



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**CAMBIOS ESTACIONALES DE LAS VARIABLES OCEANOGRÁFICAS
FÍSICAS Y BIOGEOQUÍMICAS DE CINCO CAMPAÑAS DURANTE EL
PERÍODO 2019-2020 EN LA LAGUNA COSTERA DE BAHÍA SAN
QUINTÍN, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

OCEANÓLOGA

PRESENTA:

Yacini Torres Safia Celeste

Ensenada, Baja California, México. Agosto 2022.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
LICENCIATURA EN OCEANOLOGÍA

CAMBIOS ESTACIONALES DE LAS VARIABLES OCEANOGRÁFICAS FÍSICAS Y
BIOGEOQUÍMICAS DE CINCO CAMPAÑAS DURANTE EL PERÍODO 2019-2020 EN LA
LAGUNA COSTERA DE BAHÍA SAN QUINTÍN, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.

T E S I S

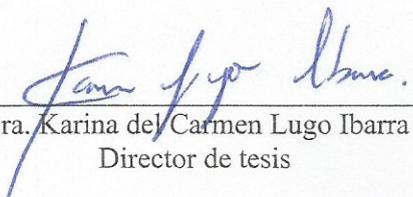
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

OCEANÓLOGA

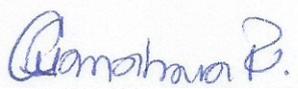
PRESENTA:

YACINI TORRES SAFIA CELESTE

Aprobada por:


Dra. Karina del Carmen Lugo Ibarra
Director de tesis


M.C. Sergio Raúl Canino Herrera
Sinodal


Dra. Sorayda Aimé Tanahara Romero
Sinodal


Dra. Miroslava Vivanco Aranda
Sinodal

RESUMEN

El estudio de las variables físicas y biogeoquímicas dentro de las lagunas costeras, nos permite conocer mejor la relación que hay entre estas y su intercambio con el océano adyacente. Procesos como el intercambio mareal y las surgencias son efectos que modifican la dinámica de manera directa. La importancia ambiental y socioeconómica asociada a la actividad ostrícola de la Bahía de San Quintín (BSQ), así como la necesidad por parte de los ostricultores de disponer de datos oceanográficos, nos llevó a establecer como objetivo el actualizar las variables oceanográficas físicas y biogeoquímicas estacionalmente, que en consecuencia facilitan el comprender mejor la dinámica dentro de la BSQ, Ensenada Baja California. Realizamos 5 muestreos con 15 estaciones durante 2019 y 2020 en el siguiente orden; a) 09 de noviembre del 2019 y en 2020 b) 21 de marzo, c) 25 de junio, d) 25 de julio y e) 10 de octubre. Estos muestreos iniciaron a las 08:00 hrs en condiciones de pleamar y concluyeron ~14:00 hrs en condición de marea cercana a baja mar. Durante el trabajo de campo *in situ*, se analizaron las variables de temperatura, conductividad, pH, alcalinidad total y oxígeno disuelto. Las variables que se midieron en laboratorio fueron nutrientes inorgánicos, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y metales disueltos. De los resultados obtenidos de las variables hidrográficas inferimos que los cambios se deben principalmente a las mareas, las variables meteorológicas y la batimetría. En cuanto a los nutrientes inorgánicos el máximo para el NO₂⁻ y el NO₃⁻ fue de 2.5 μM en noviembre, el máximo del PO₄³⁻ fue de 4.5 μM en octubre y el máximo para el Si(OH)₄ fue de 25 μM en julio. Estos presentaron cambios importantes principalmente en la zona de cultivo de ostiones de Bahía Falsa (BF). Por otro lado los metales analizados (Zn, Pb, Cd, Cu y Cr) muestran que sus máximas concentraciones coinciden con los máximos en la DBO₅ y la DQO, lo que nos indica disponibilidad de materia orgánica. Este trabajo nos ayudó a tener una idea más amplia de la relación que hay entre el conjunto de las variables estudiadas en BSQ.

Palabras clave: *Bahía San Quintín, Biogeoquímica, ostricultores, nutrientes*

DEDICATORIA

A mi madre C. Carolina Torres Lehman

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Lugo Ibarra Karina del Carmen por estar conmigo a cada paso durante la realización de este trabajo y también por su apoyo tanto académico como moral durante la carrera.

A la Dra. Tanahara Romero Sorayda Aime por impulsarme a ser mejor estudiante y por todo el apoyo que me dio como tutora durante la carrera.

Al M.C. Canino Herrera Sergio Raúl y a la Dra. Vivanco Aranda Miroslava por su colaboración en la elaboración de esta tesis.

A los estudiantes que en su momento se encontraban realizando sus prácticas profesionales o servicio social a cargo de la Dra. Karina por su apoyo en el análisis de muestras y al laboratorio de contaminación marina de la FCM.

A mi compañero LBA Agustín Jaime por apoyar en el trabajo de campo y de laboratorio.

Vicente Guerrero Herrera (QEPD) y a la empresa Ostrícola Nautilus S de R.L. de C.V por las facilidades para la salida de campo.

Asociación Civil de Pro ESTEROS A. C.

Convocatoria 2019/2020 PRODEP. Actualización Oceanográfica Ambiental de la Bahía de San Quintín, Ensenada Baja California.

A la Facultad de Ciencias Marinas de la UABC.

A mi madre porque sin ella no hubiera tenido la oportunidad de estudiar esta carrera y sobre todo por siempre darme su apoyo incondicional y fuerza para seguir adelante.

Daniela Manzo, Alejandra Naranjo y Víctor Mathos por ayudarme en este proceso como colegas y con su amistad.

Carla Fernández, Cristina López, Victoria López e Isabel Lozano por seguir a mi lado aun en la distancia.

ÍNDICE

Tabla de contenido	página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	4
3.HIPÓTESIS	6
4. OBJETIVOS.....	6
4.1 Objetivo general:.....	6
4.2 Objetivos particulares:	6
5. ÁREA DE ESTUDIO	7
6. METODOLOGÍA	10
6.1 Materia orgánica.....	10
6.2 Nutrientes.....	11
6.3 Metales.....	20
6.4 pH y Alcalinidad.....	21
7. RESULTADOS.....	21
7.1 Variables hidrográficas	21
7.2 Nutrientes.....	28
7.3 Materia orgánica	32
7.4 Metales.....	33
8. DISCUSIÓN.....	38
8.1 Caracterización de las condiciones hidrográficas.....	39
8.2 Distribución de nutrientes inorgánicos disueltos.....	41
8.3 Metales y materia orgánica	45
9. CONCLUSIONES.....	47
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
11. ANEXOS	55
11.1.1 Anexo 1.	55
11.1.2 Anexo 2.....	56
11.1.3 Anexo 3.....	56
11.1.4 Anexo 4.....	57
11.1.5 Anexo 5.....	57
11.1.6 Anexo 6.....	58

11.1.7 Anexo 7	58
11.1.8 Anexo 8	59
11.1.9 Anexo 9	60
11.1.10 Anexo 10.....	61
11.1.11 Anexo 11.....	62
11.1.12 Anexo 12.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

página

1	Figura 1. Localización del área de estudio en Bahía San Quintín, Baja California, México.....	8
2	Figura 2. Distribución de las estaciones muestreadas en Bahía San Quintín, Baja California.....	10
3	Figura 3. Índice de surgencia [$\text{m}^3 \text{s}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$] en 2019. En recuadro rojo se indica el día de muestreo realizado el 10 de noviembre en Bahía San Quintín, Baja California.....	13
4	Figura 4. Índice de surgencia [$\text{m}^3 \text{s}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$] en 2020. Los recuadros rojos, corresponden a los cinco muestreos realizados en Bahía San Quintín, Baja California.....	14
5	Figura 5. Salinidad superficial en BSQ, muestreada durante 2020 (transición invierno-primavera, primavera, verano y otoño).....	15
6	Figura 6. Valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) superficial en BSQ, muestreados de noviembre de 2019 a octubre de 2020 (otoño, transición invierno-primavera y primavera).	16
7	Figura 7. Valores de pH superficial en BSQ, muestreados de noviembre del 2019 a octubre de 2020 (otoño, primavera y verano).....	17
8	Figura 8. Distribución de Alcalinidad Total ($\mu\text{mol L}^{-1}$) en BSQ, muestreada de noviembre de 2019 a octubre de 2020 (otoño, transición invierno-primavera y verano)..	18
9	Figura 9. Distribución de O_2 ($\mu\text{mol L}^{-1}$) en BSQ, muestreado de noviembre de 2019 a octubre de 2020 (otoño, transición invierno-primavera y verano).....	19
10	Figura 10. Distribución de NO_2^- (μM) en BSQ, muestreado de noviembre de 2019 a octubre del 2020 (otoño, transición invierno-primavera y verano).....	20
11	Figura 11. Distribución de NO_3^- (μM) en BSQ muestreado de noviembre de 2019 a octubre de 2020 (otoño, transición invierno-primavera y verano).....	21
12	Figura 12. Distribución de PO_4^{3-} (μM) en BSQ, muestreado de noviembre de 2019 a octubre de 2020 (otoño, transición invierno-primavera, primavera y verano).....	22
13	Figura 13. Distribución de $\text{Si}(\text{OH})_4$ (μM) en BSQ, muestreado de noviembre de 2019 a octubre del 2020 (transición invierno- primavera, primavera y verano).....	23
14	Figura 14. Distribución de la DBO_5 ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$) en BSQ, muestreada de noviembre de 2019 a octubre del 2020 (otoño, primavera y verano).....	24
15	Figura 15. Distribución de la DQO ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$) en BSQ, muestreada en noviembre (otoño) 2019 y julio (verano) 2020	25

1	Tabla 1. Concentración de metales libres y lábiles en agua de mar para cada estación muestreada en BSQ en el mes de noviembre del 2019.....	26
2	Tabla 2. Concentración de metales libres y lábiles en agua de mar para cada estación muestreada en BSQ en el mes de marzo del 2020.....	27
3	Tabla 3. Concentración de metales libres y lábiles en agua de mar para cada estación muestreada en BSQ en el mes de junio del 2020.....	28
4	Tabla 4. Concentración de metales libres y lábiles en agua de mar para cada estación muestreada en BSQ en el mes de julio del 2020.....	29
5	Tabla 5. Concentración de metales libres y lábiles en agua de mar para cada estación muestreada en BSQ en el mes de octubre del 2020.....	30

INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras son sitios considerados muy valiosos ecológicamente, ya que sostienen rica fauna y flora autóctona al estar protegidos del océano por una barrera arenosa, por lo general, son sistemas de aguas someras y de alta productividad, y cuyas funciones son proporcionar servicios ecológicos, sociales, estéticos y científicos. Los servicios que proporcionan los ecosistemas costeros en general, incluyen la descomposición de materia orgánica, el ciclo y la producción de nutrientes, regulación de los flujos de partículas, de agua, de nutrientes y de organismos desde y hacia la tierra, los ríos y el océano (Newton et al. 2012).

Las variables hidrológicas básicas (salinidad, oxígeno y temperatura), mantienen una estrecha relación con la mezcla de agua de diferentes orígenes, tanto la proveniente de los escurrimientos continentales como los derivados de la influencia mareal, esta mezcla se ve fuertemente influida por las estaciones climáticas y efectos locales (Contreras et al. 1997). Los conceptos clásicos sobre la hidrodinámica de lagunas, bahías o cuerpos de agua costeros en general, consideran tres agentes oceanográficos que modifican la dinámica de manera directa; la marea, las variables meteorológicas y la batimetría (Flores-Vidal 2006).

Por otro lado, la estacionalidad que presentan las lagunas costeras en términos de temperatura, salinidad, procesos como intercambio mareal y estratificación que ocurre en los límites entre el océano abierto y las lagunas costeras, afectan la circulación y producción biológica dentro de las lagunas. En la porción más interna pueden existir desembocaduras de ríos, presentar canales de marea y patrones de sedimentación determinados por las corrientes internas, y en promedio, profundidades (Gracia-Escobar, 2010).

Los estudios realizados en lagunas con conexiones con el mar indican que parte de la biomasa producida en las lagunas es exportada hacia el océano; que la materia orgánica es remineralizada en la columna de agua y en los sedimentos y una porción de esta es importada en formas de nutrientes inorgánicos a la bahía. Por lo general en las lagunas, los procesos biogeoquímicos son extremadamente complejos debido a las interacciones con

los sedimentos y a la competencia béntica-pelágica de los productores primarios (Rodríguez-Mata, 2006).

Los ciclos de carbono orgánico e inorgánico en las lagunas costeras, están relacionados a través de la producción primaria y la remineralización de la materia orgánica. De manera que, el metabolismo del ecosistema integra los componentes pelágicos y bentónicos de estos ambientes, dando información muy útil del funcionamiento y los intercambios entre éstos y los sistemas adyacentes (Ávila-López, 2017).

Los nutrientes son de gran importancia ya que forman parte de la alimentación del fitoplancton, y esto es de vital importancia pues son las encargadas de convertir el carbono inorgánico a orgánico, el cual alimenta a organismos heterótrofos (Bristow et al. 2017). En cuanto a la correlación de nitrato disuelto y fosfato explicada por Redfield (1958) indica que como resultado del ciclo interno de nutrientes en el océano, el N y P consumidos del agua en una proporción de 16:1 por el crecimiento del fitoplancton y luego vueltos a disolver en la misma proporción debido a la remineralización de la materia orgánica (Sigman & Hain, 2012).

El nitrógeno por otro lado también se encuentra involucrado en transformación de las metaloenzimas, esto es posible ya que la baja disponibilidad de metales limita pasos críticos en el ciclo del nitrógeno. Por otro lado los metales tienen la influencia en ciclo del carbono indirectamente a través del ciclo del nitrógeno, y a su vez los metales traza tienen un efecto directo en la fotosíntesis y respiración en un nivel celular y de ecosistema (Morel & Price. 2003). El afloramiento costero ofrece altas concentraciones de macronutrientes (nitrato, fosfato y ácido silícico) así como concentraciones elevadas de microconstituyentes (Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn y Cd) a la superficie donde son asimilados por el fitoplancton durante el crecimiento (Biller & Bruland, 2013).

3

Hay dos fuentes dominantes de metales traza asociadas al aporte de agua costero del Sistema de Corriente de California (SCC): (1) metales proporcionados por aguas oceánicas como parte de sus ciclos biogeoquímicos internos y (2) enriquecimiento externo debido a

metales agregados por sedimentos de margen continental a la capa límite béntica y surgencia de esta agua a la superficie sobre la plataforma (Biller & Bruland, 2013).

En este trabajo analizamos la concentración de los metales (Cu, Cd, Zn, Cr y Pb) en la fracción libre y lábil, donde lábil se refiere a un ligando que es un compuesto orgánico capaz de enlazarse a un centro metálico a través de uno o varios átomos. Cuando el enlace entre el metal y el ligando se puede romper fácilmente se habla de ligandos lábiles; si la probabilidad de que el enlace entre el metal y el átomo se rompa es baja, los ligandos se consideran inertes (Montoya García, 2007; Pons Picart, 2007). La fracción libre es la concentración del metal que se encuentra en la muestra de agua de mar sin tratamiento previo por adición de ácidos (Bustos-Serrano, 2018).

ANTECEDENTES

Bahía de San Quintín es una laguna costera influenciada por el afloramiento costero del SCC. El afloramiento trae aguas ricas en nutrientes cerca de la desembocadura de la bahía y las corrientes de marea propagan esas aguas por toda la bahía (Álvarez- Borrego, 2003).

