (pocket colorimeter II) de la marca Hatch.

Así mismo se midió pH con un potenciómetro marca HACH modelo 410A, la materia flotante se determinó en campo como presencia/ausencia utilizando un marco cuadrado con luz de malla entre 2 y 3 mm según lo expuesto en la NMX-AA-006-SCFI-2010. Se tomaron muestras de agua para en laboratorio determinar la concentración de nutrientes, metales pesados, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales y material flotante.



Figura 2. Medición de parámetros físico-químicos en el agua superficial e intersticial de la Laguna del Valle de las Garzas. Mes de junio de 2020.

III.3. Actividades en laboratorio

Los nutrientes inorgánicos disueltos se determinaron colorimétricamente utilizando un autoanizador de flujo segmentado SKALAR San Plus II con una precisión de $0.01 \mu\text{M}$, según las siguientes técnicas por Solórzano (1969), Strickland y Parsons (1972), Grasshoff et al., (1983) (Figura 8).

Para metales pesados, en botellas de plástico de 1 l limpias a un grado de ultrapureza, las muestras de grasas y aceites en botellas de vidrio de 1 l, los Sólidos Suspendidos Totales a partir de muestras de 1 l, muestras de material flotante a partir de 5 l de agua obtenidas entre 10 y 20 cm de profundidad, el DBO_5 se muestreó con botellas Winkler para posteriormente ser

trata mediante las técnicas descritas por la APHA (1990), validadas por Normas Oficiales Mexicanas, se determinaron sus concentraciones.

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) se determinaron siguiendo la metodología establecida en la norma oficial mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015. Se filtraron 500 ml de agua (o hasta donde los sólidos contenidos en cada muestra lo permitieron), utilizando filtros de fibra de vidrio. El cálculo de la concentración de SST se basó en la diferencia de los sólidos retenidos en un filtro y los filtrables (disueltos) totales.

Para los Sólidos Sedimentables (SS) se siguió la metodología establecida en la norma oficial mexicana NMX-AA-004-SCFI-2013. Se colocó la muestra en embudos graduados tipo Imhoff y se dejó sedimentar por una hora. Después del tiempo establecido, se registró directamente la lectura del embudo.



Figura 3. Actividades en laboratorio para determinación de parámetros abióticos durante el mes de junio de 2020.

IV. Resultados

A continuación, se presentan gráficos de los diferentes parámetros de monitoreo con las variaciones mensuales a lo largo del año de monitoreo. Se presentan gráficos de barras por cuerpo monitoreado las cuales son el promedio mensual de cada uno con distinto número de estaciones, seis estaciones en el Valle de las Garzas (VG), dos estaciones en el Puerto Interior (PI) y una estación en Tapeixtles (Tap), por esta razón para el VG y PI se incluye el valor de la Desviación Estándar (DE) en la línea suavizada que en eje "X secundario" tiene su propia escala. Por esta razón para Tap su valor es siempre de Cero (0.0).

IV.1 Parámetros Físico-Químicos del Agua Superficial

IV.1.1. Nutrientes inorgánicos disueltos:

Durante el periodo anual la concentración de N, P y Si determinada en las distintas estaciones sobre la superficie de la columna de agua (Figura 4), fue en el mismo orden de magnitud, con las mayores concentraciones en el VG seguida de la estación de Tap y las menores concentraciones para todos los nutrientes determinados en ambas estaciones del PI. En el VG se registró un gradiente de descenso en las concentraciones de los tres nutrientes de la parte interna con influencia continental-urbana y pluvial hacia la comunicación con el PI (de E1 a E6), cuyas amplias variaciones y concentraciones hicieron que la DE fuera mayor en este cuerpo lagunar lo que evidencia la actividad antrópica; cabe destacar que el algunos meses entre las estaciones cercanas a la zona interna y a la comunicación marina se registraron los máximo debido a la actividad de la draga que resuspendía material desde el sedimento y con esto se registraron las mayores concentraciones de nutrientes y Solidos suspendidos, destacando que el amonio fue la forma nitrogenada predominante (Figura 4) lo que se relacionó con la baja concentración de Oxígeno disuelto. En Tap las concentraciones también fueron altas, aunque menores a las del VG debido a las posibles descargas

clandestinas urbanas y los escurrimientos pluviales desde el PI. En el PI las concentraciones y por tanto la DE fueron menores y se notó un gradiente de menor concentración de E7 a E8 lo que evidencia la influencia antropogénica en su parte interna desde el VG y el efecto de dilución debido a la dinámica mareal hacia el canal de comunicación con la Bahía de Manzanillo, lo cual es también evidencia de la influencia antropogénica hacia el área marina adyacente (Figura 4).



Figura 4. Variación espaciotemporal de los distintos nutrientes en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

IV.1.2. Temperatura:

La temperatura presentó variaciones que no permitieron definir una tendencia estacional muy clara (Figura 5), se registraron máximos de 34.3°C (VG, junio 2020) y mínimos de 22.5°C (PI, mayo 2020), con un promedio de 29.4±2.7°C para las 3 zonas. Durante el periodo febrero-mayo de 2020, se presentó un decremento en la temperatura del agua de la zona del PI que se relaciona con la presencia de agua mar desde la bahía de Manzanillo, tanto el VD como Tap muestras relación

con la temperatura ambiental. La mayor variabilidad de la temperatura en el VG se refleja en valores más altos de la DE debido a la baja profundidad de este cuerpo lagunar, mientras que el en PI la DE es casi constante debido a la baja variabilidad debido a la influencia marina y mayor profundidad.

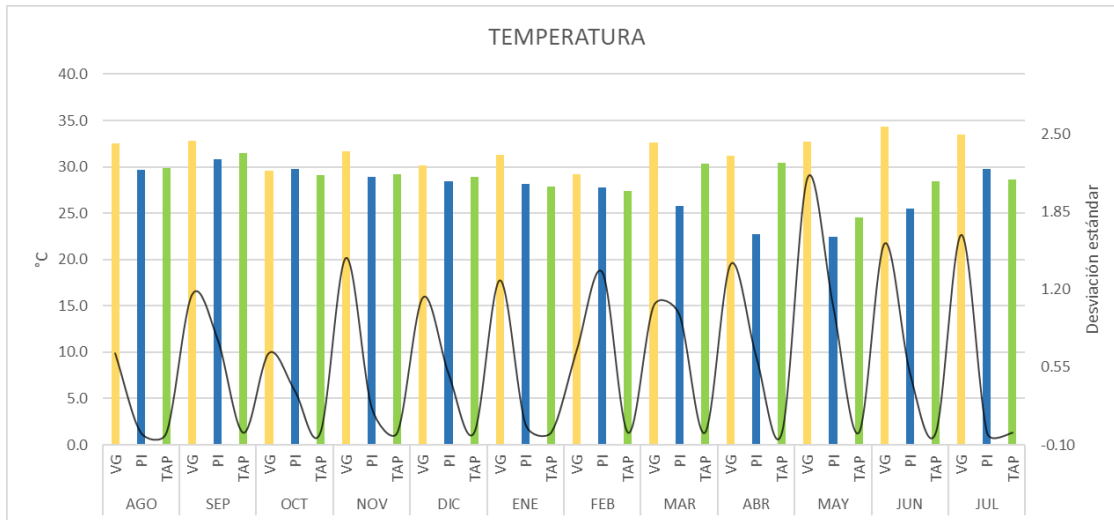


Figura 5. Variación espaciotemporal de la temperatura distribuida en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

IV.1.3. Salinidad:

La salinidad mostró un rango muy variable entre las tres zonas y no fue posible identificar una tendencia estacional bien definida. En el VG mostró una variabilidad más amplia (Figura 6), desde 6.4 UPS hasta 20.2 UPS debido a las descargas desde la planta de tratamiento y la influencia desde el PI a través de los gaviones; este cuerpo entre agosto y octubre presentó los valores más bajos debido a la influencia pluvial de temporada. Un caso similar es el de Tap que también mostró gran variabilidad, pero en menor medida debido a su interconexión con el PI a través de sus alcantarillas y los escurrimientos aledaños, pero que en época de estiaje permanece semiaislado y llegó a registrar valores altos. El PI presentó los valores más altos similares a los marinos, con una clara influencia en E7 debido a la influencia desde el VG sobre todo en época de lluvia. En promedio para las tres zonas la salinidad fue de 21.7 ± 10.3 UPS, con mínimos de 0.1 UPS presentados

en octubre de 2019 en Tapeixtles y máximos de 33.8 UPS (PI, mayo 2020) (Figura 6) lo que es evidencia de influencia antrópica a través de escurrimientos continentales.

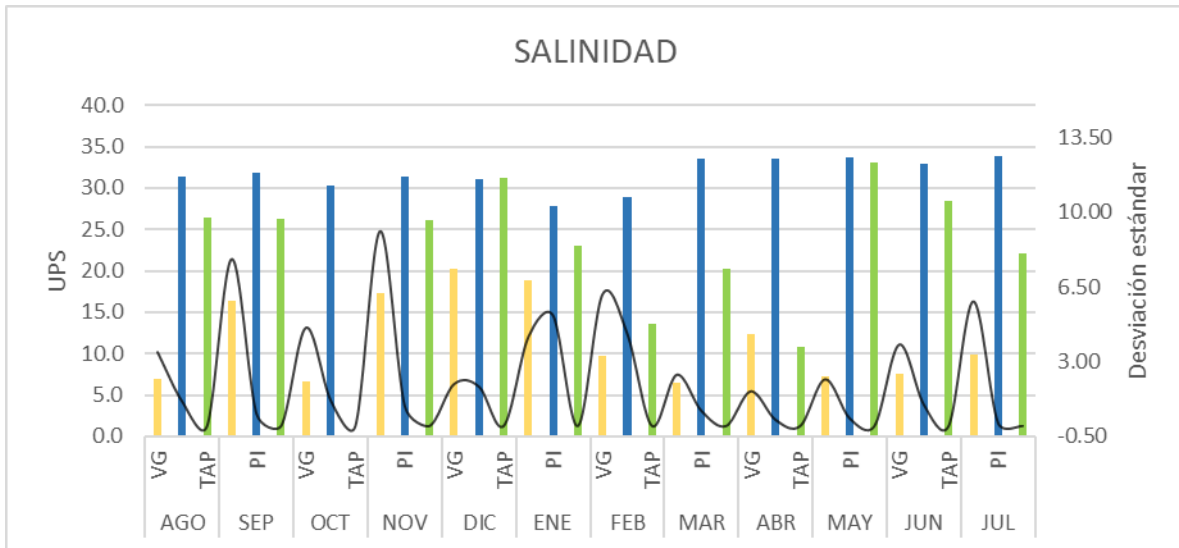


Figura 6. Variación espaciotemporal de la salinidad distribuida en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

IV.1.4. Oxígeno disuelto

El Oxígeno disuelto a lo largo del monitoreo se mostró muy variable, sin una tendencia espacial o temporal definida (Figura 3); el promedio medido fue de 3.3 ± 1.6 mg/l con mínimos de 0.1 mg/l (Tap, noviembre 2019) y máximos de 6.5 (PI, mayo 2020) (Figura 7). En el VG se presentaron los valores más bajos debido a la carga de material orgánico vertida por la planta de tratamiento, los escurrimientos urbanos y la baja circulación interna, lo cual hizo que los valores de DE fueran los más altos debido también a las variaciones por influencia marina desde E6 o porque en este cuerpo la actividad del dragado generó que los sedimentos suspendidos que afectaron la penetración de la luz a través de la columna de agua; Tap también mostró valores bajos debido a bajo intercambio de agua y descargas clandestinas desde la periferia (urbana e industrial). El PI presentó los valores más altos debido a la dilución por entrada de agua marina que favorece la menor presencia de sólidos suspendidos, por esta razón hacia E8 los valores siempre fueron los más altos y en este cuerpo la DE fue menor.

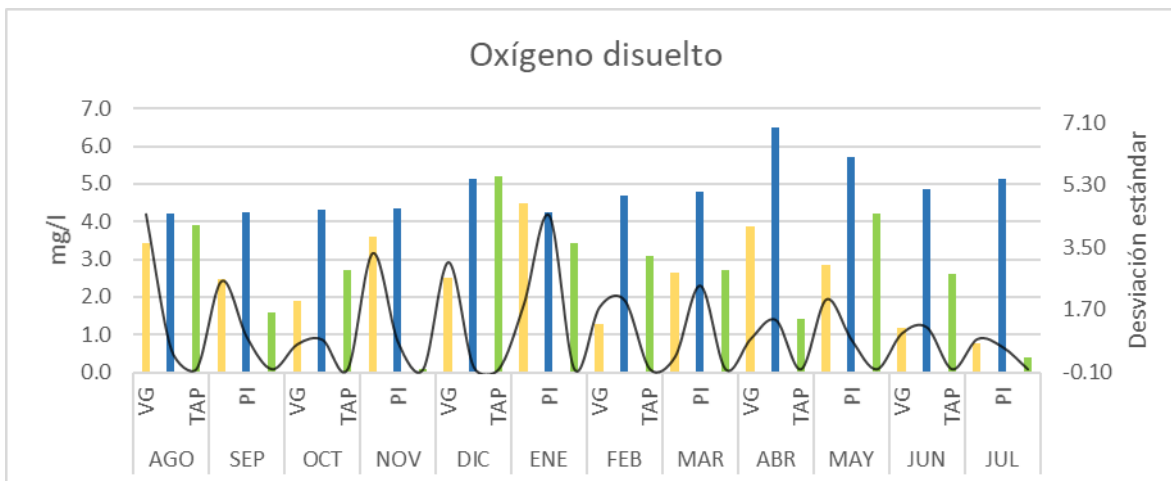


Figura 7. Variación espaciotemporal del Oxígeno disuelto en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

IV.1.5. Conductividad

La conductividad a lo largo del ciclo anual presentó grandes fluctuaciones sin que se aprecie una tendencia espacial o temporal bien definida, sin embargo, se relacionó de manera directa con la salinidad en los distintos cuerpos de estudio. Los valores más altos se presentaron en estaciones del PI (56.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, julio 2020) debido al mayor contenido de sales disueltas por tratarse del medio marino, por el contrario, los mínimos de 0.0258 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ocurrieron en el VG (octubre 2019) debido a la entrada de agua dulce por arrastres continentales (época de lluvia) y el resto del año por la influencia de la planta de tratamiento de agua residual; sin embargo en algunos meses como noviembre de 2019 y febrero de 2020 se mostraron valores altos debido a los sedimentos removidos por actividad de la draga lo que se reflejó en valores amplios de su DE. Mientras que el Tap los valores fueron intermedios debido a que en algunos meses hay influencia marina a través de las alcantarillas desde le PI y los valores bajos ocurren por escorrentías urbanas pluviales o de aguas grises de la periferia. El valor medio de ese parámetro fue $36.721 \pm 15.344 \mu\text{S}/\text{cm}$ que es indicativo mayormente de agua dulce debido a influencia antrópica (Figura 8).

