

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS



CALIDAD DEL AGUA Y TRANSPORTE DE NUTRIENTES EN EL ESTERO SAN CARLOS, B.C.S., MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA:

RAFAEL ERNESTO CANEVA SILVA

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DE 2017



SIP-14 BIS

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 27 del mes de Noviembre del 2017 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"CALIDAD DEL AGUA Y TRANSPORTE DE NUTRIENTES EN EL ESTERO

SAN CARLOS, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

Presentada por el alumno:

CANEVA

Apellido paterno

SILVA

materno

RAFAEL ERNESTO

nombre(s)

Con registro:

A	1	6	0	9	3	6
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

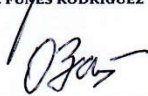
Directores de Tesis


DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE
Director de Tesis


DRA. ANA JUDITH MARMOLEJO RODRÍGUEZ
2ª. Directora de Tesis


DR. RENÉ FUNES RODRÍGUEZ


DR. SERGIO FRANCISCO MARTÍNEZ DÍAZ

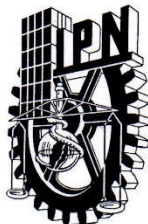

DR. OLEG ZAITSEV VIKTOROVICH

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 30 del mes de Noviembre del año 2017

El (la) que suscribe ING. RAFAEL ERNESTO CANEVA SILVA Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A160936 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE Y DRA. ANA JUDITH MARMOLEJO RODRÍGUEZ

y cede los derechos del trabajo titulado:

"CALIDAD DEL AGUA Y TRANSPORTE DE NUTRIENTES EN EL ESTERO

SAN CARLOS, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: recaneva.sa@gmail.com - rcduartt@gmail.com - amarmole@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

ING. RAFAEL ERNESTO CANEVA SILVA

Nombre y firma del alumno

"El hombre nunca sabe de lo que es capaz hasta que lo intenta"

Charles Dickens

Dedicatoria

Al creador Dios fuente de todo, a México un país maravilloso son los mejores anfitriones del mundo, A mi hija Angie Caneva motor de mi vida, a mis sobrinas Nicolle y Sofia, a ti padre que estas en mi corazón Rafael Caneva Sanchez, a ti vieja hermosa Emilse Silva pilar de valores inquebrantables, al señor Ubaldo Espinoza con sus palabras de aliento, a mis hermanos Liliana Caneva, Liseth Caneva, Mayra Caneva y Carlos Polo, a mis padrinos Magaly y Julio, al que me dio el voto de confianza mi gran amigo Frank Olaya a mi familia en México mi llave y guía el pollo (Juanca), Tamayo, Karen, Yuliesky, Sergio, Julio, Pipe, Juaanda, Roman, Miriam, Jesica Erazo, tambien a personas que algùn momento me apoyaron Gaby Ruiz, Yuriko, Olivia , Mary Pau, Jan, a mi abuela estrella solitaria que formaste una constelaciòn unida a ti, a mis tios, primos y familia en general , a aquellas personas que siempre me apoyan y los que no tambièn porque hoy soy mas fuerte.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) por permitirme realizar el presente trabajo en sus instalaciones y análisis en sus laboratorios.

A los Dres. Rafael Cervantes y Ana Judith Marmolejo por su apoyo y dirección durante la realización del trabajo, así como a los miembros del Comité Tutorial por su orientación e ideas aportadas; los Dres. Silverio López, René Funes Rodríguez, Sergio Martínez y Oleg Zaitsev.

Al laboratorio de química orgánica específicamente a la Dra. Griselda Rodríguez por su disposición para el uso del laboratorio, así como a los Ing. Francisco, M.C. Sonia, M.C. Víctor Carrasco por sus ayudas y consejos e ideas.

Al departamento de Oceanología específicamente a la Dres. Ángel Jiménez Illescas, Guillermo Martínez por su disposición para el apoyo en manejo de equipos y datos, así como a los compañeros Gerardo Williams, Cesar Reyes, Martin Bañuelos y Edith Soto por sus aportes.

A la planta de tratamiento de aguas residuales de la Paz, Baja California Sur (SAPA) por permitirme realizar análisis en sus laboratorios. A la ing. Bioquímico Berenice Martínez Castro encargada de análisis fisicoquímicos al igual que todo el personal de la planta gracias por apoyarme en la calidad de las técnicas y la confiabilidad de las mismas.

Al Proyecto SIP-IPN titulado. "Calidad del Agua y transporte de nutrientes en el Estero San Carlos, B.C.S., México" (SIP-20164796)

Al laboratorio Lima S.A.S en Colombia por su apoyo en enseñarme el principio de las técnicas analíticas.

Al M.C.Felipe Garcia, Biol. Rocio Gonzales, Señora Evia, Biol. Arturo Bravo, Ing. Michelle Vega, Ing. Darío Jiménez, Dr. Pedro González y su familia por el apoyo en San Carlos para el laboratorio improvisado, Biol. Jan González, Biol. Eugenio García, M.C. Miriam Zumaya, Biol. Juan Pérez, Mat. Frank Olaya, Geo. Yuliesky Garcés por el apoyo en campo e intelectualmente eternamente agradecido.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	13
2. ANTECEDENTES	16
2.1. Calidad del agua	16
2.2. Nutrientes	17
2.3. Transporte de Nutrientes.....	18
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
4. JUSTIFICACIÓN.....	18
5. HIPÓTESIS	19
6.OBJETIVOS	20
6.1. Objetivo General	20
6.2. Objetivos específicos	20
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
7.1. Área de estudio	20
7.2. Trabajo de campo.....	22
7.2.1. Calidad del Agua.....	24
7.2.2. Transporte de nutrientes	24
7.3. Trabajo de Laboratorio.....	27
7.3.1. Procesamiento de muestras.....	27
8. RESULTADOS	37
8.1. Calidad del Agua.....	37
8.2. Nutrientes.....	53
8.3. Transporte de nutrientes	60
9. DISCUSIÓN	64
10. CONCLUSIONES	74
11. RECOMENDACIONES	75
12. BIBLIOGRAFIA	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Área de estudio Estero San Carlos	22
Fig. 2. Sitios de muestreo para calidad del agua primera campaña.	23
Fig. 3 Sitios de muestreo para calidad del agua segunda campaña	24
Fig. 4. Mapa batimétrico de la boca del Estero San Carlos.....	34
Fig. 5 A. Valores de pH	38
Fig. 6A. Valores de pH.....	40
Fig. 7 A. Valores de concentración de salinidad	41
Fig. 8A. Valores de concentración de SAAM	42
Fig. 9 Valores de concentración de aceites y grasas.	43
Fig. 10A. Valores de concentración de SST	44
Fig. 11A. Valores de concentración de OD	45
Fig. 12 A. Valores de concentración de nitrito	46
Fig. 13A. Valores de concentración de nitrato.....	47
Fig. 14A. Valores de concentración de amonio	48
Fig. 15A. Valores de concentración de fosfato	49
Fig. 16A. Valores de concentración de Cl a.....	50
Fig. 17. Comportamiento de las variables hidrológicas primera campaña.....	55
Fig. 18. Comportamiento variables hidrológicas primera campaña	56
Fig. 19. Comportamiento variables hidrológicas segunda campaña	58
Fig. 20. Comportamiento variables hidrológicas segunda campaña	59
Fig. 21. Velocidad corriente estero San Carlos	60
Fig. 22. Dirección corriente estero San Carlos	61
Fig. 23. Promedio de velocidad y dirección del estero San Carlos	61
Fig. 24 Volúmenes de agua en el Estero San Carlos primer campaña.....	62
Fig. 25 Volúmenes de agua en el estero san Carlos segunda campaña.....	62
Fig. 26 Sección transversal muelle, primera campaña.....	63
Fig. 27 Sección transversal muelle, segunda campaña.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de Evaluación de Impacto primera campaña	51
Tabla 2. Matriz de Evaluación de Impacto primera campaña.	52
Tabla 3. Matriz de Impacto segunda Campaña.....	53
Tabla 4. Transportes netos de Nitrito, Nitrato, Amonio, Fosfato y Clorofila a de la primera campaña	64
Tabla 5. Transportes netos de Nitrito, Nitrato, Amonio, Fosfato y Clorofila segunda campaña	64

GLOSARIO

Halófilo: Dicho de una planta que vive en un medio donde abundan las sales.

Marismas: Terrenos bajos y pantanosos que inundan las aguas del mar.

Producción Primaria: Es la cantidad de energía acumulada como materia orgánica por unidad de superficie o volumen en un tiempo determinado. Representa el flujo de energía que recorre el ecosistema o cada nivel trófico.

Modelo Euleriano: La especificación euleriana del campo de flujo es una forma de mirar el movimiento del fluido que se centra en lugares específicos en el espacio a través del cual fluye a medida que pasa el tiempo.

Oligohalinos: son una medición de la cantidad de sal que está disuelta en un líquido. Concretamente los oligohalinos miden cantidades de sal disuelta que oscilan desde 0 hasta el $3 \times g L^{-1}$.

Hiperhalinos: Cuerpo de agua de salinidad excesiva.

Surgencia Costera: Son movimientos ascendentes mediante los cuales las aguas de los niveles subsuperficiales son llevadas hasta la superficie, desde profundidades generalmente menores de 100 metros, y removidas desde el área de transporte por el flujo horizontal, produciéndose así un aporte de nutrientes a las aguas superficiales empobrecidas por el consumo biológico.

Margen Intermareal: Es la porción de costa entre la punta de la pleamar más alta en la orilla y la posición más baja la marea baja.

NOM-001: Norma Oficial Mexicana-Semarnat-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Criterios Ecológico (CE-CCA-001/89) : Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Aguas CE-CCA-001/89.

Variable Ambiental: han sido agrupadas en las áreas temáticas hidrología, calidad del agua, suelos, geodinámica, biota y aspectos socioeconómicos. El propósito de la evaluación ambiental es determinar los efectos de las actividades propuestas sobre dichas variables y cómo dichos efectos pueden transmitirse a otras variables a través de las interacciones existentes entre ellas.

Parámetro Ambiental: Los parámetros ambientales permiten conocer las condiciones del agua, aire, suelo y de los ecosistemas. Estos valores pueden ser resumidos en indicadores que permitan alcanzar un mejor entendimiento del estado del ambiente.

Calidad del agua: El término calidad del agua es relativo, referido a la composición del agua en la medida en que ésta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas. Como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo, sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada. De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua variarán dependiendo de si se trata de agua para consumo humano, para uso agrícola o industrial, para recreación.

Reflujo: Movimiento de descenso de la marea.

Flujo: Movimiento de ascenso de la marea.

RESUMEN

En las últimas décadas los impactos de la actividad antropogénica han aumentado significativamente en las zonas costeras, afectando con sus desechos la Calidad del Agua Marina (CAM). El poblado de Puerto San Carlos, B.C.S., no cuenta con servicio de alcantarillado público ni planta de tratamiento para sus aguas residuales, generando una problemática con sus vertimientos al mar. El objetivo del estudio fue analizar la CAM y el transporte de nutrientes en la boca del Estero San Carlos. En los periodos del 11 al 14 octubre del 2016 (otoño) y del 27 al 30 junio 2017 (verano) se muestrearon 8 sitios en el interior del estero en dos ocasiones y 3 sitios en una sola ocasión con el fin de analizar la CAM, también se muestreo en dos ocasiones sobre un sitio fijo para estimar el transporte de nutrientes. La CAM se evaluó cuantificando los parámetros coliformes fecales (método Coli-20), detergentes, aceites y grasas, pH, oxígeno disuelto y nutrientes utilizando los métodos estándar. El transporte de nutrientes se realizó tomando muestras de la superficie cada 2 h y durante un período de 64 y 54 horas continuas para el primer y segundo muestreo respectivamente. La amplitud, velocidad y dirección de la corriente se midió con un correntómetro InterOcean-S4. Los coliformes fecales del estero presentaron un valor promedio de 1011 (NMP/100ml) para todo el estero, el pH fue la única variable que presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre estaciones del año, los nutrientes promedio (nitritos, nitratos, amonio y fosfato) sobrepasaron los límites permisibles de los Criterios Ecológicos CE-CCA-001/89 en las dos campañas. El transporte de nutrientes presentó una exportación de nitrógeno inorgánico disuelto y fosfato desde el estero hacia el complejo lagunar en ambas campañas en épocas de otoño y verano. Según las normas oficiales y criterios ecológicos, los coliformes fecales y los nutrientes rebasan los límites permitidos para agua marina indicando una mala calidad del agua mientras que el resto de los parámetros fisicoquímicos cumplen con la NOM-001 en todos sus usos.

ABSTRACT

In the last decades the impacts of anthropogenic activity have increased significantly in the coastal zones, affecting with the human waste the Quality of the Marine Water (QMW). The town of Puerto San Carlos, BCS, does not have public sewage service or treatment plant for the wastewater, generating a problem with the dumping water to the sea. The objective of the study was to analyze the QMW and nutrient transport in the mouth of estuary San Carlos. During the periods from 11 to 14 October 2016 (Autumn) and 27 to 30 June 2017 (Summer), we sampled in the interior of the estuary three times (at day) at a fixed, in order to analyze the QMW, and to determine the water nutrients transport. QMW was assessed by quantifying fecal coliform (Coli-229 method), detergents, oils, fats, pH, dissolved oxygen and nutrients, using the standard methods. The transport of nutrients was carried sampling the surface water every 2 h and during a period of 72 h in the two samplings sites. The amplitude, speed and direction of the current were measured with an InterOcean-S4 current meter. The fecal coliforms presented in the estuary showed an average of 1011 (NMP / 100ml) for the whole estuary. The pH was the only variable that presented significant difference ($p < 0.05$) in two seasons. The mean nutrients (nitrite, nitrate, ammonium and phosphate) exceeded the permissible limits of the Ecological Criteria CE-CCA-001/89 in the three sampling dates. The transport of nutrients showed an export of Dissolved Inorganic Nitrogen and phosphate during the autumn and import during summer. According to official standards and ecological criteria, fecal coliforms and mean nutrients exceeded the permitted limits for seawater indicating poor water quality. Physicochemical parameters comply with NOM-001 for all uses.

1. INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras son cuerpos de agua generalmente paralelos a la costa, separadas del mar por una barrera, pero conectadas al océano por una o más entradas restringidas (Kjerfve & Magill, 1989). En su porción más interna, las lagunas pueden presentar una serie de rasgos geomorfológicos como canales de inundación y vegetación halófitas como manglares y marismas, que interactúan con éstos mediante aportes continentales y corrientes de marea. En México existen alrededor de 124 lagunas costeras (Lankford, 1977) de las cuales el 60% se encuentra en la región subtropical y de éstas el 50% en las costas de la península de Baja California.

Las lagunas costeras son ecosistemas muy fluctuantes caracterizados fundamentalmente por la mezcla de aguas continentales y marinas. La intensidad y frecuencia de esta mezcla, determinan en su mayor parte los cambios estacionales de sus características químicas y de las poblaciones biológicas que las habitan (Couthinho & Melo, 2011).

Los sistemas estuarinos son los principales abastecedores de nutrientes y materia orgánica para las regiones costeras, debido a que reciben y concentran el material originado en su cuenca de drenaje y pueden también recibir aportes significativos por acción antropogénica. Todo ese aporte de nutrientes; que genera la materia prima imprescindible para la producción primaria, coloca a los estuarios entre los sistemas más productivos del mundo, con altas tasas de producción primaria, biomasa autotrófica y heterotrófica (Botello *et al.*, 2011). Estos sistemas se caracterizan por ser heterogéneos debido a que, en cada punto de un estuario, la salinidad depende de la relación entre los volúmenes de agua de mar y de agua dulce, de la amplitud de mareas, de la topografía y del clima de la localidad, experimentando variaciones diarias. Las lagunas costeras representan un excelente hábitat de reclutamiento y crecimiento para un número significativo de especies de importancia comercial, cuyo ciclo de vida comprende fases estuarinas y marinas (De La Lanza-Espino, 1991).

Dentro del tipo de ecosistemas costeros (oligohalinos, estuarinos, eurihalinos e hiperhalinos), los que dominan en la región de estudio son las del tipo

eurihalinos (Domínguez *et al.*, 2003). Éstos son influenciados principalmente por el dominio marino, como las bahías, ensenadas y lagunas. Su mayor incidencia es en áreas con escasos escurrimientos de agua dulce y de climas áridos como los del Noroeste de México. La zona costera es un área cubierta de agua permanentemente, sujeta a condiciones cambiantes por el flujo de mareas y los escurrimientos terrestres (Sánchez-Rodríguez, 2014). De acuerdo al Programa Internacional Geósfera-Biosfera (IGBP por sus siglas en inglés) y en particular al proyecto Interacciones tierra-océano en la zona costera (LOICZ por sus siglas en inglés), las lagunas costeras están en constante riesgo debido a una serie de factores entre los cuales destacan el efecto del cambio climático, el incremento de la población que se desplaza hacia las zonas costeras, el continuo aporte de desechos al océano, el incremento en el nivel del mar, la proliferación de especies del fitoplancton nocivas, entre otras (Badylak & Philips 2004; Botello *et al.*, 2011).

El aumento de la población humana en la zona costera provoca el deterioro del medio ambiente al requerir de mayores recursos de energía y materia, además de la inapropiada gestión y manejo de los desechos, ya que éstos ingresan al mar en grandes cantidades afectando la salud del ecosistema, alteraciones que se reflejan en una disminución de la calidad de agua (Vitousek *et al.*, 1997). Los problemas de contaminación se originan por descargas de aguas residuales a los cuerpos de agua que pueden transportar basura, fertilizantes, agroquímicos, metales pesados, derrames accidentales de hidrocarburos y contaminantes industriales, así como las operaciones de limpieza y mantenimiento a las embarcaciones pesqueras, las cuales contribuyen a la degradación ambiental (Covantes, 2005).

El creciente desarrollo de los centros turísticos en las playas del Pacífico Mexicano, así como el incremento en la población ubicada en cuencas hidrológicas que desembocan en el mar, ha traído como consecuencia el deterioro y contaminación de la zona costera por el aporte de aguas residuales. Estas aguas, con o sin tratamiento, así como por el aporte de aguas superficiales, que reciben durante su trayecto contaminación de fuentes puntuales y difusas, afectan la calidad del agua (Saldaña-Fabela, 2014). Por lo tanto, es de gran importancia estimar la

calidad del agua, mediante índices tanto generales como específicos, los cuales consisten en una expresión simplificada de parámetros más o menos complejos, que sirven para describir las condiciones del agua (Fernández *et al.*, 2004).

El estudio de los ciclos hidrológicos en las lagunas costeras es importante no solamente por su alta dinámica, como resultado de la interacción de la zona terrestre con la marina, sino también por el incremento de las actividades antropogénicas en el área adyacente terrestre. Esto provoca que existan cambios locales y regionales en las características hidrológicas, que repercuten en los aspectos tanto de producción primaria como pesquera. El desarrollo y la escasa planeación sobre el tratamiento de los desechos, ha provocado que estos cuerpos acuáticos sean receptores de aguas residuales, de forma tal que, las descargas puedan sobrepasar el reciclamiento de los nutrientes del sistema, alterando sus características fisicoquímicas (De la Lanza-Espino & Lozano-Montes, 1999).

El aporte de materia orgánica disuelta y particulada en los sistemas costeros depende directamente del reservorio externo y de la disponibilidad de un mecanismo de transporte que asegure su presencia en los esteros o lagunas costeras (Cervantes-Duarte, 1981). El complejo lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas, es considerado biológicamente como un sistema altamente productivo y diverso, donde habitan especies tropicales, templadas y de transición (Hubbs, 1960). Esto es debido a una combinación favorable de procesos físicos y biológicos, como las surgencias costeras, que aportan nutrientes a la zona eufótica (Zaitsev *et al.*, 2003).

Además de la falta de información del estado actual del estero del Puerto San Carlos, a causa de las aguas residuales domésticas y actividades humanas del lugar, y debido a su ubicación e importancia para la economía, es necesario contar con información de las características de este cuerpo hídrico. El estudio se enfoca en el estado actual de la calidad del agua (incluyendo la dinámica de los nutrientes) la cual se define como la relación cuantitativa entre la densidad del indicador y el riesgo potencial para su uso. En estos sistemas, los ciclos biogeoquímicos naturales son regulados principalmente por el intercambio mareal en los límites del océano (Alcántara *et al.*, 2012). En consecuencia, las concentraciones de nutrientes en el

estero dependen en gran medida de la variabilidad existente en las actividades de la población y las aguas recibidas de Bahía Magdalena. Los estándares de calidad del agua están descritos en términos de niveles de concentración permisibles para un uso determinado de un cuerpo de agua y generalmente, están establecidos por una serie de reglamentos oficiales. En México, los límites máximos permisibles de contaminantes para aguas costeras se establecen en la Norma Oficial Mexicana (NOM001) y en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89), basada en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). A nivel internacional están instituciones como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), Organización Mundial de la Salud (OMS), Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). Estas instituciones se encargan de emitir normas para que se regulen en diversas partes del mundo mediante convenios y tratados. Con el propósito de combinar los estudios de calidad del agua y su normatividad con estudios de la hidrodinámica y la concentración de nutrientes utilizados por los productores primarios en el Estero San Carlos, B.C.S., se realizó la presente investigación.