La Bahía San Quintín es uno de los cuerpos costeros más productivos y estudiados de la costa noroccidental de México (García-Esquivel, 2004). El SCC, es un sistema de surgencia de límite oriental, que se caracteriza por ser un flujo amplio y lento, con dirección al ecuador (Capet et al. 2008). Las aguas transportadas por la surgencia se caracterizan por su baja temperatura y alto nivel de nutrientes, los cuales pueden ser transportados hacia el interior de las lagunas costeras (Hernández-Ayón et al. 2007).

Bahía San Quintín es considerada como una laguna costera con alta productividad orgánica. Esta condición privilegiada ha dado por resultado que sea uno de los sistemas costeros con alto potencial acuícola en la costa occidental de México. La elevada productividad orgánica ha permitido el desarrollo comercial de la acuicultura del ostión, la cual está sustentada en la especie *Crassostrea gigas* (Jiménez- Ochoa, 2011).

Los eventos de surgencias son de mayor intensidad en los meses de mayo y junio y al arribar a la zona eufótica, las aguas de surgencias inducen el florecimientos fitoplanctónicos de tal forma que en las costas del pacífico nororiental se presenta una clara estacionalidad con máximos de nitratos (N-NO₃) y salinidad, y mínimos de temperatura centrados en los meses de mayo-junio, así como máximos de clorofila *a* durante los meses de abril a julio (Pennington & Chávez, 2000).

La mayoría del tiempo, Bahía de San Quintín es un sistema hipersalino y sus salinidades incrementan desde la boca hacia los brazos internos. En verano los aportes de agua subterránea y de ríos son nulos, mientras que la ocurrencia de condiciones hipersalinas implica un débil intercambio por advección entre la laguna y el océano (Aveytua-Alcázar, 2002). Por otro lado Ávila-López (2017) menciona que la evaporación es uno de los procesos que modifican la alcalinidad total, es decir, aumentándola en el interior de BSQ donde el tiempo de residencia es mayor, lo cual provoca un aumento en la salinidad debido a que la exposición a la radiación solar es mayor.

La falta de entrada continua de agua dulce a bahía San Quintín enfatiza el intercambio de materiales disueltos y particulados con el océano adyacente. Por tanto, la distribución

de la salinidad, temperatura y nutrientes inorgánicos disueltos en BSQ depende, además del tiempo de residencia del agua y los procesos biogeoquímicos internos, de la alternancia de eventos de surgencia. Los cambios que se puedan presentar en las concentraciones de nutrientes pueden estar relacionados con mezclas irregulares, debido a la batimetría, los vientos y la entrada de radiación solar (Millán-Nuñez et al., 1982). Debido a la poca profundidad de BSQ, las mareas son el principal factor de la dinámica de las aguas en el área, siendo su corriente unidireccional en respuesta al flujo de marea. Las olas se propagan lentamente en las aguas someras de Bahía Falsa más que en el brazo San Quintín (SQ), lo que facilita el acarreo de nutrientes dentro de la bahía (Flores-Vidal, 2006).

Donata-Melaku y colaboradores en 2016, mencionan que en la simulación de referencia realizada, el tiempo de residencia oscila entre unas pocas horas cerca de la boca de la bahía a más de 15 días en las zonas interiores. En la simulación sin viento, el tiempo de residencia aumenta en todo el dominio, particularmente en las áreas más internas de la bahía. El tiempo de rotación promedio anual de la cuenca en BSQ según las simulaciones de referencia y las simulaciones de escenarios sin viento ascienden a 6.7 y 7.8 días, respectivamente, lo que muestra que de marzo a abril y en diciembre la renovación de agua y los procesos en la bahía son significativamente más rápidos, posiblemente de acuerdo con la dinámica de las mareas.

5

En el sistema de Bahía San Quintín, las variaciones estacionales en las condiciones oceánicas, se han visto reflejadas en los procesos biogeoquímicos (Hernández-Ayón et al. 2007). Por otro lado, se considera como un sistema heterotrófico neto, lo cual significa que, dentro del sistema, la magnitud de la respiración de la comunidad es más intensa que la productividad primaria. Esto implica que el sistema debe recibir un aporte externo (desde el océano) de materia orgánica que subsidie el exceso de respiración, materia orgánica que seguramente es fitoplanctónica (Camacho-Ibar et al., 2003). La entrada limitada de fuentes externas, junto con un aumento en las temperaturas del agua de mar, los flujos de carbono bentónicos y de nutrientes reciclados juegan un papel importante para sostener los procesos biogeoquímicos en la columna de agua dentro del sistema (Ávila-López, 2017).

Asimismo, el saber de dónde provienen los metales es de gran importancia ya que estos son parte del ciclo del carbono. En un estudio sobre distribución de metales pesados en sedimentos en la Bahía de San Quintín, a través de técnicas de análisis multivariado, se concluye que la contribución de metales proviene de dos fuentes principales: oceánica y continental. La primera transporta metales asociados a nutrimentos por medio de surgencias, principalmente de Cd y Zn y la segunda se compone tanto del material detrítico producto de la erosión de rocas graníticas del batolito peninsular (fundamentalmente Cu y Fe), así como del material ígneo proveniente del complejo volcánico rico en minerales ultramáficos con Al, Fe, Mn, Cr y Ni (Martínez-Magaña, 1995). En cuanto al plomo (Pb), Ardila-Poveda en 2019, menciona que las concentraciones de Pb en sedimentos superficiales se han asociado a descargas de la zona urbana con la presencia de materia orgánica y zonas de uso portuario.

El presente trabajo tiene el objetivo de generar información relacionada a variables físicas y biogeoquímicas en Bahía San Quintín, en diferentes estaciones del año y a su vez comprender como es que estas son afectadas por la dinámica de la bahía, al mismo tiempo esperamos aportar información reciente sobre la bahía para futuros estudios.

HIPÓTESIS

Los cambios estacionales de las condiciones oceanográficas, se reflejan en los procesos oceanográficos físicos y biogeoquímicos dentro de la laguna costera de Bahía San Quintín, siendo más evidentes en el brazo oeste BF de la bahía que en el brazo este SQ, debido a que el agua oceánica por efecto de marea se intercambia de manera más directa.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar las variables oceanográficas físicas y biogeoquímicas estacionalmente, así como comprender la dinámica dentro de la Bahía de San Quintín, Ensenada Baja California México.

Objetivos particulares:

1. Estudiar los procesos de intercambio de agua entre Bahía San Quintín y el agua oceánica estacionalmente, mediante el análisis de variables físicas y con el periodo de marea.
2. Analizar las variables físicas asociadas a la materia orgánica (DBO y DQO) y los Microconstituyentes (Cd, Zn, Cu, Pb y Cr) estacionalmente, en la columna de agua y su distribución espacial.
3. Determinar la concentración de nutrientes en la columna de agua estacionalmente y su distribución espacial en Bahía San Quintín.

ÁREA DE ESTUDIO

Bahía San Quintín (Figura 1) es una laguna costera ubicada en la árida costa noroeste de la baja península de California, México (30° 27' N, 116° 00' W). Cubre un área de aproximadamente 42 km², tiene una profundidad media de 2 m, una amplitud de marea de 2.4 m durante las mareas vivas y los rangos de temperatura del agua de 11–22 °C y 13–

27 °C en la desembocadura de la bahía y en el extremo interno del brazo oriental, respectivamente (Camacho et al., 2003).

La conexión con el océano adyacente es a través de una boca relativamente estrecha (poco menos de un kilómetro) cuya profundidad máxima es de 13 m respecto al nivel medio del mar. Los sedimentos en el fondo de BSQ son muy variados, desde limos hasta arenas gruesas (Cabello et al., 2004). Ambos brazos (este y oeste) presentan una gran porción de fondos lodosos, con mucha abundancia de especies pastos marinos (Lara-Lara & Álvarez-Borrego, 1974). El área total de BSQ ocupa un total de 41 km² de los que el 60% es ocupado por el brazo este. Ambos brazos (este y oeste) se encuentran separados por una formación montañosa, en la que destacan la montaña Kenton y el volcán Ceniza, ambos con una altura de 60 m sobre el nivel medio del mar. El clima en la zona es clasificado como semiárido, con máximo anual de temperatura ambiente (25 °C) durante verano. Las lluvias son escasas y se presentan en invierno, con un promedio de precipitación anual de 5-10 cm (Flores-Vidal, 2006).

8

Dentro del sistema se encuentra un tómbolo (Punta Mazo) de 8 km de largo con orientación al noroeste (NO); en el sur se encuentra una barrera de arena con orientación al este (E) (Punta Azufre) de 5 km. Entre Punta Azufre y el costado interno del tómbolo se forma la boca que permite el intercambio de agua entre el océano y la laguna. La profundidad promedio es de 2 m y un máximo presente en los canales de marea correspondiente a los 9 m; donde uno de los brazos es propiamente llamado como “Bahía San Quintín” en la porción E; y el brazo de la porción oeste (O) es denominado “Bahía Falsa” (Ocampo-Orozco, 2011). Debido a su morfología, BSQ se caracteriza principalmente por estar protegida del oleaje directo y tener planicies costeras que se cubren y descubren por la acción de la marea (Rivera-Saldivar, 2010), la cual presenta un régimen mixto semidiurno con un rango de 2.5 m de amplitud durante primavera y verano (Daesslé et al., 2009).

Bahía Falsa es el área donde se encuentra la mayor parte de los cultivos del ostión, los cuales quedan expuesta al medio ambiente, durante las mareas bajas. Los tiempos de

residencia de las masas de agua (a partir del balance de sal) para primavera y verano fluctúan entre 4 y 6 días, y para invierno de alrededor de 12 días (Juárez-Villarreal, 1982; Hernández-Ayón et al., 2004; Jiménez- Ochoa, 2011).

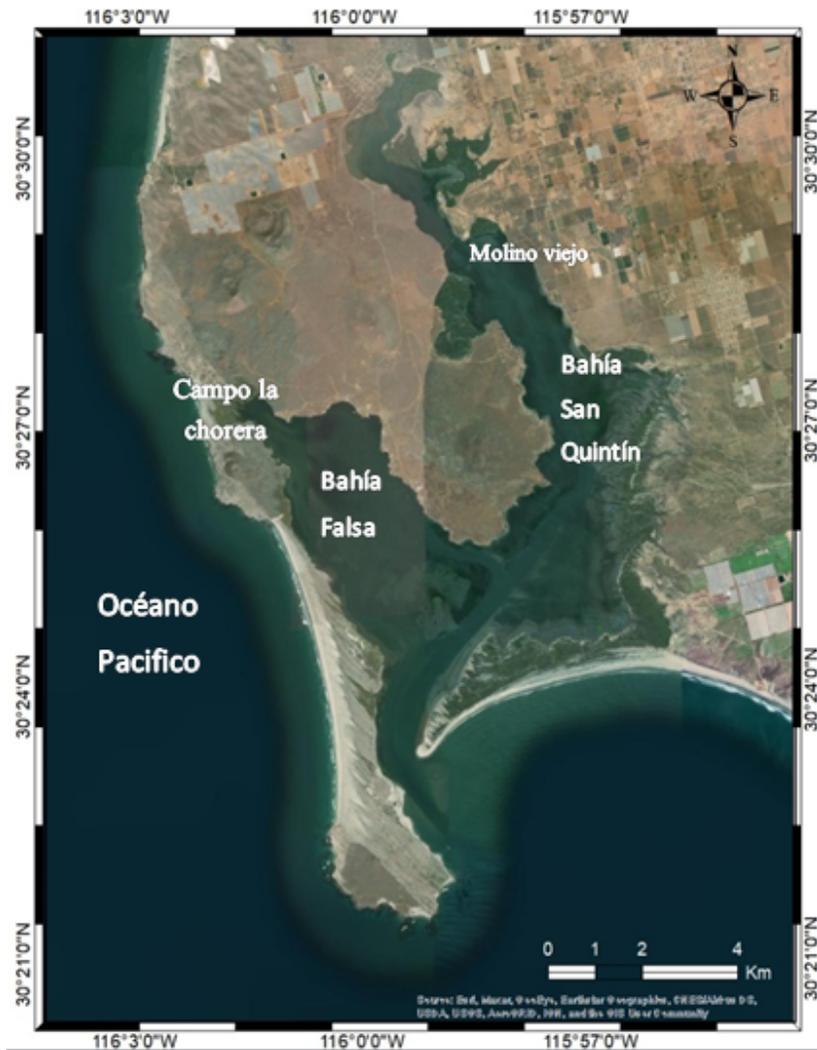


Figura 1.- Localización del área de estudio en Bahía San Quintín, Baja California, México.

METODOLOGÍA

Trabajo de campo

Se realizaron 5 muestreos en Bahía San Quintín, Baja California durante 2019-2020 en las siguientes fechas; a) 9 de noviembre del 2019, b) 21 de marzo, c) 25 de junio, d) 25 de julio y e) 10 de octubre de 2020, donde marzo pertenece al periodo de transición invierno-primavera, junio corresponde a primavera, julio a verano y por último octubre y noviembre corresponden a otoño. Estos muestreos iniciaron a las 8:00 hrs en condiciones de pleamar y finalizaron a las ~14:00 hrs en condición de marea cercana a baja mar. El muestreo comprendió 15 estaciones a lo largo de toda la bahía (Figura 2). Las fechas y horas de muestreo del presente trabajo durante 2020, fueron elegidas a partir de las facilidades proporcionadas por las autoridades de UABC debido a las actividades restringidas de investigación por la contingencia sanitaria SARS CoV2.

En cada una de las 15 estaciones se tomó la hora de llegada, las coordenadas y la temperatura del agua de mar. Asimismo, se utilizaron botellas de vidrio para la colecta de muestras de agua para el posterior análisis de oxígeno disuelto y botellas de plástico de polietileno de alta densidad para la colecta de agua para el posterior análisis de metales, nutrientes, pH y Alcalinidad Total. Por último las muestras se colocaron en hieleras a 4 °C aproximadamente para su traslado hacia el laboratorio, con excepción de las muestras de oxígeno disuelto, las cuales se fijan en el momento de la toma de muestra y se mantienen en la oscuridad hasta llegar al laboratorio.

10

Se usaron los datos de la estación meteorológica más cercana al área de estudio (ostrícola Nautilus S. de R. de C.V.), que pertenece al CICESE. Los datos de conductividad, como medición de la razón de salinidad, se hizo con un salinómetro marca Beckman modelo 118WA200 que tiene una resolución de 0.0001 unidades de salinidad y una variabilidad menor al 1 %. Este equipo fue calibrado empleando agua de mar estándar comercial (I.A.P.S.O.), además se tomaron muestras por duplicado para analizar la salinidad con un salinómetro Portasal Guildline 8410. Así también se midió *in situ* en cada estación la conductividad, temperatura y profundidad (CTD) mediante lances hidrográficos, con un perfilador modelo CASTAWAY (r)-CTD (<https://sontek.com/castway-ctd>), el cual se bajó en la columna de agua de manera manual y hasta profundidades de 13 metros.