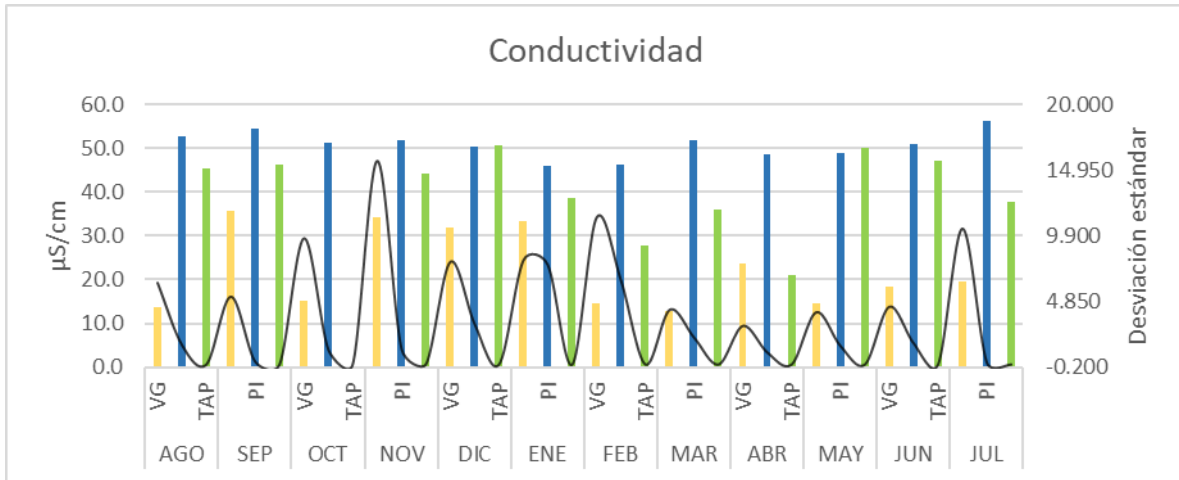


Figura 8. Variación espaciotemporal de la Conductividad en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

IV.1.6. Potencial de Hidrógeno

El pH presentó valores más altos en el PI, al igual que la salinidad y la conductividad, debido a la presencia de iones disueltos, en este caso el agua marina influyó en que su variabilidad fuera baja con valores alrededor de los 8.1 unidades. En el VG se registraron las mayores variaciones porque en la parte alta la influencia de agua dulce pluvial o urbana marcó valores hacia las 7.5 unidades, mientras que hacia la boca de 8.1 debido a la influencia marina a través de los gaviones, por esta razón la DE es más amplia en este cuerpo (Figura 9). Por su parte en Tap se muestran valores intermedios debido a la influencia de agua marina a través de las alcantarillas y a la influencia de agua dulce por escorrentías desde las periferias. El valor promedio de los sistemas en conjunto fue de 7.8 ± 0.3 , con mínimos de 7.2 (Tapeixtles, julio 2020) y un valor máximo 8.8 en el VG durante mayo de 2020 debido a minerales presentes por la actividad de la draga, razón por la cual en este mes la DE de este cuerpo es muy amplia (Figura 9).

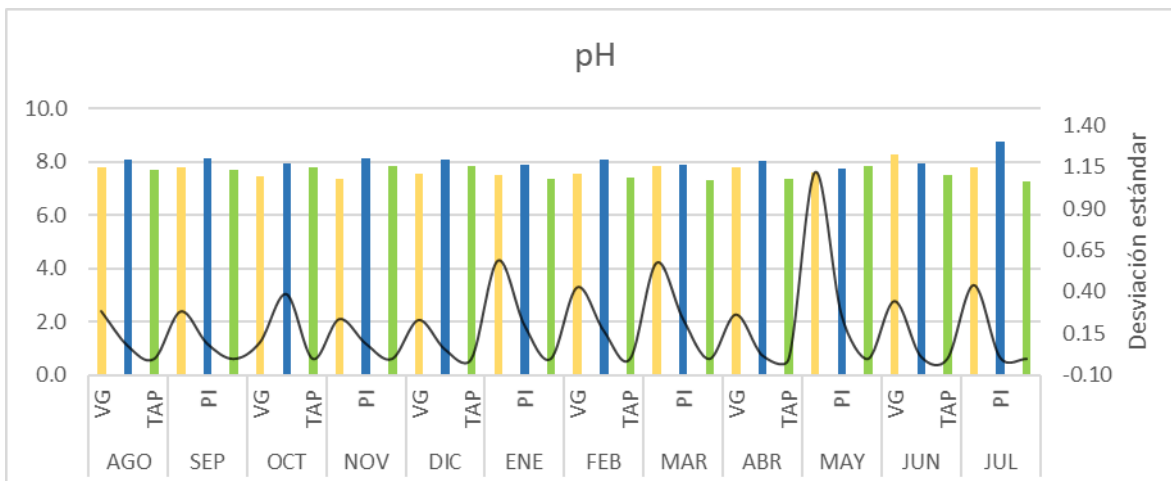


Figura 9. Variación espaciotemporal del pH en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

IV.1.7. Cloro libre residual (Cl_2)

Este parámetro presentó alta variabilidad en los 3 cuerpos monitoreados sin una tendencia espacial o temporal definida (Figura 10), sus concentraciones, aunque bajas (<1.0 mg/l) dejan ver influencia antropogénica ya que su presencia es debida a actividades de desinfección directa (Planta de tratamiento) o a través del uso de productos desinfectantes. En el VG presentó alta variabilidad debido a dinámica interna que puede generar dispersión en el interior de este cuerpo lagunar, detectándose en todos los meses de enero y julio de 2020 valores altos. En Tap su detección no se hizo en todos los meses, sin embargo, en este cuerpo en el mes de abril se detectó el máximo de todo el monitoreo lo que se relaciona con actividades antrópicas de la periferia (urbanas o portuario-industriales). En el PI, tampoco se detectó en algunos meses del año estudiado, pero en otros si fue detectado a pesar del efecto de dilución que pudo haberse presentado, lo cual evidencia actividades antrópicas desde la periferia. La media obtenida fue de 0.093 ± 0.125 mg/l, con máximos de 0.7 mg/l (Tapeixtles, abril 2020) y mínimos con total ausencia (Figura 10).

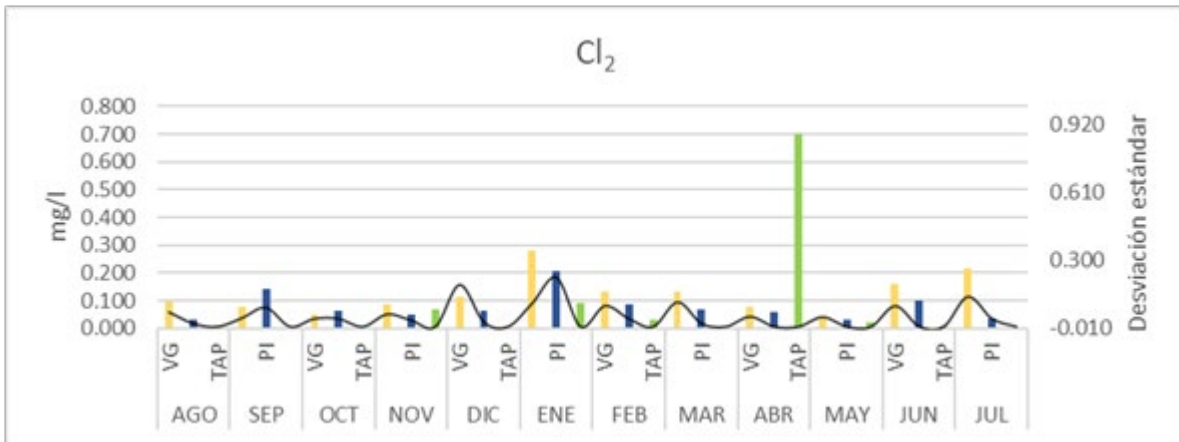


Figura 10. Variación espaciotemporal del Cl₂ en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

IV.1.8. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Durante el periodo anual de estudio, su concentración promedio fue 54.70 ± 40.20 mg/l, con valores mínimos del orden de 9.6 en el PI y los máximos de 179.60 mg/l en Tap en el mes de enero de 2020, aunque de forma rutinaria se presentaron concentraciones altas (>65 mg/l) en las estaciones internas del VG. En el VG se registraron concentraciones con un gradiente negativo desde la zona interna del cuerpo lagunar, hacia la zona de conexión con el PI. En el PI las concentraciones fueron menores y más homogéneas, aunque también entre las estaciones E7 y E8 se presentó un patrón de decaimiento de su concentración. En la zona de Tap se registró una concentración alta de SST la cual fue repetitiva a lo largo del monitoreo y se vio reflejada en los amplios valores de DE (Figura 10). Cabe resaltar que pareciera que la concentración de SST en Tap fue mayor que en el VG, pero no hay que olvidar que en el VG hay 6 estaciones razón por la cual su concentración pareciera menor en todos los meses, sin embargo, llegaron a registrarse valores por encima de 100 mg/l en estaciones internas.

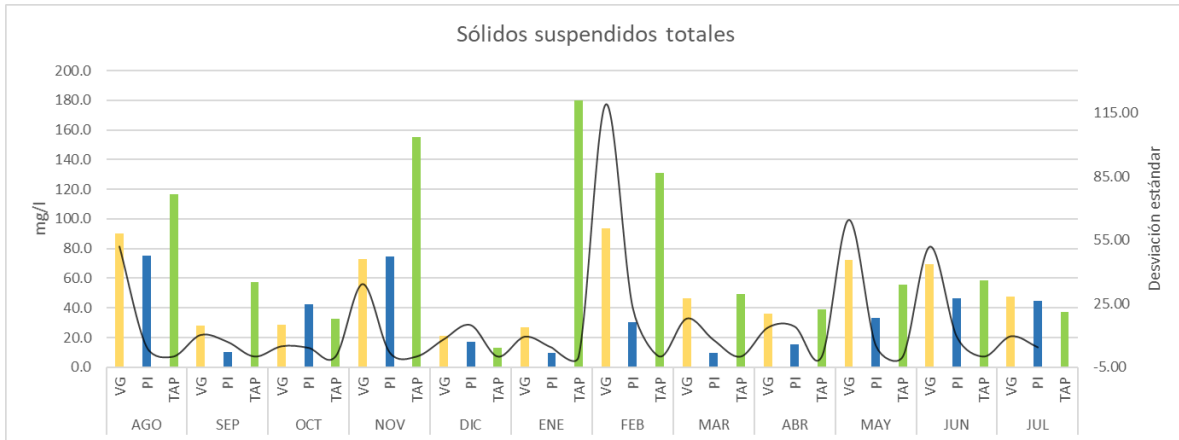


Figura 11. Variación espaciotemporal del SST en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

IV.1.9. Sólidos sedimentables

La concentración promedio de sólidos sedimentables en el periodo de estudio fue de 0.163 mg/l/h con una DE de 0.258 lo cual habla de su gran variabilidad lo que está dado por los aportes que mayoritariamente provienen del VG debido a los sólidos minerales que se encuentra ampliamente resuspendidos desde el sedimento en todas las estaciones o por el material orgánico en degradación que fue recurrente todo el periodo medido. El otro cuerpo lagunar que también mostró altas concentraciones y la máxima (1.30 mg/l/h en enero de 2020) fue Tap. Por su parte en el PI su concentración fue la más baja y en varios meses se llegó a reportar un valor de 0.0 mg/l/hora (Figura 11).

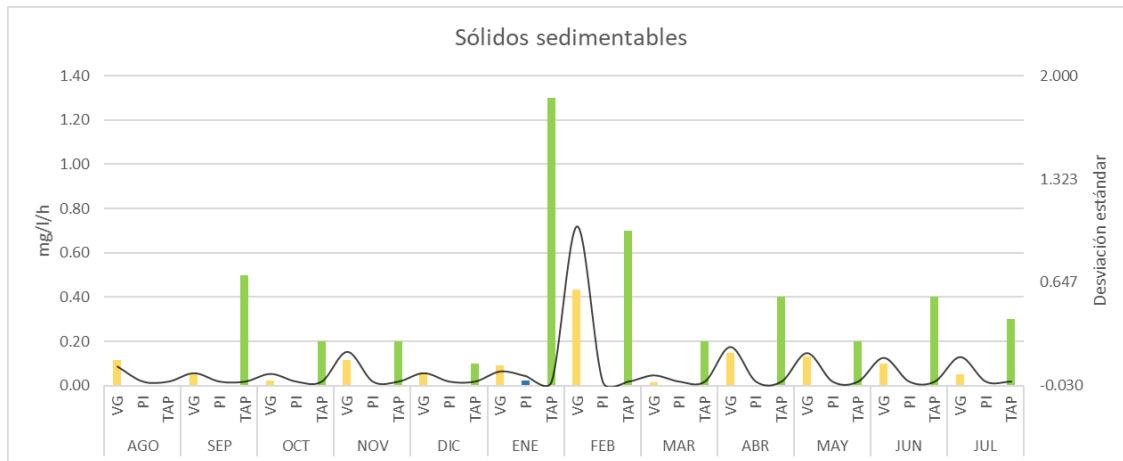


Figura 12. Variación espaciotemporal del SST en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

IV.1.10. Material flotante

El Presencia (valor de 1) o la Ausencia (valor de 0) del Material Flotante (Figura 13), mostró estaciones con ausencia al inicio del monitoreo, durante el periodo de agosto de 2019 a enero de 2020 sobre todo en las estaciones de Tap y el PI; por su parte en la zona del VG comenzó a presentarse con mayor constancia a partir de diciembre de 2019; a partir de febrero de 2019 la estación correspondiente a Tap obtuvo un comportamiento similar. El cuerpo lagunar que más presencia de material flotante fue el VG, ya que, durante el periodo monitoreado, en promedio, se obtuvo presencia durante 8 meses distintos; por el contrario, en las estaciones correspondientes al PI y Tap sólo se obtuvo presencia durante 4 distintos meses a lo largo del periodo (Figura 13). Cabe mencionar que el material más recurrente en el VG y Tap fueron plásticos (bolsas, vasos, botellas/envases, taparrosas, cuerdas, fragmentos) lo cual denota una clara influencia antropogénica, y en menor proporción material orgánico como hojarasca o restos de pequeños troncos (70 % y 30 %, respectivamente), caso contrario ocurrió en el PI donde el material orgánico fue más común que los restos plásticos, aunque casi en igual proporción (60 y 40 %, respectivamente), lo que también es muestra de influencia antropogénica.