2. ANTECEDENTES

2.1. Calidad del Agua

El panorama de la contaminación hídrica en América Latina y el Caribe está dominado por las descargas municipales de origen doméstico, industrial y minero. Ellas constituyen una mezcla muy variada de compuestos que representan entre el 90-95% de la contaminación que llega indirectamente a las áreas costeras y se estima que solamente el 2% de las descargas reciben tratamiento. (PNUMA, 1999). Actualmente son escasos los esfuerzos dirigidos a encontrar un método que sea coherente, confiable y replicable, que permita valorar la calidad de las aguas tomando en cuenta los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que determinan la calidad natural de las mismas. Las publicaciones acerca de la evaluación de la calidad del agua en el área de Bahía Magdalena y el poblado de Puerto San Carlos son escasas, razón por la cual fue necesario tomar como base

otros estudios realizados en otras zonas geográficas. Por ejemplo, en los sistemas lagunares de Alvarado y Términos se ha incrementado la actividad antropogénica al igual que en sus áreas terrestres circundantes. Con base en los parámetros analizados, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes, clorofila *a* y producción primaria, concluyeron que la laguna es menos productiva y se encuentra en estado de eutrofización. (De la Lanza-Espino y Lozano-Montes, 1999)

Por otra parte, la influencia de las descargas de aguas residuales y su impacto en la calidad del agua de la Bahía de Acapulco Guerrero, evaluadas mediante las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, mostraron que éstas sobrepasaron los límites máximos permisibles según la NOM-001-SEMARNAT-96, CONAGUA y Secretaría de Salud (Saldaña-Fabela, 2014).

En contraste, la calidad de las aguas superficiales del área marina protegida de Bahía Málaga, Pacífico de Colombia no rebasó la normatividad (Betancourt-Portela, 2011).

2.2. Concentración de Nutrientes en la zona costera

La zona costera de la península de Baja California se considera una de las regiones marinas de mayor productividad biológica de México (Gómez *et al.*, 2007), debido a una combinación favorable de procesos físicos y biológicos, uno de ellos las surgencias costeras, que aportan nutrientes a la zona eufótica (Zaitsev *et al.*, 2003).

En Bahía Magdalena durante el año 2007 se encontró que durante la primavera y principios de verano (abril-junio) las aguas del mar eran más frías y más ricas en nutrientes y clorofila *a*, que el resto del año. Durante la primavera y principios del verano los procesos de surgencia contribuyen con nutrientes nuevos para la bahía, mientras que los nutrientes reciclados en el fondo probablemente son la principal fuente durante los periodos de otoño-invierno. Lo anterior promueve un patrón estacional de la biomasa de fitoplancton determinada por la disponibilidad de nutrientes, nitrógeno inorgánico disuelto y fosfato, en Bahía Magdalena (Cervantes *et al.*, 2012).

2.3. Transporte de Nutrientes en la zona costera

Los nutrientes en el agua son transportados principalmente por las corrientes. Se han realizado estudios de hidrodinámica en Bahía Magdalena, las mediciones de la velocidad de la corriente en la zona de la boca y canales principales de Bahía Magdalena durante la marea viva (hasta 0.6 m/s en flujo/reflujo) son hasta 2.5 veces mayores que las corrientes de marea muerta en los máximos de flujo/reflujo. Las intensidades de las corrientes en los canales del interior del sistema pueden alcanzar en promedio 0.3 m/s con fluctuaciones de hasta 0.15 m/s. Además de que las fluctuaciones registradas en la boca de Bahía Magdalena fueron en magnitud menores respecto de las que se presentaron en los canales del interior Saldivar (2007).

Durante los eventos de surgencias las aguas subsuperficiales oceánicas, relativamente frías y ricas en nutrientes, se presentan en la vecindad inmediata de la boca de Bahía Magdalena (BM), siendo susceptibles de ser transportadas hacia el interior del sistema por la acción de las corrientes de marea (Sánchez–Montante, 2007).

En la boca de la laguna de Ancão, Portugal el transporte neto de nutrientes y de clorofila *a* por las corrientes de marea indicaron que hubo una importación neta de clorofila *a*, nitrato y fosfato del océano a la laguna (Falcão *et al.*, 2003).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por muchos años, se ha considerado que la baja influencia antropogénica en el sur de la península de Baja California había mantenido en buen estado de salud los ecosistemas terrestres y marinos de la región. Sin embargo, la Comisión Estatal para la Protección contra los Riesgos Sanitarios (COEPRIS) y el Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Baja California Sur (CESABCS) reportaron la presencia ocasional de organismos indicadores de deterioro ambiental, bacterias coliformes fecales y Florecimientos Algales Nocivos (mareas rojas) en algunos sitios de Bahía Magdalena (PMSMB/CBCS, 2009).

Esta problemática ha venido generando una alteración al cuerpo hídrico debido en gran medida a las cargas contaminantes per cápita del poblado de San

Carlos con aproximadamente 5000 —habitantes INEGI (2010) dedicadas principalmente a las actividades de la pesca y el turismo.

De acuerdo con las autoridades estatales, está próxima la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y la operación de la red de drenaje y alcantarillado en el poblado de Puerto San Carlos (MIA, 2008). No obstante, es probable que los desechos domésticos al igual que el de las actividades turísticas y pesqueras vayan dirigidos hacia el Estero San Carlos de manera directa y difusa, por lo que es necesaria la información del estado actual de la Calidad del Agua del Estero San Carlos y la variación de los parámetros físicos, químicos y biológicos.

4. JUSTIFICACIÓN

Actualmente no se cuenta con información disponible ni suficiente del estado actual de la Calidad del Agua en la zona del Estero San Carlos. Sin embargo, debido a las probables descargas difusas de aguas residuales domésticas en el estero, es necesario evaluar la calidad del agua y el transporte de nutrientes, tomando como referencia la Norma Oficial Mexicana (NOM-001) y los Criterios Ecológicos (CE-CCA-001/89). Para que de esta manera se puedan generar datos base que contribuyan al conocimiento de la evolución del cuerpo hídrico del Estero San Carlos.

5. HIPÓTESIS

1.- Considerando que el aporte de residuos de las actividades antropogénicas y la falta de tratamiento de las aguas residuales del poblado de San Carlos genera un impacto ambiental (contaminación) sobre el estero, se espera que los parámetros fisicoquímicos y biológicos de la calidad del agua medidos en este estudio sobrepasen los límites máximos permisibles estipulados por la norma oficial mexicana (NOM-001) y los criterios ecológicos (CE-CCA-001/89).

2.- De acuerdo al transporte de nutrientes entre Bahía Magdalena – Estero San Carlos, se espera que éste último sea un sumidero de nutrientes.

6. OBJETIVOS

6.1. *Objetivo General*

Analizar la calidad del agua del y el transporte de nutrientes en el Estero de San Carlos, B.C.S.

6.2. *Objetivos específicos*

- 6.2.1. Determinar la calidad del agua del Estero San Carlos a través de una matriz de impacto de según Norma Oficial Mexicana (NOM-001) y los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89).
- 6.2.2. Estimar el transporte de nutrientes entre el Estero San Carlos y la laguna de Bahía Magdalena.
- 6.2.3. Elaborar un balance de nutrientes y clorofila *a* entre el estero y la laguna.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. *Área de estudio*

El Estero San Carlos se ubica en la región de la costa noroccidental en el estado de Baja California Sur, donde se localiza uno de los puertos de altura del país “Puerto San Carlos” y una zona con una fuerte actividad pesquera y turística (Bahía Magdalena).

El Estero San Carlos es un cuerpo de agua pequeño y somero que forma parte de la laguna de Bahía Magdalena, la cual se localiza en la costa occidental del estado de Baja California Sur, México. El estero se ubica entre las coordenadas 24°48’04” latitud Norte, -112°06’34.7” longitud Oeste y 24°46’38.1” latitud Norte, -112°05’17.4” longitud Oeste (Fig. 1). Tiene una dimensión en marea alta de

aproximadamente 2.95 km de largo, 660 m de ancho en su boca de comunicación, 3.5 m de profundidad promedio y un área aproximada de 2250 m².

El clima en la región es seco, semi-cálido, con temperatura del aire promedio anual de 18° C, mínima en enero (14.5° C) y máxima en agosto - septiembre (32° C). El estero presenta condiciones anti-estuarinas como resultado de una reducida tasa de precipitación y escasa afluencia de agua dulce, así como de una elevada tasa de evaporación (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975). Las características hidrológicas de la laguna, temperatura, salinidad, nutrientes y clorofila-*a*, han mostrado variaciones estacionales relacionadas con los procesos de surgencia costera y las masas de agua adyacentes (Cervantes-Duarte *et al.*, 2013). Sin embargo, los estudios en el litoral oriental de la laguna han mostrado cambios en las características hidrológicas más pronunciados debido a la escasa profundidad, así como la influencia de otras fuentes de nutrientes (emisiones de la atmósfera, tormentas tropicales, meteorización de las rocas y el suelo) y de materia

orgánica que pueden ser igualmente relevantes en la ecología del sistema (Cervantes-Duarte *et al.*, 2014).

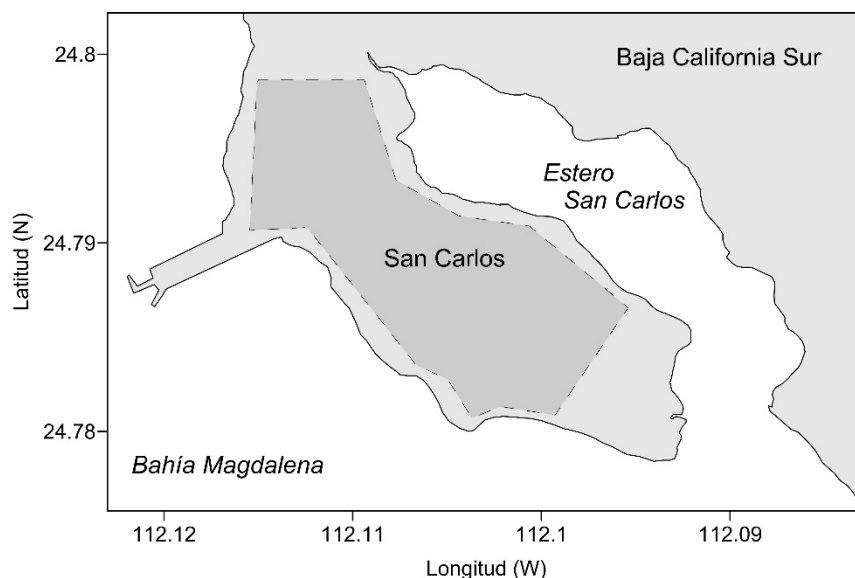


Fig. 1. Área de estudio Estero San Carlos

7.2. Trabajo de campo

Para evaluar la calidad del agua y el transporte de nutrientes en el Estero San Carlos se realizaron dos campañas de muestreo. La primera se llevó a cabo en el periodo del 11 al 14 de octubre del 2016 en la estación de otoño. La toma de muestra de calidad del agua se realizó en ocho sitios de muestreo. Los sitios de muestreo fueron ubicados abarcando toda el área del estero, tomando en cuenta los siguientes criterios en su ubicación: Sitios 1, 2 y 3 (Población), Sitios 4 y 6 (Canal principal de navegación), Sitio 5 (Canal secundario de navegación), sitio 7 (Boca) y sitio 8 (Muelle Turístico). (Fig. 2).

En la toma de muestra se utilizaron los siguientes equipos: un multiparámetro (Hanna 9828) para oxígeno disuelto (O.D), pH y temperatura *in situ*. Una botella Niskin de 5 L de capacidad para la toma de muestra de nutrientes y clorofila-a. En la columna de agua se midió la temperatura, salinidad, mediante

lances con un equipo CTD (*Sea Bird 19*). Las mediciones fueron realizadas en dos amplitudes mareales distintas (baja y alta).

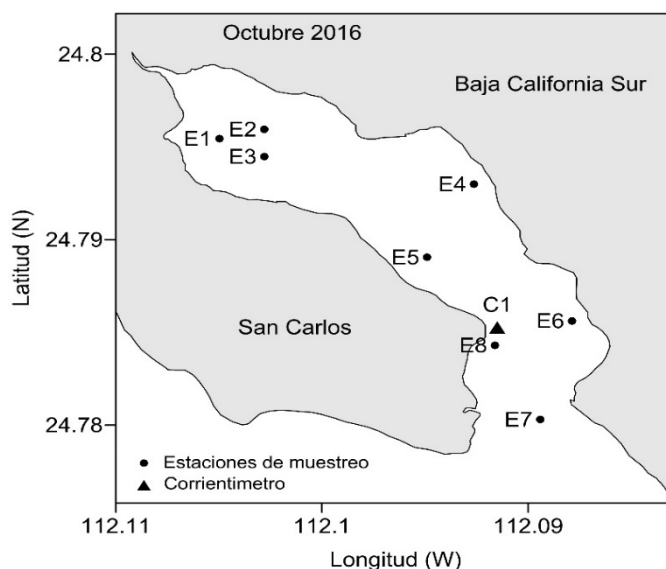


Fig. 2. Sitios de muestreo para calidad del agua en el área de estudio primera campaña (círculos sitios de muestreo y triángulo donde fue instalado el correntómetro S4).

La segunda campaña se realizó del 27 al 30 de junio del 2017 correspondiente a la estación de verano, en amplitud mareal (alta). Las condiciones para la toma de muestra de calidad del agua fueron similares a la de la primera campaña, exceptuado que se tomaron muestras en tres sitios del estero, interior, boca y fuera del estero (sitio control), (Fig.3). La ubicación de los sitios 1 (población) y 2 (Boca) fueron en las mismas coordenadas de los sitios 1 y 7 de La primeraa campaña. El muestreo en ambas campañas fue realizado en condición de marea viva.

La toma de muestra para evaluar el transporte de nutrientes en ambas campañas se realizó en un sito fijo (sitio E8, Fig. 2). Las mediciones se realizaron cada 2 horas a 20 cm debajo de la superficie. (modelo Euleriano).

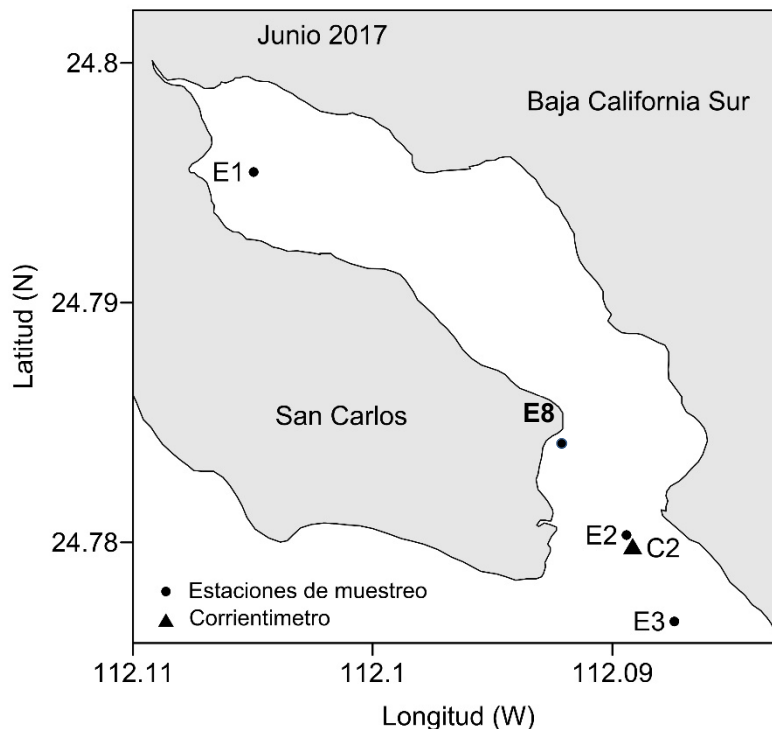


Fig. 3 Sitios de muestreo para calidad del agua en el área de estudio segunda campaña (círculos sitios de muestreo y triángulo donde fue instalado el correntómetro S4).

7.2.1. Calidad del Agua

Para la evaluación de calidad del agua se midieron las siguientes variables en la primera campaña: pH; temperatura (T); salinidad; detergentes (SAAM); sólidos suspendidos totales (SST); sólidos sedimentables (SSD); oxígeno disuelto (OD); Nitrito (NO_2^-), Nitrato (NO_3^-), Amonio (NH_4^+), Fosfato (PO_4^{3-}), Clorofila *a* (Cl *a*) y Coliformes Fecales, en la segunda campaña se analizaron las mismas variables, excepto Coliformes Fecales y se incluyó Aceites y Grasas (A&G).

7.2.2. Transporte de nutrientes

Para el análisis de transporte de los nutrientes en la primera campaña (octubre 2016) se obtuvieron 32 muestras correspondientes a las tomas realizadas en 64 horas continuas. Para la segunda campaña (junio 2017) fueron recolectadas 27 muestras que corresponden a 54 horas continuas.

Para medir la rapidez y dirección de la corriente de marea al igual que la variación de la profundidad del sitio se utilizó un correntómetro InterOcean-S4. El cual trabajo tres días continuos en ambas campañas, este equipo fue programado para registrar datos cada dos minutos, promediando 30 datos por cada hora. En la

primera campaña el equipo trabajo 72 horas y en la segunda 68 horas. En el primer muestreo el equipo fue ubicado en el canal del muelle turístico (24°47'032" latitud Norte y -112°05'519" longitud Oeste) (Fig. 2) y para el segundo se ubicó en la boca del estero (24°46'655" latitud Norte y -112°313'00" longitud Oeste) (Fig. 3).

La temperatura y salinidad fueron medidas con un Multiparámetro Hanna (HI 9828) para medir las variables *in situ* en la superficie y un CTD (*Sea Bird 19*) para medir en la columna de agua. Las muestras para oxígeno disuelto, clorofila *a* y nutrientes fueron colectadas con una botella Niskin de 5 litros. La colecta de muestras de las variables medidas para calidad del agua, nutrientes y clorofila *a* se siguió de acuerdo con lo establecido por APHA (1998) y Strickland & Parsons (1972) respectivamente.

Detergentes o [Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)]

Se colectaron muestras puntuales a 50 cm de profundidad en frascos de plástico de 2000 ml y se transportaron en una hielera hasta ser refrigeradas a una temperatura de -4°C.

Aceites y Grasas

Se tomaron muestras en frascos de vidrio de 1000 ml y se llevaron a pH < 2 agregando ácido sulfúrico para preservar las muestras antes de su refrigeración.

Sólidos Suspendidos Totales y Solidos Sedimentables

Las muestras se tomaron en frascos de 2000 ml plástico y fueron refrigeradas hasta la filtración.

Oxígeno disuelto

La muestra se tomó con una botella Niskin de 5 litros y por medio de una manguera se drenó el agua evitando burbujeo en un frasco DBO de 75 ml. Los frascos fueron colocados en la obscuridad hasta su fijación (< 1 hora). Para la fijación de la muestra se agregó 0.8 ml solución A, seguido de 0.8 ml de solución B. Cuidadosamente se tapó para evitar burbujas de aire, esta reacción forma un

precipitado, el cual, una vez se haya decantado hasta aproximadamente la mitad del volumen de la botella, deja un sobrenadante claro sobre el floculo de hidróxido de manganeso. Posteriormente se agregó 0.8 ml de H_2SO_4 concentrado, se tapó y mezcló varias veces por inversión de la botella, hasta disolución completa. La muestra completa fue titulada con tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) de concentración 0.01N agregándolo gota a gota y agitando hasta obtener un color amarillo pajizo pálido; en ese punto se adiciono de 3 a 5 gotas de solución de almidón, en donde cambia a color azul y la titulación final continúa hasta la desaparición del color azul. Se anotó en la bitácora de campo el volumen gastado de tiosulfato de sodio.

Nutrientes (Nitrito, Nitrato, Amonio y Fosfato)

Para la toma de muestra se utilizó la botella Niskin y se transvasó en un frasco de plástico de 1500 ml, las muestras fueron filtradas al vacío y se colocaron en frascos plásticos para cada analito y fueron congeladas hasta sus análisis.

Clorofila-a

En la toma de muestra se utilizó la botella Niskin y se transvasó en un frasco de plástico de 1500 ml, luego fueron filtradas al vacío utilizando filtros GFF de 47 mm de diámetro. Una vez filtrado aproximadamente 1 litro de muestra a través del filtro, este se retira y se anota en la bitácora de campo el volumen filtrado. Los filtros fueron doblados a la mitad y se introdujeron a los porta filtros, este fue cubierto con papel aluminio y para su conservación fueron congelados hasta su análisis por el método Strickland & Parsons (1972).

Coliformes Fecales

Las muestras fueron colectadas en bolsas plásticas herméticas y esterilizadas (Nasco whirl-pack) de 120 ml de capacidad. La muestra se obtuvo en la botella Niskin y fue transferida a la bolsa Nasco que después se cerró y dobló herméticamente, fue refrigerada a 4°C. Después la muestra fue llevada a un lugar libre de contaminación y con temperatura controlada. Se añadió el contenido de un paquete de Colilert (medio de cultivo), a 100 ml de la muestra en un recipiente

estéril, este fue agitado y tapado hasta disolver el contenido, el paso siguiente fue verter la mezcla de muestra/reactivo en una “placa” multi-pozos Quanti-Tray (IDEXX Laboratories, Inc.) y se selló utilizando el Quanti-Tray Sealer. La “placa” sellada fue colocada en una incubadora a $41 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas para después ser leídos los resultados en el laboratorio.

7.3. Trabajo de Laboratorio

7.3.1. Procesamiento de muestras

Los análisis de SAAM, SST, SSD, OD, Nitrito, Nitrato, Amonio, Fosfato, clorofila *a* y coliformes fecales se realizaron en el Laboratorio de Biogeoquímica Ambiental del Centro de Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) y los de SAAM (Llumigusín & Aracely, 2012), A&G, SST, SSD en el Laboratorio de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Paz Baja California Sur (PTAR SAPA).