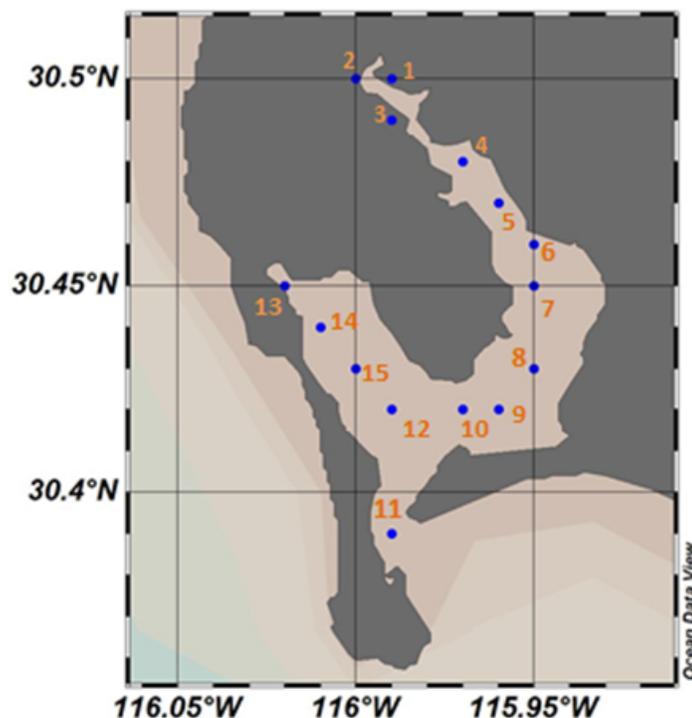


Figura 2.- Distribución de las estaciones muestreadas en Bahía San Quintín, Baja California.

Análisis de laboratorio

Materia orgánica

11

La medición de la actividad de la materia orgánica, se realizó mediante el análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), que se determinó mediante el método de oxidación con permanganato de potasio a alta presión y temperatura. Esta técnica tiene un límite de detección de $0.1 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (APHA & WPC, 1985). La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) se determinó mediante el método de incubación a 30° C de muestras de agua de mar sin diluir por 5 días y la determinación de oxígeno disuelto mediante el método Winkler, descrito en Parsons et al. (1984). Esta técnica tiene un límite de detección de $0.12 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$.

Nutrientes

En el laboratorio se analizaron las muestras de agua que se filtraron con filtro de fibra de vidrio de 0.7 a 1.2 μm (Gelman® A/E o Whatman® GF/C) para eliminar el material en suspensión, y fueron colocadas en viales de 50 mL, después de haber sido filtradas.

La determinación de la concentración de nitrato (NO_3^-) se realizó por medio de la columna de cadmio, por reducción de NO_3^- a NO_2^- (nitrito), de acuerdo a lo descrito en Parsons, et al. 1984. El NO_2^- se analizó con base en la reacción de formación del complejo diazo entre el ión nitrito y el complejo diazo formado reacciona con N-(1naftil)-etilendiamina dihidrocloruro (conocida como NED). El complejo formado es de color rosa y absorbe a una longitud de onda de 543 nm.

La concentración de fosfato (PO_4^{3-}) se analizó mediante el método del ácido. En éste método analítico, el molibdato de amonio y el tartrato de antimonio potasio reaccionan en un medio ácido con el fósforo reactivo para formar ácido fosfomolibdico, el cual es reducido por el ácido ascórbico para producir un complejo de azul de molibdeno con una longitud de onda de 885 nm (Parsons, et al. 1984).

Para la determinación de la concentración de ácido silícico ($\text{Si}(\text{OH})_4$), se utilizó el método del metol-sulfito, debido a que el cromóforo azul formado es más estable, posteriormente se midió la absorbancia del cromóforo azul a una longitud de onda de 810 nm (Parsons, et al. 1984).

Metales

La concentración de los metales Cadmio (Cd), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Cromo (Cr), se obtuvo mediante la técnica de voltametría anódica de barrido de onda cuadrada y película de mercurio, utilizando un polarógrafo BAS Epsilon EC

y un electrodo de carbón vidriado rotativo. El límite de detección que se utilizó para todos los metales fue de 0.01 $\mu\text{g/L}$ (Bustos-Serrano, 2018).

pH y Alcalinidad Total

Se evaluaron las variables del sistema del dióxido de carbono pH y Alcalinidad Total (AT) en la columna de agua y su distribución espacial mediante el uso de estándares de Tris Marino y con el conductímetro Orion en unidades de mV de acuerdo al método establecido por Dickson en 1994

RESULTADOS

Variables hidrográficas

En la Figuras 3 y 4, se observa el índice de surgencia de en recuadro rojo de los días muestreados. El valor más bajo fue el 21 de marzo de 2020 con $\sim 0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$ y el más alto fue el 25 de julio de 2020 con $\sim 60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$ (Figura 4), estos valores no representan condiciones altas de surgencia, es decir que todos nuestros muestreos se llevaron a cabo durante períodos de relajación de surgencias.

13

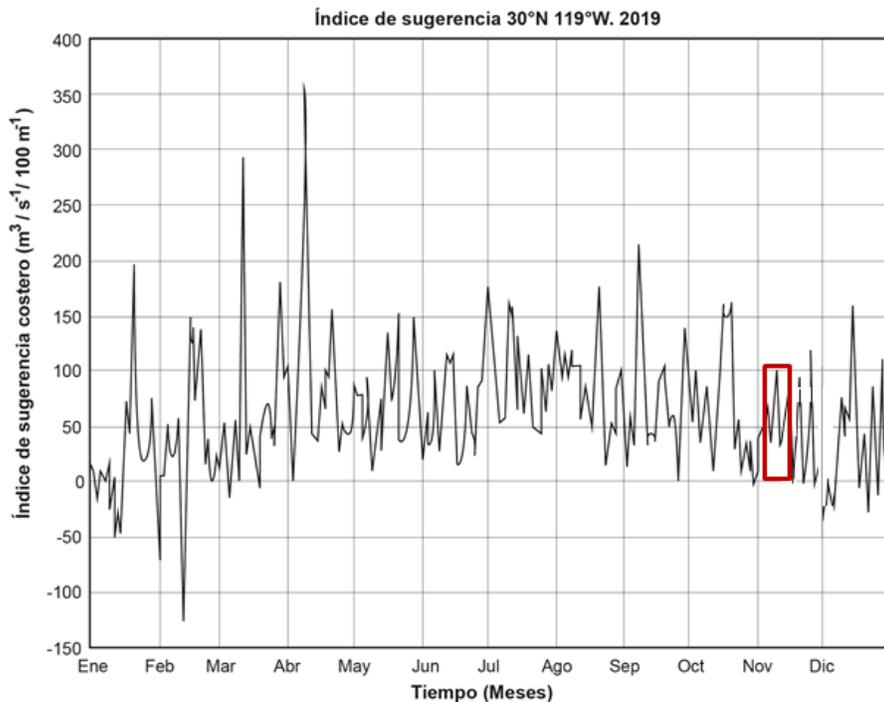


Figura 3.- Índice de surgencia [$\text{m}^3 \text{s}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$] en 2019. En recuadro rojo se indica el día de muestreo realizado el 10 de noviembre en Bahía San Quintín, Baja California.

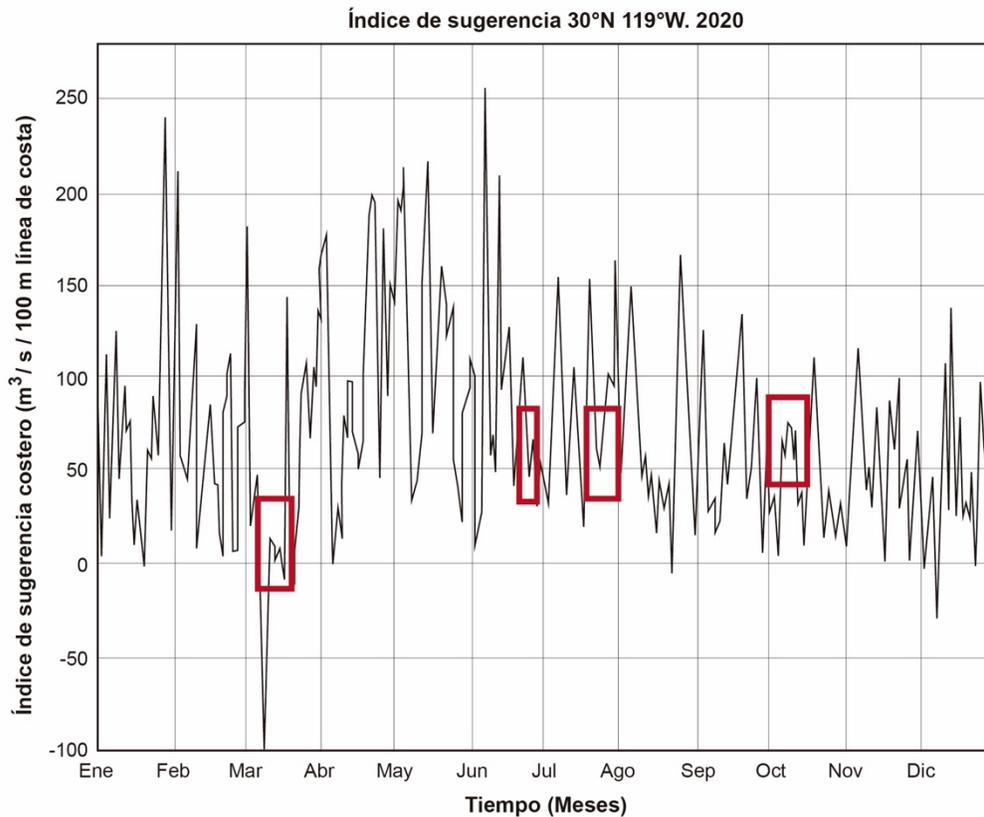


Figura 4.- Índice de surgencia [$\text{m}^3 \text{s}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$] en 2020. Los recuadros rojos, corresponden a los cinco muestreos realizados en Bahía San Quintín, Baja California.

En la figura 5 se observan los cambios de salinidad en 4 muestreos mensuales distintos, asociados a las estaciones del año (transición invierno-primavera, primavera, verano y otoño). Los máximos valores de salinidad se registraron en primavera (junio), verano (julio) y otoño (octubre) y se localizaron principalmente en la parte interna de los brazos de la bahía (BF y SQ) con excepción de octubre, ya que el máximo se encontró en la entrada de la bahía con valor de 36 y este valor es el más alto presentado en todos los meses. Los valores mínimos se presentaron en la boca de la bahía para todos los meses con excepción del mes de marzo (transición invierno-primavera), donde el mínimo se localiza en la

estación (9) cercana a la entrada del brazo este, marzo también es el mes con la salinidad más baja que es de 33.

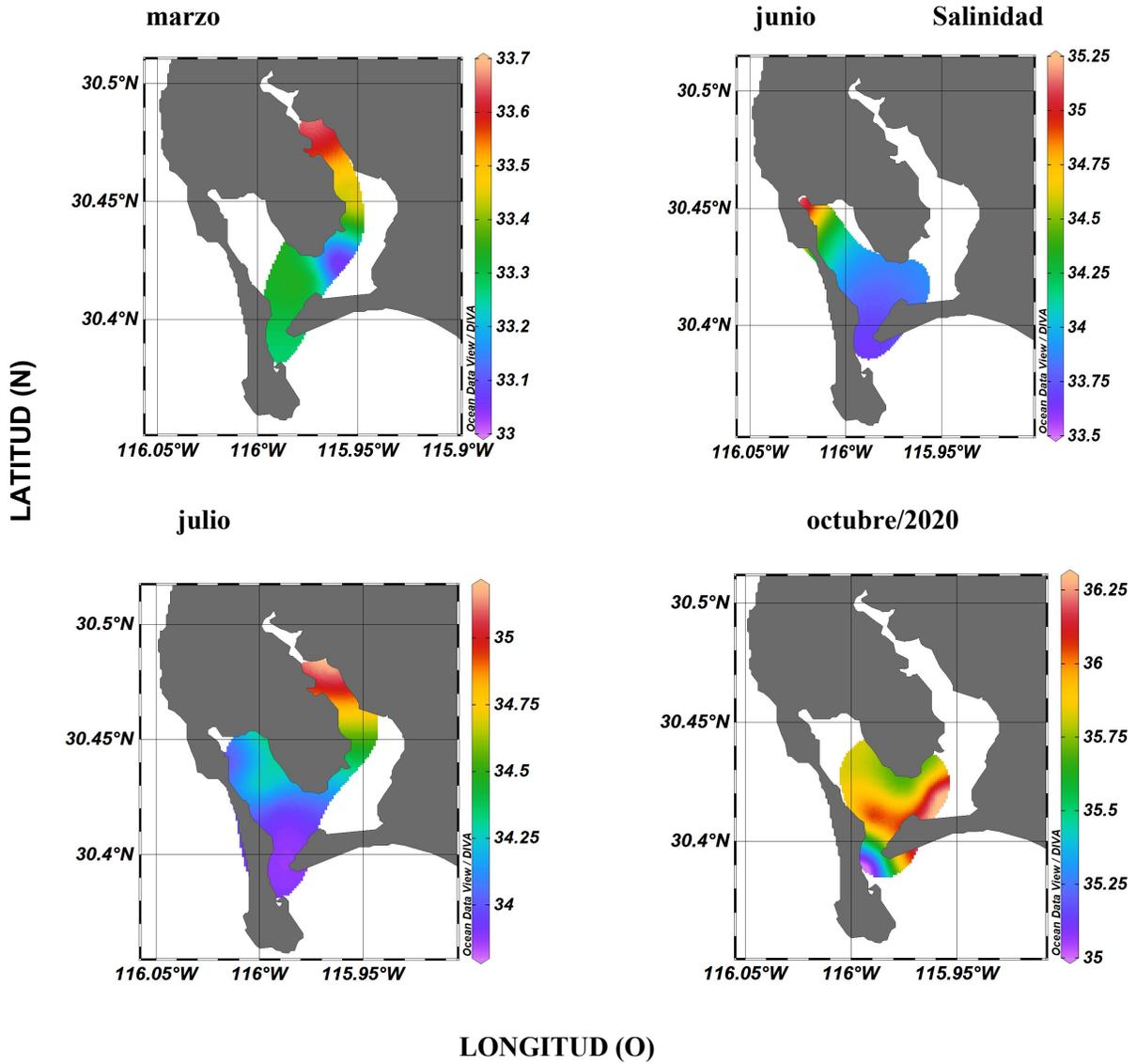


Figura 5.- Salinidad superficial en BSQ, muestreada durante 2020 (transición invierno-primavera, primavera, verano y otoño).

En la figura 6 se observan los cambios de temperatura en 3 muestreos mensuales distintos, asociados a 3 de las estaciones del año (otoño, transición invierno-primavera y primavera).

Los valores máximos van de los 18 °C a 23 °C, estos valores se encuentran en las estaciones (1, 2 y 3) de la parte norte y central (7) de BSQ, en cuanto a BF el máximo se encuentra en los cultivos de ostión (14 y 15). Las temperaturas mínimas se registraron en los meses de junio, noviembre y marzo, con intervalos de 18°C a 19°C.