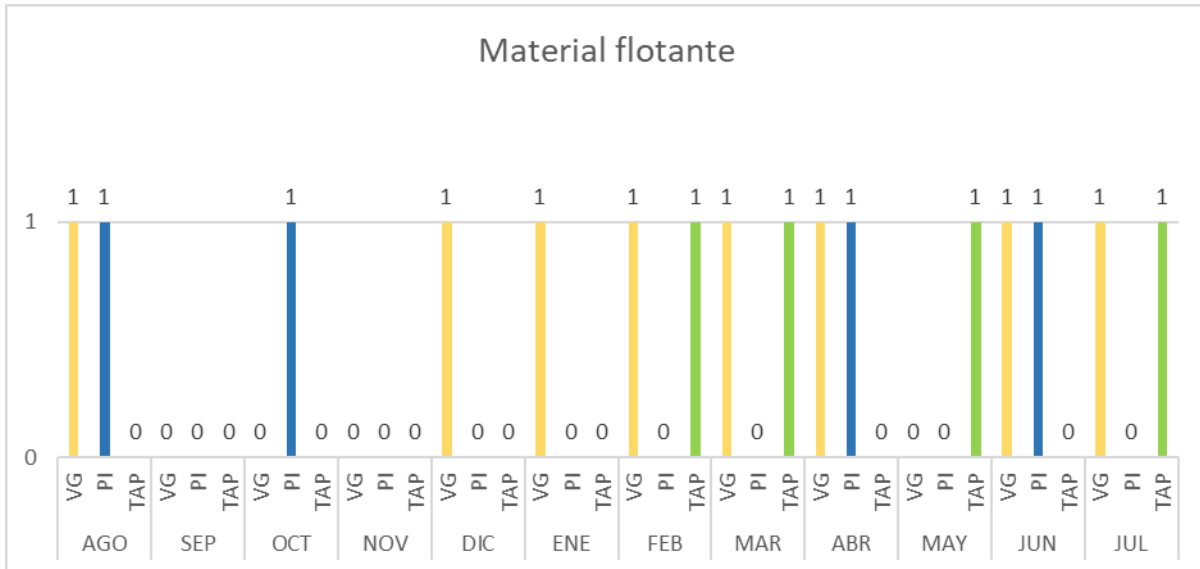


Figura 13. Variación espaciotemporal del Material flotante en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

IV.1.11. DBO₅

La demanda bioquímica de oxígeno presentó fluctuaciones en las 3 zonas que no hicieron posible identificar una tendencia estacional (Figura 14), la media obtenida para los sistemas fue de 51.97 ± 19.81 mg/l, el valor mínimo fue de 20 mg/l presentado en las zonas del Puerto Interior y Tapeixtles durante el mes de junio de 2020, y el máximo fue de 90.25 mg/l en el Puerto Interior durante noviembre de 2019. Asimismo, la tendencia que se mostró fue de disminución para las zonas de Puerto Interior y Tapeixtles, caso contrario para la Laguna del Valle de las Garzas, en la cual los valores obtenidos fueron aumentando (Figura 14).

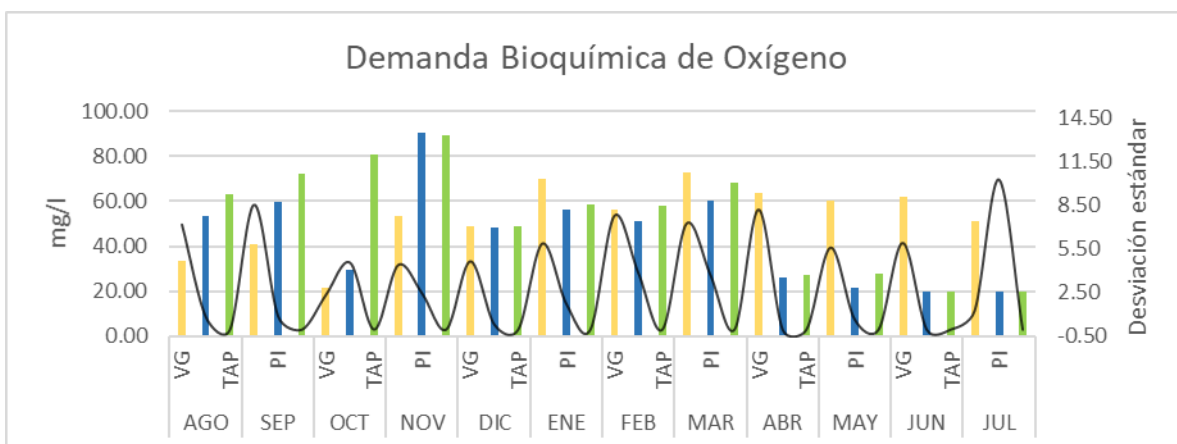


Figura 14. Variación espaciotemporal del DBO₅ en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

IV.1.12. Grasas y aceites

Los valores más altos presentados en el contenido de grasas y aceites en el agua tuvieron lugar durante los meses de agosto y septiembre de 2019 en la zona de Tapeixtles (22 y 22.2 mg/l, respectivamente), y fue posible identificar una tendencia espaciotemporal; la media de los sistemas fue de 11.759 ± 2.858 mg/l, con valores mínimos de 10 mg/l con las más amplias variaciones de la desviación estándar en el VG debido a las diferencias de concentraciones registradas entre la estación cercana a la descarga de agua residual (E1) y la que conecta con el Puerto Interior (E6) (Figura 15).

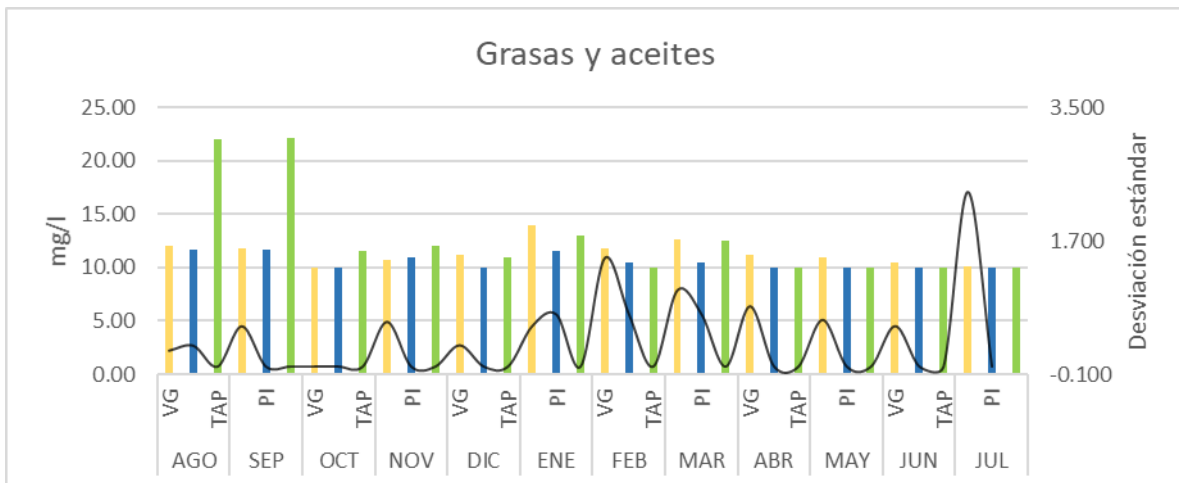


Figura 15. Variación espaciotemporal del Grasas y Aceites en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

IV.1.13. Metales pesados

Arsénico

Durante el periodo de agosto-septiembre de 2019, las tres zonas presentaron los mayores niveles registrados de arsénico (Figura 16), posteriormente a partir de noviembre, los valores tendieron a la disminución, por lo que es posible identificar una tendencia temporal negativa; el valor medio obtenido fue de 0.012 ± 0.026 mg/l, mínimos de 0.002 mg/l y máximos de 0.14 mg/l (Tapeixtles, octubre 2019).

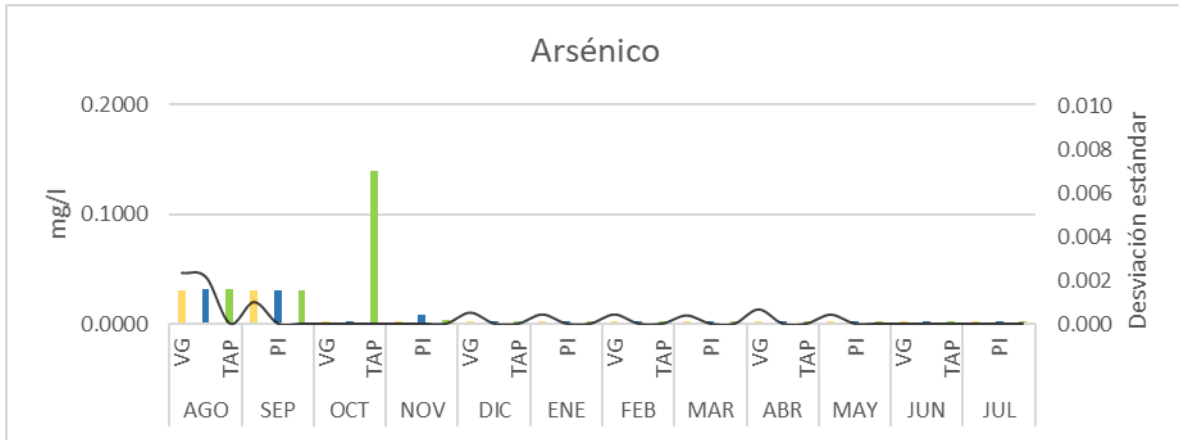


Figura 16. Variación espaciotemporal del As en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

Cadmio

Durante el periodo de septiembre-octubre de 2019 se presentó una disminución, la cual se invirtió durante noviembre de 2019 (Figura 17), se pudo identificar una leve tendencia de incremento después de esto, el valor medio que se presentó para las 3 diferentes zonas de muestreo (VG, PI y Tap) fue de 0.149 ± 0.044 mg/l, los valores máximos presentados fueron de 0.21 mg/l en el puerto interior durante el mes de noviembre de 2019, y el mínimo obtenido fue de 0.016 mg/l en todas las zonas, durante octubre de 2019.

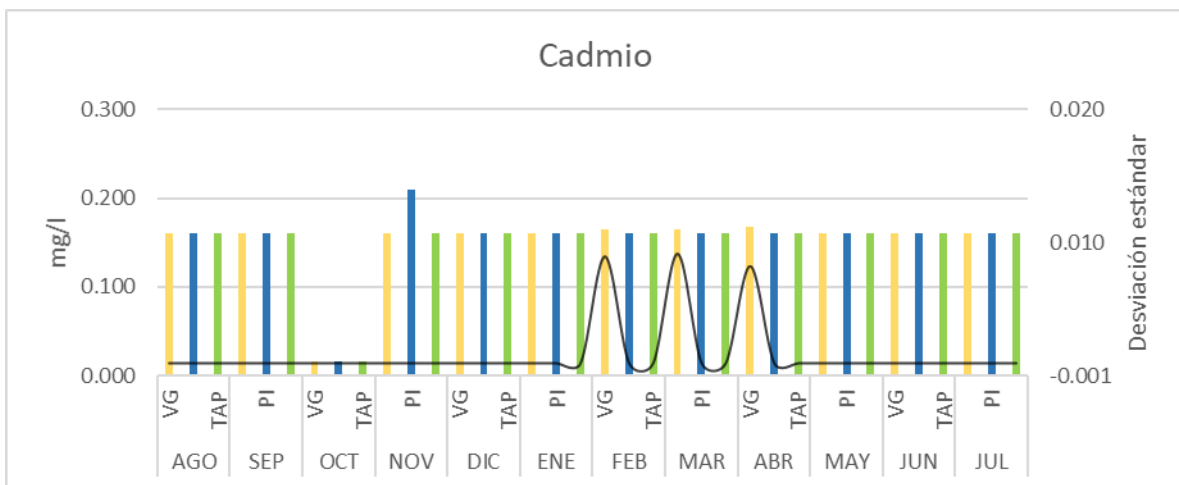


Figura 17. Variación espaciotemporal del Cd en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

Cobre

El cobre presentó una tendencia de aumento durante el periodo de octubre a noviembre de 2019 (Figura 18), para posteriormente disminuir y mantenerse constante durante el resto del monitoreo, presentó un valor medio de 0.157 ± 0.04 mg/l, con mínimos de 0.016 mg/l y máximos de 0.24 mg/l (Tapeixtles, noviembre 2019).