Detergentes (SAAM)

Este método se basa en la formación de un par iónico extractable en cloroformo de color azul por la reacción del azul de metileno catiónico y un tensoactivo aniónico incluyendo al sulfonato de alquilbenceno lineal, otros sulfonatos y ésteres de sulfonatos. La muestra se acidifica y se mezcla con una disolución de azul de metileno. El par iónico hidrofóbico que se forma se extrae con cloroformo. Los extractos de cloroformo son lavados con una disolución ácida para remover los pares iónicos menos hidrófobos (con coeficientes de partición bajos) que pueden formarse por sustancias que interfieren potencialmente. El cloroformo retiene los pares iónicos altamente hidrófobos. La intensidad del color azul presente en la fase orgánica se mide por medio de un espectrofotómetro a una $\lambda = 652 \text{ nm}$ en celdas de vidrio de 1 cm y la absorbancia es proporcional a la cantidad de surfactantes aniónicos presentes en la muestra. Más detalles sobre el método se pueden ver en APHA (1998).

Fórmula:

$$(\text{mg SAAM}) / \text{L} = m * \text{Absorbancia a } 652 \text{ nm. (1)}$$

Dónde:

m = Inverso de la pendiente de la curva de calibración.

Absorbancia = Lectura realizada en el espectrofotómetro con celdas de 1 cm.

Detergentes (Surfactantes Aniónicos)

Los detergentes, ASB (Alquilsulfonato de Benceno) o ASL (Alquilsulfonato Lineal) se determinan por asociación con el tinte de cristal violeta y la extracción del par iónico complejo en el benceno (Llumigusín y Aracely 2012).

El cálculo de los detergentes se realiza con la siguiente fórmula:

$$\text{Detergentes (mg/L)} = [\text{ASL (mg/L)} * 1000] / \text{Volumen de muestra (ml)}. (2)$$

Dónde:

ASL (mg/L) = Alquilsulfonato de benceno lineal reportado.

Aceites y Grasas (A & G)

Se define como aceites y grasas a cualquier material recuperado como sustancia soluble en un solvente. Incluye otros materiales extraídos por el solvente de muestras acidificadas (tales como compuestos azufrados, ciertos pigmentos orgánicos, y clorofila) y no volatilizados durante la prueba. Algunas sustancias extraíbles, como los ácidos grasos y grasas insaturadas, se oxidan rápidamente. Para determinar la concentración de aceites y grasas en muestras líquidas (APHA, 1998) los aceites y grasas disueltas o emulsificados son extraídos del agua por contacto directo con un solvente extractor. El solvente es n-hexano al 85% o una mezcla de solventes (80% n-hexano y 20% metil-terbutil éter) para el método gravimétrico. Se determina el contenido de aceites y grasas en la muestra inicial por diferencia gravimétrica.

Para el cálculo de Aceites y grasas se realizó con la siguiente fórmula:

$$\text{A \& G (mg/L)} = [(W_f - W_i) / V_m] * 1000000. (3)$$

Dónde:

Wf = Peso final del vial luego de evaporar el solvente (g)

Wi = Peso inicial del vial (g)

V_m = Volumen de muestra sometida a análisis (ml)

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

El término sólido, en forma general se refiere a la materia suspendida (no filtrable) que queda retenido en el filtro (0.45 µm) y disuelta (filtrable), presente en aguas de cualquier origen. Una muestra bien mezclada, se pasa a través de un filtro de polycarbonato previamente pesado, y el residuo retenido es secado a peso constante a temperatura entre 65 – 75 °C. El incremento de peso del filtro representa el total de sólidos suspendidos. La técnica se puede ver en APHA (1998).

Para el cálculo de los sólidos suspendidos totales se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)} = [(A-B) / V] * 1000000. \quad (4)$$

Dónde:

A = Peso final (filtro + residuo), (g)

B = Peso inicial (peso del filtro), (g)

V = Volumen de muestra filtrado, ml

Sólidos Sedimentables (SSD)

La expresión sólidos sedimentables se aplica al material en sedimentación que se precipita de la suspensión en un período definido. Los sólidos sedimentables están formados por partículas más densas que el agua, que se mantienen dispersas dentro de ella en virtud de la fuerza de arrastre causada por el movimiento o turbulencia de la corriente. Por esta razón, sedimentan rápidamente por acción de la gravedad cuando la masa de agua se mantiene en reposo.

Los sólidos sedimentables en aguas superficiales y marinas, así como en los residuos industriales y domésticos, se pueden determinar y reportar sobre una base en volumen (ml/L) o en peso (mg/L).

La medición se realizó con un dispositivo plástico de 1 litro de capacidad conocido como Cono Imhoff y los resultados por duplicado se expresan en una base de volumen.

Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno procedente de la atmósfera se disuelve directamente en las aguas superficiales, o se genera mediante la fotosíntesis en las capas superiores iluminadas. Con el aumento de la profundidad, generalmente el oxígeno disminuye, en parte, al ser consumido por la respiración de microorganismos y por otro lado, por la descomposición microbiana del detritus orgánico.

Una muestra de agua se hace reaccionar con una solución de iones manganoso y una solución de yoduro-alcalino, la cual lleva incorporado azida de sodio cuya función es la de eliminar interferencias debidas a iones oxidantes como nitrito y materia orgánica presente; al mismo tiempo que se le protege del aire para evitar la oxigenación (Strickland & Parsons 1972).

Para el cálculo del oxígeno se realizó de la siguiente manera:

$$\text{Oxígeno disuelto (mg /L ó ppm)} = 0.1016 \times f \times v \times 16 \text{ (6)}$$

Dónde:

f = valor de la normalización con yoduro de potasio, debe ser por lo menos la media de tres replicas

V = volumen gastado de la titulación

Nitrito

El nitrito representa una forma intermedia en el Ciclo del Nitrógeno; puede estar presente en las aguas como resultado de la degradación biológica de las proteínas o provenir de otras fuentes de remineralización. El nitrito se convierte en ácido nitroso en una tintura fuertemente coloreada, empleando una amina aromática primaria para diazotar el ion nitrito, acoplando posteriormente el ion diazo resultante con otra amina aromática en una reacción que lleva a la formación de un compuesto azo rosado, cuya absorbancia es proporcional a la cantidad de nitrito inicialmente presente (Bendschneider y Robinson, 1952).

Para el cálculo del nitrito, nitrato, amonio y fosfato se utilizó la siguiente ecuación:

De la curva de calibración se obtiene directamente la concentración de la muestra:

$$C = [(Abs - b) / m] \quad (7)$$

Dónde:

C= Concentración de la muestra en µg.at.NO₂-N/L posteriormente convertida a mg/L

Abs = Absorbancia de la muestra corregida (menos la absorbancia del blanco)

b = Intercepto

m = Pendiente de la curva de regresión

Nitrato

El ion nitrato de agua de mar se reduce cuantitativamente a ion nitrito, cuando la muestra se pasa a través de una columna que contiene cadmio recubierto con cobre coloidal. Como la reducción debe realizarse a un pH cercano a 8.5 antes de pasar la muestra por la columna, se la trata con solución de cloruro de amonio, que actúa como Buffer y a la vez da origen a complejos de cadmio y otros iones eliminando de esta forma las interferencias que ellos pueden causar al precipitarse durante el análisis (Morris y Riley 1963).

Para obtener la concentración de nitrato se debe restar la concentración de nitrito de la muestra en la ecuación anteriormente descrita.

Amonio

El amonio en el mar proviene principalmente de las excreciones de animales marinos y la descomposición de compuestos orgánicos nitrogenados, provenientes a su vez de organismos muertos.

El ion amonio presente en el agua de mar reacciona en un medio citrato alcalino con hipoclorito de sodio para formar monoclaramina, la cual en presencia de fenol y nitroprusiato de sodio, que actúa como catalizador, forma el azul de indofenol y un complejo de citrato con los iones calcio y magnesio, eliminando así, la interferencia que estos puedan causar al precipitarse durante el análisis. La

absorbancia de la solución resultante se mide espectrofotométricamente a 640 nm (Riley 1953).

Fosfato

El fósforo se encuentra en el agua en una diversidad de formas disueltas y particuladas. La determinación se hizo de acuerdo a (Solórzano 1993).

Los iones fosfato del agua de mar se hacen reaccionar con una solución compuesta que contiene ácido molíbdico, ácido ascórbico y antimonio trivalente que actúa como catalizador, en condiciones tales que se obtiene un pH ácido donde no hay posibilidades de formación del complejo silicomolibdato, eliminando así esta interferencia. El heteropoliácido complejo resultante se reduce in situ para dar una coloración azul, cuya absorbancia se mide espectrofotométricamente a 885 nm en celda de 5 cm.

Clorofila a

El método químico más útil para determinar la cantidad de fitoplancton en agua de mar es estimar la cantidad de clorofila (usualmente Clorofila *a*). Estas sustancias son pigmentos que se encuentran en las plantas superiores, algas, bacterias y organismos capaces de llevar a cabo fotosíntesis.

Un volumen de agua de mar es filtrado en un filtro de fibra de vidrio; los pigmentos son extraídos en acetona al 90% y su concentración es estimada espectrofotométricamente (Strickland & Parsons 1972).

Para calcular la cantidad de clorofila *a* en cada extracto utilizando los valores de absorbancia (*A*) corregidos en la siguiente ecuación:

Se usan celdas de 10 cm después de corregir por testigo.

$$Cl\ a = 11.6(A_{665}) - 1.31(A_{645}) - 0.14(A_{630})$$

La concentración de Cl *a* en el agua de mar se determina por medio de la siguiente fórmula:

$$[Cl\ a], (mg/ m^3) = Cl\ a \times v / V \times I\ (8)$$

Dónde:

665= Absorbancia a 665 mm

v= volumen de acetona usado para la extracción en ml

V= volumen de agua filtrada en litros

I = longitud de la celda en cm

La concentración se expresa en $\text{mg/m}^3 = \mu\text{g/L}$

Coliformes Fecales

La *Escherichia coli* forma la mayor parte de la flora comensal aerobia y anaerobia facultativa del tubo digestivo, y se elimina por las heces al exterior, por lo tanto, no es extraño que se encuentre en el medio ambiente, donde son capaces de sobrevivir durante cierto tiempo en el agua y los alimentos, de manera que su aislamiento constituye un indicador de contaminación fecal reciente (Redondo-Solano & Echandi, 2011). Para poder diferenciar la *E. coli* se tiene en cuenta que ésta posee la enzima betaglucoronidasa, que es la encargada de romper el enlace del complejo beta-glucoronido-4-metilumbeliferilo, presente en el sustrato liberando 4-metil-umbeliferona que produce la fluorescencia visible bajo luz UV (Enterolert y Colilert 2010).

Cálculo del Número Más Probable (NMP)

Pasado el tiempo de incubación (24 horas) se contaron directamente los pozos de la placa que fueron positivos (color amarillo), este nos indica que hay crecimiento de bacterias coliformes. La “placa” se coloca bajo una cámara de luz UV de longitud de onda de 366 nm y se cuentan los pozos que presentan fluorescencia los cuales indican que son positivos para *Escherichia coli*. Para dar el resultado de *E. coli* se cuentan los pozos que presentan fluorescencia, los grandes que representan submuestras no diluidas y los pequeños que indican submuestras diluidas. El resultado se obtiene de la tabla de NMP. (Quanti-tray 2000).

7.4. Trabajo de Gabinete

Se obtuvieron dos matrices de datos por cada campaña de muestreo. Una matriz de Calidad del Agua (13 columnas y 8 [3] renglones) y otra de Transporte de Nutrientes (8 columnas y 32 [27] renglones). Entre corchetes los datos del segundo muestreo.

Para estimar el transporte de material disuelto y particulado durante los ciclos sucesivos de marea ($\sim 24.8h$), se usó un correntómetro S4 (marca Interocean) el cual midió la velocidad y dirección de la corriente cada 2 minutos, promediando un registro de 30 datos por hora. Para la primera campaña se obtuvieron datos de 2.6 ciclos mareales mientras que en la segunda fueron 2.2. A fin de estimar el flujo en los márgenes intermareales durante el posterior procesamiento. Se registró la localización de la línea de costa teniendo en cuenta el cambio de las amplitudes mareales en la sección transversal.

Se hizo la comparación de los datos suministrados por el S4 contra del pronóstico del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Y con esto fue verificado que los datos obtenidos de los márgenes mareales registraban comportamientos similares.

También se utilizó el equipo GPSMAP 400/500 series marca Garmin con su respectiva ecosonda y traductor para realizar la batimetría en la zona de estudio y se obtuvo el siguiente mapa batimétrico. (Fig.4).

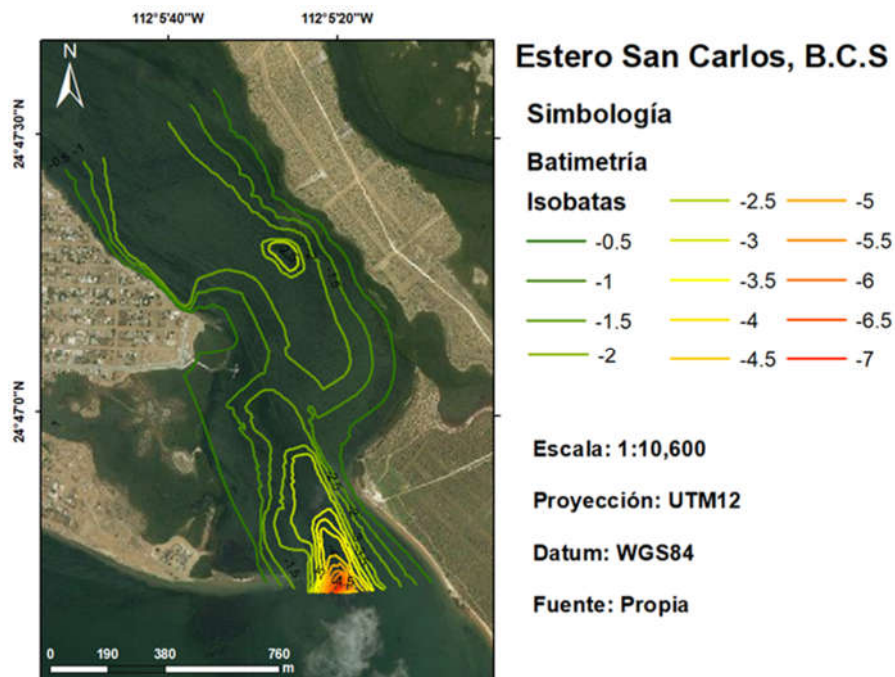


Fig. 4. Mapa batimétrico de la boca del Estero San Carlos.

7.4.1. Análisis estadísticos

Para la primera campaña a los datos de Calidad del Agua se les realizó la prueba de normalidad Chi-cuadrada (X^2) para saber si los datos presentaban una distribución normal y de esta manera aplicar una prueba paramétrica. Posterior se realizó la prueba t-student con una significancia ($p < 0.05$); para determinar si había diferencias significativas entre los valores medidos con diferente amplitud mareal (11 octubre 2016 y 14 octubre 2016). Para la segunda campaña se realizó el procedimiento anteriormente descrito solo para tres sitios en una sola amplitud mareal. Posteriormente se compararon las dos campañas para determinar si existían diferencias entre épocas, nuevamente utilizando la prueba t-student con una significancia ($p < 0.05$).

Con los resultados obtenidos de laboratorio sobre las variables de calidad del agua se construyó una matriz de impacto de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-001) y los Criterios Ecológicos de calidad del agua (CE-CCA-001/89). Esta matriz fue elaborada tomando el valor del promedio de las variables (parámetro) la cual fue dividida entre el valor de referencia (Valor límite permisible normativo del parámetro), y según los resultados obtenidos les fueron asignado rangos de valores y colores indicando el impacto que le correspondía, con el fin de evaluar la calidad del agua del estero de manera cuantitativa y cualitativa.

La jerarquía evaluativa fue determinada de la siguiente manera: Si el valor obtenido de la división estaba entre 0 a 1 se le asignó el color verde el cual indicaba que no existía impacto, luego si el rango se encontraba entre 1 a 3 se le asignó el color amarillo indicando un impacto moderado y por último si el rango se encontraba de 3 a 5 el color correspondiente era el rojo el cual indicaba el impacto extremo.

A la matriz de transporte de nutrientes se le aplicó una prueba de correlación contra la marea para identificar cuales variables presentaron mayor relación con respecto a ella. También se le aplicó la prueba de normalidad chi-cuadrada (X^2) a los datos para saber la distribución de los datos, cuando los datos mostraron normalidad se les aplicó el análisis de variancia (ANDEVA).

Cuando los datos no fueron normales se les aplicó una prueba de Kruskal Wallis. (ZAR *et al.*, 1999).

Para hallar la descarga se estimó numéricamente, usando la regla trapezoidal compuesta con la siguiente formula:

$$Q = \int^s \int^t S * v * dt \quad (9)$$

Dónde:

Q: Flujo (m³/h)

S: Área Sección Transversal (m²)

t: Tiempo (h)

v: Velocidad del corriente (m/s)

Posteriormente de hallar el flujo se procedió a hallar los volúmenes de entrada y salida, utilizando la siguiente ecuación:

$$V = Q * t \quad (10)$$

Dónde:

V: Volumen (m³)

Q: Flujo (m³/h)

t: Tiempo (h)

El transporte de nutrientes y Clorofila *a* por hora y por ciclo mareal se obtuvieron al multiplicar el promedio de los volúmenes (m³) por la concentración promedio de los contaminantes obtenidos en la sección transversal, con la siguiente ecuación.

$$\text{Transporte Nutrientes o Cl a} = Q = \int^t S * v * C * dt \quad (11)$$

Dónde:

Q: Flujo (m³/h)

S: Área Sección Transversal (m²)

t: Tiempo (h)

C: Concentración del Contaminante (mg L⁻¹)

v: Velocidad del corriente (m/s)

Finalmente, el transporte neto de nutrientes y clorofila *a* se determinó integrando en el dominio del tiempo los valores de transporte de cada dos horas y por ciclo mareal como lo sugiere Alcántara *et al.* (2012).

Una vez determinado los volúmenes promedio de entrada y salida al igual que el flujo promedio, se determina el tiempo de residencia de la siguiente manera:

$$Tr = \frac{V}{Q} \quad (12)$$

Dónde:

Tr: Tiempo de residencia (h)

V: Volumen (m³)

Q: Flujo (m³/h)

8. RESULTADOS

8.1. Calidad del Agua del Estero San Carlos

Valores de pH en el agua del Estero San Carlos

La medición del pH en el estero realizada en la marea baja de la primera campaña (11 de octubre 2016) presentó los valores más altos, 8.03 a 8.09. Éstos se registraron en la mayoría de los sitios. Los menores valores se registraron en los sitios 1 y 2 (7.33 y 7.99 respectivamente) (Fig. 5A). En marea alta (14 octubre 2016) se observó un comportamiento diferente, los sitios (1,3,4,5,7 y 8) tuvieron un valor de pH que varió de 7.33 a 7.99. Los sitios 2 y 6 registraron los mayores valores, 8.03 y 8.09 respectivamente. (Fig. 5B)

En la segunda campaña (27 junio 2017) se observó que el sitio 1, cercano a la población, presentó el mayor valor (8.14). El menor valor fue registrado en el sitio 2 (7.67), que corresponde a la boca de comunicación (Fig. 5C).

Existió diferencia estadísticamente significativa entre los valores del pH entre las mareas de la primera campaña ($p < 0.05$), pero no entre las dos temporadas.

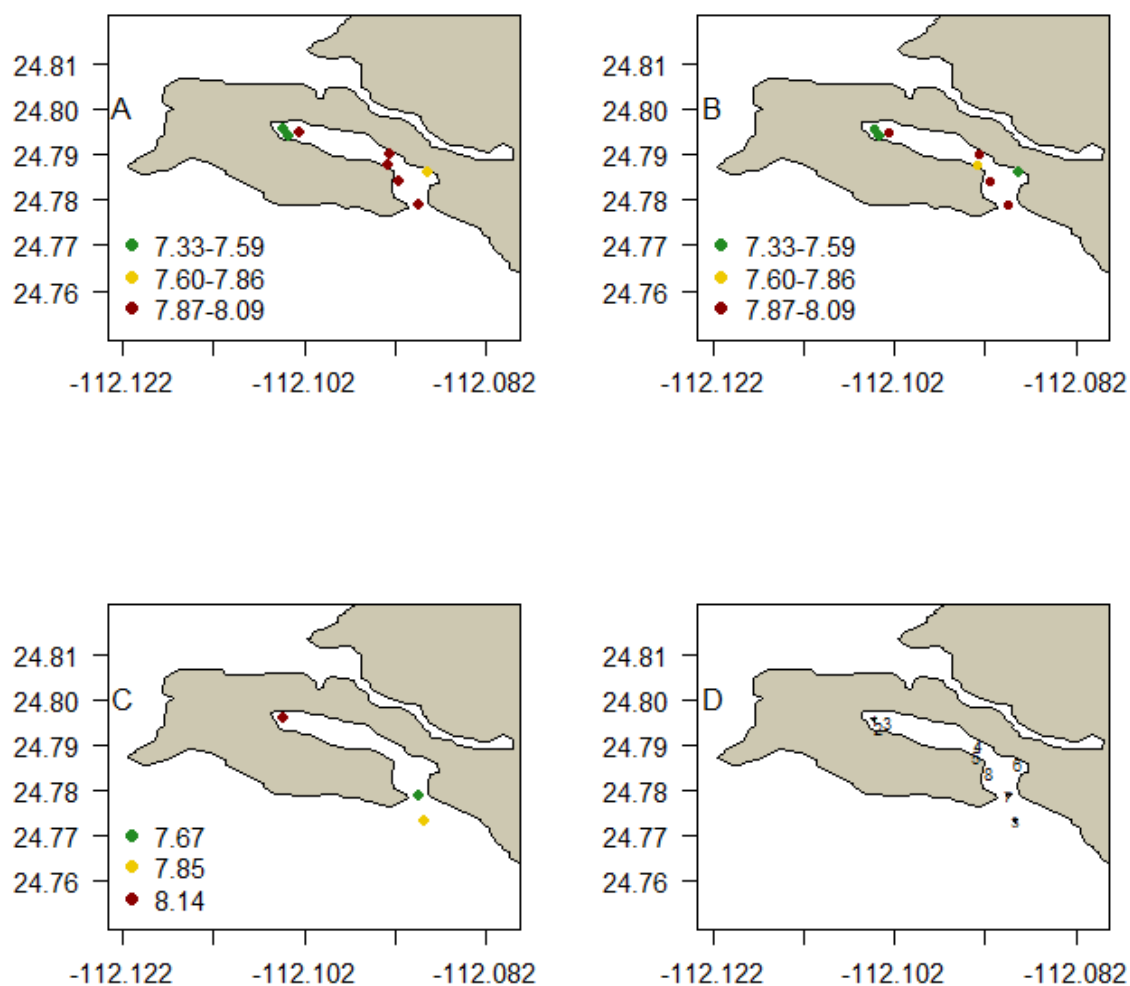


Fig. 5 A. Valores de pH en marea baja primera campaña (11 octubre 2016), B. en marea alta primera campaña (14 octubre 2016), C. marea alta segunda campaña (27 junio 2017), D. Ubicación sitios de muestreo

Temperatura del agua en el Estero San Carlos

En cuanto a los valores de temperatura en marea baja de la primera campaña (Fig. 6A), el mayor valor de temperatura en el primer muestreo se registró en el sitio 2 (27.6 °C), los menores valores se registraron en los sitios (3, 4 y 6) con un rango de 25.6 a 25.9 °C. Para el segundo muestreo el mayor valor de temperatura se registró en el sitio 1, 26.6 °C (Fig. 6B).