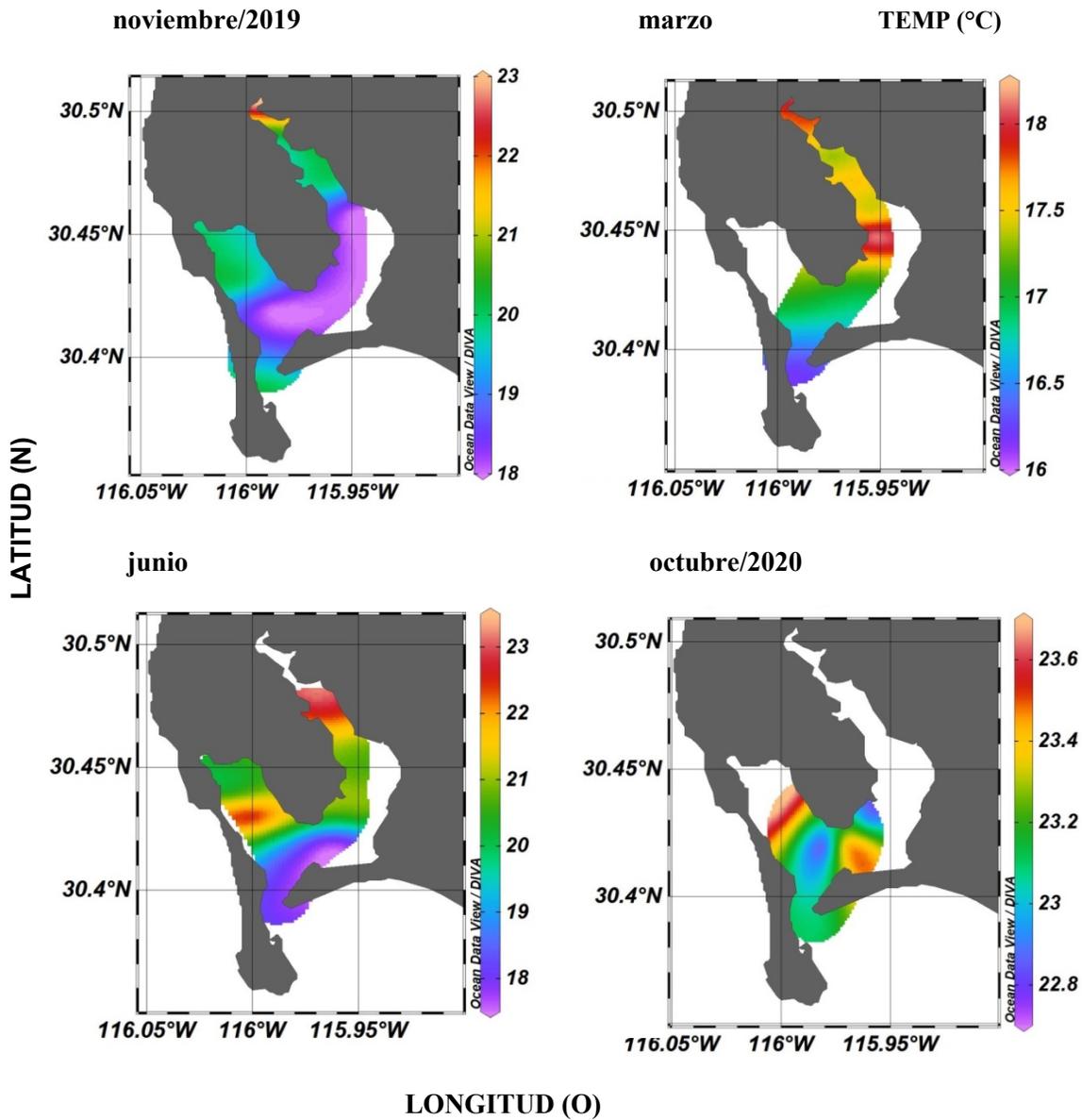


Figura 6.- Valores de temperatura (T°C) superficial en BSQ, muestreados de noviembre de 2019 a octubre de 2020 (otoño, transición invierno-primavera y primavera).

En la figura 7 se observan cambios en el pH en 3 muestreos mensuales distintos asociados a 3 de las estaciones del año (primavera, verano y otoño). Los máximos se encuentran en las estaciones (5, 6 y 7) de la parte central de BSQ, estos valores son de 8.2 para todos los meses con excepción del mes de junio donde el máximo se encuentra en la parte norte de BF (13 y 14). En cuanto al mínimo valor de pH se presentó en el mes de noviembre el cual fue de 7.8 en la parte norte de BSQ (4), para los meses restantes el valor mínimo se presentó entre 7.9 y 7.95

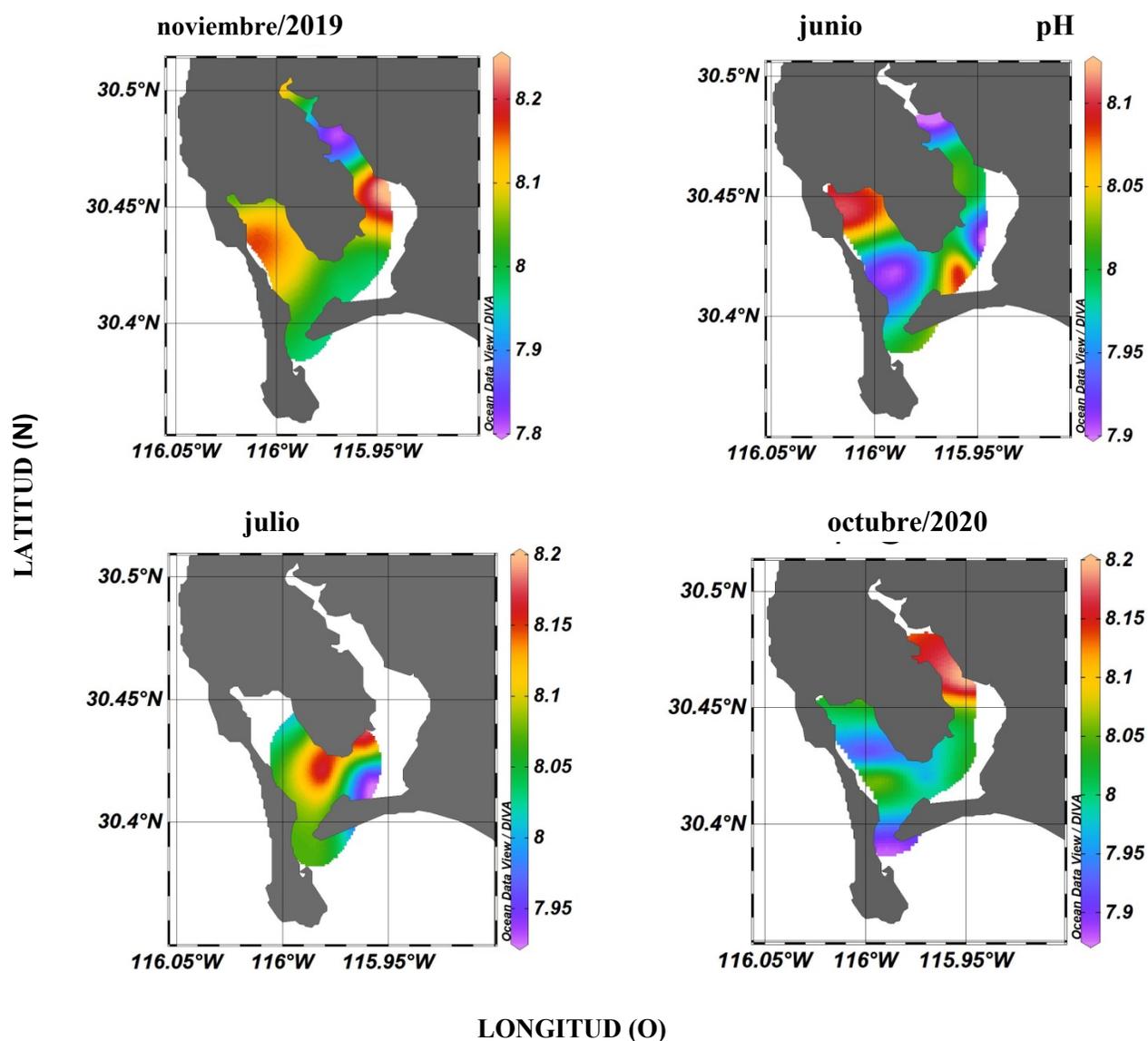
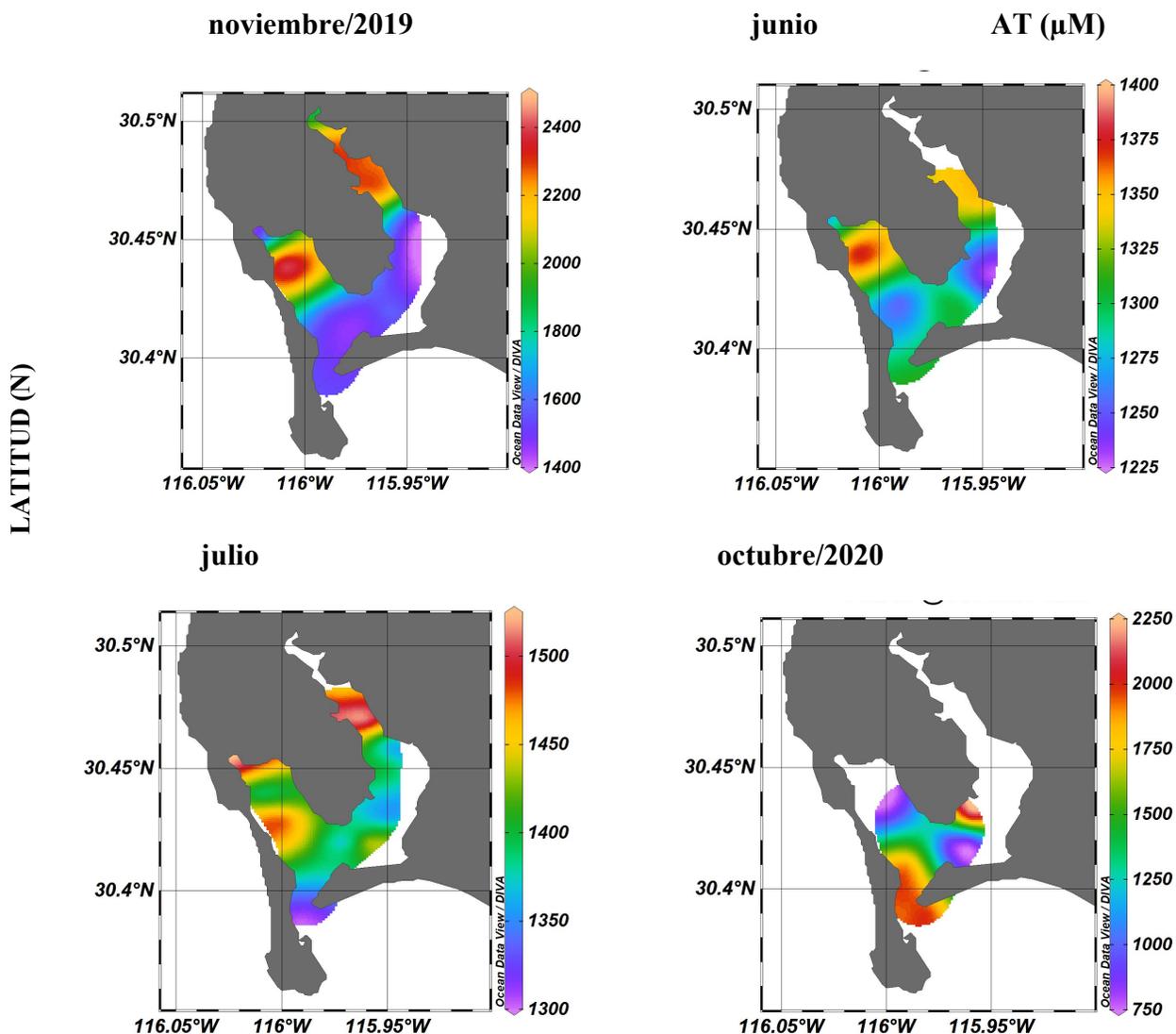


Figura 7.- Valores de pH superficial en BSQ, muestreados de noviembre del 2019 a octubre de 2020 (otoño, primavera y verano).

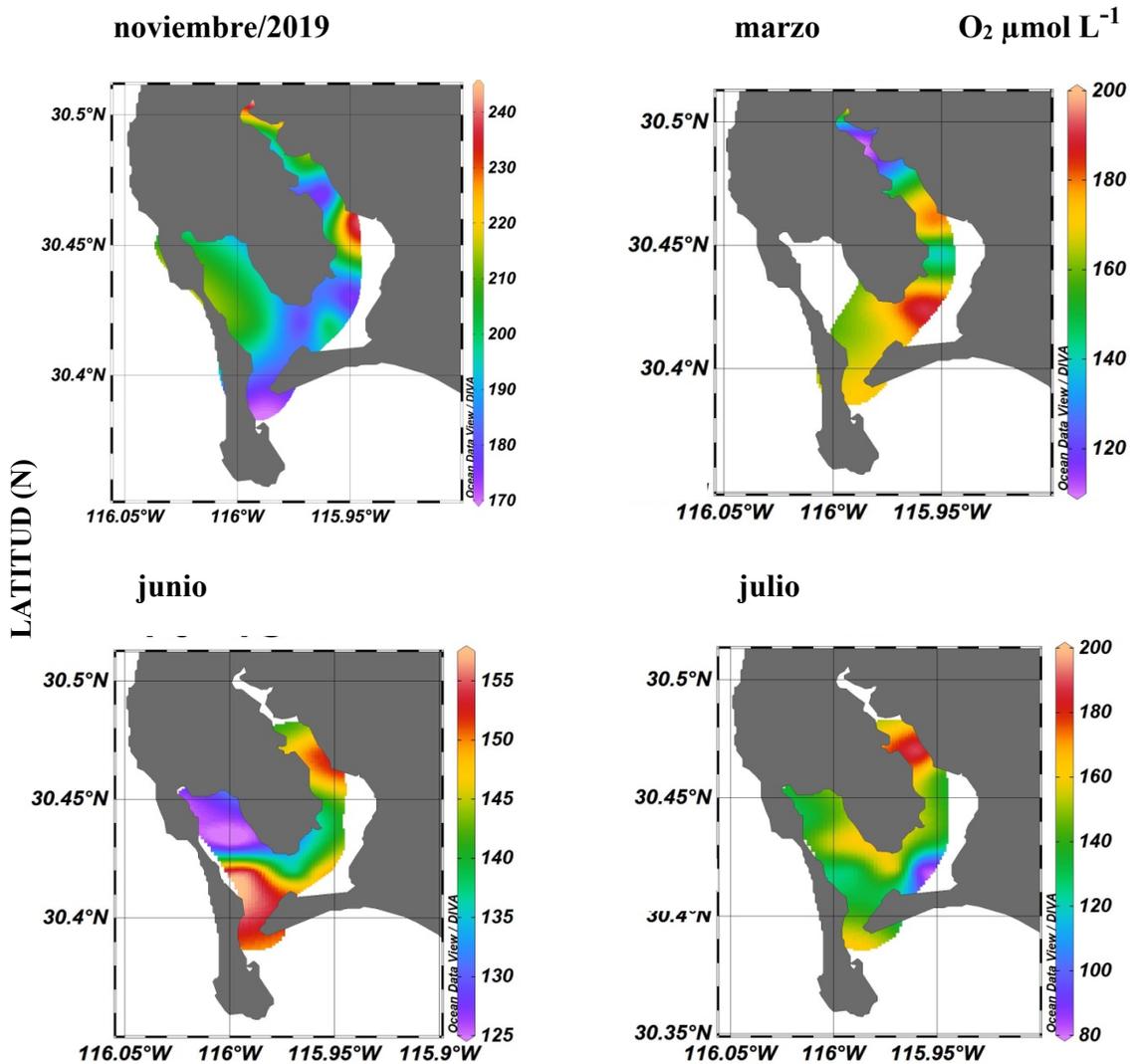
En la figura 8 se observan cambios en la Alcalinidad Total (AT) en 3 muestreos mensuales distintos asociados a 3 de las estaciones del año (primavera, verano y otoño), de las cuáles se muestreó otoño del 2019 y otoño del 2020. Los máximos se encuentran en noviembre y octubre, estos máximos los podemos observar en la parte interna de ambos brazos (BF y SQ) y en la boca de la bahía consecutivamente sobrepasando los 2000 μM . En junio el máximo se presentó en Bahía Falsa (1375-1400 μM) y en julio se registró en la parte interna del brazo este (SQ) y en Bahía Falsa (1400-1500 μM), estos máximos fueron un 64.5 % más bajos en comparación con los meses restantes (noviembre y octubre). Los mínimos se presentaron principalmente en la boca de la bahía y en las estaciones cercanas a la entrada del brazo SQ (7 y 8), salvo por el mes de octubre ya que los mínimos se presentaron en la estación 14 y 10.