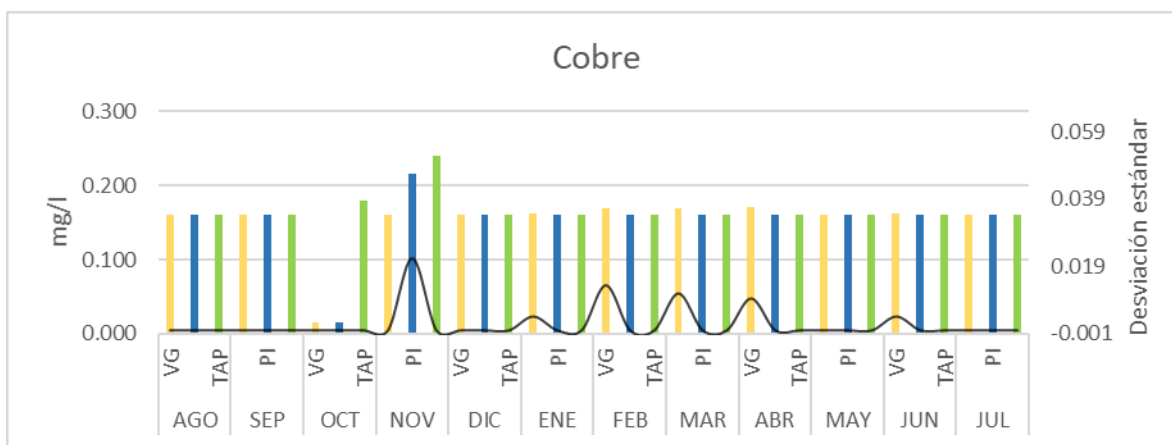


Figura 18. Variación espaciotemporal del Cu en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

Cromo total

El cromo total de los 3 sistemas presentó un comportamiento conservativo durante el monitoreo (Figura 19), presentando una media de 0.333 ± 0.008 mg/l, valores máximos de 0.36 mg/l durante el mes de noviembre de 2019 en la zona de Tapeixtles, y mínimos de 0.33 mg/l.

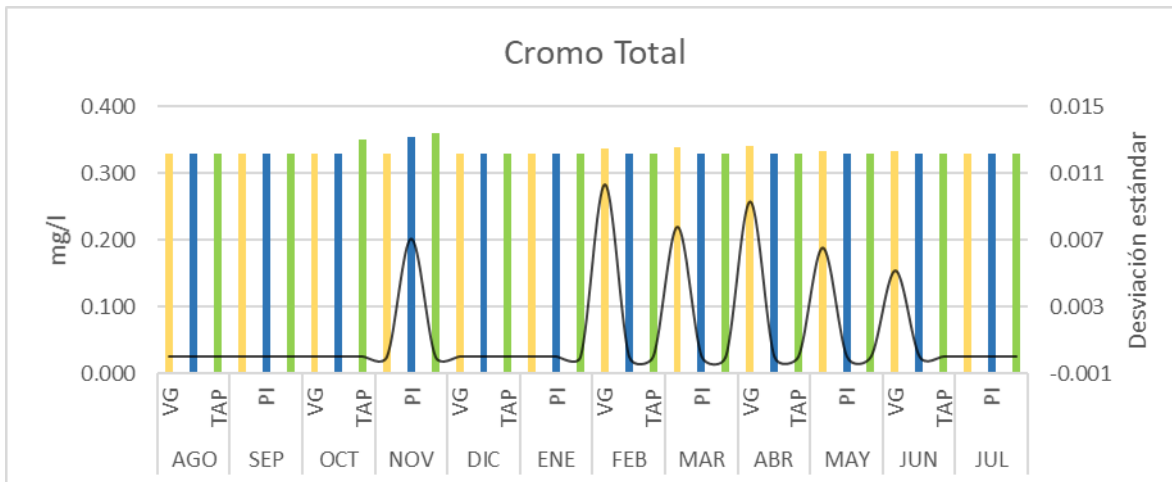


Figura 19. Variación espaciotemporal del CrT en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

Mercurio

Durante el periodo de agosto-diciembre de 2019, de forma general, el mercurio presentó un aumento en las concentraciones de todas las zonas (Figura 20), y desde enero de 2020 estas concentraciones decrecieron, lo cual pudiera demostrar una tendencia de disminución; la media fue de 0.002 ± 0.002 mg/l, con valores mínimos de 0.001 mg/l y máximo de 0.008 mg/l presentado durante noviembre de 2019 en el Puerto Interior.

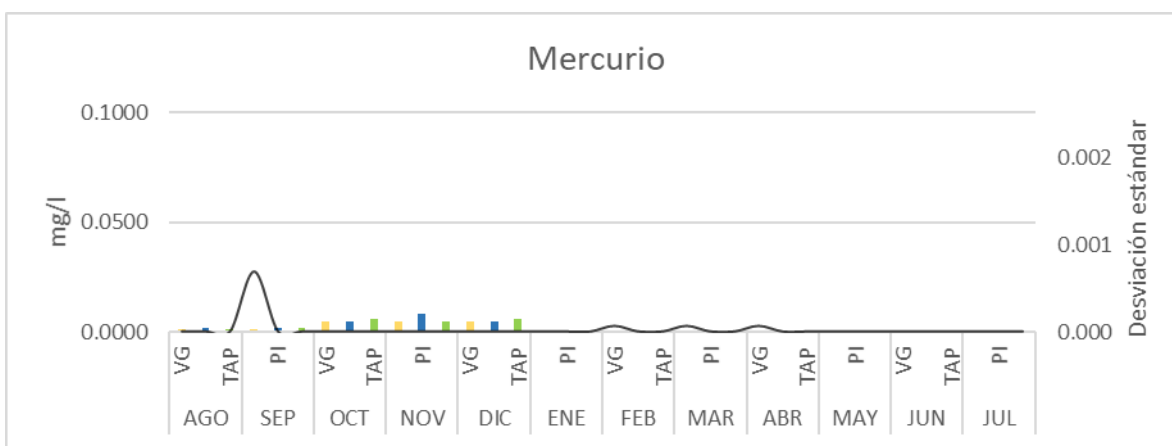


Figura 20. Variación espaciotemporal del Hg en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

Níquel

El comportamiento del níquel no fue muy variable, y mostró una tendencia conservativa durante todo el monitoreo (Figura 21), presentando una media de 0.332 ± 0.004 mg/l, un valor máximo de 0.35 mg/l durante el mes de octubre en Tapeixtles, y mínimos de 0.33 mg/l.

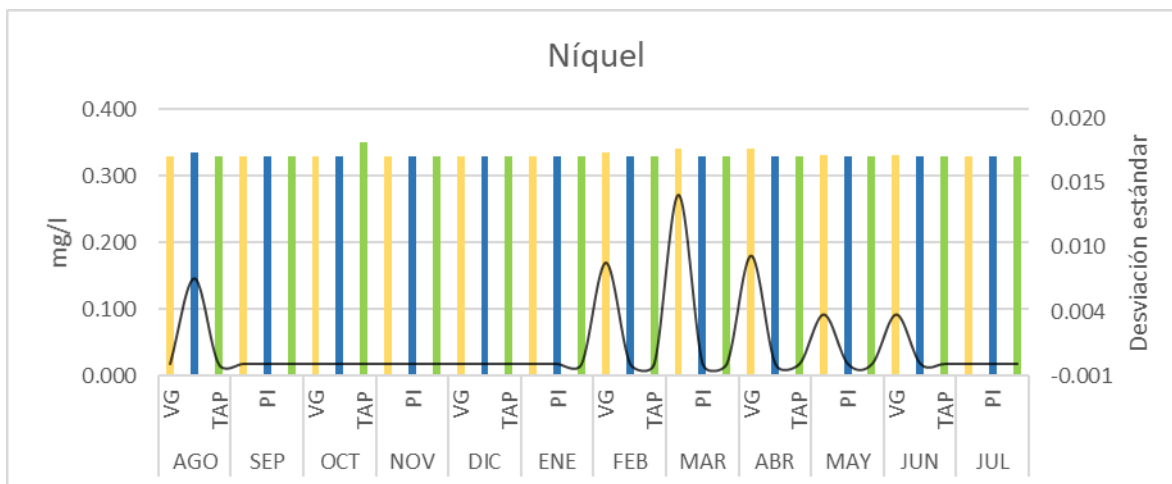


Figura 21. Variación espaciotemporal del Ni en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

Plomo

Los valores obtenidos para el plomo mostraron una tendencia de disminución, ya que los valores más altos en las tres zonas se presentaron durante los dos primeros meses del monitoreo (Figura 22), para posteriormente disminuir y mantenerse constantes; los datos presentaron una media de 0.239 ± 0.16 mg/l, valores máximos de 0.658 mg/l y mínimos de 0.16 mg/l.

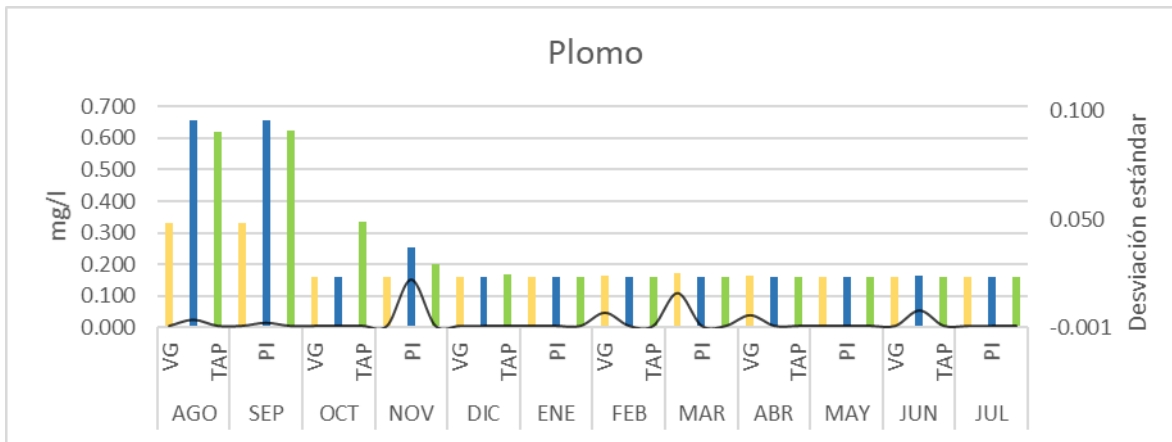


Figura 22. Variación espaciotemporal del Pb en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

Zinc

El comportamiento del zinc durante la mayor parte del monitoreo fue conservativo, a excepción de noviembre de 2019 (Figura 23), mes durante el cual se mostró un incremento en la concentración, obteniendo valores máximos de 0.3 mg/l para el Puerto Interior, 0.25 mg/l en Tapeixtles y 0.21 mg/l para la Laguna del Valle de las Gazaras respectivamente. El valor medio obtenido para las tres zonas fue de 0.17 ± 0.29 mg/l con un mínimo de 0.16 mg/l.

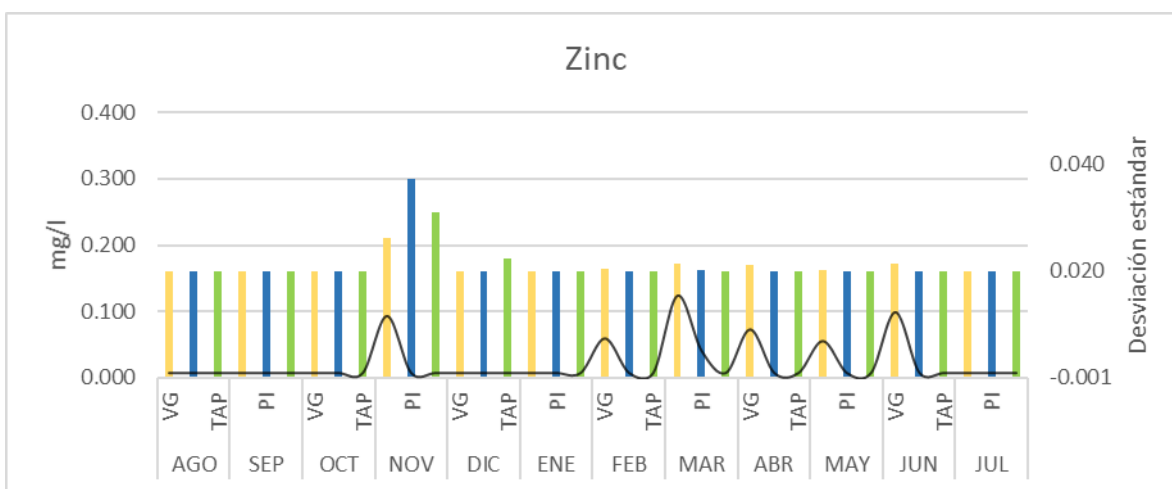
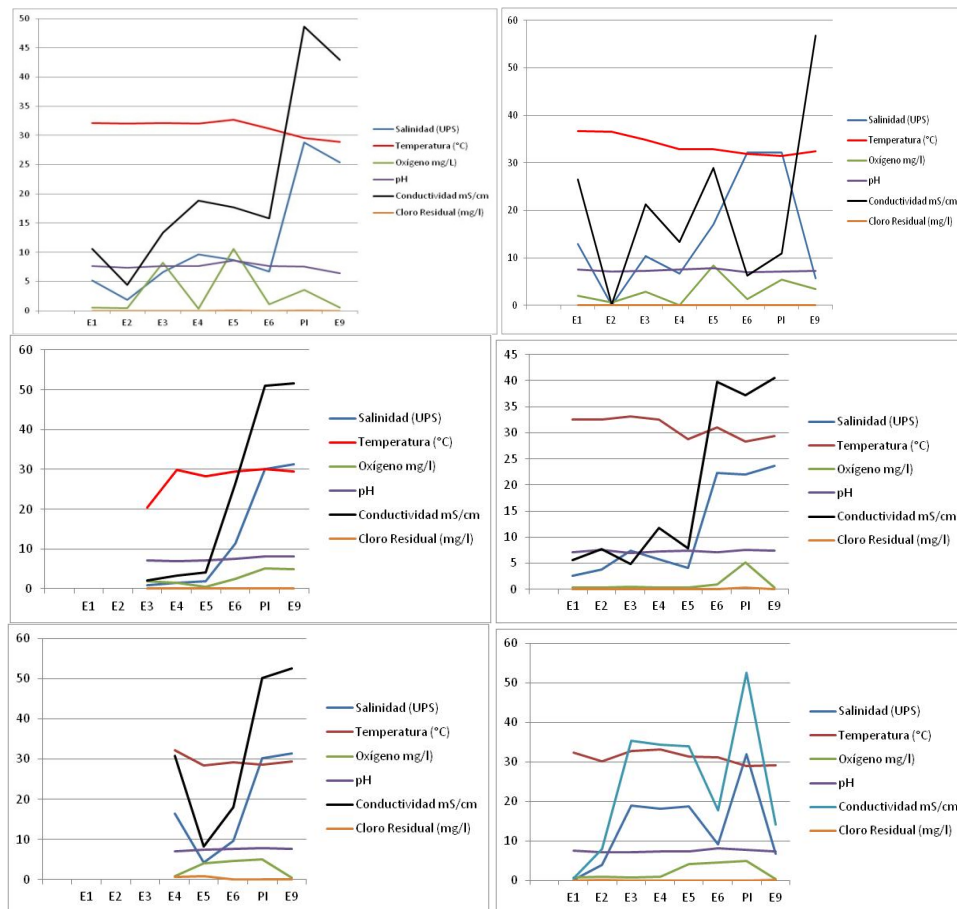


Figura 23. Variación espaciotemporal del Zn en 3 zonas (Valle de las Garzas, Puerto Interior y Tapeixtles) durante el periodo de agosto de 2019 a julio de 2020. La línea negra representa la desviación estándar.