Para la segunda campaña se observó un gradiente de temperatura, el sitio 1 presentó la mayor temperatura (26.3 °C), el sitio 2 presentó 26.2 °C y el menor valor de temperatura lo presentó el sitio 3 fuera del estero (Fig. 6C). Este parámetro no presentó diferencias significativas entre mareas y tampoco entre temporadas.

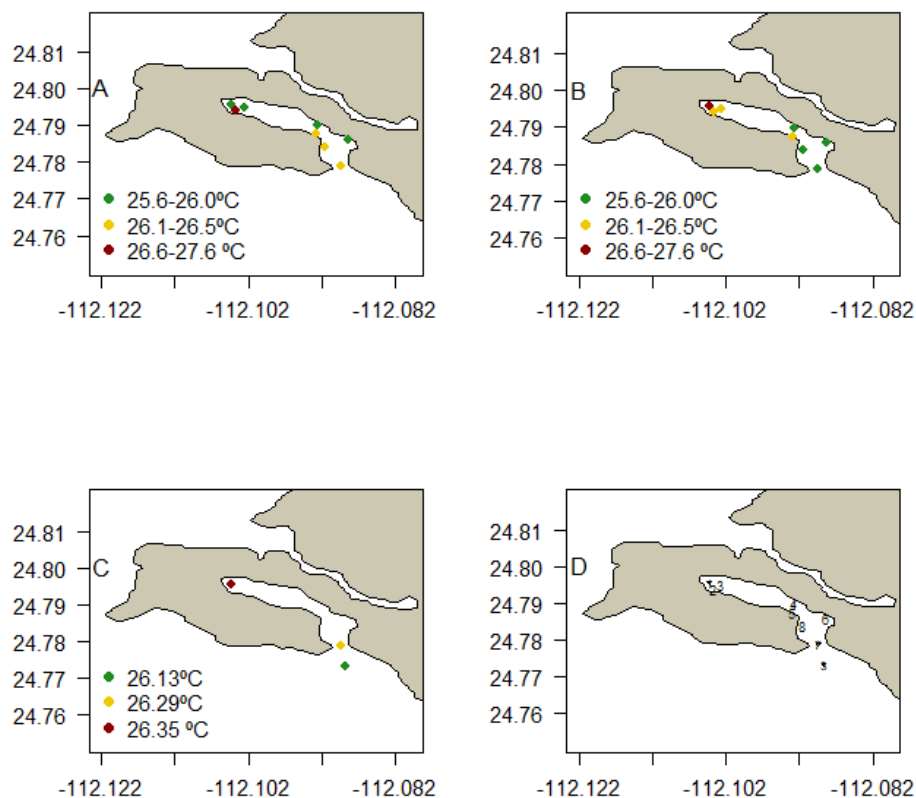


Fig. 6A. Valores de temperatura en marea baja primera campaña (11 octubre 2016), B. en marea alta primera campaña (14 octubre 2016), C. marea alta segunda campaña (27 junio 2017), D. Ubicación sitios de muestreo

Salinidad en el Estero San Carlos

Los valores más altos de salinidad en marea baja de la primera campaña oscilaron entre 38.0 y 38.2 ups en los sitios (1, 2 y 3), los valores medios variaron dentro de un rango de 37.5 a 37.2 ups en los sitios (4, 5 y 6) ubicados en los canales de navegación y los valores más bajos estuvieron en los sitios (7 y 8) en la boca de comunicación del estero (36.6 a 36.8 ups) (Fig. 7A). En marea alta de la primera campaña los valores de concentración de salinidad fueron menores. Las mayores concentraciones (37.2 a 38.0 ups) se presentaron nuevamente en los sitios 1, 2, 3 y 5. Los menores valores que oscilaron entre 36.4 y 36.9 ups se registraron en los

sitios (4, 6, 7 y 8), los dos primeros sitios ubicados en el canal principal de navegación los otros sitios en la boca y muelle turístico respectivamente (Fig. 7B).

En la segunda campaña se observó un de concentración desde el sitio 1 con un valor de 38.04 ups al sitio 3, que fue el sitio fuera del estero, con 37.3 ups (Fig. 7C). Este parámetro no presentó diferencias significativas entre las mareas de la primera campaña ni entre temporadas.

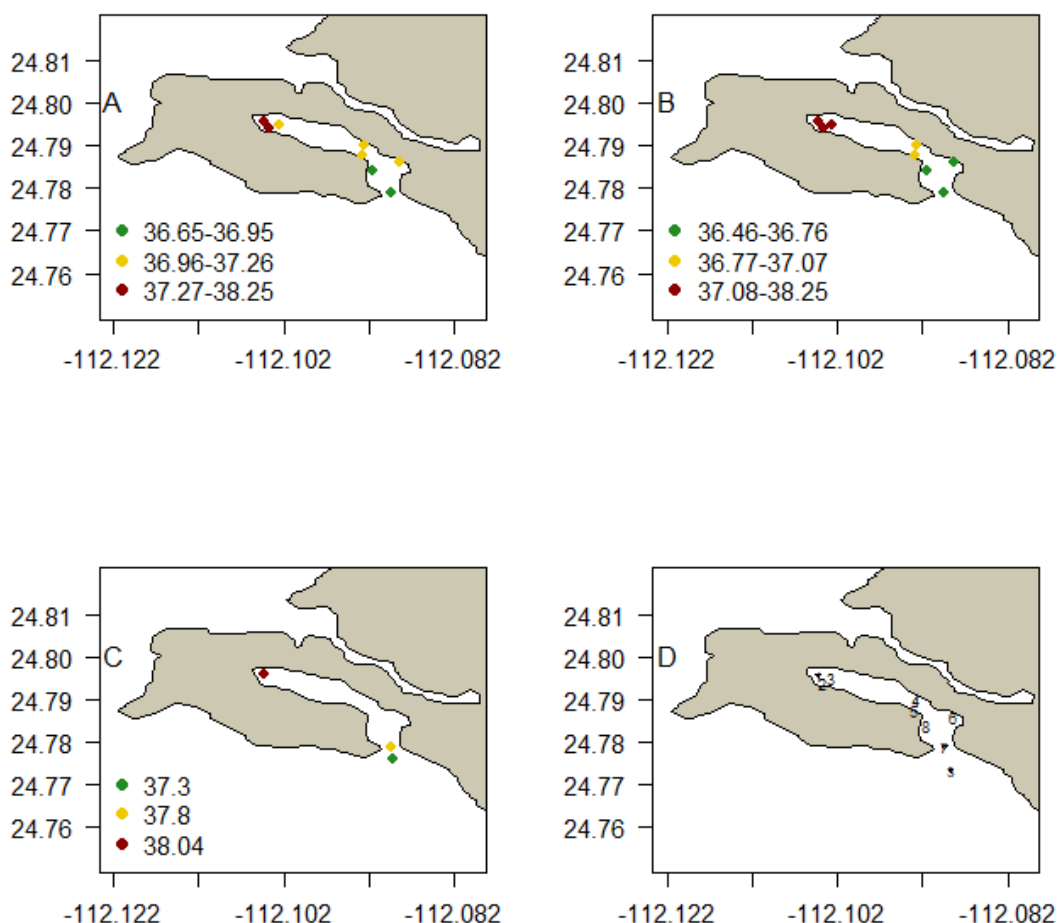


Fig. 7 A. Valores de salinidad en marea baja primera campaña (11 octubre 2016), B. en marea alta primera campaña (14 octubre 2016), C. marea alta segunda campaña (27 junio 2017), D. Ubicación sitios de muestreo

Detergentes evaluados en el Estero San Carlos

Los valores de las concentraciones de los detergentes en marea baja de la primera campaña presentaron un intervalo de 0.43 a 0.91 mg L⁻¹. Los valores más altos tendieron a localizarse en el interior del estero. (Fig. 8A). En marea alta de la primera campaña los valores de concentración fueron mayores que los de marea baja, en un intervalo de 0.84 a 1.12 mg L⁻¹ (Fig.8B). Para la segunda campaña el intervalo fue más reducido que los anteriores, de 0.05 a 0.07 mg L⁻¹ (Fig.8C). Este parámetro no presentó diferencias significativas entre las mareas de la primera campaña sin embargo si presentó una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las temporadas.

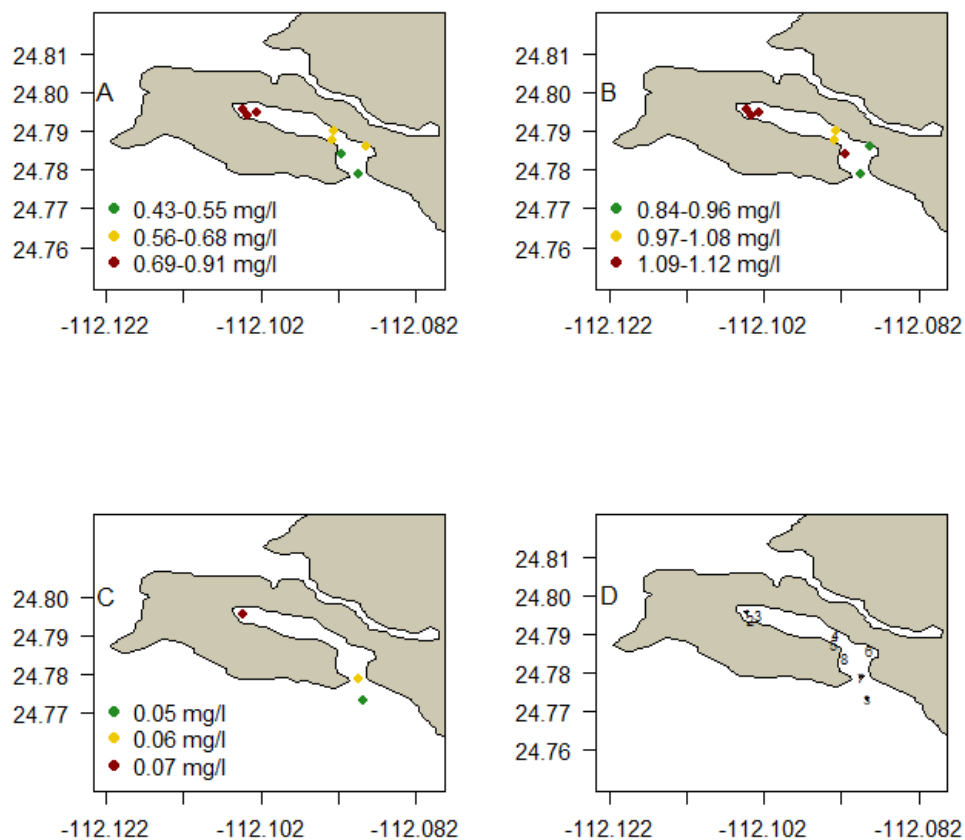


Fig. 8A. Concentración de SAAM en marea baja primera campaña (11 octubre 2016), B. en marea alta primera campaña (14 octubre 2016), C. marea alta segunda campaña (27 junio 2017), D. Ubicación sitios de muestreo

Aceites y Grasas en el Estero San Carlos

Las concentraciones de aceites y grasas en el segundo muestreo variaron de 0.31 a 10 mg L⁻¹ (Fig. 9)

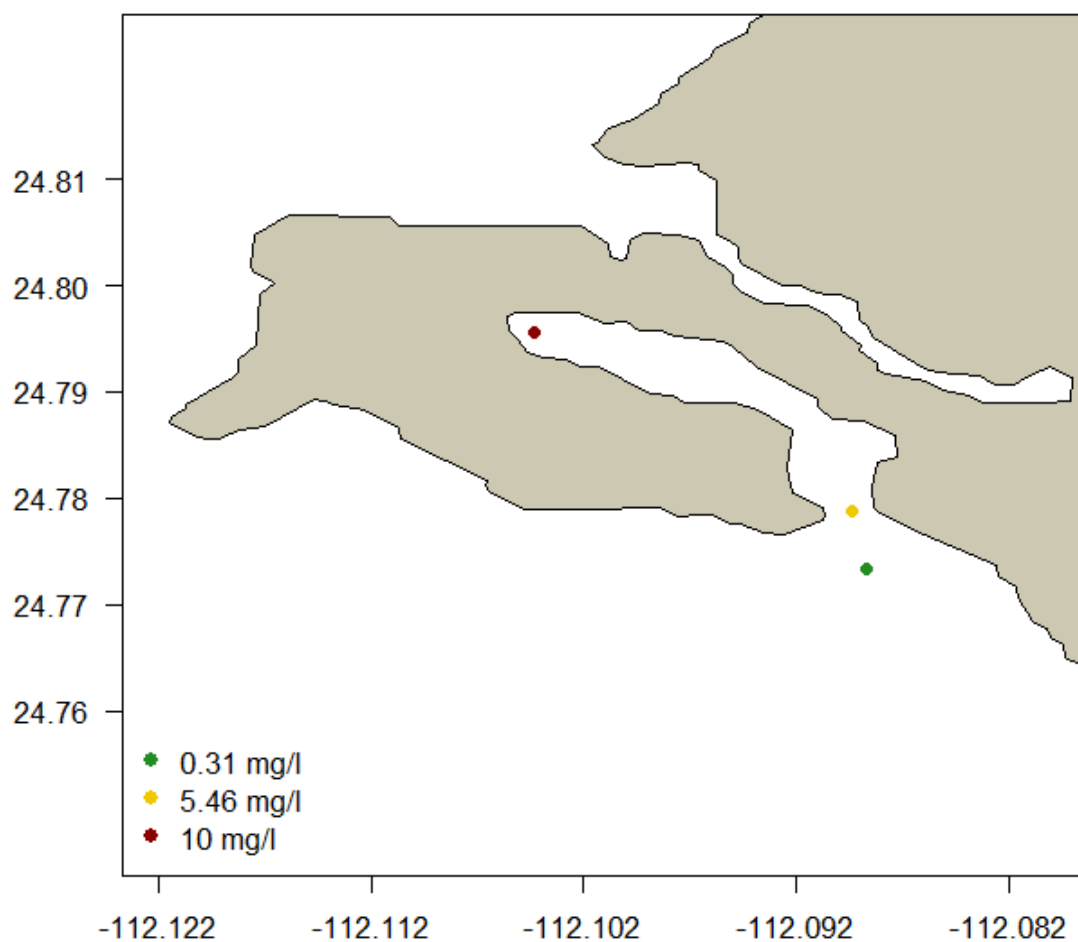


Fig. 9 Concentración de aceites y grasas en marea alta segunda campaña (27 junio 2017).

Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el Estero San Carlos

Los valores de SST en marea baja de la primera campaña variaron de 2.9 a 9.9 mg L⁻¹ (Fig.10A). En marea alta los valores de concentración fueron menores, tuvieron un intervalo de 2.3 a 4.7 mg L⁻¹ (Fig.10B).

En la segunda campaña se registró un gradiente. El sitio 1 tuvo la mayor concentración con 24 mg L⁻¹, después el sitio 2 con una concentración de 4 mg L⁻¹ y por último el sitio 3 con un valor mínimo, cercano al límite de detección 0.1 mg L⁻¹. (Fig.10C). Este parámetro no presentó diferencias significativas entre las mareas de la primera campaña ni entre temporadas.

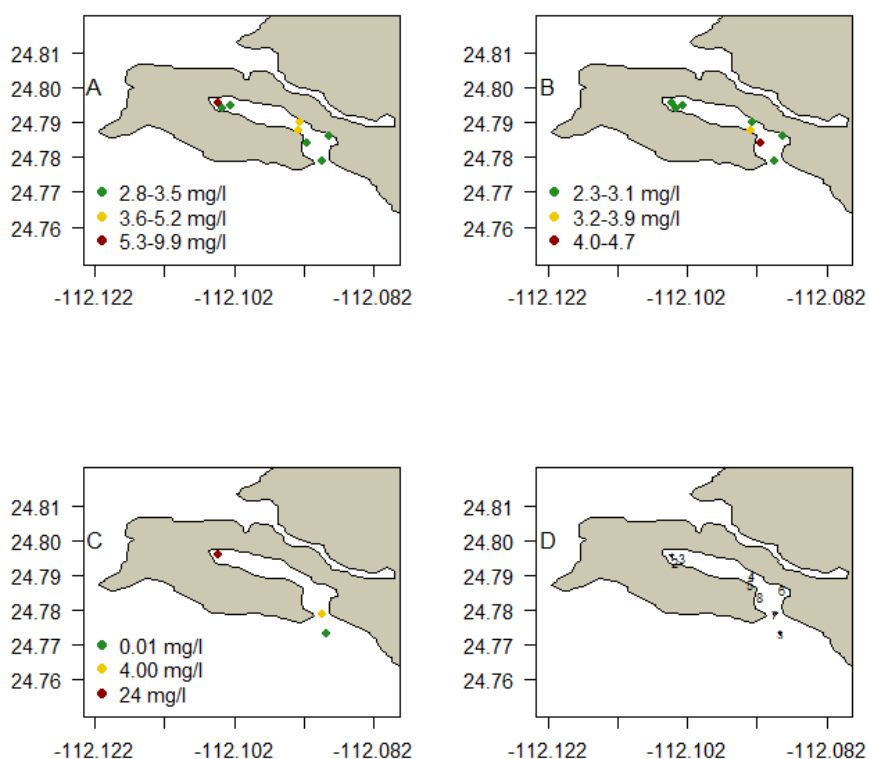


Fig. 10A. Valores de SST en marea baja primera campaña (11 octubre 2016), B. en marea alta primera campaña (14 octubre 2016), C. marea alta segunda campaña (27 junio 2017), D. Ubicación sitios de muestreo

Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) en el Estero San Carlos

La concentración de OD en marea baja de la primera campaña presentó un intervalo de 6.25 a 6.95 mg L⁻¹(Fig. 11A). En marea alta se registraron valores más altos, en un intervalo de 5.22 a 7.59 mg L⁻¹ (Fig. 11B).

En la segunda campaña la concentración de oxígeno varió de 4.28 a 4.48 mg L⁻¹ (Fig. 11C). Este parámetro no presentó diferencias significativas entre las mareas de la primera campaña, sin embargo, si presentó una diferencia significativa con una ($p < 0.05$) entre las temporadas.

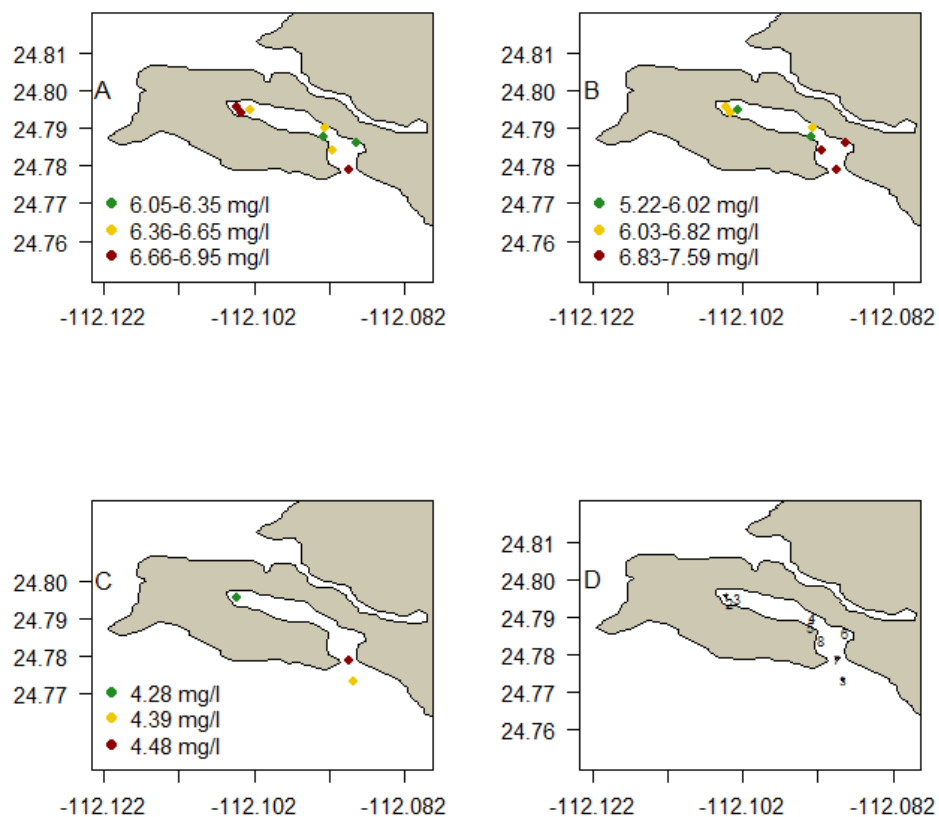


Fig. 11A. Concentración de OD en marea baja primera campaña (11 octubre 2016), B. en marea alta primera campaña (14 octubre 2016), C. marea alta segunda campaña (27 junio 2017), D. Ubicación sitios de muestreo

Concentración de Nitrito en el Estero San Carlos

Los valores de las concentraciones de nitrito para marea baja de la primera campaña oscilaron entre 0.010 a 0.018 mg L⁻¹ (Fig.12A). La concentración en marea alta tuvo mayores concentraciones, 0.001 a 0.041 mg L⁻¹ (Fig. 12B).