LONGITUD (O)

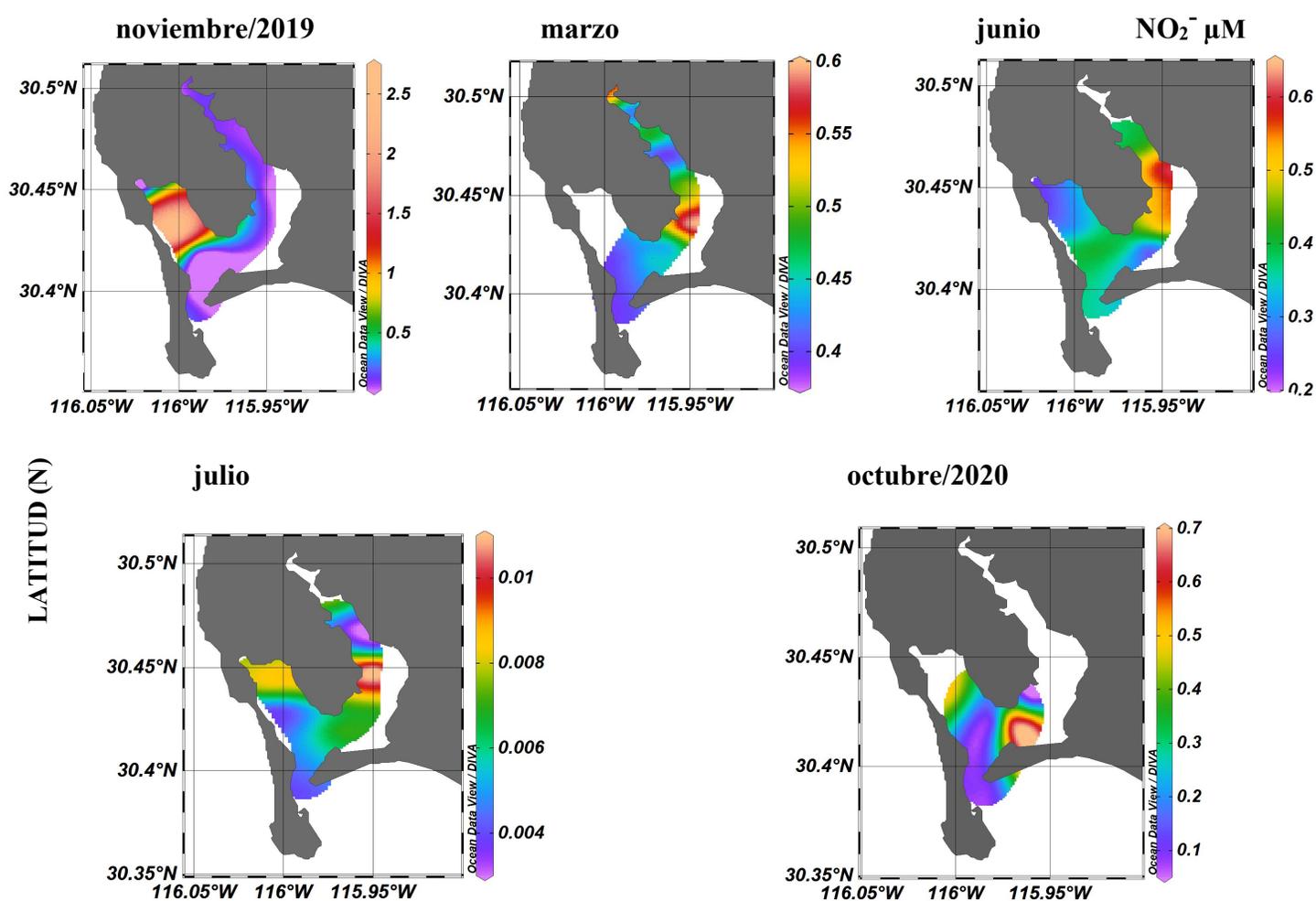
Figura 8.- Distribución de Alcalinidad Total ($\mu\text{mol L}^{-1}$) en BSQ, muestreado de noviembre de 2019 a octubre de 2020 (otoño, transición invierno-primavera y verano).

En el mes de noviembre se presentaron los máximos de O_2 (230 a $240 \mu\text{mol L}^{-1}$) en el centro de BSQ, estación 7. En marzo y julio los máximos de O_2 (180 a $200 \mu\text{mol L}^{-1}$) se encontraron en BSQ en las estaciones 9 y 5 respectivamente. En cuanto al mes de julio, las concentraciones de O_2 se mantuvieron bajas en comparación con los demás meses, teniendo el máximo con $155 \mu\text{mol L}^{-1}$ en la boca de la bahía. Los mínimos se presentaron en BF principalmente en la zona de cultivos de ostiones y en las estaciones 8 y 9 del brazo este SQ.



Nu **Figura 9.-** Distribución de O_2 ($\mu\text{mol L}^{-1}$) en BSQ, muestreado de noviembre de 2019 a octubre de 2020 (otoño, transición invierno-primavera y verano).

En la figura se observan las distribuciones de O_2 en las estaciones del año; transición invierno-primavera, primavera, verano y otoño. La concentración máxima se observa en el mes de julio en la zona de cultivo de ostiones de BF (anexo 1), en los meses restantes se distribuyen en la zona central y sur de la BSQ. Los valores mínimos se encuentran principalmente en la entrada de la bahía y estos fueron muy diferentes entre los diferentes meses, ya que las concentraciones van desde $0.004 \mu\text{M}$ para el mes de julio hasta los $0.5 \mu\text{M}$ para el mes de noviembre.



LONGITUD (O)

21

Figura 10.- Distribución de NO_2^- (μM) en BSQ, muestreado de noviembre de 2019 a octubre del 2020 (otoño, transición invierno-primavera y verano).

estaciones del año; transición invierno-primavera, verano y otoño. La concentración máxima se observa en el mes de marzo en la estación 9 de la BSQ (anexo 2), esta zona es la misma para el mes de junio, en cuanto a los meses restantes, el máximo se distribuye en la zona norte y centro de BF. Los valores mínimos se encuentran principalmente en la entrada de la bahía y en la zona centro de la BSQ.

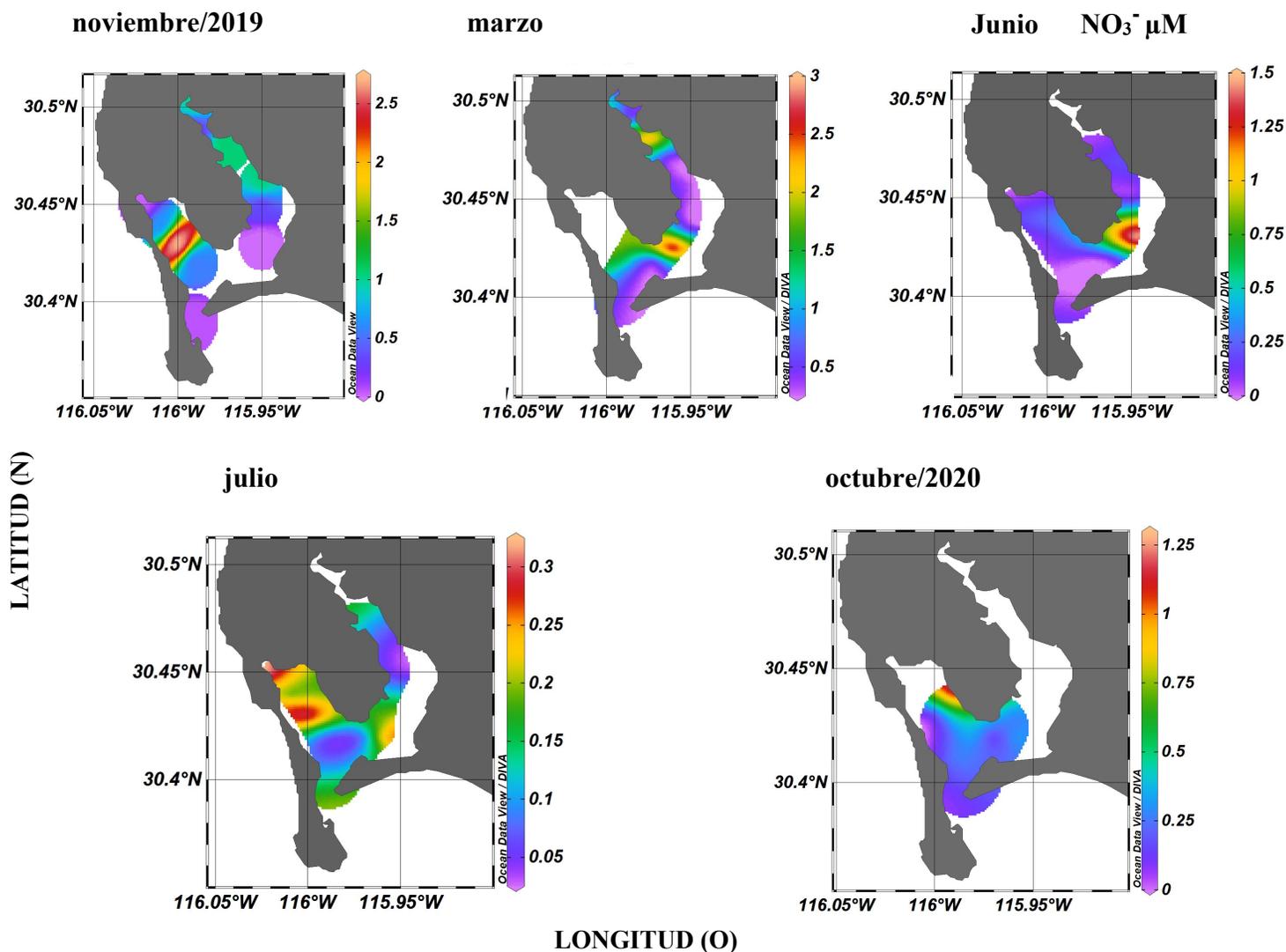


Figura 11.- Distribución de NO_3^- (μM) en BSQ muestreado de noviembre de 2019 a octubre de 2020 (otoño, transición invierno-primavera y verano).

En la figura 12 se observa la variación en la concentración de fosfato (PO_4^{3-}) en 4 muestreos mensuales distintos, asociados a las estaciones del año; transición invierno-primavera, primavera, verano y otoño. La tendencia de las concentraciones aumenta desde la boca de la bahía hacia los extremos internos de la bahía (BQ, BF). La concentración máxima se observa en el mes de noviembre en la entrada de la bahía (anexo 3). En cuanto a las concentraciones mínimas, se encuentran en el mes de marzo a pesar de tener un máximo en la estación 10 y en el mes de junio los valores mínimos predominaron en toda la bahía.

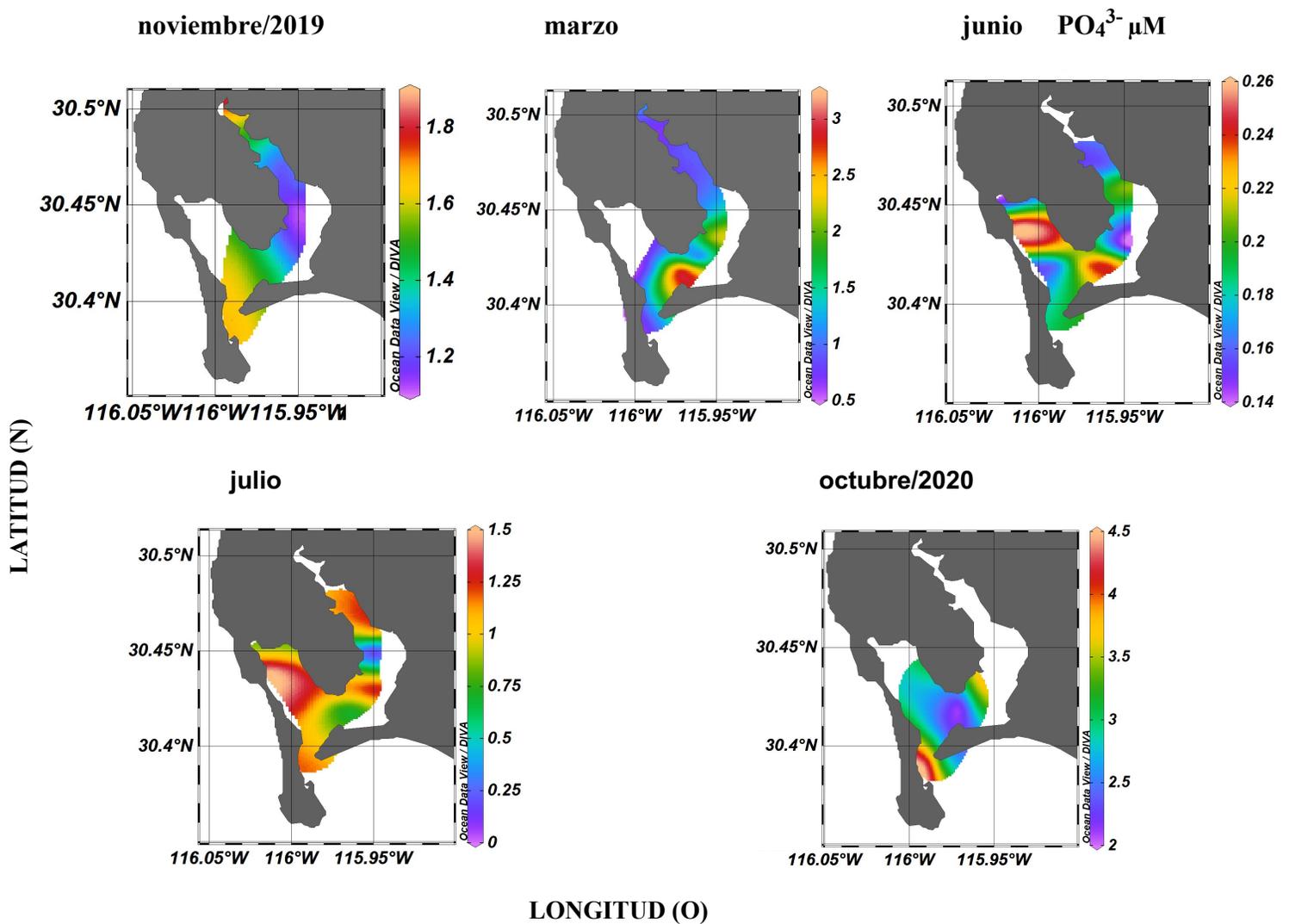
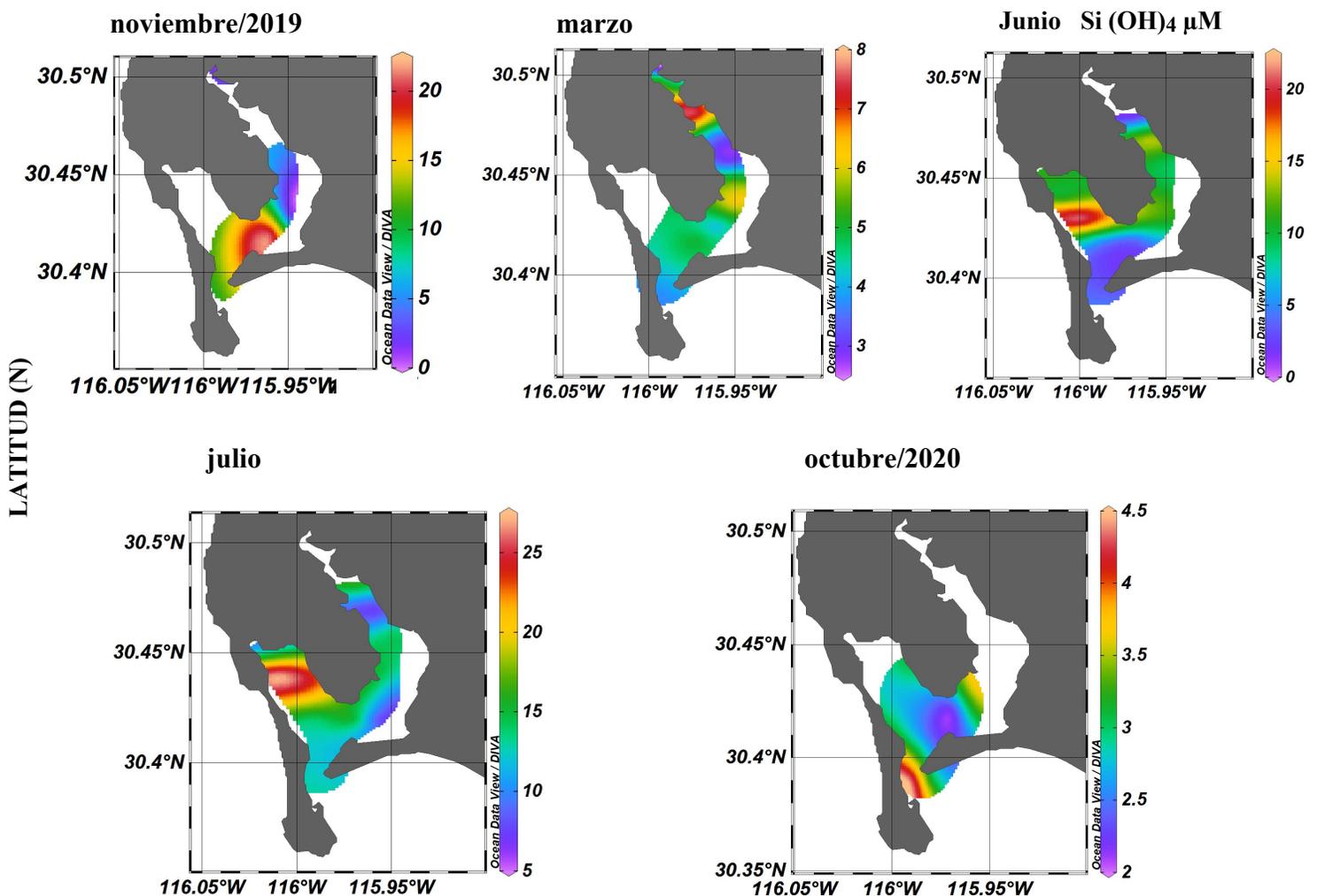