IV.2 Parámetros Físico-Químicos del Agua Intersticial

En el agua intersticial de LVG todos los parámetros fueron muy variables (Figura 16), con valores entre 0.1 y 32.2 UPS; 0.2 y 39.75 mS/cm; 20.4 y 36.6 °C; 0.0 y 10.6 mg/l; 6.9 y 8.6; 0.0 y 0.85 mg/l, para salinidad, conductividad, temperatura, Oxígeno disuelto, pH y Cloro residual, respectivamente. En la Laguna de Tapeixtles los valores promedios fueron de 19.8 UPS, 29.2 °C, 1.4 mg/l, 6.90, 38.4 mS/cm y 0.07 mg/l, para la salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad y cloro residual, respectivamente.



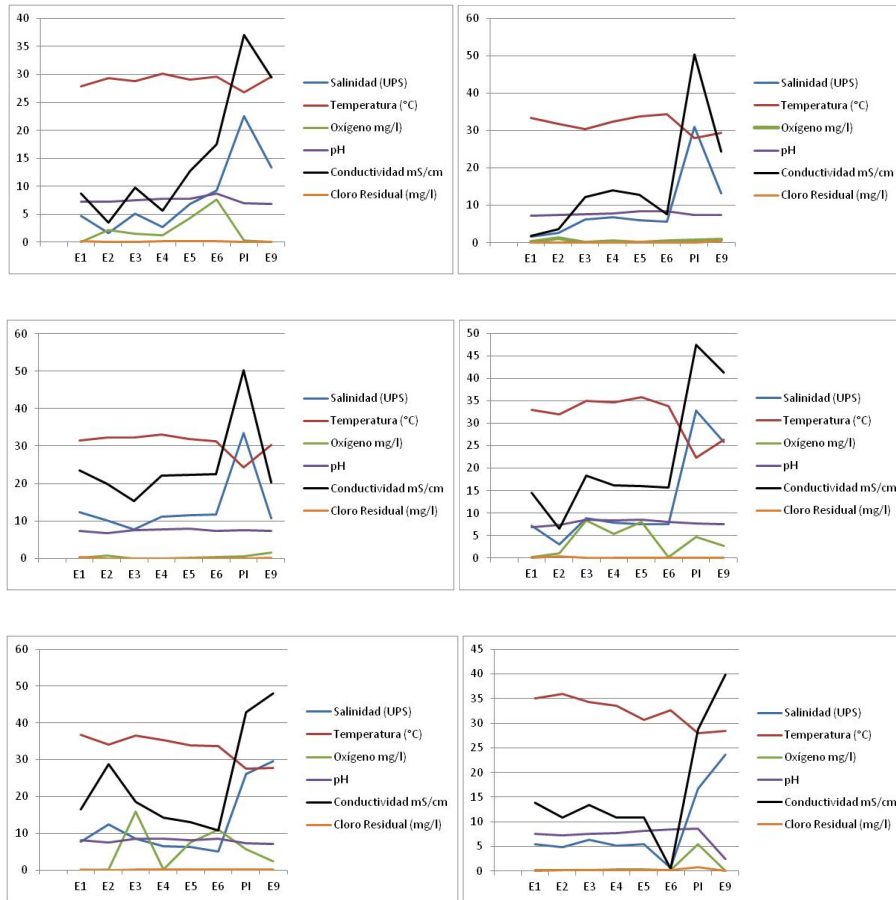
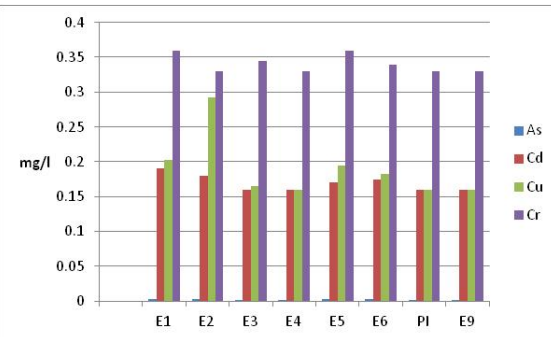
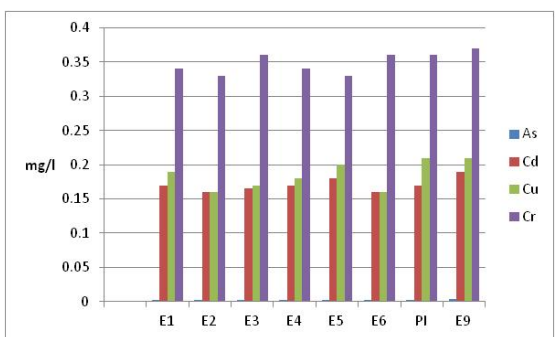
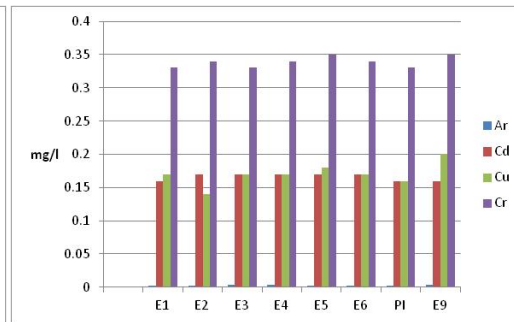
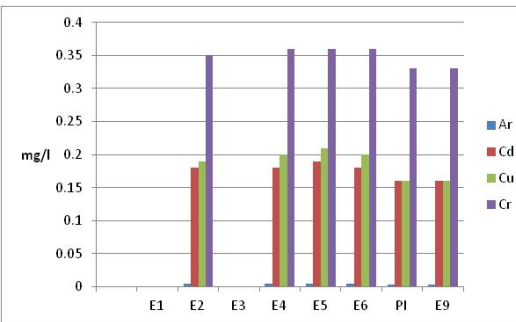
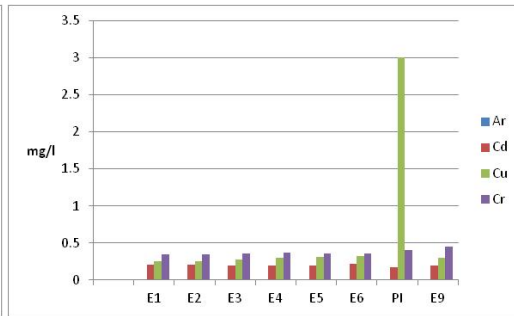
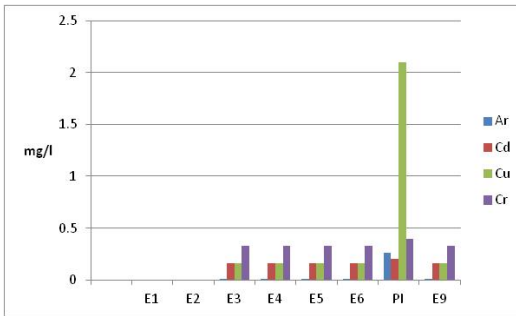
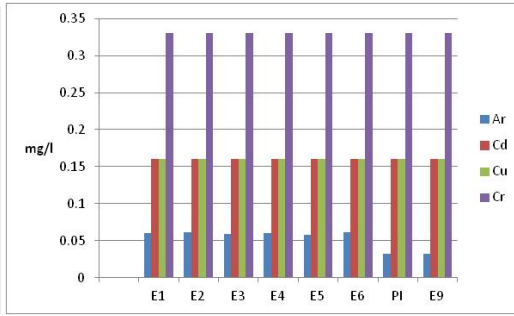
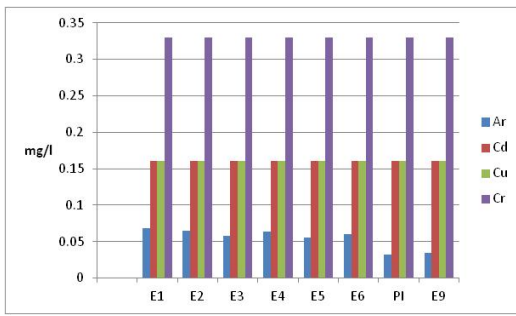


Figura 24. Parámetros fisicoquímicos en el agua intersticial en la zona de estudio. Agosto 2019-julio 2020. (de izquierda a derecha, agosto, septiembre etc.)

Respecto a los metales pesados (Figuras 17, 18 y 19;., grasas, aceites y nutrientes, en el agua intersticial, presentaron un comportamiento muy similar al agua superficial coincidiendo las mayores concentraciones para Níquel, Cromo Total y Zinc y menores para el Mercurio.



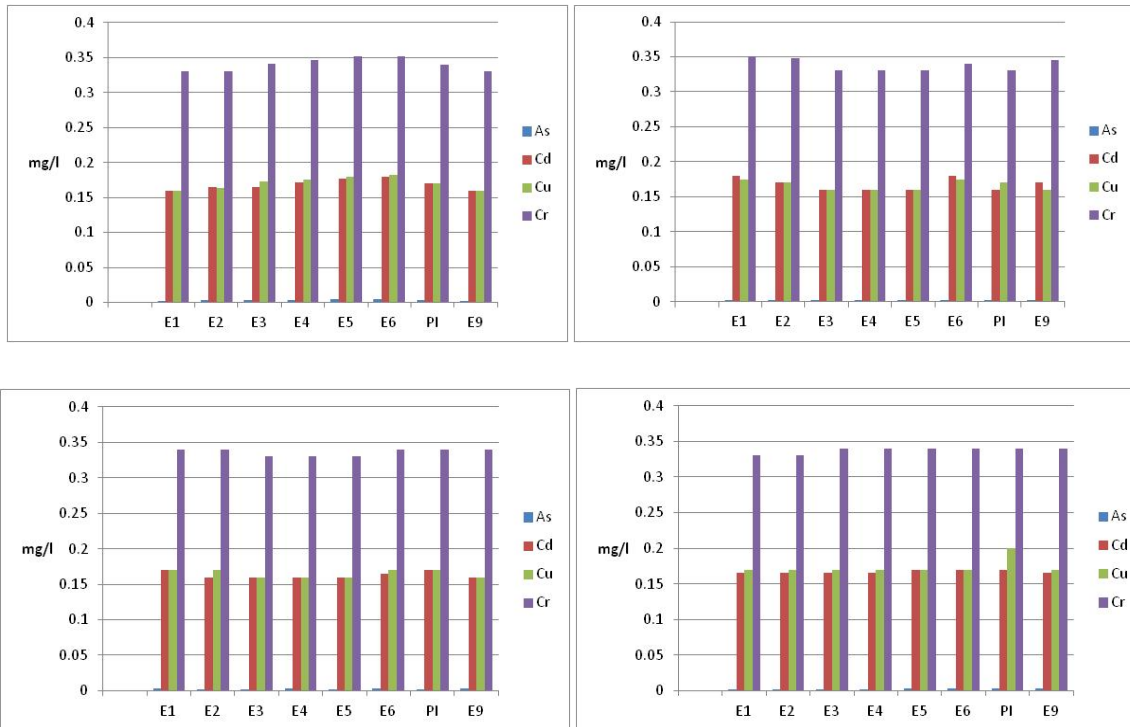
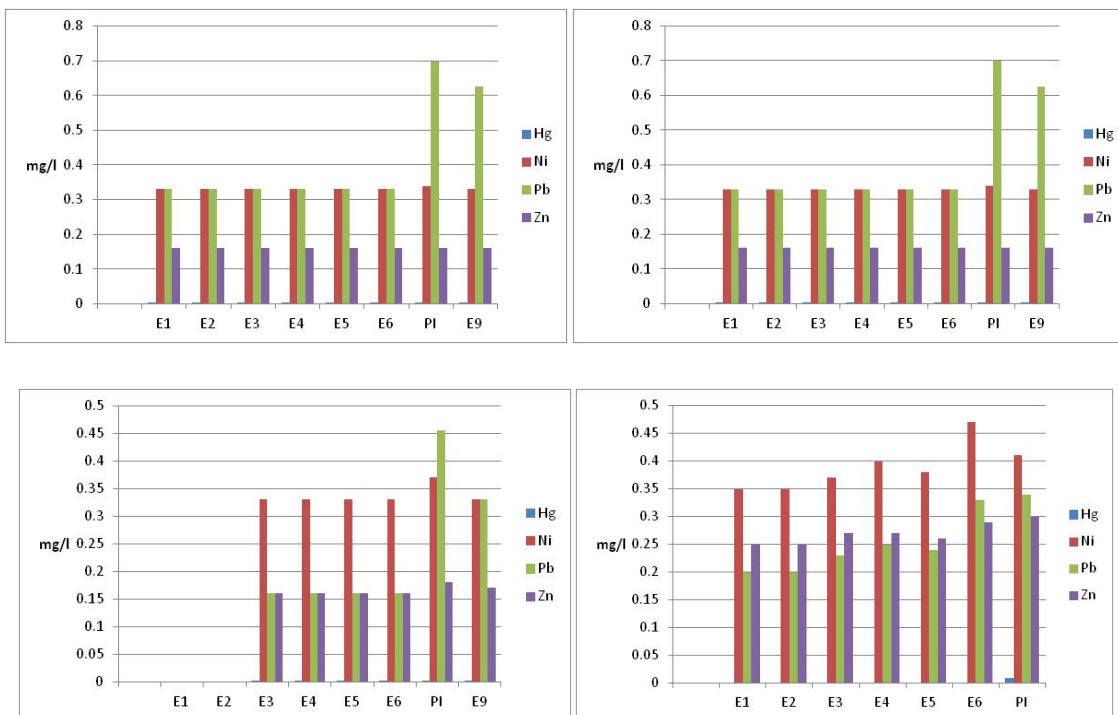


Figura 25 Metales pesados (As, Cd, Cu y Cr) en el agua intersticial en la zona de estudio. Agosto 2019-julio 2020. (de izquierda a derecha, agosto, septiembre etc.).