Para la segunda campaña los valores de las concentraciones fueron igualmente bajos de ND a 0.002 mg L⁻¹ (Fig. 12C). Este parámetro no presentó diferencias significativas entre las mareas de la primera campaña, sin embargo, si presentó diferencias significativas con una ($p < 0.05$) entre las temporadas.

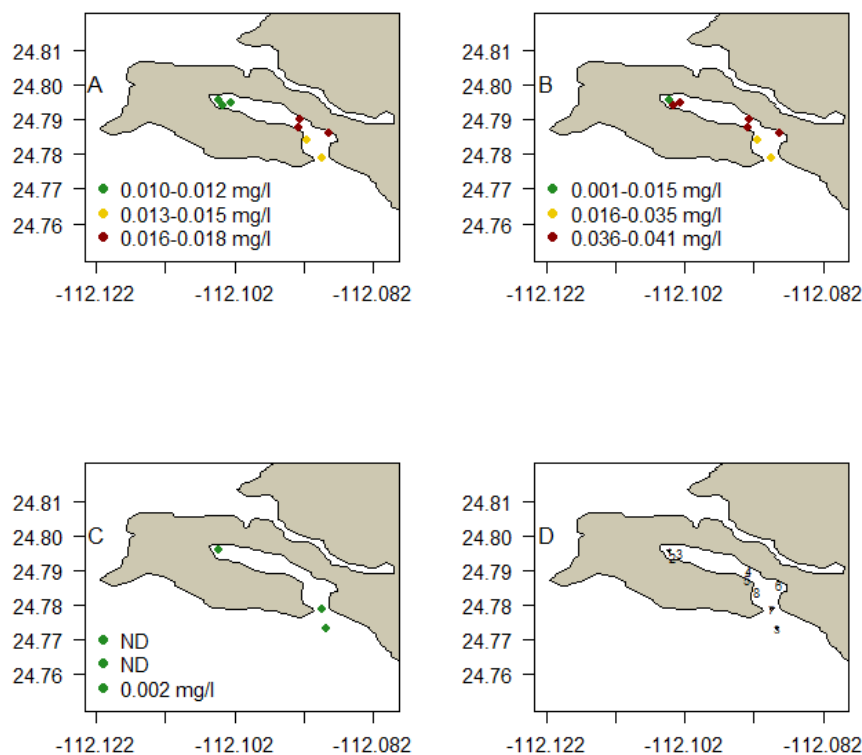


Fig. 12 A. Concentración de nitrito en marea baja primera campaña (11 octubre 2016), B. en marea alta primera campaña (14 octubre 2016), C. marea alta segunda campaña (27 junio 2017), D. Ubicación sitios de muestreo

Concentración de Nitrato en el Estero San Carlos

Los valores de concentración de nitrato en la marea baja de la primera campaña presentaron un intervalo de ND a 0.11 mg L⁻¹ (Fig.13A). Los valores de concentración en marea alta fueron menores, de ND a 0.04 mg L⁻¹ (Fig.13B).

En la segunda campaña el intervalo de variación fue de 0.030 a 0.054 mg L⁻¹ (Fig.13C). Este parámetro no mostró diferencias significativas entre las mareas de la primera campaña ni entre temporadas.

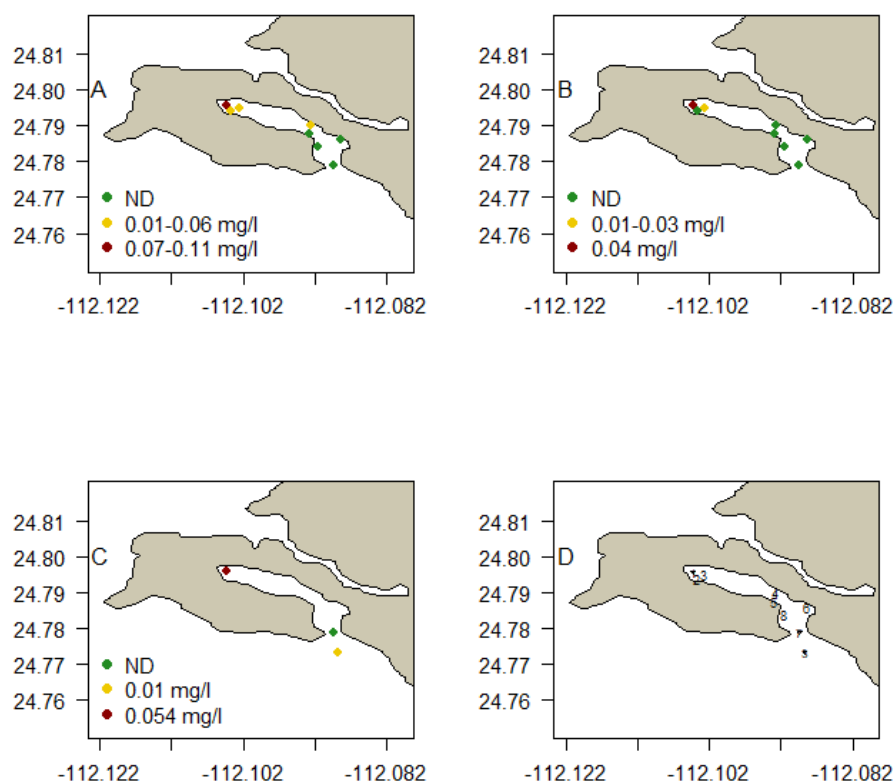


Fig. 13A. Concentración de nitrato en marea baja primera campaña (1 1o octubre 2016), B. en marea alta primera campaña (14 octubre 2016), C. marea alta segunda campaña (27 junio 2017), D. Ubicación sitios de muestreo.

Concentración de Amonio en el Estero San Carlos

En marea baja de la primera campaña el amonio varió de 0.021 a 0.14 mg L⁻¹ (Fig.14A). Los valores de marea alta tuvieron menores concentraciones, de ND a 0.060 mg L⁻¹ (Fig.14B).

Para la segunda campaña el valor más alto de concentración de amonio se dió en el sitio 2, boca del estero con 0.024 mg L⁻¹, y el valor más bajo estuvo en el sitio 3 con 0.012 mg L⁻¹ (Fig.14C). Este parámetro no presentó diferencias significativas entre las mareas de la primera campaña ni entre temporadas.

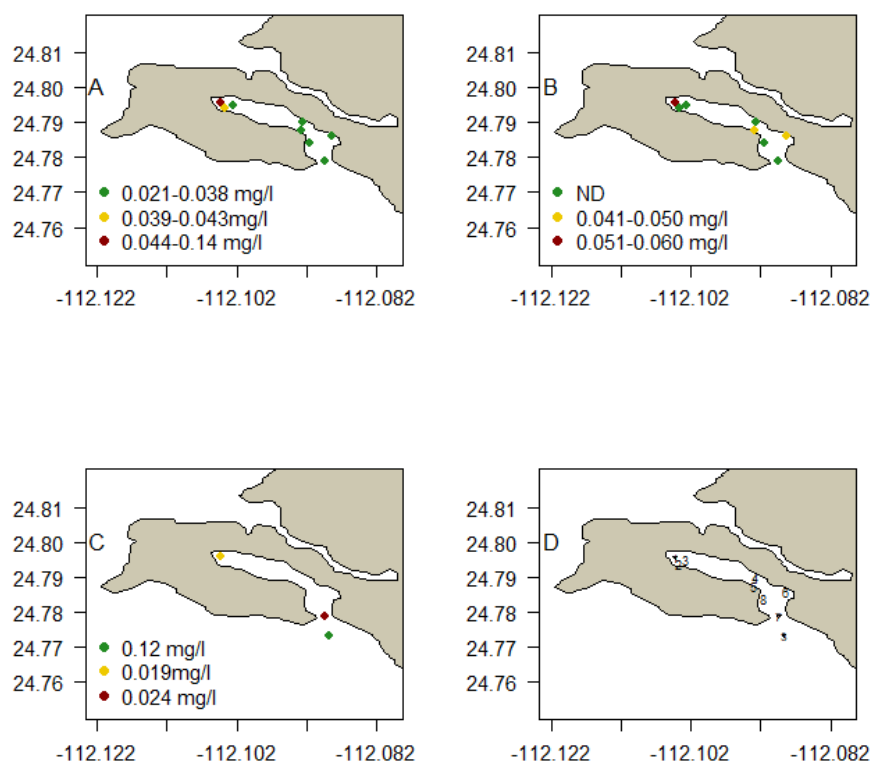


Fig. 14A. Concentración de amonio en marea baja primera campaña (11 octubre 2016), B. en marea alta primera campaña (14 octubre 2016), C. marea alta segunda campaña (27 junio 2017), D. Ubicación sitios de muestreo

Concentración de Fosfato en el Estero San Carlos

Las concentraciones de fosfato para marea baja variaron de ND a 0.130 mg L⁻¹ (Fig. 15A). Los valores hallados en marea alta fueron mayores. El intervalo fue de 0.012 a 0.340 mg L⁻¹ (Fig. 15B).

Para la segunda campaña el mayor valor se presentó en la boca del estero (sitio 2), con un valor de 0.09 mg L⁻¹, después le siguió el hallado en el sitio 3 fuera del estero con 0.07 mg L⁻¹, y por último el de menor valor, el sitio 1, dentro del estero con 0.06 mg L⁻¹ (Fig. 15C). Este parámetro no mostró diferencias significativas entre las mareas de la primera campaña ni entre ambas temporadas.

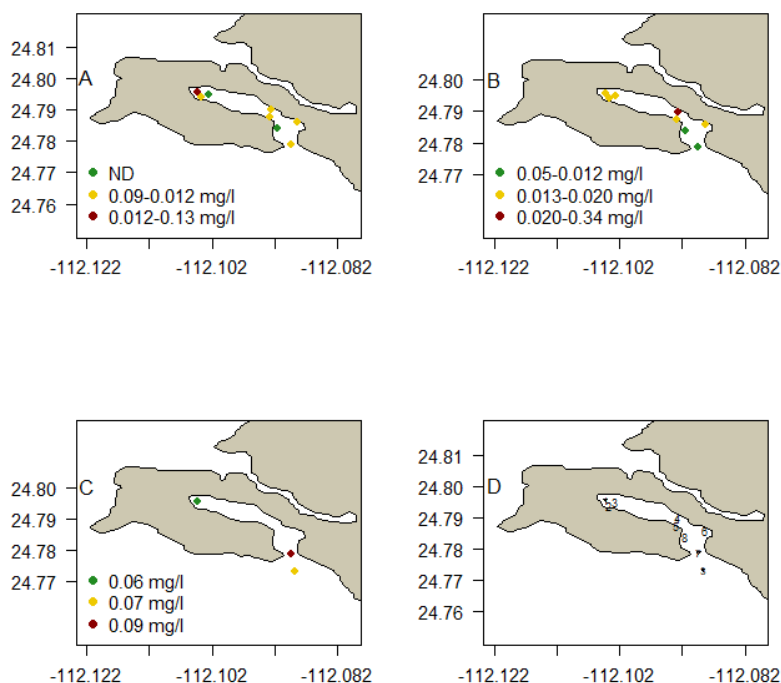


Fig. 15A. Concentración de fosfato en marea baja primera campaña (11 octubre 2016), B. en marea alta primera campaña (14 octubre 2016), C. marea alta segunda campaña (27 junio 2017), D. Ubicación sitios de muestreo.

Concentración de Clorofila *a* en el Estero San Carlos

Los valores de clorofila *a* en la marea baja de la primera campaña oscilaron entre 2.71 y 5.50 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Fig. 16A). Las concentraciones halladas en marea alta fueron menores, el intervalo de variación fue de entre 2.60 y 4.82 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Fig. 17B).

Para la segunda campaña se observó un gradiente desde el sitio 3, afuera del estero, con 1.15 $\mu\text{g L}^{-1}$ seguido por el sitio 2, boca del estero, con un valor de 0.82 $\mu\text{g L}^{-1}$ y por último el sitio 1, dentro del estero y cerca de la población, con 0.66 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Fig.17C). Este parámetro no presentó diferencias significativas entre las mareas de la primera campaña, sin embargo, si fue significativamente diferente entre temporadas ($p < 0.05$).

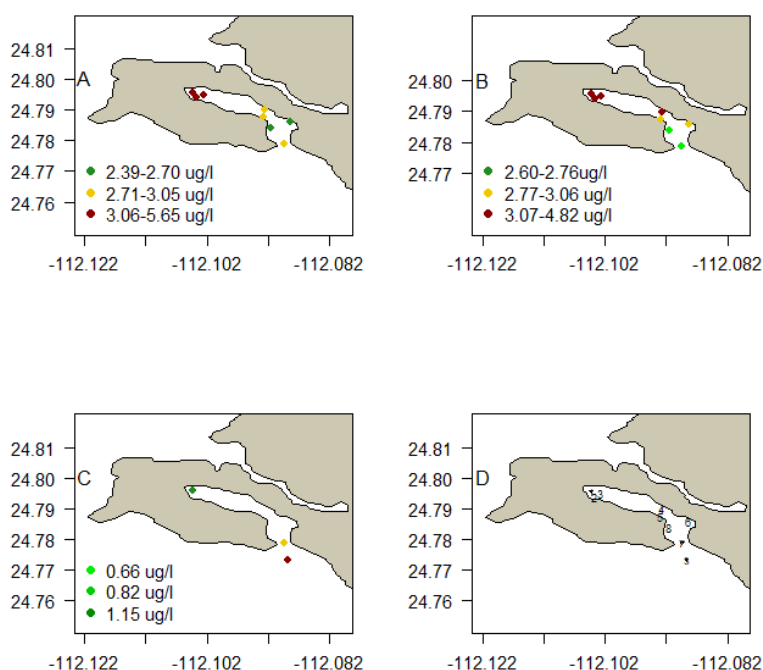


Fig. 16A. Valores de concentración de Cl *a* en marea baja primera campaña (11 octubre 2016), B. en marea alta primera campaña (14 octubre 2016), C. marea alta segunda campaña (27 junio 2017), D. Ubicación sitios de muestreo.

Matriz de evaluación de Impacto en el Estero San Carlos

En la evaluación de la calidad del agua durante la marea baja de la primera campaña (11 de octubre del 2016), se obtuvo que todos los parámetros fisicoquímicos propuestos por la NOM-001, respecto a las aguas costeras, no sobrepasan el valor estipulado por la norma, por lo que no generan un impacto en el estero; mientras que pH, detergentes, amonio y fosfato evaluados con respecto a los Criterios Ecológicos (CE-CCA-001/89) estuvieron por encima del valor estipulado por la norma, categorizados como impactos extremos.

Tabla 1. Matriz de Evaluación de Impacto. Clasificación para el muestreo del 11/10/2016. [0= No Existe Impacto (verde) 1= Impacto Moderado (amarillo) 3= Impacto Extremo (rojo)].

	Límite	Promedio.ds	n	Impacto
Temperatura (°C)	40	26.25 ± 0.65	8	0
Oxígeno Disuelto (mg L ⁻¹)	5	6.37± 0.32	8	0
Sólidos Sedimentables (ml L ⁻¹)	2	1± 0.10	8	0
Sólidos Suspendidos Totales (mg L ⁻¹)	75	3.88 ± 2.44	8	0
SAAM (mg L ⁻¹)	0.1	0.61 ± 0.19	8	0
Nitrito (mg L ⁻¹)	0.002	0.0012 ± 1x10 ³	8	0
Nitrato (mg L ⁻¹)	0.04	0.01± 0.01	8	0
pH (adimensional)	8	7.95 ± 0.25	8	1
SAAM (mg L ⁻¹)	0.1	0.61 ± 0.19	8	3
Amonio (mg L ⁻¹)	0.01	0.03 ± 2.31	8	3
Fosfato (mg L ⁻¹)	0.002	0.03 ± 0.01	8	3

Al desarrollar la matriz de impacto para marea alta de la primera campaña (14 octubre 2016), se obtuvo que los parámetros fisicoquímicos no exceden los valores máximos permisibles que establece la NOM-001.

Para la normatividad de Criterios Ecológicos agua (CE-CCA-001/89), el amonio y fosfato sobrepasaron los valores máximos permisibles; exceptuando el nitrato, que tuvo un valor intermedio y se le asignó un impacto de 1. Los detergentes superaron el límite establecido al igual que los coliformes fecales.

Tabla 2. Matriz de Evaluación de Impacto del muestreo 14/10/2016
Clasificación. 0= No Existe Impacto 1= Impacto Moderado 3= Impacto Extremo.

	Límite	Promedio.ds	n	Impacto
Temperatura (°C)	40	26.39 ± 0.19	8	0
Oxígeno Disuelto (mg L ⁻¹)	5	6.34 ± 0.89	8	0
Sólidos Sedimentables (ml L ⁻¹)	2	1± 0.10	8	0
Sólidos Suspendidos Totales (mg L ⁻¹)	75	3.25 ± 0.73	8	0
SAAM (mg L ⁻¹)	0.1	0.98 ± 0.10	8	0
pH (adimensional)	8	7.68 ± 0.07.	8	0
Nitrato (mg L ⁻¹)	0.04	0.06± 0.016	8	1
Amonio (mg L ⁻¹)	0.01	0.03 ± 0.01	8	3
Nitrito (mg L ⁻¹)	0.002	0.003 ± 0.002	8	3
Fosfato (mg L ⁻¹)	0.002	0.14 ± 0.08	8	3
Coliformes Fecales (NMP100 ml ⁻¹)	200	1011± 0.50	8	3

En cuanto a la evaluación de la segunda campaña (27 junio 2017), los parámetros medidos en los tres sitios de muestreo, fueron clasificados como de 0 impacto en el estero en todos sus usos respecto a las aguas costeras, según la NOM-001.

Los evaluados con respecto a los Criterios Ecológicos (CE-CCA-001/89) registraron un valor intermedio en el nitrato y el pH, impacto de 1, mientras que el nitrito, amonio y fosfato estuvieron por encima del límite permisible.

Tabla 3. Matriz de Impacto en el muestreo del 27/10/2017. 0= No Existe Impacto 1= Impacto Moderado 3= Impacto Extremo.

	Límite	Promedio.ds	n	Impacto
Temperatura (°C)	40	26.25± 0.10	3	0
Oxígeno Disuelto (mg L ⁻¹)	5	4.40± 0.10	3	0
Sólidos Sedimentables (ml L ⁻¹)	2	< 1± 0.1	3	0
Sólidos Suspendidos Totales (mg L ⁻¹)	75	9.33± 13	3	0
A & G (mg L ⁻¹)	25	5.26±4.90	3	0
SAAM (mg L ⁻¹)	0.1	0.06± 0.01	3	0
Nitrato (mg L ⁻¹)	0.04	0.03± 0.40	3	1
pH (adimensional)	8	7.90± 0.20	3	1
Amonio (mg L ⁻¹)	0.01	0.03± 1.30	3	3
Nitrito (mg L ⁻¹)	0.002	0.02± 0.09	3	3
Fosfato (mg L ⁻¹)	0.002	0.07± 0.10	3	3

8.2. Variación de los parámetros fisicoquímicos y Nutrientes del Estero San Carlos con respecto a la marea.

Los resultados obtenidos de las variables medidas con relación a la marea en la primera campaña (11 al 14 octubre 2016) empleando el modelo Euleriano en el sitio 8, mostraron el siguiente comportamiento:

El pH (Fig. 17A) varió en un intervalo estrecho de 7.6 a 7.9 y no significativo con respecto a la marea, con un promedio de 7.7 ± 0.1 . Sus valores fueron constantes a lo largo de la campaña.

La temperatura (Fig. 17B) no presentó una relación significativa con respecto a la marea, su valor máximo fue 28.06 (°C) y el menor fue 26.30 (°C). La temperatura tuvo un promedio de 27.30 ± 0.60 (°C).

El oxígeno disuelto (Fig. 17C) no estuvo relacionado con la marea, sin embargo, registró un aumento en sus concentraciones en condiciones de flujo con respecto a la de reflujo aproximadamente cada dos ciclos, su promedio fue de 7.37 ± 1.50 (mg L⁻¹) a lo largo de las horas muestreadas.

La salinidad (Fig. 17D) mostró un comportamiento inverso y significativo respecto a la marea con una ($p < 0.05$) y un $r = -0.94$. Las mayores concentraciones de la salinidad se registraron en el reflujo 38.0 (g L⁻¹) que con respecto al flujo 36.8 (g L⁻¹).

El nitrito (Fig. 18A) no tuvo una relación significativa con la marea, su mayor concentración fue 0.009 (mg L⁻¹) y su menor no fue detectado, mantuvo un promedio de 0.004 ± 0.001 (mg L⁻¹).