Figura 12.- Distribución de PO_4^{3-} (μM) en BSQ, muestreado de noviembre de 2019 a octubre de 2020 (otoño, transición invierno-primavera, primavera y verano).

En la figura 13 se observa la variación en la concentración de silicato ($\text{Si}(\text{OH})_4$) en 4 muestreos mensuales distintos asociados a las estaciones del año del año; transición invierno-primavera, primavera, verano y otoño. Las máximas concentraciones se registraron en noviembre en las estaciones 9 y 10, mientras que en octubre en la entrada de la bahía, en marzo el máximo se encuentra en la parte más interna del brazo este (SQ) en la estación 3, por último en junio y julio el máximo coincide en el brazo oeste (BF) en las estaciones 14 y 15. Las máximas concentraciones de silicato de todos los meses muestreados, se encuentran en noviembre, junio y julio (anexo 4). Las mínimas coinciden en zonas muy parecidas en todos los meses y se encuentran principalmente en el brazo este (SQ) en las estaciones 4, 5 y 6 y en la entrada de la bahía con excepción de noviembre y octubre.



LONGITUD (O)

Mat **Figura 13.-** Distribución de $\text{Si}(\text{OH})_4$ (μM) en BSQ, muestreado de noviembre de 2019 a octubre del 2020 (transición invierno- primavera, primavera y verano).

En la

Oxígeno (DBO_5) en 3 muestreos mensuales distintos asociados a 3 de las estaciones del año del año (primavera, verano y otoño). Las máximas concentraciones de DBO_5 se registraron en los meses de noviembre y junio en el brazo este (SQ) de la bahía, en las estaciones 7 y 8 respectivamente. Para el mes de julio la máxima concentración se encuentra en el brazo oeste (BF) y en el mes de octubre se observan dos máximos en las estaciones 12 y 14 (Anexo 6). Las mínimas concentraciones se observan principalmente en la entrada de la bahía, por otro lado en noviembre también se observan mínimos en la zona media e interna del brazo este (SQ), por último en octubre el mínimo se encuentra en la entrada del brazo este (SQ) en la estación 8.

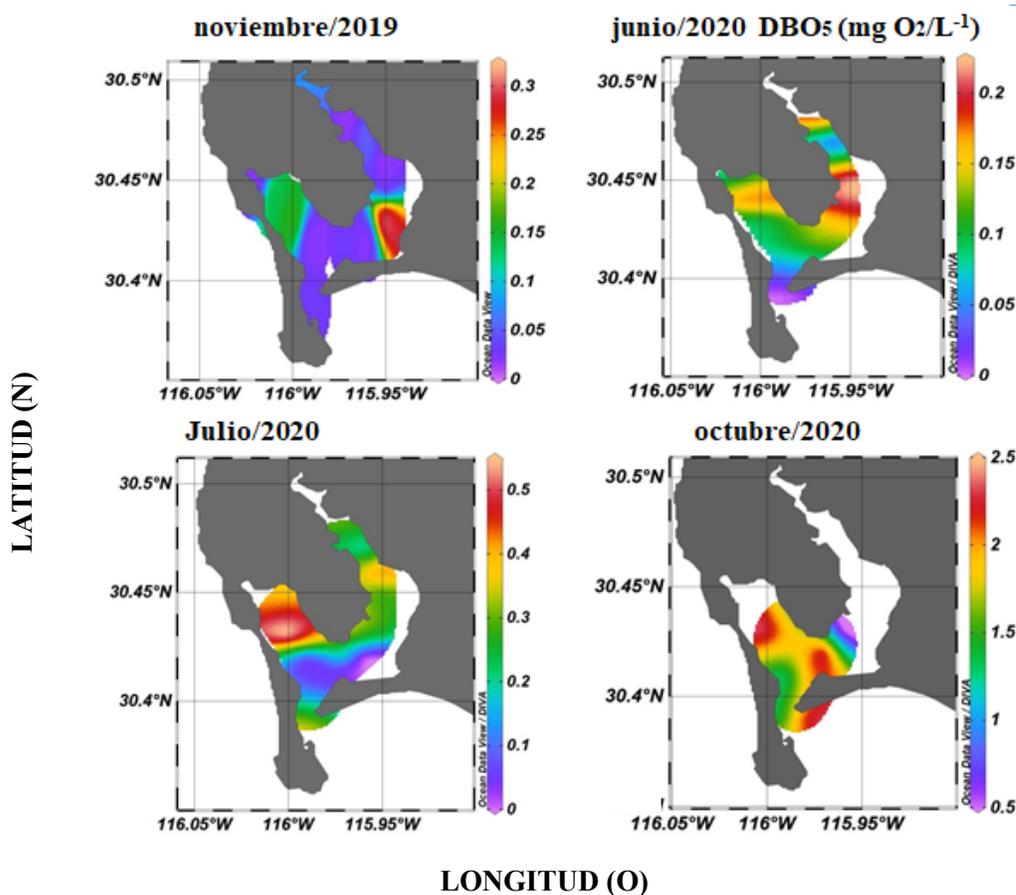


Figura 14.- Distribución de la DBO₅ (mg O₂ L⁻¹) en BSQ, muestreada de noviembre de 2019 a octubre del 2020 (otoño, primavera y verano). 5

La figura 15 se observa la variación en la concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en 2 muestreos mensuales distintos asociados a 2 de las estaciones del año (verano y otoño). En noviembre se pueden observar máximas concentraciones tanto en la entrada de la bahía como en zona interna del brazo este (SQ), en cuanto al mes de julio la máxima concentración se encuentra en la entrada de la bahía en la estación 10 (Anexo 7). Las concentraciones mínimas para noviembre se encuentran en el brazo oeste (BF) en la zona de cultivo de ostiones, en julio también se observan mínimos en BF sin embargo, la concentración más baja se encuentra en el brazo este (SQ) en zona cercana a la parte más interna en la estación 5.

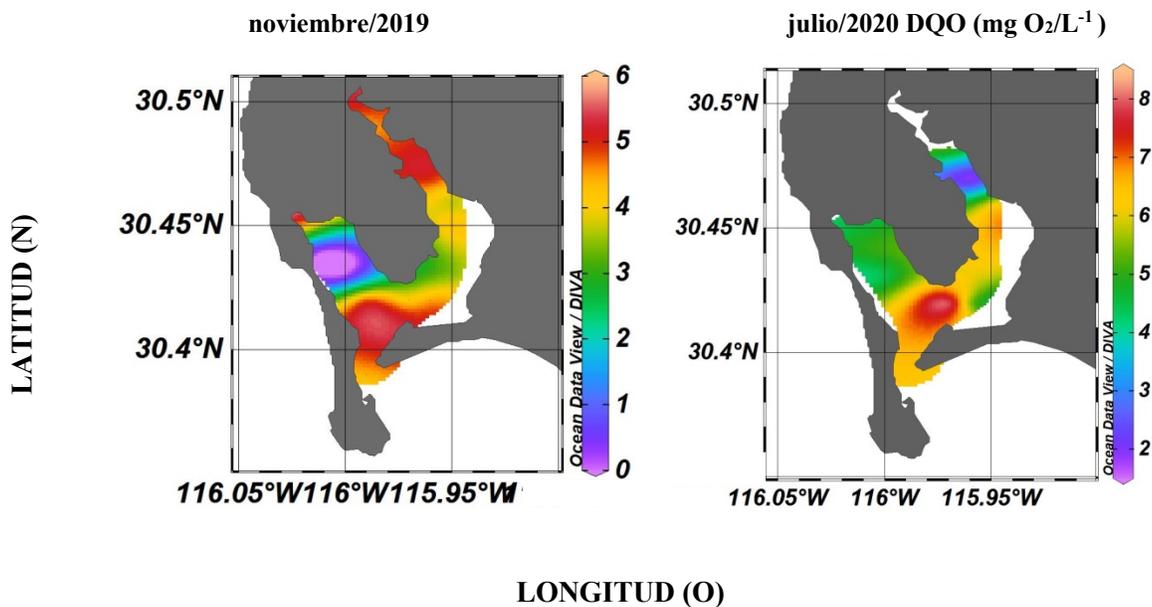


Figura 15.- Distribución de la DQO (mg O₂ L⁻¹) en BSQ, muestreada en noviembre (otoño) 2019 y julio (verano) 2020.

< LD= menor al límite de detección 0.01

En la tabla 2 se observa que en marzo (transición invierno primavera) de 2020, el metal que presenta mayor frecuencia de aparición fue el Pb y por otro lado el metal con la máxima concentración fue Zn con $1.93 \mu\text{g L}^{-1}$ en la estación 5. En promedio se presentaron entre 2 y 4 metales por estación, sin considerar que en una estación presentó ausencia total de metales (estación 2). En el mes de marzo se presentó la mínima concentración de metales comparado con los demás meses muestreados. Por último es importante destacar que de las estaciones 6 a la 8 no se identificó ningún metal.

Tabla 2.- Concentración de metales libres y lábiles en agua de mar para cada estación muestreada en BSQ en el mes de marzo del 2020.

Estación	Zn ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Cu ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Cd ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Cd ($\mu\text{g L}^{-1}$) HCl	Pb ($\mu\text{g L}^{-1}$)
1	< LD	< LD				
2	< LD	< LD	< LD	0.17	0.14	0.32
3	< LD	2.44	< LD	< LD	0.08	0.28
4	1.4	0.73	< LD	0.12	< LD	1.77
5	1.93	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
6	< LD	< LD				
7	< LD	< LD				
8	< LD	< LD				
9	< LD	0.63				
10	< LD	0.3	0.48	0.15	< LD	< LD
11	< LD	0.23				
12	< LD	0.3	< LD	0.1	0.09	0.53

< LD= menor al límite de detección 0.01

En la tabla 3 se observa que el Zn, fue el metal mayormente identificado en las diferentes estaciones y con la máxima concentración en la estación 15. El Cd fue el metal con la mínima concentración registrada, seguido del Cu en la estación 9. Por último el Pb solo se registró en 2 estaciones (5 y 9).

Tabla 3. Concentración de metales libres y lábiles en agua de mar para cada estación muestreada en BSQ en el mes de junio del 2020.

Estación	Zn ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Zn (μgL^{-1}) HCl	Cu ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Cu (μgL^{-1}) HCl	Cd ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Pb ($\mu\text{g L}^{-1}$)
5	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.2
8	< LD	0.89	< LD	< LD	< LD	< LD
9	< LD	< LD	0.18	< LD	< LD	0.22
11	< LD	0.89	< LD	0.31	0.03	< LD
12	0.89	< LD	< LD	< LD	0.03	< LD
15	3.24	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

< LD= menor al límite de detección 0.01

En la tabla 4 se muestra la concentración de metales para julio (verano) de 2020. Se observa que el Cu se encontró en todas las estaciones muestreadas, y que el Zn está presente en la mayoría de ellas. En cuanto a las máximas concentraciones, estas corresponden al Zn, se localizaron en las estaciones 4 y 11, con un valor de hasta $43.87 \mu\text{g L}^{-1}$ en la estación 11, lo que corresponde a la máxima concentración reportada en todos nuestros muestreos. El Cd sólo se encuentra presente en la estación 9 y el Pb en la estación 11, estos dos últimos metales se encontraron en mínimas concentraciones. Cabe mencionar que las estaciones 9 y 11 cuentan con la mayor cantidad de metales identificados.

Tabla 4. Concentración de metales libres y lábiles en agua de mar para cada estación muestreada en BSQ en el mes de julio del 2020.