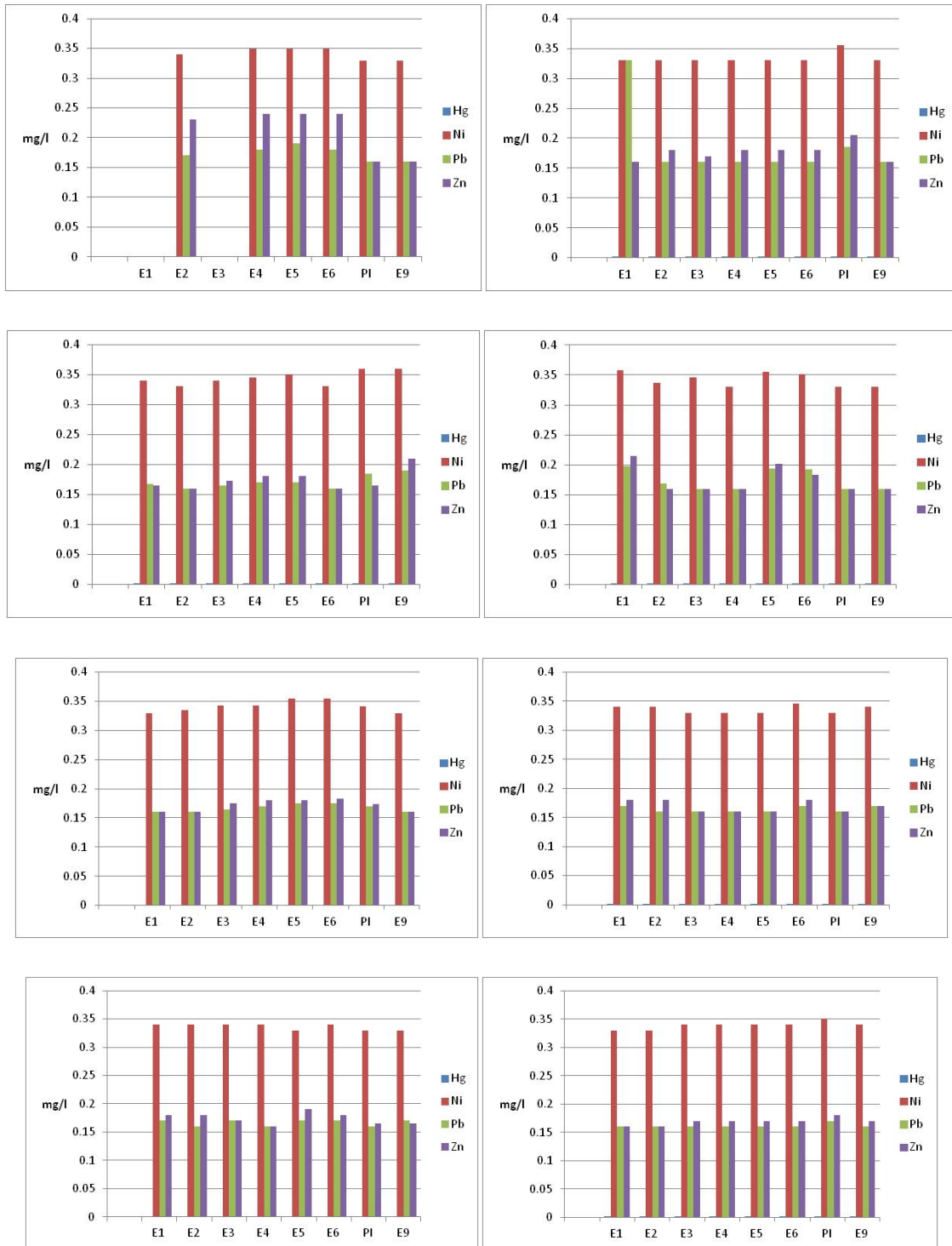


Figura 26. Metales pesados (Hg, Ni, Pb y Zn) en el agua intersticial en la zona de estudio. Agosto 2019-julio 2020. (de izquierda a derecha, agosto, septiembre etc.).

V. Interpretación de resultados

En el periodo anual de seguimiento, la concentración de nutrientes (N y P) entre las distintas estaciones mostró diferencias significativas entre el VG, PI y Tap, las cuales fueron mayores entre los meses de agosto a octubre de 2019; presentándose un gradiente de descenso desde la parte interna (E1 y E2) hacia la E6 cercana a los gabiones de intercambio con el PI, lo cual pudo estar relacionado con la influencia de la descarga de agua residual desde la planta de tratamiento de la ciudad que afecta en primer instancia a la E2 por su cercanía, y por la otra parte, por la entrada marina a través de los gabiones con el PI (E6). Así mismo, este aporte constante de agua continental desde la planta de tratamiento es importante para mantener el espejo de agua al interior de esta laguna y hace que este cuerpo actúe como una fosa de oxidación. Por esto los valores de N y P fueron altos ya que el alto contenido de material orgánico que es degradado por acción bacteriana (remeneralización) libera nutrientes inorgánicos al medio generando condiciones de hipoxia que influyen en que la concentración de especies nitrogenadas reducidas como el amonio (NH_4^+) sean muy altas como evidencia de aportes antropogénicos, lo cual se relaciona con las elevadas concentraciones de ortofosfatos debido a su liberación por detergentes presentes en el agua residual lo cual es otro indicativo de influencia antropogénica (González-Dávila et al., 2019).

Por su parte los silicatos, si bien no son indicativos de agua residual, su alta concentración está relacionada con la entrada de sedimento suspendido desde la cuenca alta del Arroyo Punta de Agua sobre todo en época de lluvia, que luego de ser depositado dentro del cuerpo lagunar es resuspendido por circulación interna desde sedimentos, y su presencia en altas concentraciones es otra evidencia de la influencia humana que vuelven a esta laguna en un sistema de captación de sedimentos debido a la mala gestión de la cuenca hidrológica en la parte alta. En el PI la concentración de estos tres elementos es menor respecto a los otros dos

cuerpos lagunares, con un gradiente que disminuye de E7 a E8 por la dilución de los aportes del VG debido a la penetración de la marea. En Tap (E9) en comparación al VG se presentó menor concentración de nutrientes, pero su concentración alta es evidencia la posible entrada de agua gris por descargas clandestinas desde asentamientos urbanos aledaños o por la remineralización de material orgánico (hojarasca). En general la disponibilidad de amplia variación de estos nutrientes a lo largo de los meses de seguimiento evidencia un estado de hipereutrofia para el VG y TAP hasta uno mesotrófico en el PI de acuerdo con (Nixon, 1981), lo que se puede traducir como influencia antropogénica desde estos sistemas costeros hacia la Bahía de Manzanillo.

La temperatura al interior del VG mostró variación en función principalmente de la topografía, posición, hora de muestreo y la climatología local, de esta manera los valores altos se detectaron en estaciones internas con baja profundidad cercanas hacia la cabeza (E1) con un ligero descenso hacia los gabiones con el PI (E6) debido a la penetración mareal, por esta razón las desviaciones estándar son las más amplias que en el resto de los cuerpos monitoreados. En Tap la temperatura fue menor al VG pero mayor al PI pues al permanecer semiaislada con poco recambio desde el PI y sombreada por la vegetación circundante, sus valores son más similares a la temperatura ambiente por esta razón entre febrero y mayo se registran los menores valores. En el PI de manera general se presentaron valores más bajos y un gradiente de decremento de E7 a E8 por la entrada de agua marina ya que E8 se sitúa en el canal de acceso al puerto, lo cual deja ver que al interior del puerto la marea “modula” los valores debido a su mezcla. Los valores detectados en los distintos vasos muestran diferencias entre los ambientes costeros monitoreados, y aunque estén en el orden de otros ambientes costeros tropicales del país (Aldeco y Salas de León, 1994), reflejan una variabilidad debida a acciones ingenieriles que marcan la retención del agua en el VG lo que pone de manifiesto la influencia antrópica en los otros dos ambientes.

La salinidad en el VG no mostró un gradiente espacial o temporal definido, de manera general presentó variación entre las estaciones centrales y ambos

extremos, con los menores valores hacia la zona interna (E2) debido a la influencia de la descarga de agua de la planta de tratamiento y en época de lluvia por arrastres pluviales, con una tendencia de incremento hacia E4 posiblemente debido a factores internos de circulación por entrada de agua marina desde el PI a través de los gabiones (E6) que en esta zona pudo generar un cambio de densidad y con esto que su circulación se ralentizara momentáneamente antes de salir, generándose de manera frecuente un ligero frente salino, debido a esto es este vaso lagunar los valores de desviación estándar son tan variantes. En Tap se registraron valores intermedios (28.5 UPS) que evidencian influencia marina puntual desde el PI a través de una de las alcantarillas, pero también la entrega de agua desde aportes urbanos e industriales clandestinos de las zonas adyacentes o por escurrimientos pluviales de temporada. Los mayores valores de salinidad se registraron en el PI, con un ligero gradiente de incremento de E7 hacia E8 por la influencia de agua continental (residual y pluvial) desde el VG que se mezcla con agua marina que entra desde la bahía de Manzanillo a través del canal del ingreso al puerto (E8). Los valores detectados en las estaciones de los distintos vasos muestran variaciones amplias, en el VG son más amplias y aunque estas variaciones pueden registrarse en sistemas tropicales costeros similares durante un ciclo diurno esto dura solo un par de horas (Gonenc y Wolflin, 2004), mientras que en VG es algo permanente a lo largo del año lo que evidencia influencia antrópica que puede generar estrés fisiológico para la flora y fauna residente sobre todo en la parte interna del sistema, ya que sus valores son similares a los limnicos debido a los aportes de la planta de tratamiento.

El OD en las estaciones situadas dentro del VG mostraron valores hipóxicos entre 0.5 y 4.17mg/l en ambos extremos E1 y E6. Los valores más bajos se registraron en la parte interna (E1 y E2) debido a la influencia de las descargas de la planta de tratamiento, con un ligero incremento hacia la mitad (E3, E4) que pudo estar relacionado con mayor influencia marina por mezcla, para luego incrementar hacia E6 debido a la mezcla con agua marina proveniente desde el Puerto Interior. Su concentración evidencia la actividad bacteriana que utiliza este OD para degradar

la alta cantidad de material orgánico suspendido presente por el agua residual (E1 y E2), consume el OD y pone en estrés al sistema; lo cual disminuye hacia E6 debido por el intercambio mareal y mezcla debido a los gabiones de comunicación con el PI. En Tap su concentración fue variable, en ocasiones se presentaron concentraciones hipóxicas (0.5 mg/l) debido al aporte de descargas clandestinas de la zona urbano/industrial adyacente o la hojarasca que debe ser degradada debido a la vegetación adyacente, pero otras ocasiones se registraron valores altos (>5 mg/l) lo que se relacionó con la mezcla del agua que penetra desde el PI a través de la alcantarilla cercana al punto de monitoreo. En el PI se registraron los valores más altos (>7.0 mg/l) con un aumento de E7 a E8 debido a influencia desde el VG, lo cual se revirtió hacia E8 por influencia de agua marina a través del canal de comunicación con la Bahía de Manzanillo que diluye la cantidad de material para degradar en incrementa su concentración por presencia de agua marina. Las amplias variaciones detectadas en los distintos cuerpos reflejan sistemas alterados cuya baja disponibilidad puede generar alteraciones ecológicas debido a estrés fisiológico en su variación diurna según Gutiérrez-Mendiata et al., (2006).

La Conductividad mostró relación directa o positiva con la salinidad, valores más bajos en el VG se registraron en la parte interna donde hay descarga de agua residual o los escurrimientos pluviales de temporada lo que genera que la concentración de iones disueltos sea baja debido a la influencia de “agua dulce” y por tanto baja concentración de iones disueltos capaces de conducir electrones, lo que se revierte un poco hacia estaciones intermedias (E3 y E4) debido al frente salino ya descrito, para luego presentarse los valores más altos de este cuerpo en E6 por influencia de agua marina a su paso por los gabiones. En Tap su valor evidencia entrada de agua marina a través de la alcantarilla de intercomunicación y con esto un valor de 51.05 (mS/cm) pero en otras ocasiones aportes de agua dulce clandestinos y la entrada de agua pluvial de temporada (20 mS/cm). Por su parte en el PI por ser agua marina los valores fueron los más altos, ligeramente menores cerca de la descarga del VG (E7) debido al efecto del agua dulce, con un

incremento hacia E8 donde por la influencia del canal de acceso existe una total influencia marina. Los valores de este parámetro también indican que los registros en las estaciones dentro del VG no corresponden a los de un sistema costero-salobre sino a los de un sistema límnic lo que puede poner en estrés a la flora y fauna del VG (Guzmán-Colis, 2011) y se relaciona principalmente con la descarga de agua residual y los aportes pluviales de temporada.