El nitrato (Fig. 18B) no registró una relación significativa con la marea, mantuvo concentraciones bajas, con su mayor concentración de 0.04 (mg L⁻¹) y la menor no detectada.

El amonio (Fig. 18C) no tuvo una relación significativa con la marea y tuvo concentraciones bajas, la mayor concentración fue de 1.2 (mg L⁻¹) y la menor de 0.08 (mg L⁻¹), y un promedio de 0.51 ± 0.3 (mg L⁻¹).

El fosfato (Fig. 18D) presentó una relación significativa con respecto a la marea con una ($p < 0.05$) y un $r = -0.45$ su comportamiento fue inverso a la marea teniendo mayores concentraciones en el reflujo que en el flujo, con un intervalo entre 0.09 a 0.12 (mg L⁻¹) y un promedio de 0.10 ± 0.02 (mg L⁻¹).

La clorofila *a* (Fig. 18E) presentó un comportamiento inverso con respecto a la marea con una ($p < 0.05$) y un $r = -0.60$, mostrando su mayor concentración 8.1 (ug L⁻¹) en el reflujo y la menor 2.3 (ug L⁻¹).

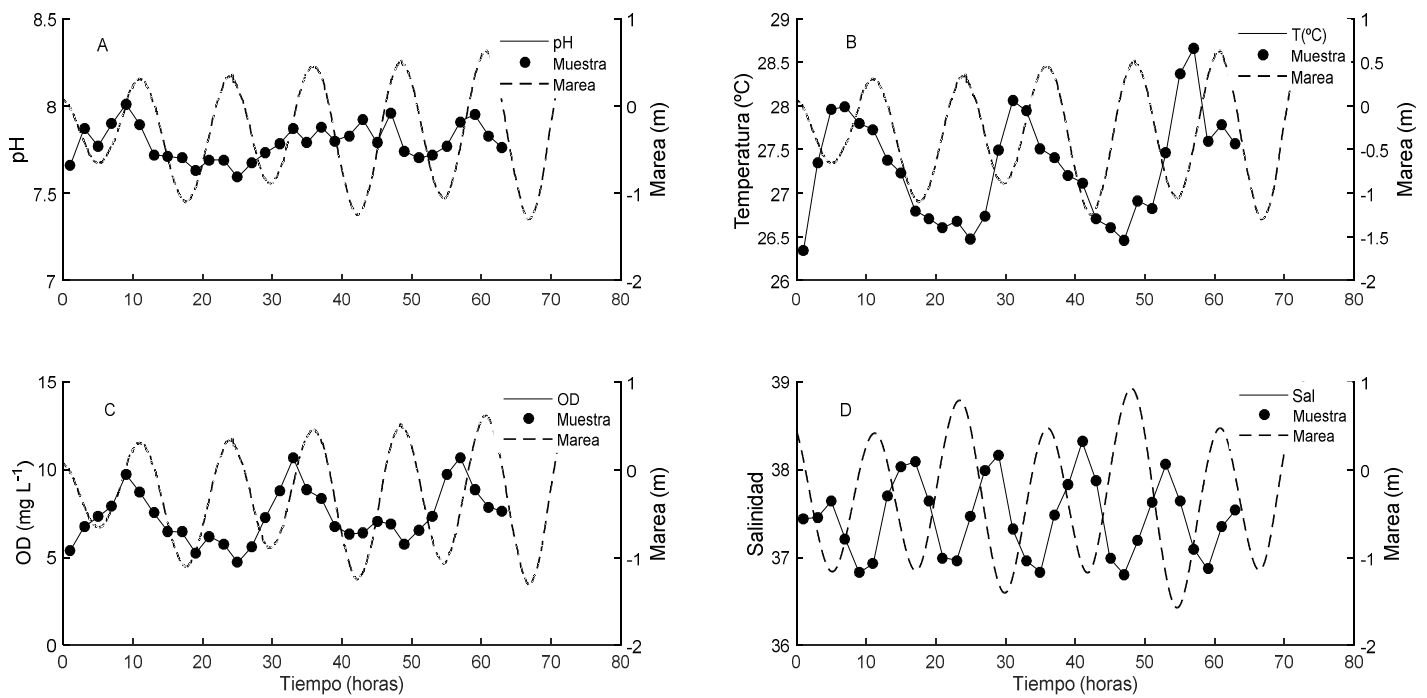


Fig. 17. Comportamiento de las variables hidrológicas medidas en la estación 8 del Estero San Carlos del 11/10/2016 al 14/10/2016. (A) Potencial de Hidrogeno (pH), (B) Temperatura (T), (C) Concentración oxígeno disuelto (OD) y (D) Salinidad (Sal) durante 2.5 ciclos mareales mediante un modelo Euleriano

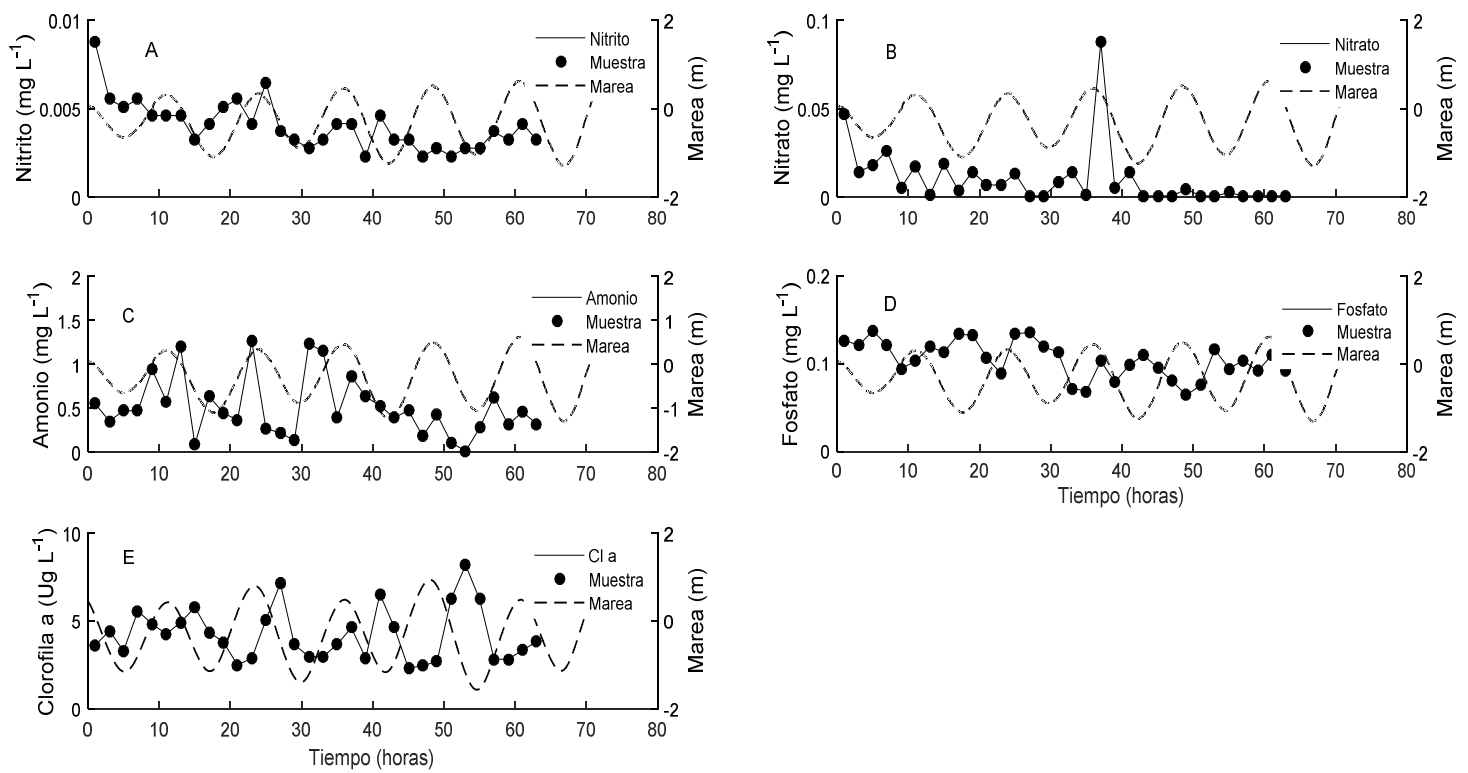


Fig. 18. Comportamiento variables hidrológicas medidas en la estación 8 del Estero San Carlos del 11/10/2016 al 14/10/2016. (A) Nitrito, (B) Nitrato, (C) Amonio, (D) Fosfato y (E) Clorofila a (Cl a) durante 2.5 ciclos mareales mediante un modelo Euleriano.

Los resultados obtenidos en la segunda campaña (27 a 30 junio 2017) fueron los siguientes:

El pH (Fig. 19A) presentó un comportamiento relacionado directamente con la marea con una ($p < 0.05$) y un $r = 0.52$. Este se incrementó conforme aumentaba la marea registrando los mayores valores en el flujo y los menores en el reflujo. La variación del pH fue entre 7.9 y 8.3 con un promedio de 8.2 ± 0.1 .

La temperatura (Fig. 19B) registró un comportamiento directo con la marea con una ($p < 0.05$) y un $r = 0.38$. La temperatura y la marea aumentaban de manera simultánea, teniendo las mayores temperaturas en el flujo y las menores en el reflujo. La temperatura máxima fue 28.0 ($^{\circ}\text{C}$) y la menor fue de 25.8 ($^{\circ}\text{C}$) con un promedio de 27.2 ± 1.0 ($^{\circ}\text{C}$).

El oxígeno disuelto (Fig. 19C) no tuvo una relación significativa con la marea, sin embargo, se observó que en ciertos periodos de tiempo mantuvo tendencia inversa respecto a esta. Su máxima concentración fue de 3.6 (mg L^{-1}) y la mínima fue de 1.9 (mg L^{-1}) con un promedio 2.7 ± 0.9 (mg L^{-1}).

La salinidad (Fig. 19D) presentó un comportamiento inverso a la marea con una ($p < 0.05$) y un $r = -0.05$, a pesar de que no se encuentra completamente en fase mantiene la tendencia inversa con respecto a la marea registrando mayor salinidad en el reflujo 38.2 (g L^{-1}) con respecto al flujo 36.8 (g L^{-1}).

El nitrito (Fig. 20A) el patrón de comportamiento no fue significativo la marea a pesar de que muestra un aumento al ir aumentando sus concentraciones fueron muy bajas al punto de que la máxima fue de 0.05 (mg L^{-1}) y la menor no fue detectada (ND).

El nitrato (Fig. 20B) no fue significativo con la marea, su comportamiento es inverso a esta manteniendo sus bajas concentraciones constante con un promedio de 0.02 ± 0.01 (mg L^{-1}).

Amonio (Fig.20C) no fue significativo con la marea mostró un comportamiento inverso en sus bajas concentraciones con un promedio de $0.02 \pm 0.01(\text{mg L}^{-1})$.

El fosfato (Fig. 20D) no fue significativo con la marea su comportamiento inverso a la marea registró sus mayores concentraciones en el reflujo con respecto al el flujo la mayor concentración fue de $0.08 (\text{mg L}^{-1})$ y la menor de $0.04 (\text{mg L}^{-1})$ con un promedio de $0.07 \pm 0.01(\text{mg L}^{-1})$.

La clorofila *a* (Fig.19D) no presentó un comportamiento significativo relacionado con la marea su mayor concentración $1.3 (\mu\text{g L}^{-1})$ y la menor $0.5 (\mu\text{g L}^{-1})$, con un promedio de $0.9 \pm 0.3 (\mu\text{g L}^{-1})$.

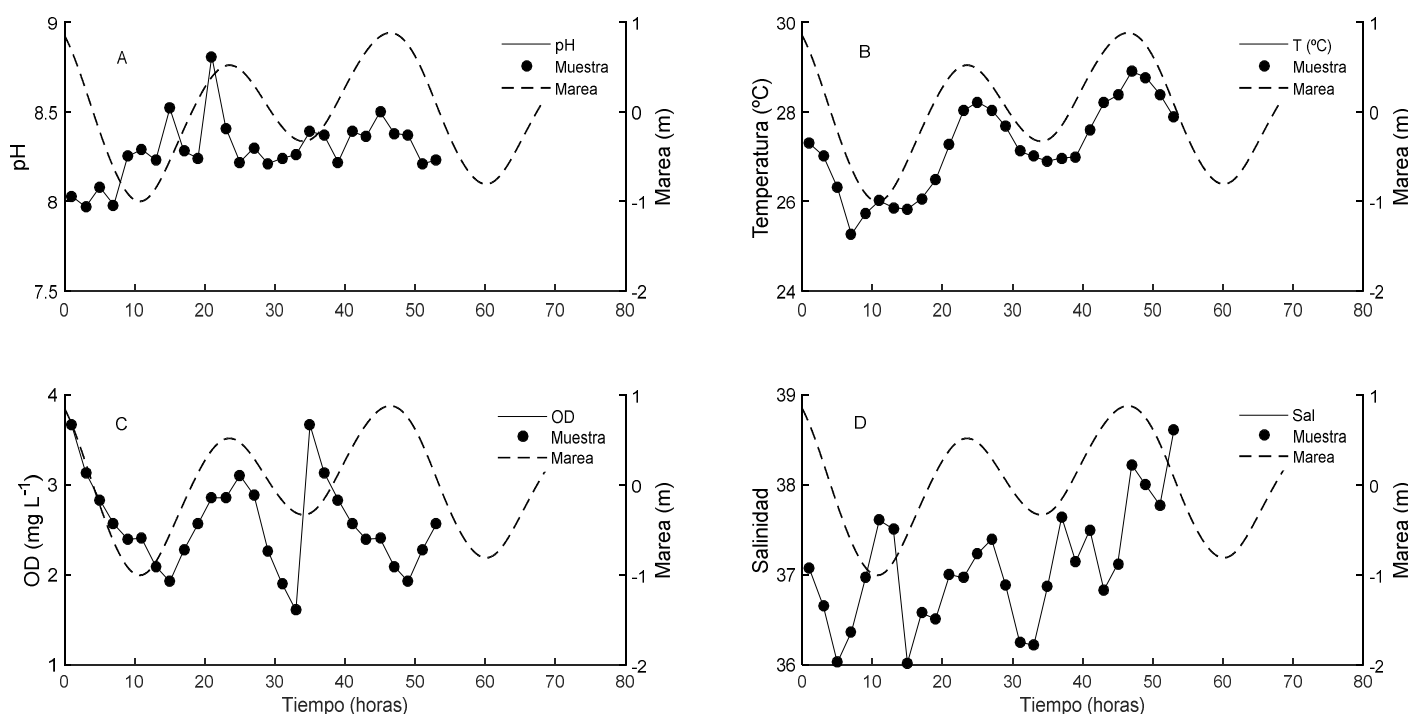


Fig. 19 Comportamiento variables hidrológicas medidas en la estación 8 del Estero San Carlos del 27/06/2017 al 30/06/2017. (A) Potencial de Hidrogeno (pH), (B) Temperatura (T), (C) Concentración oxígeno disuelto (OD) y (D) Salinidad (Sal) durante 2.1 ciclo mareal mediante un modelo Euleriano

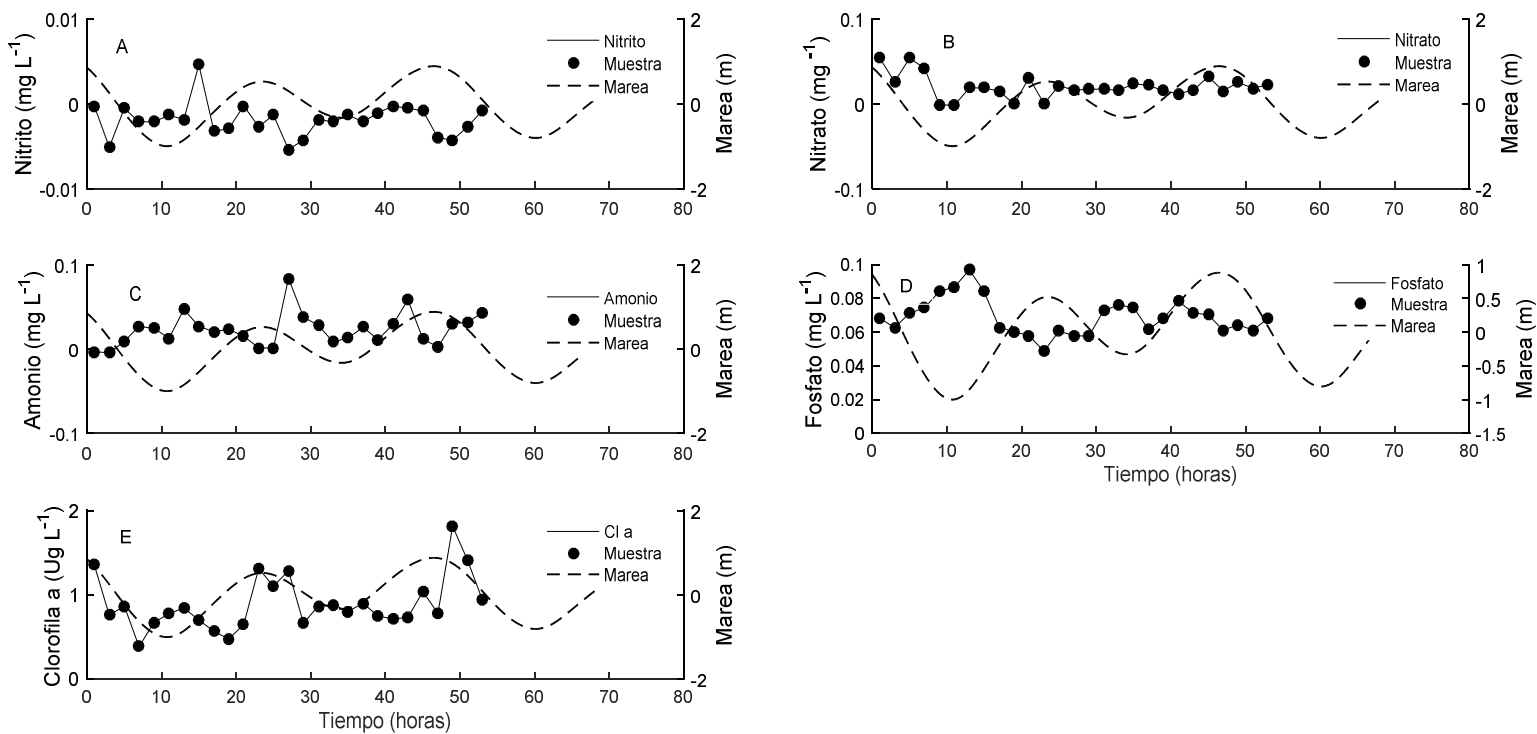


Fig. 20 Comportamiento variables hidrológicas medidas en la estación 8 del Estero San Carlos del 27/06/2017 al 30/06/2017 (A) Nitrito, (B) Nitrato, (C) Amonio, (D) Fosfato y (E) Clorofila a (Cl a) durante 2 ciclos de marea, mediante un modelo Euleriano

8.3. Cálculo del *Transporte de nutrientes en la boca del Estero San Carlos.*

Durante el primer muestreo la velocidad de la corriente en el canal del estero fue menor durante el flujo de la marea (14 cm/s) y mayor durante el reflujo (50 cm/s) De igual forma, aunque ligeramente mayor durante el flujo y reflujo en el segundo muestreo (18 y 55 cm/s, respectivamente) (Fig. 21).

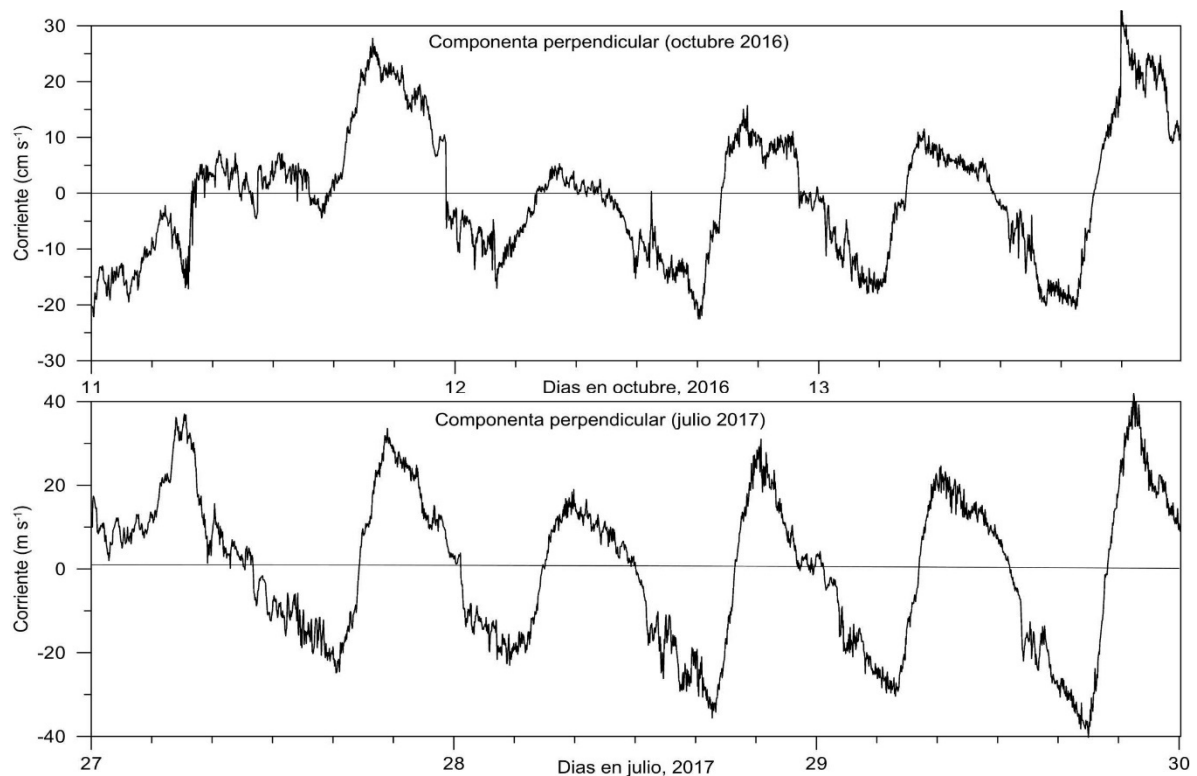


Fig. 21 Figura superior Velocidad corriente estero San Carlos primera campaña (11 al 14 octubre 2016), Figura inferior velocidad corriente estero San Carlos segunda campaña (27 al 30 junio 2017).