Estación	Zn ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Zn (μgL^{-1}) HCl	Cu (μgL^{-1})	Cu (μgL^{-1}) HCl	Cd (μgL^{-1})	Cd (μgL^{-1}) HCl	Pb ($\mu\text{g L}^{-1}$)
4	4.29	18.33	0.88	9.00	< LD	< LD	< LD
5	3.25	6.83	9.86	11.75	< LD	< LD	< LD
6	4.10	7.59	8.78	11.07	< LD	< LD	< LD
7	1.65	< LD	10.44	11.27	< LD	< LD	< LD
8	2.59	9.19	11.67	12.40	< LD	< LD	< LD
9	< LD	0.23	9.99	0.10	0.09	0.03	< LD
10	0.23	< LD	11.75	12.12	< LD	< LD	< LD
11	2.59	43.87	9.56	0.83	< LD	< LD	0.06
12	4.76	2.12	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
13	4.66	0.23	7.90	10.39	< LD	< LD	< LD
14	3.72	1.74	5.11	5.03	< LD	< LD	< LD
15	2.78	0.52	8.98	1.94	< LD	< LD	< LD

< LD= menor al límite de detección 0.01

Finalmente, la identificación de metales correspondiente al muestreo realizado en octubre (otoño) de 2020 se muestra en la tabla 5. Se observa que el Cr fue el metal con la máxima concentración registrada y se localiza en la estación 12, aunque también es uno de los metales con menor frecuencia de aparición en comparación al Zn o el Pb. Además, el Cr y el Cd presentaron las mínimas concentraciones registradas, salvo por el valor del Cr encontrado en la estación descrita anteriormente. El Zn fue el segundo metal que presenta máximas concentraciones, específicamente en las estaciones 9 y 13. En cuanto al Pb, este se encuentra presente en todas las estaciones con un máximo valor de $1.7 \mu\text{g L}^{-1}$. La presencia de este metal en todas las estaciones, únicamente se registró en este mes. Por último, la estación 4 es la única estación que cuenta con la mayor cantidad de metales identificados.

Tabla 5. Concentración de metales libres y lábiles en agua de mar para cada estación muestreada en BSQ en el mes de octubre del 2020.

Estación	Zn ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Zn ($\mu\text{g L}^{-1}$) HCl	Cu ($\mu\text{g L}^{-1}$) HCl	Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) HCl	Cd ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Cd ($\mu\text{g L}^{-1}$) HCl	Pb ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Pb ($\mu\text{g L}^{-1}$) HCl
1	5.4	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.8	1.7
2	< LD	5.3	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.6	1.2
4	4.4	< LD	0.1	0.2	< LD	0.3	0.2	0.2	0.4
6	3.4	7.4	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.7	1.5
7	1.2	5.6	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.4	0.8
9	1.9	6.3	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.7	1.2
10	2	< LD	< LD	< LD	0.6	< LD	0.3	0.6	1.5
12	< LD	< LD	0.3	13.9	< LD	< LD	< LD	0.3	2.2
13	0.2	7.7	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	1.6

< LD= menor al límite de detección 0.01

DISCUSIÓN

Caracterización de las condiciones hidrográficas

De acuerdo a los resultados obtenidos la temperatura aumentó de la boca (entrada) de BSQ hacia los extremos internos de la bahía (Figura 6). Los valores mínimos de temperatura observados indican que se debe a un periodo de relajamiento de surgencia y se puede observar principalmente en marzo, junio y julio (transición invierno-primavera, primavera y verano) donde la temperatura tendría que ser menor a los 16 °C para asociarlo a surgencia (Álvarez-Borrego, 1976). Las máximas temperaturas se encuentran principalmente en la parte más interna de BSQ y esto se debe a la baja profundidad y a mayor tiempo de residencia del agua en la bahía, dada la lejanía que tiene desde la entrada de la bahía. Por otro lado, los máximos valores de temperatura registrados en los meses de junio y octubre en las estaciones cercanas a la zona de cultivo de ostiones, se puede deber al tiempo de residencia por el poco intercambio de agua con el mar adyacente (Álvarez-Borrego, 2003).

Los muestreos coinciden con un período de relajamiento de surgencias, esto se observó en la temperatura pero también se comprueba con los índices de surgencia (Figura 3 y 4), los cuales fueron inferiores a $\sim 60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$, coincidiendo con Ribas-Ribas et al. (2011) quienes mencionan que para poder hablar de surgencias altas, los valores tendrían que ser de $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$ o mayores. A pesar de que en los primeros días del mes de julio se presentó una surgencia considerable, hacia finales del mes (fecha de nuestro muestreo) ya no se observaron condiciones que dieran indicios de esta, por lo que inferimos que tanto las mareas y las surgencias son las responsables del aporte de agua fría y rica en nutrientes y para que esta llegue a los extremos internos de la bahía, es de gran importancia la intensidad de la surgencia y la amplitud de la marea (Ribas-Ribas et al., 2011).

32

En marzo, junio y julio la salinidad fue aumentando desde la boca de la bahía hacia los extremos de la misma, lo cual indica que la bahía es un sistema antiestuarino; por otro lado, la variación diurna de la salinidad esta correlacionada casi totalmente con el ciclo de la marea. En marzo los valores de salinidad se mantuvieron entre 33 y 33.7 (Figura 5), esto

es mínimo en comparación con los demás meses muestreados, lo cual hace referencia a un período de marea alta (Nishikawa & Álvarez-Borrego, 1974). El aumento de la salinidad en primavera, verano y otoño nos habla de una disminución en la marea, lo cual coincide con los períodos de marea en los que se muestreó, pues en marzo la altura de marea osciló entre 0.75 m y 1.50 m y en los meses restantes se encontraron amplitudes de marea por debajo de los 0.75 m (Anexo 8, 9, 10 y 11).

El patrón de valores de salinidad que se observa en los meses de marzo, junio y julio también indica un mayor tiempo de residencia del agua, además dadas las concentraciones del mes de julio podríamos inferir que el tiempo de residencia es mayor en SQ (34 a 34.5) que en BF (35). Los máximos valores de salinidad (> 35) en la boca de BSQ durante el mes de octubre, hacen referencia al reflujó de la marea, en tanto que los valores de salinidad > 34 en verano y otoño (Álvarez-Borrego, 2003) se podrían encontrar en cualquier época del año, estos se pueden presentar incluso durante períodos de surgencia aunque este no sería el caso ya que el muestreo se llevó a cabo durante un período de relajamiento de surgencias, así que dichos valores se le atribuyen al reflujó de marea.

33

En la distribución de pH y O_2 (Figuras 7 y 9) se observa como en la zona media de la BSQ (estaciones 6 y 7) el O_2 aumenta y esto coincide con los máximos de pH en los meses de julio y noviembre. En el mes de junio la máxima concentración de O_2 se encuentra en la zona intermedia de la BSQ y en la boca de la laguna, en tanto que el máximo valor de pH se localizó en la parte interna de BF; este máximo se puede deber a la remineralización de la materia orgánica que se encuentra en exceso, ya que es la zona de cultivo de ostiones. Los autores Chávez de Nishikawa & Álvarez-Borrego (1974) mencionan la correlación entre el pH y el O_2 , este último es más fuerte si la fotosíntesis es mayor, el pH aumenta por consumo de bióxido de carbono, mientras que el aumento de la temperatura por irradiancia favorecerá el aumento de la fotosíntesis. Por otro lado, cuando el O_2 es mayor en la boca, también se puede deber a la entrada de agua del Océano Pacífico. La similitud en cuanto al máximo de O_2 encontrado en la zona media de la BSQ en todos los meses de muestreo se puede deber a la presencia de pastos marinos, los cuales aportan oxígeno a las aguas, a diferencia de la parte interna y boca de la bahía, donde el O_2 se

degrada por el material orgánico presente (Naranjo-Ortiz et al., 2017). Los meses en los que se presenta una disminución del pH en la boca de la bahía, se pueden deber al aporte externo de materia orgánica desde la boca hacia BF en cantidades suficientes para que la respiración exceda la fotosíntesis (Hernández-Ayón et al., 2004).

Durante los muestreos realizados en las diferentes estaciones del año se observa como la alcalinidad (AT) es menor en la boca y aumenta en la parte interna de BF y BSQ (Figura 8) con excepción del mes de octubre, lo cual se lo podríamos atribuir al aporte externo de materia orgánica. En cuanto a las zonas internas y de baja profundidad los máximos valores de AT se asocian a la degradación de materia orgánica, la cual se acumula en el sedimento y tiene el potencial de simular la degradación bentónica. Por otro lado, el efecto del carbono inorgánico disuelto añadido por la baja actividad, provoca el aumento de la AT y actúa como amortiguador de manera que no permite que el pH aumente, manteniendo valores cercanos al equilibrio (Ávila-López et al., 2016).

Las variaciones de AT también se ven influenciadas por procesos físicos como el transporte de aguas de surgencias efectuado por mareas, sin embargo, en los muestreos realizados, las surgencias no serían un factor de gran relevancia por el relajamiento de estas, es así que los procesos biológicos como el consumo del ión bicarbonato (HCO_3^-) en combinación con el máximo tiempo de residencia y las bases orgánicas de origen fitoplanctónico que tienen las regiones internas dan como resultado el aumento de la AT (Lara-Espinoza, 2007).

Distribución de nutrientes inorgánicos disueltos

Nitrito (NO_2^-) y Nitrato (NO_3^-)

Las máximas concentraciones de NO_2^- y NO_3^- se registraron en el brazo oeste (BF) y en la parte sur del brazo este (SQ) (Figuras 8 y 9). La máxima concentración de NO_3^- se encontró en el mes de noviembre en la estación 15, el cual no sobrepasa los $2.73 \mu\text{M}$ y se localiza en la zona de cultivo de ostiones y coincide con lo sugerido por Álvarez-Borrego (2003) quien menciona que durante estos períodos de relajamiento de surgencias, se

encuentran valores de NO_3^- en los extremos internos de la bahía con valores entre 1.0 y 2.0 μM al mismo tiempo que los valores en la boca frecuentemente son $<1.0 \mu\text{M}$ lo cual coincide con los datos obtenidos en el presente trabajo, asimismo, Álvarez-Borrego (2004) relaciona estos valores con la oxidación de amonio, lo cual es una fuente de nitrato en los extremos internos de la bahía, debido a que el amonio en estas zonas suele alcanzar valores $>7 \mu\text{M}$. Cabe mencionar que en el mes de noviembre, en la zona cercana al cultivo de ostiones, los valores de amonio obtenidos oscilaron entre los 11 μM y los 13 μM (Anexo 1).

La distribución de NO_2^- y NO_3^- en las diferentes estaciones del año reportadas en el presente trabajo, nos muestran que hay una mayor concentración de NO_3^- que de NO_2^- , por lo que hay una relación inversa entre ambos. Esta relación coincide con lo reportado por Naranjo-Ortiz et al., (2017) indicando que esta relación se debe a que la concentración de nitrito provie de procesos de degradación de materia orgánica que posteriormente se ven oxidados por procesos bioquímicos a su máximo estado de oxidación, que es el nitrato. Los periodos de relajamiento de surgencias presentes en los muestreos realizados, conllevan a que las concentraciones de nitrato no llegaran a su máximo valor asociado a surgencias, ya que en un periodo de surgencias los valores concentración de NO_3^- llegan a ser de aproximadamente 12 μM y van disminuyendo hacia las regiones más internas de la bahía, por lo tanto los valores que se muestran en el presente, indican que los procesos biológicos fueron más importantes que los procesos físicos para el control de las variables no conservativas (Hernández-Ayón et al., 2007).

Finalmente con relación a los valores mínimos de concentración de nitrato y nitrito presentados en este trabajo para los meses de junio (primavera) y julio (verano) coinciden con lo reportado por Zertuche-González y colaboradores en 2009, quienes mencionan que en primavera y verano las concentraciones de nitrógeno suelen disminuir ya que son las estaciones en las que hay mayor abundancia de *Ulva sp.* las cuales llegan a almacenar hasta un 50% del total del nitrógeno que hay en el sistema dado que estas algas se encuentran en la fase de crecimiento.

Fosfato (PO_4^{3-})

La concentración de PO_4^{3-} incrementa desde la boca de la bahía hacia los extremos internos (Figura 11), presentando máximos valores de concentración en bahía falsa. Álvarez-Borrego (2003) menciona que las máximas concentraciones reportados en la boca son debidos a la resuspensión del sedimento del fondo de la bahía hacia la columna de agua y que a su vez es causada por la intensificación del viento, lo cual ocasiona una mayor turbulencia generada por olas. Las concentraciones que se presentaron en los diferentes meses del año se encuentran dentro de los valores reportados como naturales para una zona costera (equivalente a $3 \mu\text{M}$); el aumento del PO_4^{3-} en BF y en la entrada del brazo oeste, se pueden deber a aportes terrígenos resultado de aportes de externos a la bahía y a través del delta (Naranjo-Ortiz et.al., 2017).

Como ya mencionamos anteriormente la remineralización en la bahía juega un papel muy importante, sobre todo durante los periodos en los que se realizaron los muestreos en condición de relajamiento de surgencias. El fosfato y el nitrato son nutrientes correlacionados, por lo tanto las zonas en donde encontramos picos de PO_4^{3-} también vamos a encontrar de NO_3^- (Millán-Nuñez et al., 1982). La correlación entre el PO_4^{3-} y el NO_3^- en ensayos biológicos tienden a indicar que el nitrógeno limita el fitoplancton oceánico con más frecuencia que el fósforo, lo que concuerda con la observación de que el nitrato tiende a agotarse "antes" del fosfato (Sigman & Hain, 2012). La relación de Redfield de 16:1 se tendría que conservar y se tendrían que observar concentraciones más altas de NO_3^- que de PO_4^{3-} , sin embargo en el presente estudio, en todos los meses de muestreo se observa que el PO_4^{3-} es mayor indicándonos que hay un proceso de descomposición de materia orgánica lo cual provoca que los encargados de descomponer esta materia orgánica disminuyan a los fijadores de nitrógeno, provocando un aumento de fósforo (Sigman & Hain, 2012). Por otro lado, la disponibilidad de fósforo en la bahía es alta, de manera que se considera que no es limitante para la productividad primaria.

El sistema debe recibir un aporte externo (desde el océano) de materia orgánica para que este a su vez, subsidie el exceso de respiración, materia orgánica que seguramente es fitoplanctónica. Por lo tanto las bajas concentraciones que se presentan, hacen referencia a que la desnitrificación en los sedimentos de la BSQ se combina principalmente con la nitrificación sedimentaria en la interfase óxica sedimento-agua (Camacho-Ibar et al. 2003).

Ácido silícico (Si (OH)₄)

La distribución del ácido silícico al igual que el fosfato suele incrementar de la boca de la laguna hacia los extremos interiores (SQ y BF), este patrón solo se observó en marzo, junio y julio (transición invierno-primavera, primavera y verano) ya que en noviembre y octubre (otoño) los máximos se encontraron en la entrada de la bahía (Figura 10). Álvarez- Borrego (2003) menciona que los valores elevados de Si(OH)₄ en BF, en este estudio fueron durante los meses de junio y julio, posiblemente se deban al intercambio de agua entre los dos brazos (SQ y BF) de la bahía. En cuanto a las máximas concentraciones que se encuentran cercanos a los extremos internos (marzo) se debe a la disolución de exoesqueletos de organismos tales como diatomeas y silicoflagelados en los sedimentos. Las máximas concentraciones de Si(OH)₄ también son producto de las corrientes de marea las cuales transportan materia orgánica particulada, principalmente fitoplancton, del océano adyacente hacia el interior de los brazos de la bahía, la cual se deposita en los sedimentos superficiales donde se descompone; sin embargo, puede existir regeneración tanto pelágica como bentónica de nutrientes (Álvarez- Borrego, 2003).