El pH en el VG mostró relación directa con la salinidad en su parte interna debido a los aportes de agua residual y aportes de agua dulce de temporada, y en menor grado con los sólidos suspendidos debido al efecto de mezcla de agua salina registrado en las estaciones intermedias (E3 y E4). La presencia de agua residual principalmente en su zona interna (E1 y E2) marcó los valores de 7.6 por la mayor influencia de agua de la planta de tratamiento de Salagua, luego en E3 se registró el máximo (8.26) debido a la cantidad de material resuspendido del sedimento por efecto salino y en E6 sus valores fueron de 8.2 debido a la influencia mareal a través de los gaviones. En Tap (E9) se registraron valores que muestran influencia de agua marina a través de la alcantarilla que mantiene a este pequeño cuerpo de agua en comunicación con el PI (8.1) así como alrededor de 7.7 que son indicativos de escurrimientos de agua continental pluvial o desde la zona portuaria adyacente. En el PI en algunos meses se registró ligera variación entre E7 (8.0) y E8 (8.2) debido a la influencia de la circulación interna marina con mayor capacidad amortiguadora por partes de los carbonatos presentes en el medio marino debido a la influencia mareal a través del canal de navegación (Herrera-Silveira, 2006). La variación registrada en los distintos cuerpos es evidencia de la influencia antropogénica debido actividades antropogénicas cuya influencia se alcanza a detectar en el recinto portuario como evidencia de aportes continentales.

Respecto al Cloro libre residual en el VG fue detectado entre E1 y E6 con valores entre 0.001 y 0.15 mg/l con un máximo en la porción intermedia lagunar (E4 0.2 mg/l) debido al efecto salino ya descrito, de esta manera el máximo pudo ser reflejo de la ralentización en el proceso de circulación detectado debido efecto de mezcla de ambos tipos de agua lo que pudo originar la depositación del material

orgánico que se acumula en esta zona, que después por efecto de la cuña salina desde la zona de gabiones (E6) genera resuspensión de sedimentos lo que evidencia los aportes y acumulación por los aportes de agua residual desde la PTAR Salagua y posterior liberación desde el material orgánico lábil. En E9 (Tap) su detección en algunos meses no fue posible, sin embargo, en abril de 2020 se detectó el máximo de todo el muestreo en esta zona lo que puede estar relacionado con el aporte de aguas grises desde las zonas urbano/industriales aledañas como producto de limpieza. En el PI se detectaron concentraciones bajas pero variables entre ambas estaciones lo que puede ser influencia de la circulación interna y la dilución de este parámetro por efecto de la circulación interna. Si bien la presencia de este elemento se detectó a concentraciones bajas, son un indicativo de las actividades antropogénicas que al ser constantes a lo largo del tiempo pueden llegar a afectar a la biota de estos cuerpos costeros por bioacumulación (Villanueva, 2001).

Los SST en el VG durante el periodo de estudio mostraron relación con la batimetría, la dinámica, las escorrentías y la presencia de maquinaria de dragado, por lo cual no fue posible encontrar una tendencia espaciotemporal y si mucha variabilidad entre estaciones. Respecto a lo primero, la parte interna debido a que está alejada del principal canal de circulación permite la acumulación de este material en el sedimento y luego el viento a través de corrientes puede resuspenderlo hacia la columna de agua y alcanzar valores superiores a los 150 mg/l y las desviaciones estándar más amplias. En las estaciones intermedias a pesar de mayor profundidad los valores suelen ser superiores a 100 mg/l como reflejo de las descargas urbanas y la dinámica interna que permite la resuspensión de material sedimentario por el efecto del frente salino ya descrito más lo que es aportado y el material orgánico que se acumula de la vegetación circundante, además de que esta zona intermedia fue una de las afectadas por las actividades de dragado y su carga limitó la penetración de luz a través de la columna de agua y con esto pudo inhibir la actividad fotosintética y se relaciona con la zona hipóxica lagunar. Hacia la zona de influencia marina a través de los gabiones que conectan

con el puerto (E6) los valores fueron ligeramente menores en época de estiaje debido a la disminución de arrastre de material, sin embargo, su presencia con valores alrededor de 60 mg/l son una evidencia del impacto al sistema lagunar. En Tap (E9) sus valores fueron muy variables llegándose a reportar el valor máximo de todo el ciclo de muestreo (180 mg/l en enero de 2020), la variabilidad y los valores tan altos reportados pudieron estar relacionados a la acumulación de material orgánico (hojarasca del manglar adyacente principalmente) e inorgánico suspendido (limos) que se generan con resuspensión desde el sedimento por la penetración de la marea a través de la alcantarilla de comunicación con la zona portuaria. En el PI los valores presentaron un gradiente de incremento de E7 a E8 lo que corrobora el efecto de mezcla por la entrada de agua marina a través del canal portuario como en otros sistemas costeros (Medina-Galván et al 2019).

Los Sólidos Sedimentables en el VG se relacionaron de manera directa con los SST debido a su permanencia por su baja comunicación con el resto del sistema como ya ha sido descrito, y en E2 por la influencia de la recarga de la PTAR de Salagua se registraron valores altos 0.42 mg/l/h que pudo relacionarse con resuspensión de material sedimentado que fue dragado hacia la parte alta-intermedia del cuerpo lagunar en febrero de 2020, lo mismo ocurrió, aunque con menor intensidad hacia E6 por la mezcla con agua salina a través de los gabiones de intercambio con el PI en meses como agosto y noviembre de 2019. En PI en varios meses no se detectaron lo que habla de la dilución por entrada de agua marina y porque una vez que entran a la columna de agua marina; mientras que en Tap (E9) se registró el valor máximo del monitoreo lo que habla de la influencia del material orgánico e inorgánico resuspendido desde el sedimento debido a la entrada de agua marina por la acción de la marea a través de la alcantarilla como sucede en otros ambientes costeros según López-Ortega et al., (2012).

El Material flotante durante el periodo de estudio de forma general se presentó casi en las mismas estaciones que los SST, hacia parte interna (E1 y E2) y la parte final (E5) relacionado los aportes y arrastre desde la planta de tratamiento, los arrastres pluviales y el material orgánico de la periferia como ramas y

hojarasca flotante, restos o fragmentos de plásticos de tamaño mediano que puede estar ligada con aportes urbanos eólicos que se mantienen por el efecto con la mezcla de agua salina. Algo parecido ocurrió con su presencia en Tap en el segundo semestre del monitoreo en relación a saltación eólica desde zona aledañas urbanizadas. En el PI se detectó por igual en las estaciones E7 y E8 lo que se relacionó con aportes industriales/urbanos y su posterior distribución debido a la entrada de agua a través del canal de comunicación con la bahía de Manzanillo por el efecto de circulación interna ya mencionado.

La DBO₅ en el VG mostró las mayores concentraciones puntuales que oscilaron entre los 20 y 98 mg/l, con un ligero patrón de incremento entre E1 y E6, lo que pudo estar dado por los aportes de material orgánico desde la planta de tratamiento y luego por la entrada de agua marina que incrementa la densidad del agua, lo que se relacionó con material resuspendido desde el sedimento debido al efecto de la mezcla entre la descarga de agua continental residual y el agua que entra a través de los gaviones (E6) y genera que haya acumulación de material orgánico suspendido que deba ser degradado generando mayor demanda de OD justo antes de abandonar este cuerpo lagunar. En Tap durante el periodo de estudio se reportaron concentraciones de hasta 85 mg/l como evidencia de posibles entradas clandestinas de agua gris desde la periferia urbana o portuaria que debe ser degradado por actividad biológica consumiendo el OD disponible como lo señala Barbier et al., 2011. En el PI la concentración de forma general presentó un gradiente de descenso de E7 a E8, lo cual indica una clara influencia antropogénica hacia el puerto que puede incluso llegar a la bahía de Manzanillo a través del canal de navegación, llegando reportar valores puntuales altos de hasta 92 mg/l en el mes de noviembre en E7 por su proximidad con el VG, lo cual es evidencia de alta carga de material orgánico que proviene del VG y de Tap (urbano/industrial) y que debe ser degradado por actividad biológica en su circulación hacia el mar adyacente.

Las G y A durante el periodo a reportar no presentaron las mayores concentraciones en el VG aunque si las variaciones más amplias, con máximos en

E2-E3 (16.2 mg/l) como una posible influencia del agua residual de la planta de tratamiento, luego de forma general hasta E6 las concentraciones disminuyeron (10 mg/l) y esta concentración fue repetitiva lo que se relaciona con entrada de agua marina más densa a través de los gabiones y una dilución; las estaciones intermedias presentaron valores que oscilaron los 14 mg/l debido a la acumulación momentánea de agua y material contenido en ella por el aumento de densidad que ocurre en esta zona como ya se ha mencionado. En Tap se presentaron valores similares la mayor parte del año (10 mg/l) aunque en los meses de agosto y septiembre de 2020 ocurrieron los máximos (22 mg/l) de todo el periodo de monitoreo lo que se relacionó con escurrimientos industriales desde los patios de contenedores adyacentes hacia este espejo de agua. Respecto al PI se detectaron valores similares en las estaciones E7 y E8 y normalmente los más bajos de los monitoreos mensuales debido a un efecto de dilución y al mismo tiempo por la adsorción del material graso sobre las partículas y su posterior depositación ya que las sales disueltas presentes en el agua marina pueden hacer que este material flocule, sin embargo su presencia es evidencia de influencia y contaminación desde el VG o las áreas urbanas portuaria/industriales por escurrimientos o el lavado de contenedores cuyas descargas pueden estar canalizadas a través de alcantarillas hacia el PI. Aunque no se sobrepasen los 25 mg/ (valor límite máximo permitido), su concentración es indicativa de actividades humanas y su presencia en la capa superficial de la columna de agua puede impedir funciones de difusión de OD y con esto afectar el proceso de intercambio atmosférico de gases y con esto la respiración como lo ha expuesto Rodríguez-Heredia y Santana-Gómez, 2017.

Durante el año de monitoreo los metales pesados, en la columna de agua en todas las estaciones mostraron amplios rangos de concentración, los más abundantes fueron en el siguiente orden el Pb, CrT, Ni, Cd, Zn, Cu (entre 0.15 y 0.65 mg/l) y los de menor concentración el, Hg y As (entre 0.001 y 0.007 mg/l). Las mayores concentraciones de los metales se encontraron en el VG, excepto para el Hg que fue en Tap, algunos de ellos con una clara relación a actividades urbanas

como el CrT o Cd a través del aporte del agua residual de la PTAR de Salagua y otras que se relacionan con los sedimentos provenientes de cuencas altas como el Ni y el Cu producto de la actividad minera o del arrastre eólico o pluvial de algunos patios de servicio. Es preciso mencionar que las bajas concentraciones pudieron estar relacionadas con su quelación o “secuestro” por el material orgánico coloidal presente o disponible en la columna de agua el cual es elevado, lo cual no es indicativo de su ausencia. En Tap en agosto, septiembre y en menor escala en octubre (época de lluvia) se detectaron los valores máximos de Hg (hasta 0.65 mg/l) lo que puede estar relacionado por los escurrimientos desde los patios de contenedores aledaños al puerto industrial. En el PI se detectaron las más bajas y similares concentraciones debido al efecto de dilución y posible quelación con sales marinas como ya se ha mencionado, sin embargo su detección es evidencia de actividad humana debido a las escorrentías desde la zona urbana o las actividades portuarias adyacentes traduciéndose en indicadores de contaminación por actividad industrial cuya concentración puede bioacumularse y generar efectos ecomórficos en distintas plantas u organismos (Bejarano-Ramírez et al. 2017).

Respecto al agua intersticial, los metales pesados, grasas y aceites y nutrientes, un comportamiento muy similar al agua superficial. En relación a los parámetros fisicoquímicos, se considera que en el agua intersticial de los manglares del Pacífico en general:

- i) se presentan variaciones en los parámetros físico-químicos entre la marea baja y alta, según la estación de muestreo y de acuerdo con la influencia del mar o de las descargas de agua dulce y que
- ii) la salinidad puede variar en algunos casos desde 2 UPS hasta 30 UPS o más, alcanzando valores promedios de 9 UPS y 26,2 UPS (Guevara-Mancera y Pinto-Nolla, 1998; Sánchez-Páez, 1998),
- iii) que los sedimentos en sistemas de manglar son generalmente anóxicos en la capa muy próxima a la superficie, debido al consumo del oxígeno por la oxidación microbiana de la materia orgánica y a la pobre difusión del

oxígeno en el perfil sedimentario pues en estos sedimentos anóxicos, es donde la actividad microbiana tiende a degradar materiales de alto peso molecular, produciendo ácidos orgánicos que disminuyen el pH del agua de poro (Malcolm et al., 1998).

- iv) las raíces de los mangles se encuentran parcialmente sumergidas en el sustrato, siendo la parcial aérea que sobresale, la encargada de captar parte del oxígeno que necesitan para poder vivir. Tienen además estructuras en las hojas llamadas hidátodos por las que pueden expulsar el exceso de sal, la cual es la parte final del proceso en el que las raíces captan los nutrimentos del agua de mar, en donde la sal circula por el interior de la planta hasta llegar a las hojas, para ser expulsada y acumularse en su superficie. Cuando la cantidad de sal es muy elevada las hojas se caen, el aspecto de las hojas también tiende a ser xerófilo, esto significa que pueden determinar el control en la transpiración.
- v) en este sentido, el exceso de sales que se puede acumular en la base del mangle también es controlado por la frecuencia y extensión de la marea. Por lo tanto, en costas húmedas el estrés osmótico en el ecosistema de manglar, está en función de las mareas y precipitaciones o escurrimientos que condicionan la concentración de nutrientes y la variación de los factores fisicoquímicos en el agua intersticial.

Bajo estos argumentos, en el periodo estudiado (agosto 2019-julio 2020) los parámetros físico-químicos medidos en agua intersticial en la Laguna del Valle de las Garzas, Tapeixtles y el Puerto interior, a pesar de la significativa afectación antropogénica y del comportamiento climático, como un factor integrado en la dinámica lagunar, presentaron valores a los cuales las especies de mangle presentes en el área de estudio están adaptadas y no existe impedimento para su conservación en áreas de salinidad elevada (32.2 UPS), así como para su desarrollo en sitios con salinidad menor (0.1 UPS).