La dirección del flujo durante ambos muestreos tiene relación con la orientación del canal del estero, siendo predominantemente del noroeste durante el flujo y del suroeste durante el reflujo. (Fig.22).

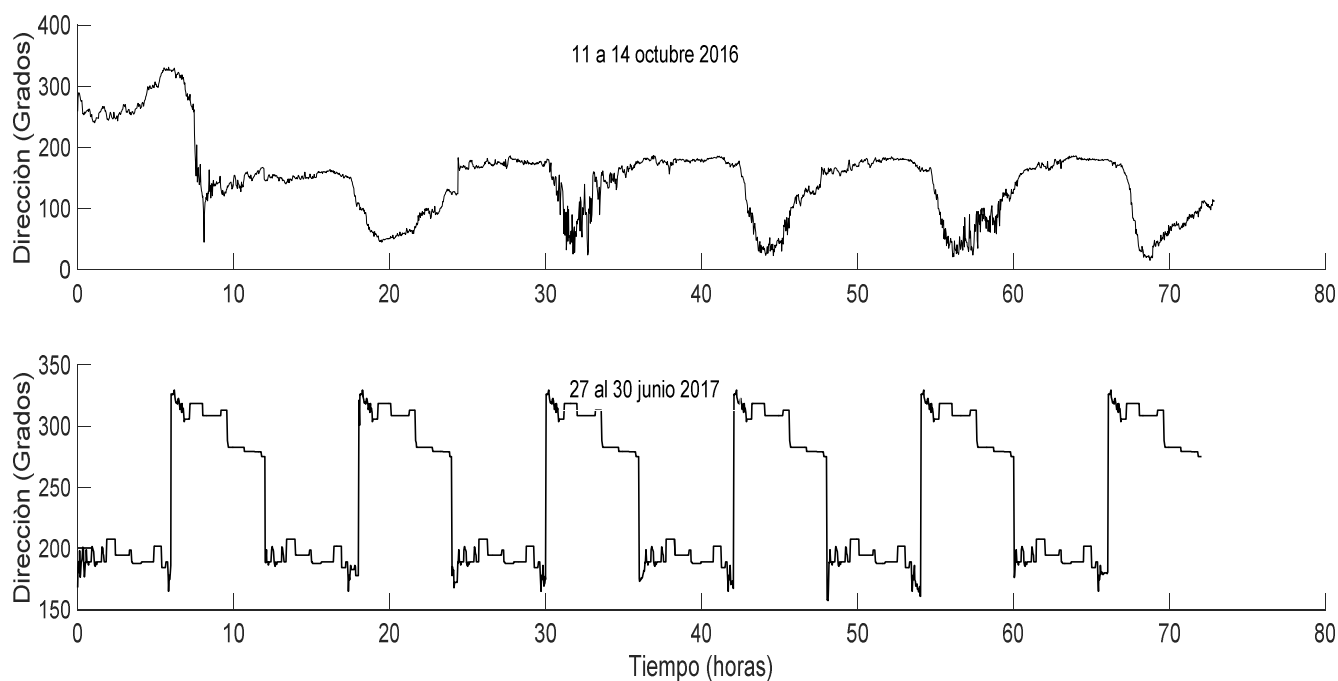


Fig. 22 Figura superior dirección corriente estero San Carlos primera campaña (11 al 14 octubre 2016), Figura inferior dirección corriente estero San Carlos segunda campaña (27 al 30 junio 2017).

Los valores promedio de velocidad y dirección de las dos campañas de muestreo (Fig. 23) muestran la similitud de los valores entre ambas campañas.

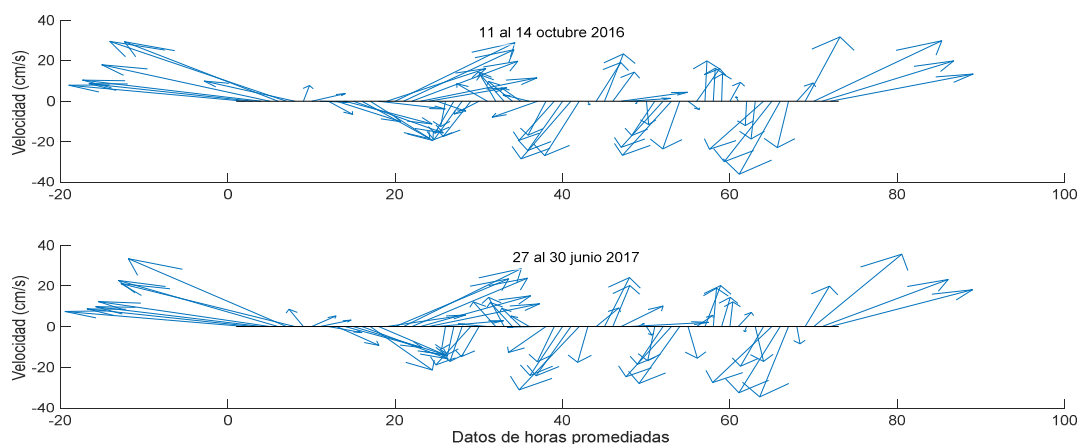


Fig. 23. Figura superior Promedio de velocidad y dirección del estero San Carlos en 72 horas primera campaña, Figura inferior Promedio de velocidad y dirección del estero San Carlos en 72 horas segunda campaña.

Cálculo de los volúmenes de agua en la boca del Estero San Carlos

Para el cálculo de los volúmenes de agua en el estero San Carlos durante la primera campaña, el volumen promedio de entrada (flujo) fue de 19 055 m³ el cual fue menor que el volumen promedio de salida (reflujo) con 21 367 m³. (Fig.24).

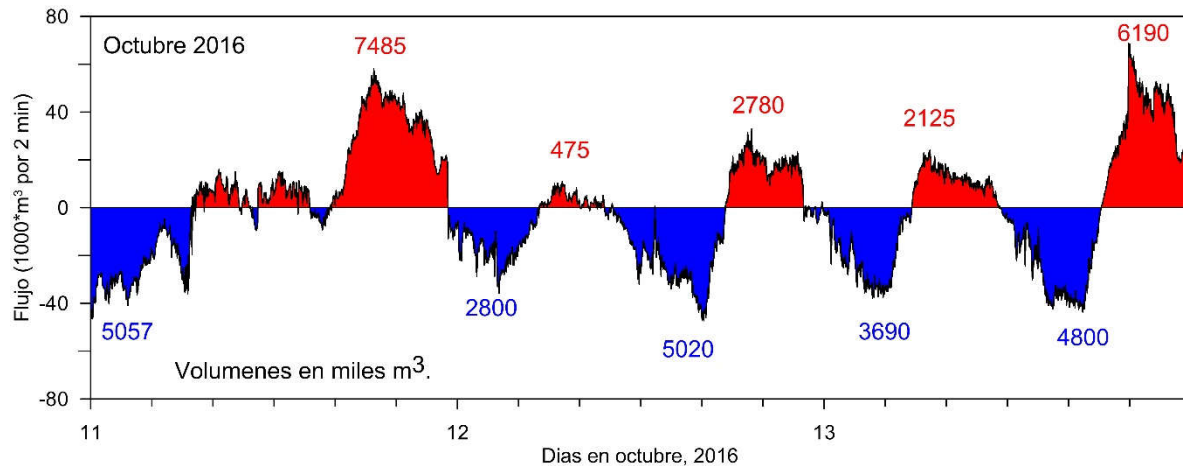


Fig. 24 Volúmenes de agua en el Estero San Carlos primera campaña, en rojo flujo y en azul reflujo

En la segunda campaña el intercambio de agua fue mayor con respecto a la primera campaña, pero en este caso el volumen de entrada (Flujo) fue mayor con un valor promedio de 31 280 m³ contra un volumen de salida (reflujo) de 30 977 m³. (Fig. 25).

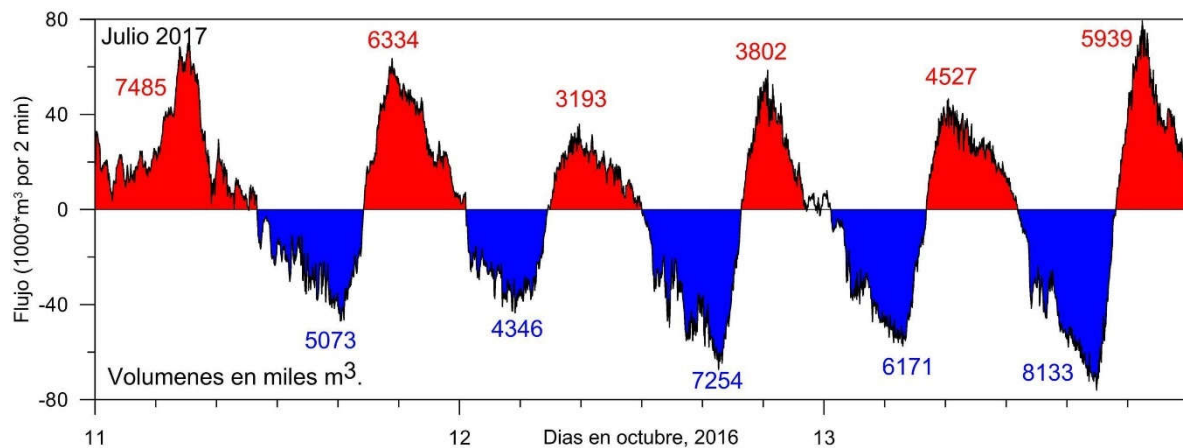


Fig. 25 Volúmenes de agua en el estero san Carlos segunda campaña, en rojo flujo y en azul reflujo

Cálculo de los valores de descarga de nutrientes y clorofila a en la boca del Estero San Carlos

Las estimaciones de los valores de descarga se calcularon a partir del promedio de los volúmenes de agua y la concentración de las variables medidas.

En la primera campaña el transporte se midió en la sección transversal del muelle (Fig.26).

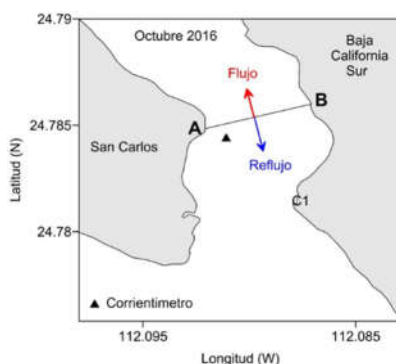


Fig. 26 Cálculo de la descarga a través de la sección A-B

Para la segunda campaña la medición fue realizada en la sección transversal de la boca (Fig. 27).

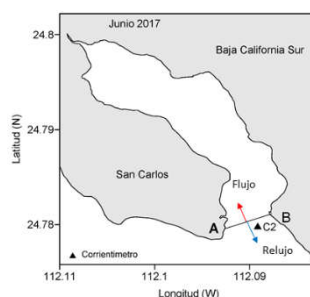


Fig. 27 Cálculo de la descarga a través de la sección A-B

En los resultados de los cálculos se obtuvo que para la primera campaña las variables medidas presentaron un sentido hacia afuera del estero, es decir, se exportaron todas las variables medidas con su valor en peso (Kg), hacia el complejo

lagunar bahía Magdalena siendo el fosfato el de mayor aporte con 71 Kg seguido del amonio, nitrato, nitrito y clorofila a. (Tabla 4).

Tabla 4. Transportes netos de Nitrito, Nitrato, Amonio, Fosfato y Clorofila a de la primera campaña del 11/10/2016 al 14/10/2016.

	Importación (Kg)	Exportación (Kg)
Nitrito		2.8
Nitrato		8.1
Amonio		34
Fosfato		71.5
Clorofila a		2.3

Durante el segundo muestreo los cálculos determinaron una exportación de las variables medidas, con valores de 56.1 Kg seguido del amonio, nitrato y clorofila a. El valor de nitrito no llegó al límite de detección (Tabla 5).

Tabla 5. Transportes netos de Nitrito, Nitrato, Amonio, Fosfato y Clorofila de la segunda campaña desde el día 27/06/2017 hasta 30/06/2017.

	Importación (Kg)	Exportación (Kg)
Nitrito		*ND
Nitrato		18.5
Amonio		20.7
Fosfato		56.1
Clorofila a		0.63

*ND= No Detectado

9. DISCUSIÓN

9.1. La calidad del agua del Estero San Carlos

Debido a que las comparaciones de los muestreos realizados entre mareas no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la mayoría de las variables analizadas (T, Salinidad; SAAM, SST, SSD, OD, NO_2^- , NO_3^- , NH_3^-), PO_4^{3-} , Cl a.) se puede decir que el Estero San Carlos presentó un comportamiento consistente respecto a las variables medidas con excepción del pH.

En los monitoreos realizados para las campañas de calidad del agua, La primera campaña tuvo en cuenta las dos amplitudes mareales en ocho estaciones con el fin de abarcar toda el área del estero y ver el comportamiento de las variables anteriormente descritas y lograr ver su diferencia. Para la segunda ya teniendo en cuenta lo que paso de manera inicial en el muestreo se realizó en una sola amplitud mareal.

Los mayores valores de pH fueron registrados en marea baja con respecto a los de marea alta, este parámetro no mostro en la diferencia de amplitudes mareales un comportamiento similar la cual puede estar asociada a la dinámica de los procesos físicos que determinan cambios en la interfase agua-atmósfera-sedimentos los cuales pueden repercutir en procesos biológicos como la respiración y la fotosíntesis que ocurren dentro del cuerpo hídrico. Por otra parte, el efecto de las condiciones hidrodinámicas impuestas por las corrientes de marea y el viento favorecen la remoción de sedimentos finos en el fondo el ocasionando un posible un intercambio en sus propiedades químicas; cabe destacar que estas condiciones puedan afectar el proceso de intercambio de dióxido de carbono. También es posible que exista una alta tasa en la fotosintética en el estero que favorece el consumo de dióxido de carbono y producción de oxígeno.

En cuanto a las comparaciones de los muestreos realizados entre temporadas se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las variables: Detergentes, sólidos sedimentables, oxígeno disuelto y nitrito. De lo cual podemos decir que para este estudio en el Estero San Carlos los valores de concentración en sus variables son distintos según la estación del año en que se tome la muestra. La diferencia de los detergentes cuyo valor promedio de concentración estuvo en 0.8 mg L^{-1} para la primera campaña y 0.06 mg L^{-1} para la segunda, estas dos campañas con una diferencia de 0.74 mg L^{-1} , puede estar asociada a las vías de acceso por la cual llega al estero. Dentro estas se considera el aporte fluvial mediante las lanchas que transitan en el estero y en mayor medida las descargas domesticas (difusas) por la actividad humana. Los detergentes pudieron haber sido adsorbidos por las partículas del sedimento quedando en el fondo marino por consiguiente al entrar en contacto con un mayor volumen de agua además de la acción del viento y velocidad

de la corriente, estas partículas son resuspendidas en el cuerpo de agua, registrando así un mayor valor de concentración en una amplitud mareal alta probablemente porque tenga mayor área de influencia en el estero con respecto a una baja.

En cuanto los sólidos sedimentables la diferencia radica en que la primera campaña existió un intercambio menor en volúmenes de agua con respecto a la segunda campaña, de igual manera las velocidades, aunque fueron similares para ambas temporadas fue ligeramente mayor en la segunda (promedio 0.05 cm/s). Es posible que el viento influya un poco sobre el estero ya que por su poca profundidad promueva la mezcla evitando estratificaciones y turbulencia.

El oxígeno disuelto fue menor en la segunda temporada (verano) con respecto a la primera (otoño) posiblemente porque esta época posee mayores valores en cuanto la temperatura lo cual disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua. Una mayor temperatura promueve un crecimiento más rápido de los organismos acuáticos esto se debe que asimilan mejor el alimento consumido a temperaturas altas (dentro del límite permisible para cada especie); también puede generar algunos incidentes de mortandad masiva de peces durante esta época de verano, pudiendo reducir los niveles de oxígeno.

Los nitritos tuvieron una mayor concentración (0.01 mg L^{-1}) en la primera campaña en la estación de otoño que lo hallado en la segunda campaña en la estación de verano (ND), la mayor concentración puede verse asociada a contaminación domestica reciente, debido a la inestabilidad que presenta este ion al estar en un medio oxidado.

Al evaluar la calidad del agua del estero podemos decir que, en los tres muestreos realizados, su resultado fue de una mala calidad para todos los usos en cuanto aguas costeras. Esto debido a que en la mayoría de las veces sobrepasaron los límites establecido en los Criterios Ecológicos (CE-CCA-001/89) de la siguiente manera: primer muestreo (SAAM, amonio, fosfato), en el segundo muestreo (nitrito, amonio, fosfato y coliformes fecales) y en el tercer muestreo (amonio, nitrito, fosfato).

En la mayor parte de las evaluaciones, los promedios de nitrito con 0.008 mg L^{-1} , amonio con 0.03 mg L^{-1} y fosfato 0.08 mg L^{-1} , estuvieron presentes para evidenciar la mala calidad que se encontró en el estero. Por otra parte, la presencia fuera de norma de los detergentes y los coliformes fecales apoyan este resultado. Como ya se ha mencionado anteriormente el Estero San Carlos es una zona que recibe un aporte frecuente de nutrientes, de manera natural, recibe las aguas del complejo lagunar Bahía Magdalena y de manera antropogénica las descargas de aguas residuales domesticas de la población.

Los fosfatos presentes en el estero pueden verse asociados por el tipo de rocas de origen volcánicos existentes en la zona la cual lleva consigo fosforo, otra causa de la presencia de los fosfatos es por las aguas residuales domesticas con presencia de detergentes los cuales son los principales aportadores de fósforo al cuerpo receptor. Los altos valores de detergentes y fosfato hallados en el Estero San Carlos se relacionan con el estudio desarrollado en la Bahía de Acapulco (Saldaña-Fabela2014) el cual indica como la influencia de las descargas de aguas residuales deterioran la calidad del agua de la bahía reportando valores de concentraciones de detergentes que oscilaban desde 1.33 mg L^{-1} hasta 5.01 mg L^{-1} los cuales se encontraban por encima del límite máximo permisible que establece los criterios ecológicos (CE-CCA-001/89). De igual forma el estudio realizado en la región de los Cabos desarrollado por Cruz (2010), donde menciona que las concentraciones de los fosfatos fueron en Playas El Médano de 14 con concentraciones de 0.089 mg L^{-1} , Playa del Amor de 0.025 mg L^{-1} y Playa CMD con 0.080 mg L^{-1} , superan el valor máximo permisible que establece los criterios ecológicos (CE-CCA-001/89), evidenciando que en lugares con distintas condiciones también se tiene problema con este nutriente en el marco de esta normatividad.

El nitrógeno puede ingresar de dos maneras una es por las emisiones atmosférica (óxidos nitrosos) y la otra por procesos de actividades domésticas(NID: nitrito, nitrato y amonio) al igual que el que trae las aguas del complejo lagunar una vez dentro del estero este se oxida de manera escalonada produciéndose primero el amonio luego este se convierte a nitrito y por ultimo a nitrato tal como se evidencia

en los resultados obtenidos en las mediciones ya que el amonio está en una cantidad mayor a los nitritos y nitratos siendo este su tiempo de oxidación menor a los descritos y estos se encuentran en concentraciones menores. Por otra parte el nitrito es el más inestable del NID, ya que está en el intermedio entre el nitrato y el amonio y de esa manera muchas veces sus valores son poco detectados como ocurrió en el estudio.

Se evaluaron los coliformes fecales como indicador biológico ya que son ampliamente utilizado como organismos susceptibles de producir alteraciones en la salud humana principalmente representan riesgos sanitarios y a la salud para las personas que entran en contacto directo con el agua como es el caso de los bañistas y pescadores (Organización Mundial de la Salud 2003). A pesar de que solo se realizó la medición una vez, los valores sirven para tomar en cuenta la posible presencia ocasional de estos patógenos como indicador la calidad del agua con respecto a este parámetro biológico. Las concentraciones de los coliformes fecales estuvieron en promedio cerca del límite superior del método, en 1011 NMP/ 100ml en todo el cuerpo hídrico y esto puede asociarse a las descargas de aguas residuales que llegan a desembocar al estero de manera difusa las cuales pueden estar llegando por escorrentías o infiltración de manera frecuente. Esto genera un impacto negativo en el ambiente costero deteriorando la calidad del agua para actividades de maricultura, recreación y turismo. Dado que el resultado sobrepasa en 5 veces la norma de calidad del agua (CE-CCA-001/89), estos microorganismos que provocan enfermedades intestinales como la fiebre tifoidea, el cólera, la disentería bacilar e infecciones principalmente cutáneas (Benson 1994). Actualmente no hay información publicada en el área de estudio sobre este indicador sin embargo en el estudio que realizó Saldaña-Fabela (2014) en la Bahía de Acapulco se encontró que los coliformes fecales estuvieron en un intervalo de 1000 hasta 2.41×10^6 NMP/100ml sobrepasando con mucho la normatividad. Lo anterior contrasta con la información publicada por la SERMARNAT que en conjunto con la secretaria de Marina (SEMAR) realizaron monitoreos durante 2005 y 2006 indicando que la calidad bacteriológica en los Cabos, B.C.S., los conteos de bacterias no representaban riesgos sanitarios para los bañistas (Cruz 2010). Cabe

mencionar que cada sistema y cuerpo de agua tiene características distintas y que pueden ocasionar la proliferación de algunos organismos patógenos dependiendo de los desechos humanos y el manejo de sus aguas residuales, no obstante, se debe tener en cuenta medir estos parámetros biológicos. Queda evidenciado que en los diferentes sitios donde se han realizado los estudios este es un problema para esos ecosistemas costeros con proyección a las actividades humanas y su desarrollo.

Balance del transporte de nutrientes y clorofila-a entre el Estero San Carlos y el complejo lagunar Bahía Magdalena.

El Estero San Carlos funciona como un ecosistema dinámico y variable asociado a los procesos hidrodinámicos como lo son la marea, viento, y la variabilidad de espacio y tiempo de los procesos físicos, químicos y biológicos inherente a las características de sus aguas.

La velocidad y dirección que se obtuvieron en el canal y boca del Estero de San Carlos para ambas campañas (Figs. 21 y 22) corroboran lo reportado por Saldivar (2007) en lo que respecta a las velocidades y dirección de la corriente de la boca y canales en Bahía Magdalena, durante mareas vivas. Se establece de esta manera un comportamiento uniforme en las bocas un tanto independiente de su tamaño, ya que la corriente de marea mantiene sus características de sus componentes, reflejando valores similares en ambos estudios. El estudio también muestra dos condiciones típicas de reflujo y otras dos representativas de condiciones de flujo, corroborando el patrón de una marea tipo mixto semidiurno que se observa en el complejo lagunar de Bahía Magdalena reportado por Sánchez-Montante (2007).

Las variables que presentaron significancia ($p < 0.05$) con respecto a la marea en la primera campaña fueron la salinidad, la clorofila *a* y el fosfato, estas tres variables mostraron una relación inversa con respecto a la marea. Las mayores concentraciones de estas variables estuvieron dadas en el reflujo mientras que disminuían su concentración en el flujo, esto coincide con el intercambio de agua que existió en este estudio debido que se presentaron volúmenes mayores en el

reflujo con respecto al flujo (Fig. 24). Una vez en el estero permite una rápida asimilación, para el cual el tiempo de residencia estos contaminantes fueron de 33.3 horas siendo un tiempo ligeramente mayor al de los ciclos mareales completos (24.8h).

Para la segunda campaña las variables que presentaron significancia ($p < 0.05$) fueron el pH, temperatura, estas dos variables presentaron una relación directa con respecto a la marea y nuevamente la salinidad presentó una relación inversa con la marea, como en la primera campaña. Para este muestreo el intercambio de volúmenes de agua fue 2 veces mayor que el de la primera campaña siendo mayor en esta ocasión el flujo que el reflujo lo cual pudo de alguna manera incidir en los cambios de concentraciones de algunas variables. Cabe destacar que fueron bajo condiciones climáticas y estacionales diferentes, lo cual refleja menor valor de concentraciones para algunas variables, y el tiempo de residencia de estos contaminantes fueron de 32.3 horas.

En el Estero San Carlos las variables medidas estuvieron influenciadas por la marea debido a las condiciones de flujo y reflujo en el lapso de tiempo en el que se desarrolló el estudio. Teniendo en cuenta que la parte oriental de Bahía Magdalena es poco profunda y en particular la región noreste, está rodeada de canales y esteros poco profundos, siendo allí donde se ubica el cuerpo hídrico. Durante el flujo se registró menor salinidad con respecto al reflujo en ambas campañas, funcionando este como un sistema antiestuarino lo cual, por la escasa profundidad, la falta de aporte de agua dulce y la evaporación podrían estar aumentando la salinidad hacia la boca del estero. Esto coincide con lo reportado por (Álvarez-Borrego *et al.* 1975) el cual reporta que el complejo lagunar Bahía Magdalena presenta condiciones anti-estuarinas como resultado de una reducida tasa de precipitación y escasa afluencia de agua dulce, así como de una elevada tasa de evaporación.

En la primera campaña el fosfato presentó una relación inversa con respecto a la marea, esto coincide con lo reportado anteriormente en la calidad del agua ya que en las evaluaciones este nutriente registro valores que sobrepasaron los límites permisibles de la normatividad, sumado a esto las aguas residuales y

desechos domésticos de la población han ido aumentando a lo largo de los últimos años sumado al aporte de fosforo no disponible (detergentes). Puerto San Carlos actualmente cuenta con aproximadamente 7000 habitantes un 15% más respecto a lo previamente reportado (INEGI 2010). Este resultado en el Estero San Carlos es posiblemente a causa de la falta de manejo sus aguas residuales por no poseer un sistema de tratamiento.

La presencia de detergentes puede ser debido a que no llegan de manera directa y esto no permite identificar el momento exacto en que las actividades rutinarias como el lavado con uso de detergentes y jabones llegan a afectar al cuerpo hídrico, aumentando la concentración de fosfatos existentes en el ecosistema, no siendo totalmente asimilado por los organismos autótrofos. Esto lleva a pensar que estas descargas difusas en el estero, dependen del estado de la marea y de la época del año (infiltración o percolación). Su transporte a través del estero dependerá de los canales de navegación y las fases de la marea.

La clorofila *a* presento un comportamiento inverso con respecto a la marea en la primera campaña mostrando una mayor salida de fitoplancton hacia el complejo lagunar de Bahía Magdalena. Estos resultados sugieren que existe una mayor biomasa dentro del estero siendo esto congruente con lo registrado para las dos campañas analizadas con una exportación de clorofila *a* con 2.3 y 0.63 Kg respectivamente. El comportamiento de esta biomasa concuerda con lo reportado por Cervantes-Duarte (2010) el cual establece mayores concentraciones y favorecimiento de la biomasa en épocas frías que en cálidas.

Para la segunda campaña la temperatura fue homogénea en toda la columna de agua ya que no existe estratificación térmica debido a que el estero es somero (< 3.5 m), la radiación solar influyó durante el ciclo de marea entre el flujo y reflujo, puesto que durante el reflujo coincidió con horas nocturnas y consecuentemente disminuyó la temperatura.

El pH para la segunda campaña registró un comportamiento similar al de la temperatura, en este caso es posible que el pH se parezca a la temperatura porque, en la zona fótica, la radiación solar calienta el agua y la fotosíntesis utiliza el CO₂ simultáneamente para aumentar el pH mediante $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_2 + \text{OH}^-$ y debido que

la época de verano las temperaturas son mayores que las de otoño esto puede estar influyendo en los valores.

Por otra parte, puede existir la captación de contaminantes atmosféricos principalmente el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂). Los cuales son liberados a la atmósfera como consecuencia de las combustiones incompletas que pueden estar relacionadas con actividades llevadas posiblemente en la de Planta Termoeléctrica o producto de quemas espontaneas originando que estos contaminantes interactúen con el estero depositándose en el mismo, provocando una alteración en la capacidad buffer del cuerpo hídrico para prevenir grandes fluctuaciones en el pH.

Para el caso del cálculo del transporte de nutrientes, el estudio en ambas campañas obtuvo datos mayores a dos ciclos mareales (otoño 2.5 ciclos), (verano 2.1 ciclos) en el Estero San Carlos, los resultados mostraron la exportación de nutrientes y clorofila *a* en ambas campañas a través de la boca con una contribución al complejo lagunar Bahía Magdalena. En ambas épocas el Estero San Carlos funcionó como una fuente de nutrientes. Ambos muestreos se tomaron en condiciones de mareas vivas uno bajo la fase lunar llena (primera campaña) y el otro en nueva (segunda campaña), sin embargo, los volúmenes de intercambio de agua fueron distintos para ambas campañas siendo mayor el de la segunda. El cambio de estos volúmenes puede ser debido a que físicamente el volumen de intercambio depende de la amplitud de la marea y la velocidad de la corriente. Ésta última depende también de las condiciones de la dirección y rapidez del viento.

Se puede decir que los valores de concentración de nutrientes en este estudio fueron dependientes de los procesos que ocurren en el interior del estero y la velocidad y el volumen de agua, ya que en ambas campañas fue mayor la velocidad en la salida (reflujo) con respecto a la entrada (flujo) (Figs. 24 y 25). Cabe destacar que el estudio tomo en cuenta 3 días en cada campaña para el análisis del comportamiento de las variables con respecto a la marea, por lo tanto, los valores solo reflejan el valor de estos en una fracción de la marea que se rigió durante esa semana. Sería recomendable tomar el comportamiento de la marea durante la semana completa y en diferentes épocas del año teniendo en cuenta las horas

donde cambian las amplitudes mareales permitiendo tener un valor representativo de lo sucedido en la semana evaluada y verificar cuando el estero funciona como fuente o sumidero.

Estos datos, especialmente los de calidad del agua, no pueden fácilmente ser comparados ya que el área de estudio no presenta trabajos previamente publicados, sin embargo, sí se pudo comparar con otros estudios similares el orden de magnitud de los parámetros medidos.

Este estudio toma como base el trabajo de Alcántara *et al.* (2012), en cuanto a la evaluación del transporte de nutrientes. Se tomó en cuenta que este fue hecho en un área con condiciones distintas (profundidad, tipo de suelo, dinámica de marea, velocidad y dirección de la corriente) al del presente estudio y para un ciclo mareal de carácter diurno (12.4 h) el cual difiere con el Estero San Carlos cuyo ciclo mareal es mixto semidiurno (24.8 h), sin embargo, coinciden en la metodología de toma de muestras de algunas variables (NO_2^- , NO_3^- , NH_3^-), PO_4^{3-} , Cl a.) y los cálculos para la evaluación de los nutrientes. Teniendo en cuenta las diferencias ya antes mencionadas de estas dos zonas se realizó como ejercicio una comparación con los datos reportados por ellos y los encontrados en el estero y de esta forma determinar si existían diferencias entre los valores hallados.

Las mayores diferencias se observan en lo que respecta a las concentraciones de nutrientes, las cuales fueron consistentemente más altos en los nitritos y nitratos (11.5 veces mayor), los fosfatos (4.4 veces) que los presentados por Alcántara *et al.* (2012), mientras que para la clorofila *a* fue menor (10 veces) de los valores hallados en el estero.

La diferencia entre los valores de nutrientes del estero con la bocana de Ancao obedece a que existe mayor cantidad de nutrientes en el estero de San Carlos debido a que es 3 veces mayor en su sección transversal lo cual permite un intercambio mayor de volumen y de variables hidrológicas. Por otra parte, las diferentes condiciones climáticas pueden causar un efecto en la mezcla de las aguas ya que la boca de Ancao recibe lluvias en época de invierno y San Carlos la precipitación es escasa manteniendo comportamientos distintos en la concentraciones de sus nutrientes.

10. CONCLUSIONES

De acuerdo a los parámetros evaluados en este estudio y según los Criterios Ecológicos (CE-CCA-001/89), la calidad del agua del Estero San Carlos durante los tres periodos de muestreo es considerada “mala” para todos los usos de agua costeras.

Las estimaciones del transporte neto, la variación de nutrientes por ciclo de marea (flujo y reflujo) mostraron una exportación de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID), fosfato y clorofila *a* en las dos épocas de otoño 2016 y de verano 2017.

En otoño la salinidad, el fosfato y la clorofila *a*, presentaron un patrón inverso y significativo respecto de la amplitud de marea, es decir que del estero sale agua más salina, con mayor concentración de fosfato y de clorofila *a*.

En verano la salinidad presentó un patrón inverso con la amplitud de marea, mientras que la temperatura y el pH presentaron un comportamiento directo con la amplitud de la marea. Esto revela la salida de agua más salina del estero y la entrada de agua más cálida y más básica desde Bahía Magdalena.

El estero San Carlos funciona como fuente de nutrientes hacia el complejo lagunar de Bahía Magdalena durante las dos campañas de muestreo en las que fue realizado el presente estudio. Exportando un total de 44.8 Kg de NID, 71.5 Kg de fosfato y 2.3 Kg de clorofila *a* en la primera campaña y 39.2 Kg de NID, 56.1 Kg de fosfato y 0.63 Kg de clorofila *a* para la segunda.

11. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar monitoreos periódicos para calidad del agua en los dos márgenes mareales para ver la diferencia entre las variables y tener herramientas para la toma de decisiones, así mismo, realizar estudios incluyendo la parte biológica, sedimentos y metales en la zona para preservar el estero, analizando los datos y verificando si en los márgenes mareales presentan diferencias significativas, si las presentan o no compararlo con la Norma ayudando así una mejor toma de decisión.

Realizar un estudio de emisiones atmosféricas en cuanto la calidad del aire y como los depósitos de estos contaminantes deterioran la calidad del agua del estero, y estudios que tengan en cuenta la fase lunar, tipo de marea, corrientes, profundidad y época del año, para la toma de la muestra e interpretar el porqué.

Una de las medidas de prevención sugiere diseñar una planta de tratamiento para Puerto San Carlos y así tratar sus aguas evitando impacto en cuanto a vertimientos al cuerpo hídrico, llevando esto de la mano con la verificación de los valores de las Normas Oficiales Mexicanas, en cuanto a calidad del agua marina.

12. BIBLIOGRAFIA

APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edition 20. APHA/AWWA/WPCF. 1134 p.

Badylak, S., Philips, J. 2004. Spatial and temporal patterns of phytoplankton composition in a subtropical coastal lagoon, the Indian River Lagoon, Florida, USA. *Journal of Plankton Research* 26, 1229-1247.

Berner, R. 1980. A Rate Model for Organic Matter Decomposition during Bacterial Sulfate Reduction in Marine Sediments. In *Colloq. Int. CNRS Vol. 293*, 35-44.

Bendschneider, K, Robinson, R. 1952. A New Spectrophotometric Method for the Determination of Nitrite in Sea Water. *Journal of Marine Research* 11:87 - 96.

Botello, A.V., S. Villanueva-Fragoso, J. Gutierrez, y J.L. Rojas Galaviz (eds.). 2011. Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático (segunda edición). Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, UNAM- ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche, 754 p.

Botello, A., Villanueva, S., Ponce, G., Rueda, L., Wong, I., & Barrera, G. 1995. La contaminación en las zonas costeras de México. Agua, Salud y Derechos Humanos, 1a Ed. Comisión Nacional de Derechos Humanos, México D.F., Vol. 53-122.

Cervantes-Duarte, R., López-López, S., González-Rodríguez, E. & Futema-Jiménez, S. 2010. Ciclo estacional de nutrientes, temperatura, salinidad y clorofila a en Bahía Magdalena, BCS, México (2006-2007). *CICIMAR Oceánides*, 25(2): 111-120.

Cervantes-Duarte, R., Prego, R., López-López, S., Aguirre-Bahena, F., Ospina-Álvarez, N. 2013. Annual patterns of nutrients and chlorophyll in a subtropical coastal lagoon under the upwelling influence (SW of Baja California Peninsula). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 120: 54-63.

Cervantes-Duarte, R., A.J. Marmolejo-Rodríguez, J Santos-Echeandía, S. Futema- Jiménez, F Barrera-González, S López-López. 2014. Análisis de la calidad del agua en el margen costero de Puerto San Carlos, BCS. Congreso Internacional de la Red de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Biodiversidad, Bermudez-Torres, K (Ed.). 1-7 p.

Cervantes-Duarte, R., López-López, S., González-Rodríguez, E. & Futema-Jiménez, S. 2010. Ciclo estacional de nutrientes, temperatura, salinidad y clorofila a en Bahía Magdalena, BCS, México (2006-2007). *CICIMAR Oceánides*, 25(2): 111-120.

Cervantes Duarte, R., Aguirre Bahena, F., Reyes Salinas, A. & Valdez Holguin, J. E. 2001. Caracterización hidrológica de una laguna costera de Baja California Sur, México.

Coutinho, H.M., Mello, P.M. 2011. Spatial and temporal dynamic of trophic relevant parameters in a subtropical coastal lagoon in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 181, 347e361.

Contreras-Espinosa, F., & Casillas, J. 1992. Importancia del intercambio mareal en lagunas costeras. *Universidad y Ciencia*, 9(18): 22-27.

Cruz, C. E. P. 2010. Evaluación de la calidad del agua de mar en playas recreativas en el corredor turístico de Los Cabos, BCS. *Agendas de Competitividad de los Destinos Turísticos (ACDT)*. 647p.

De La Lanza, G. 1991. Oceanografía de los Mares Mexicanos. Coasts. Oceanography. Oceanografía - S.A., 1a Ed. México, 569 pp.

Domínguez, J. C., Sánchez, A. J., Florido, R. & Barba, E. 2003. Distribución de macrocrustáceos en Laguna Mecoacán: al sur del Golfo de México. Hidrobiológica, 13(2): 127-135.

EPA, U. S. 2001. National Primary Drinking Water Regulations: Arsenic and Clarifications to Compliance and New Source Contaminants Monitoring. Federal Register, 66(14): 69-76.

Falcão, M. & Vale, C. 2003. Nutrient dynamics in a coastal lagoon (Ria Formosa, Portugal): the importance of lagoon sea water exchanges on the biological productivity. Ciencias Marinas, 29(4): 425-433.

Garay, J.; Panizzo, L.; Ramírez, G.; Sánchez, J. 1993 Manual de técnicas analíticas de parámetros físicoquímicos y contaminantes marinos. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, CIOH. Cartagena. Vol.1, 2-148.

Gill, P., Ivanov, P. L., Kimpton, C., Piercy, R., Benson, N., Tully, G. & Sullivan, K. 1994. Identification of the remains of the Romanov family by DNA analysis. Nature genetics, 6(2): 130-135.

Gómez, Eduwiges; Luque Agraz, Diana. 2007. La construcción de la región del Golfo de California desde lo ambiental y lo indígena. Ra Ximhai, Vol. 3, No 001. pp. 83-116.

Hubbs, C.L. 1960. The marine vertebrates of outer coast. Symposium: the biogeography of Baja California and adjacent seas. Syst. Zool. 9 (3): 134-147.

INEGI. (2010). Censo 2010 recuperado de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010>

Islam, M. S., & Tanaka, M. 2004. Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis. *Marine pollution bulletin*, 48(7): 624-649.

Kjerfve, B.J., Magill, K.E. 1989. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. *Marine Geology* 88, p. 187-199.

Lankford, R.R., 1977. Coastal Lagoons of Mexico. Their origin and classification. In: Wiley, M.L. (Ed.), *Estuarine Processes*, Vol. 2. Academic Press, New York, p. 182-216.

Llumigusín, T. & Aracely, F. 2012. Validación de los métodos de ensayo para fenoles, tensoactivos, sólidos suspendidos y total de sólidos disueltos (TDS). Trabajo de Graduación previo la obtención del Título de Ingeniera Química. Carrera de Ingeniería Química. Quito: UCE. 209 p.

Manifestación de Impacto Ambiental. 2008. Proyecto de Lagunas de estabilización de aguas residuales en Puerto San Carlos, Municipio de Comondú, Baja California Sur. 59 p.

Mexicana, Norma Oficial 1997. NOM-001-ECOL-1996 Que establece los limites maximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federation*, 68-85 p.

Noble, R. T., Blackwood, A. D., Griffith, J. F., McGee, C. D., & Weisberg, S. B. 2010. Comparison of rapid quantitative PCR-based and conventional culture-

based methods for enumeration of *Enterococcus* spp. and *Escherichia coli* in recreational waters. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(22): 7437-7443.

PMSMB/CBCS, 2009. Estudio Inicial para la Clasificación Sanitaria de las áreas de cultivo y extracción silvestre de moluscos bivalvos del Complejo Lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas, en el Municipio de Comondu (junio 2007 a marzo del 2009) La Paz, Baja California Sur. Programa Mexicano de Sanidad de Moluscos Bivalvos, Comité Baja California Sur, México. 1-39 p.

Prescott, L. M. H., Klein, J. P., Prescott, D. A. L. M., Harley, J. P., & Klein, D. A. 2004. *Microbiología*. McGraw-Hill. 2a Ed. Madrid, 1240 pp.

Redondo-Solano Mauricio, Arias Echandi María Laura. 2012. Comparación de métodos para el análisis de coliformes totales y fecales en muestras de agua mediante la técnica de Número Más Probable (NMP). *UNED Research Journal/Cuadernos de Investigación UNED*, Vol. 3, No 2. 219-225 p.

Strickland, J.D.H. y T.R. Parsons. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fish. Res. Board of Canada. Segunda Edición. Ottawa. 310 p.

Verdugo-Díaz, G., Cervantes-Duarte, R. & Albáñez-Lucero, M. O. 2008. Estimación de la productividad primaria en dos bajos de la parte sur del Golfo de California, México. *CICIMAR Oceánides*, 23(1-2): 39-43.

VIDAL, César, et al. 1995. Modelos de morfodinámica de playas. *Ingeniería del agua, Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol: 87 (1). 92p.

Vodacek, A., N.V. Blough, M.D. DeGrandpre, E.T. Peltzer, R.K. Nelson. 1997. Seasonal variation of CDOM and DOC in the Middle Atlantic Bight: Terrestrial inputs and photooxidation, *Limnol. Oceanography*. 42(4): 674-686.

Zaitsev O, Sánchez-Montante O, Robinson CJ (2007) Características del ambiente hidrofísico de la plataforma continental y zona oceánica adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez R, GómezGutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 29-43.

ZAR, Jerrold H., et al. Biostatistical analysis. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, USA, 2007. 5th Edition. 718p.