VI Tendencia de la Calidad Ambiental

Los monitoreos mensuales entre agosto de 2019 y julio de 2020, indican que los parámetros fisicoquímicos medidos en la columna de agua superficial en los distintos cuerpos, presentaron un estado de alteración debido a aportes urbanos a través de escorrentías continentales urbanas y por distintas actividades antropogénicas como la descarga de agua residual de la principal planta de tratamiento de la ciudad o por la actividad industrial/portuaria. Estos aportes directos, controlados o clandestinos con elevada carga de material orgánico generan condiciones de eutrofización por la cantidad de nutrientes (N, P, Si) que llegan a detectar y se relacionan con un ambiente hipóxico que colocan al VG como un cuerpo costero de una calidad hipereutrófica.

El VG también se ve alterado por actividades de dragado que se traducen en valores altos de material orgánico previamente depositado (sólidos en todas sus formas), así como por limos y arcillas que afectan las propiedades fisicoquímicas de su columna de agua. Lo anterior debido al proceso de azolvamiento acelerado por aportes continentales desde la cuenca alta a través del arroyo Punta de Agua que descarga a este sistema costero, que aunado a los aportes de agua residual hacia este cuerpo lagunar hacen que actúe como un estanque de oxidación con baja salinidad por su bajo recambio mareal debido a la existencia de gabiones en su límite con el Puerto Interior, lo cual pone en estrés fisiológico a la flora y fauna, lo que se refleja en una baja biodiversidad de especies. Lo anterior hace que la laguna del VG presente un mayor deterioro ecológico debido a su escasa hidrodinámica interna respecto a la laguna de Tapeixtles o el Puerto Interior.

Tapeixtles muestra signos de alteración por descargas de agua residual clandestinas o difusas desde escurrimientos urbanos adyacentes o desde los patios de contenedores aledaños, lo que se acentúa por su limitada influencia y circulación marina que ocurre a través de alcantarillas con el PI por lo cual los valores de los parámetros fisicoquímicos no son los óptimos para la flora y fauna,

esto hace que presente un menor estado de alteración antrópica en comparación al VG y su calidad ambiental oscila entre un cuerpo eutrófico e hipereutrófico.

El Puerto Interior en su parte próxima al VG presenta alteración en los parámetros fisicoquímicos como consecuencia de la influencia que recibe en esta zona y lo llevan a clasificar como un cuerpo eutrófico, que, por influencia mareal y factores internos de circulación está menos alterado hacia el canal de navegación que conecta con la bahía de Manzanillo mostrando un gradiente de dilución en sus concentraciones, y por ende, actúa como una fuente de distintas sustancias antropogénicas hacia esta bahía.

VII Sugerencias para Mejorar la Calidad Ambiental

- En la zona periférica a la laguna del VG y Tap construir un sistema de drenaje pluvial operativo alternativo al de saneamiento, y este último sea actualizado para que atienda toda la población, que sean reparadas sus fugas lo cual asegure que las aguas residuales sean conducidas y tratadas de manera adecuada. El contar con un drenaje pluvial evitará que esta agua se contamine en su trayecto o que las arenas y basura obstruyan su canalización y después de un evento de lluvia copiosa ocurran inundaciones en calles y avenidas que pongan en riesgo la salud de la población.
- Que se actualice, corrija y amplíe el drenaje actual de saneamiento y se construyan dos (2) cárcamos de rebombeo, uno localizado en la periferia de la laguna del VG entre los Barrios 3 y 5, y el otro en la periferia de Tap, ambos cárcamos deberán asegurar que el 100 % de las aguas residuales se envíen hasta la PTAR de Salagua para ser tratadas según la normativa ambiental vigente como lo establece por ejemplo, la Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 y la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

- Evitar las descargas de agua residual clandestinas mediante la mejora del sistema de alcantarillado de la ciudad, separando las descargas residuales de las pluviales, pues ambas llegan a estos sistemas lagunares o se contaminan en su trayecto.
- Que las instalaciones de la PTAR de Salagua sean reconvertida en una planta de tratamiento de tipo terciario, para que los excedentes de materia orgánica, sólidos, nutrientes, grasas y aceites, así como metales pesados, sean removidos y luego dispuestos según la normativa mexicana ambiental vigente, y que sus vertidos no sigan eutrofizando los cuerpos de agua mencionados e incluso puedan ser reutilizados para el riego de parques y jardines de la ciudad.
- Realizar un seguimiento continuo de parámetros fisicoquímicos en los canales pluviales que desembocan a las lagunas del Valle de las Garzas, Tapeixtles y el Puerto Interior para registrar cambios significativos.
- Prevenir el azolve de la laguna del Valle de las Garzas y por ende la presencia de sólidos en todas sus formas mediante un programa de reforestación de la cuenca alta del arroyo Punta de Agua e implementar un manejo del arrastre de sedimentos.
- Recuperar el espejo de agua lagunar para asegurar la calidad de los parámetros fisicoquímicos de un cuerpo costero marino y por ende los servicios ambientales de la Laguna del Valle de las Garzas.
- Realizar obras ingenieriles para aumentar el intercambio mareal entre la laguna del Valle de las Garzas y el Puerto Interior para recuperar las características de un cuerpo salino costero.
- No permitir descargas urbanas clandestinas ni industriales hacia la laguna de Tapeixtles, en su caso canalizarlas al sistema de drenaje hasta una planta de tratamiento.

- Evitar escurrimientos sin tratamiento adecuado de los patios de contenedores hacia la Laguna de Tapeixtles.

VIII. Conclusiones

Durante el año de monitoreo ambiental, la parte superficial de la columna de agua de los distintos cuerpos de agua monitoreados se presentaron las siguientes características:

- Elevada concentración de N, P y Si que permiten clasificar al Valle de las Garzas (VG) como un cuerpo de agua hipereutrófico, y a Tapeixtles (Tap) y al Puerto Interior (PI) como eutróficos producto de descargas antropogénicas o portuarias a pesar del efecto de dilución por intercambio mareal, representando una fuente de estos elementos hacia la zona costera adyacente.
- La temperatura presentó valores más altos en partes internas del VG relacionadas con la climatología local, menor profundidad, mayor tiempo de residencia y bajo intercambio de agua, lo que se repite en Tap mientras que en el PI los valores presentan un gradiente hacia su canal de entrada debido intercambio mareal y el efecto de dilución.
- La salinidad en el VG se relacionó con las descargas provenientes de la planta de tratamiento de Salagua, así como por la reducida influencia marina a través del canal de comunicación con el PI, lo cual pone en un estrés biológico a las especies vegetales y animales residentes. Tap muestra variabilidad debido a la influencia marina a través de la alcantarilla de comunicación. En el PI los valores son similares a los marinos con disminución puntual hacia la parte interna debido a los aportes del VG.
- La conductividad muestra tendencia similar a la salinidad y corrobora la entrada de agua continental vía descargas de la planta de tratamiento en el

VG o descargas clandestinas (Tap) cuya influencia se nota en la parte interna del PI.

- El OD mantiene valores hipóxicos en el VG debido a su agotamiento casado por los aportes de agua residual desde la PTAR Salagua que la hacen funcionar como fosa de oxidación. En Tap y PI su concentración es mayor pero baja debido a presencia de material orgánico, escurrimientos o vertidos difusos clandestinos lo que pone en estrés fisiológico a los organismos sobre todo bentónicos en su interior.
- El pH muestra la entrada de agua urbana en la parte interna del VG y en menor proporción en Tap debido a influencia del PI, que mantienen valores similares a los marinos por su comunicación con la bahía de Manzanillo.
- El Cl₂ libre residual, aunque no muestra altas concentraciones por su agotamiento o desprendimiento hacia a atmosfera, es indicativo de contaminación antropogénica en los tres cuerpos de agua monitoreados.
- Los SST presentan mayores valores en zonas someras o internas del VG y aunque no fueron superiores a los 150 mg/l que marca la Norma, son indicativos de alteración urbana al igual que en Tap y en PI que incluso pueden llegar hasta la bahía de Manzanillo.
- Los SS están representados por minerales provenientes de la cuenca alta y por material orgánico previamente sedimentado que se mantiene suspendido lo que evidencia actividad antrópica.
- El Material Flotante está presente en la parte interna del VG debido a la vegetación circundante y a la basura plástica urbana lo que es evidencia de la influencia antropogénica.
- La DBO₅ muestra valores que son evidencia de actividades antrópicas que aportan material que debe ser degradado, generando estrés biológico por

consumo de OD en los distintos cuerpos lagunares monitoreados, lo que es más acusado en el VG.

- Las GyA mostraron valores asociados a contaminación urbana e industrial desde zonas aledañas, por aporte de agua residual en el VG, en el PI y en Tap por el lavado y arrastre de material desde los patios de contenedores aledaños y zonas urbanas.
- Los Metales pesados en la columna de agua como el CrT y Ni muestran influencia de asentamientos urbanos y aportes sedimentarios al VG, aunque las bajas concentraciones detectadas en los otros metales no descartan la influencia urbana o portuaria debido a escurrimientos difusos que son detectados incluso en el PI y Tap donde la actividad portuaria puede ser su principal fuente y se llegaron a detectar valores altos de Hg.

Para los parámetros monitoreados en el agua intersticial:

- En general los metales pesados, grasas y aceites y nutrientes, en el agua intersticial presentaron un comportamiento muy similar al agua superficial.
- En el área de estudio no existe impedimento para la conservación de mangle en áreas de salinidad intersticial elevada (32.2 UPS), así como para su desarrollo en sitios con salinidad intersticial menor (0.1 UPS).

VII. Bibliografía

- Aldeco, J., & Salas-de León, D. A. (1994). Lagunas costeras y el litoral mexicano: física. In G. De la Lanza-Espino & C. Cáceres-Martínez (Eds.), *Lagunas costeras y el litoral mexicano* (pp. 75-126). Baja California Sur: Universidad de Baja California Sur.
- American Public Health Association (APHA). (1990). Standard Methods for the examination of water and wastewater, 18th edn., Washington, DC, 1942 pp.
- Barbier, E. B., Hacker, S. H., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169-193.
- Bejarano-Ramírez, Jose M. Jurado, R. Muñoz-Valencia, Á. Alcazar, Silvia G. Ceballos-Magaña, A. Olivos-Ortiz & O. Rangel. 2017. Comparative study of As, Cd, Cu, Cr, Mg, Ni, Pb and Zn concentrations between sediment and water from estuary and port. *International Journal of Environmental Science and Technology*. Elsevier. DOI 10.1007/s13762-016-1235-5
- de Wit, R. (2011). Biodiversity of coastal lagoon ecosystems and their vulnerability to global change In O. Grillo & G. Venora (Eds.), *Ecosystems biodiversity* (pp. 29-40).
- Contreras-Espinoza F. (1993). Ecosistemas costeros mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Universidad Autónoma Metropolitana, México
- Duck, R. & Figueiredo da Silva, J. (2012). Coastal lagoons and their evolution: A hydromorphological perspective. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 110. 2–14. 10.1016/j.ecss.2012.03.007.
- Gonenc, I. E. y Wolflin, J. P. (2004). Coastal lagoons: ecosystem processes and modeling for sustainable use and development: CRC Press.
- González-Dávila, R. P., Ventura-Houle, R., De la Garza-Requena, F. R., & Heyer-Rodríguez, L. (2019). Caracterización fisicoquímica del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas-México-Physicochemical water

characterization of La Vega Escondida Lake, Tampico, Tamaulipas-México. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(1), 01-31.

Grasshoff K. M. Ehrhardt y K. Kremling. (1983). *Methods of Seawater Analysis*. 2 ed. Verlag Chemie. Germany. 419 pp.

Gutiérrez Mendieta, F. J., Varona-Cordero, F. y Contreras Espinosa, F. (2006). Caracterización estacional de las condiciones fisicoquímicas y de productividad primaria fitoplanctónica de dos lagunas costeras tropicales del estado de Chiapas, México. *Hidrobiológica*, 16(2), 137-146.

Guzmán-Colis, G. (2011). Evaluación espaciotemporal de la calidad de agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(2): 89-102.

Herrera-Silveira, J. A. (2006). Lagunas Costeras de Yucatán (SE, México) Investigación, Diagnóstico y Manejo. *ECOTROPICOS* 19 (2): 94-108 2006, 19(2), 94-108.

Lacerda L.D., J.E. Conde, B. Kjerve, R. Álvarez-León, C. Alarcón & J. Polanía. (2002). *American Mangroves*, p. 1-62. In L.D. Lacerda (ed.). *Mangrove Ecosystem function and management*. Springer, Berlin. Alemania.

López Ortega M., Pulido Flores G., Serrano Solís A., Gaytán Oyarzún J.C., Monks Sheets W.S. y López Jiménez M.A. (2012). Evaluación estacional de las variables físicoquímicas del agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (3): 713-719.

Medina-Galván, J., Audelo-Naranjo, J. M., & Arreola-Lizárraga, J. A. (2019). Importancia del monitoreo de procesos biogeoquímicos en lagunas costeras: Área Natural Protegida estero El Soldado como estudio de caso. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27 (77), 12-18.

Nixon, S. W. (1981). The flux of carbon, nitrogen and phosphorus between coastal lagoons and offshore waters. UNESCO Technical Papers in Marine Science (UNESCO). no. 33.

Rodríguez-Heredia D. y Santana-Gómez M.A. 2017. Evaluación de la contaminación por grasas y aceites en balnearios de la Bahía de Santiago de Cuba. Revista de Tecnología Química. 37(2): 48-57.

Solorzano L. (1969). Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite method. Limnology and Oceanography. 14(5). pp: 799-801.

Strickland J.D. and T.R. Parsons. (1972). A practical handbook of sea water analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada. pp: 184.

Villanueva C, Kogevinas M, Grimalt J. (2001). Cloración del agua de bebida en España y cáncer de vejiga. Gaceta Sanitaria. 15(1):48-53.