37

El elevado porcentaje de especies de fitoplancton que es acarreado desde mar abierto hacia el interior de la bahía, es sometido a condiciones ecológicas extremas que no le permiten fotosintetizar de manera óptima. Lara-Lara y Álvarez Borrego (1975) menciona que de lo anterior se puede especular que existe una distribución espacial en la bahía de coeficiente de asimilación con gradientes tales que debemos encontrar valores relativamente bajos hacia el interior de BSQ y relativamente altos para BF, con valores máximos en la boca. Por otro lado, mencionan que esta distribución espacial debe ser dinámica, cambiando en función de los ciclos de marea, los ciclos diurnos y estacionales de irradiación solar y quizá en mucho menor grado en este caso, de los ciclos estacionales

de la concentración de nutrientes. De lo mencionado anteriormente podemos inferir que, en nuestro muestreo, los valores máximos que se observan en los meses de noviembre (2019) y octubre (2020) están relacionados con el aporte de fitoplancton desde mar abierto pues los máximos valores de ácido silícico correspondientes a otoño se encuentran en la boca de la bahía.

Álvarez-Borrego y Chee-Barragán (1976), refieren la importancia de que BSQ sea un complejo formado por volcanes monogenéticos de composición basáltica, siendo los minerales primarios y secundarios la principal mineralogía de estos, tales como silicoaluminatos, entre otros, la importancia de esto radica en que debido a esto la concentración de ácido silícico es mayor a la de fosfato. Por lo tanto, de manera general se puede corroborar que la concentración de $(\text{Si}(\text{OH})_4)$ es mayor que las del PO_4^{3-} (Figuras 9 y 10).

Metales y materia orgánica

El cadmio (Cd) es un metal traza tipo nutriente, en todos los meses en los que se realizaron los muestreos este se hizo presente, este metal se encontró en la entrada (boca) de la bahía, así como en la zona centro y norte del brazo este (SQ). Álvarez-Borrego (2003) menciona que las concentraciones de cadmio dependen de las épocas donde hay un evento de intensificación de surgencias, por lo tanto como nuestros muestreos se realizaron en épocas de relajamiento de surgencias, se observa como los niveles de cadmio se relacionan a este relajamiento ya que las concentraciones fueron mínimas, pues el máximo valor reportado fue de $0.35 \mu\text{g L}^{-1}$. Asimismo, dentro el Programa de Ordenamiento Ecológico de la región de San Quintín (POESQ) en 2007 se menciona que los procesos de remineralización y/o transporte mantienen a los minerales pesados en los sedimentos de la bahía en niveles naturales, sin embargo, se observó que en el complejo ostrícola de bahía falsa el Cd puede acumularse en los sedimentos ya que estos son materiales de grano fino y alto contenido de materia orgánica, estas características se observan en noviembre y octubre (tablas 1 y 5).

Las concentraciones de zinc (Zn), muestran máximos valores de concentración principalmente en el mes de noviembre y julio (tablas 1 y 4) y se puede observar como estos máximos valores disminuyen rápidamente en estaciones cercanas a estos máximos, lo que parece ser el resultado de que este metal es rápidamente adsorbido por el material particulado y regresa al fondo constituyendo la parte sedimentaria (AIA, 2020). Por otro lado el cobre (Cu) al igual que el zinc, se encontró en todos los meses muestreados y en la mayoría de las estaciones, la influencia de sedimento fino y materia orgánica combinado con los efectos de surgencia y la marea componen el principal factor por el cual estos metales se encuentran con mayor frecuencia (Gutiérrez-Galindo et al. 2007). Por lo tanto se podría considerar que en el mes de noviembre y julio hubo una mayor concentración de materia orgánica resuspendida en la columna de agua.

El cromo (Cr) no se hizo presente en primavera y verano (junio y julio), pero en otoño fue el metal con la mayor concentración. En noviembre el máximo valor de concentración se encontró en la estación 7 y en octubre en la estación 12 (tablas 1 y 5). Gutiérrez-Galindo et al. (2007) mencionan que el aporte de cromo se debe a la influencia del suelo volcánico, por lo tanto los máximos los podríamos relacionar a la cercanía que tienen estos puntos a los aportes terrígenos del delta.

El metal plomo (Pb) se hizo se registró en pocas estaciones muestreadas alrededor de toda la bahía comparado con el Zn, Cu y Cr. En los meses de marzo y octubre se registró el Pb en una mayor cantidad de estaciones, siendo octubre el muestro donde se presentaron las máximas concentraciones de Pb (tabla 5). Gutiérrez-Galindo y Muñoz-Barbosa (2003) comentan que la distribución del Pb pueden deberse a que los aportes de estos elementos a la zona costera están asociados con aportes antropogénicos como las descargas de aguas residuales y de las emisiones de Pb industrial.

En cuanto a la DBO_5 representa el contenido de material orgánico susceptible a la degradación microbiana. Los máximos valores de concentración se encuentran en estaciones cercanas al área de cultivo de ostiones, así como en zonas donde hay pastos marinos (SQ BF) (Figura 15), esto indica que el consumo de oxígeno fue mayor para poder degradar la materia orgánica presente (Naranjo-Ortiz et al., 2017). La demanda química de

oxígeno (DQO) presentó valores de concentración que sobrepasaron los 5 mg O₂/L tanto para noviembre como para julio (Figura16) y estos máximos valores de concentración se encontraron principalmente en la entrada (boca) de la bahía. La mayoría de las estaciones registraron valores superiores a los reportados (3.5 mg/L) para las zonas costeras de la región (Canino-Herrera, 2006). La DQO, está asociada a procesos biológicos de degradación microbiana por lo tanto los picos que se encuentran en la entrada de la bahía nos sugiere que el origen se encuentra en esta zona y este se va diluyendo hacia los lados (AIA, 2020). Por otro lado, durante 1 mes de noviembre también se registró máxima concentración en la parte interna del brazo este (SQ), lo cual nos puede estar indicando que hay una mayor cantidad de material oxidable, que consume oxígeno, pero que no es biodegradable lo cual podría estar haciendo referencia a contenido inorgánico, o bien, a material orgánico no biodegradable, como lo es el material húmico, producto de la transformación orgánica (Naranjo-Ortiz et al., 2017). Como se ha mencionado anteriormente con otras variables fisicoquímicas aquí analizadas, la parte interna del brazo este (SQ) en específico, se caracteriza por ser una zona en la cual la recirculación de agua no es la más favorable, provocando que existan estos máximos.

CONCLUSIONES

Las surgencias y la amplitud de marea son el factor principal para que haya aporte de agua fría y rica en nutrientes.

Las variables hidrológicas indican que todos los periodos de muestreo coincidieron con un periodo de relajamiento de surgencias.

La salinidad también dependerá de la marea ya que sin esta, los tiempos de residencia serían mayores y las concentraciones de salinidad serían aún más altas.

Los máximos de pH y O₂ se relacionan con zonas donde es más fuerte el efecto de la fotosíntesis.

Las variaciones en la AT se relacionan con la cantidad de materia orgánica acumulada en el sedimento y el tiempo de residencia.

Las concentraciones de nutrientes (NO₂⁻, NO₃⁻ y PO₄³⁻) indican que estos en su mayoría son controlados por procesos de remineralización. Por otro lado, los nutrientes incluido el Si(OH)₄ se encuentran en mayores concentraciones en el brazo oeste y en la entrada del brazo este, esto nos podría indicar que hay un mayor intercambio de agua con el océano adyacente lo cual provoca una mayor resuspensión de sedimentos.

Los máximos valores en la DBO y la DQO coinciden con las concentraciones máximas de microconstituyentes, lo cual indica que en las estaciones donde coinciden estos máximos se encuentra un aumento de la materia orgánica.

La estacionalidad se vio más reflejada en las variables hidrológicas sin embargo, lo que predomina en Bahía San Quintín son los efectos de surgencia y marea, estos son los que muestran cambios significativos en las variables analizadas.

Con este tipo de estudios se logra hacer actualización de las condiciones oceanográficas ambientales, las cuales son de gran importancia para la acuicultura y en este caso para la ostricultura en la BSQ.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIA PURITEC S De RL De CV (2020). Estudio de Calidad de Agua y Sedimento en 9 Concesiones Acuícolas en el Sistema Lagunar de San Quintín, octubre 2020. Ostricultores: Acuícola Chapala S. de P.R. de R.L. Brisa Marina S. de P.R. de R. L., Litoral de Baja California S. de P.R. de R.L., Productos Marinos S. de P.R. de R.L., SE Sesma Escalante S. de P.R. de R. L. Acuícola San Quintín S.a. de C.V., Ostrícola Ana Salazar S. de P.R. de R.L., Cristóbal Murillo Villanueva, J. Martín Rangel Medoza. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 37 pp. www.aiapuritec.mx

Álvarez-Borrego, S., y Chee-Barragán, A. (1977). Distribución superficial de fosfatos y silicatos en bahía San Quintín, BC. *Ciencias Marinas*, 3(1), 51-61.

Álvarez-Borrego, S., Ballesteros-Grijalva, G., y Chee-Barragán, A. (1976). Estudio de algunos parámetros físicoquímicas superficiales en Bahía San Quintín en verano, otoño e invierno. *Ciencias Marinas*, 2(2), 1-9.

Álvarez-Borrego, S. (2003). Dinámica de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera fuertemente afectada por surgencias costeras. *Ciencias Marinas*, 30(1A):1-19.

APHA, AWWA AND WPCF, 1985. STANDARDS METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 16a ED., APHA,USA, p.1268

Ardila Poveda, L. S. (2019). Relación entre el contenido de metales en macroalgas y la concentración de nutrientes en el agua de sistemas costeros (Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).

Aveytua-Alcázar, L. (2002). Carbono orgánico disuelto en Bahía San Quintín, Baja California (Doctoral dissertation, M. Sc. Thesis, Coastal Oceanography Graduate Program, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México).

Ávila-López, M. C. (2017). Dinámica de flujos de carbono en Bahía San Quintín durante ciclos estacionales anómalos de surgencias costeras. Tesis de doctorado. Facultad de

- Ciencias Marinas. Instituto de investigaciones oceanológicas. Ensenada, B.C. México, 113 pp.
- Ávila-López, M. C., Hernández-Ayón, J. M., Camacho-Ibar, V. F., Bermúdez, A. F., Mejía-Trejo, A., Pacheco-Ruiz, I., y Sandoval-Gil, J. M. (2016). Air–water CO₂ fluxes and net ecosystem production changes in a Baja California coastal lagoon during the anomalous North Pacific warm condition. *Estuaries and coasts*, 40(3), 792-806.
- Biller, D. V., & Bruland, K. W. (2013). Sources and distributions of Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, and Cd relative to macronutrients along the central California coast during the spring and summer upwelling season. *Marine Chemistry*, 155, 50-70.
- Bristow, L. A., Mohr, W., Ahmerkamp, S., & Kuypers, M. M. (2017). Nutrients that limit growth in the ocean. *Current Biology*, 27(11), R474-R478.
- Bustos Serrano H. (2018). Manual de Prácticas de Laboratorio y Campo de OCEANOGRAFÍA QUÍMICA. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 143pp
- Camacho-Ibar VF, Carriquiry JD, Smith S V. (2003). Non-conservative P and N fluxes and net ecosystem production in San Quintin Bay, Mexico. *Estuaries*, 26(5), 1220-1237.
- Cabello, A., Muñis, R., y Ward, D. (2004). Biochemical characterization of the eelgrass *zostera marina* at its southern distribution limit in the north pacific. *Ciencias Marinas*. 30: 21-34.
- Canino Herrera, S.R. (2006) Contaminantes y Subproductos de desinfección provenientes de aguas residuales en la zona costera Tijuana-Ensenada, B.C. Memorias XIV Congreso Nacional de Oceanografía, Manzanillo, Col.
- Capet X, Colas F, Mcwilliams JC, Penven P. (2008). Eddies in eastern boundary subtropical upwelling systems. *Ocean Modeling in an Eddying Regime*. AGU, Washington, D. C, pp 131–147. <https://doi.org/10.1029/177GM10>

- Chávez-de-Nishikawa, A. M., y Álvarez-Borrego, S. (1974). Hidrología de la Bahía de San Quintín, Baja California, en invierno y primavera. *Ciencias Marinas*, 1(2), 31-62.
- Contreras E., F., Castañeda L., O., & Torres A., R. (1997). Hidrología, nutrientes y productividad primaria en las lagunas costeras del estado de Oaxaca, México. *Hidrobiológica*, 7(1), 9-17
- Daesslé, L. W., Rendón-Márquez, G., Camacho-Ibar, V. F., Gutiérrez-Galindo, E. A., Shumilin, E., y Ortiz-Campos, E. (2009). Geochemistry of modern sediments from San Quintín coastal lagoon, Baja California: Implication for provenance. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26(1), 117-132
- Dickson A. G. (1994). The measurement of sea water pH. *Marine Chemistry* 44:131–142.
- Canu, D. M., Aveytua-Alcázar, L., Camacho-Ibar, V. F., Querin, S., & Solidoro, C. (2016). Hydrodynamic properties of San Quintin Bay, Baja California: merging models and observations. *Marine Pollution Bulletin*, 108(1-2), 203-214.
- Flores-Vidal X. (2006). Circulación residual en Bahía San Quintín, BC, México Doctoral dissertation, M. Sc. thesis, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México. P. 80.
- García-Esquivel, Z., González-Gómez, M. A., Ley-Lou, F., & Mejía-Trejo, A. (2004). Potencial ostrícola del brazo oeste de Bahía San Quintín: Biomasa actual y estimación preliminar de la capacidad de carga. *Ciencias marinas*, 30(1A), 61-74.
- Gracia-Escobar (2010). Variación espacial y temporal de la comunidad fitoplanctónica en bahía de San Quintín, baja california, México: Octubre 2004. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California, México, 110 pp.
- Gutiérrez-Galindo, E. A., Muñoz-Barbosa, A., Daesslé, L. W., Macías-Zamora, J. V., & Segovia-Zavala, J. A. (2007). Sources and factors influencing the spatial distribution of heavy metals in a coastal lagoon adjacent to the San Quintín volcanic field, Baja California, Mexico. *Marine pollution bulletin*, 54(12), 1985-1989.

- Gutiérrez-Galindo, E. A., & Muñoz-Barbosa, A. (2003). Variabilidad geográfica de la concentración de Hg, Co, Fe y Ni en mejillones *Mytilus californianus* (Conrad, 1837) de la costa de Baja California. *Ciencias marinas*, 29(1), 21-34.
- Hernández-Ayón, J.M., M.S. Galindo-Bect, V. Camacho-Ibar, Z. García-Esquivel, M.A. González-Gómez y F. Ley-Lou. 2004. Dinámica de los nutrientes en el brazo oeste de Bahía San Quintín, Baja California, México, durante y después de El Niño 1997/1998. *Ciencias Marinas*, 30 (1A): 129-142.
- Hernández-Ayón JA, Camacho-Íbar VF, Mejía-rejo A y Cabello-Pasini A. (2007). Variabilidad del CO₂ Total durante eventos de surgencia en Bahía San Quintín, Baja California, México. In Gilberto Gaxiola Castro, B. Hernández de la Torre (Eds) Carbono en Aguas Costeras. 187-200 pp.
- Jiménez-Ochoa, B. (2011). Adaptación del sistema flotante de flujo ascendente (FLUPSY) para la producción de semillas del ostión japonés (*Crassostrea gigas*) en Bahía San Quintín, Baja California, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, México, 43pp.
- Juárez-Villarreal, M.M. 1982. Modelo de dispersión para un estuario ramificado y su aplicación a Bahía San Quintín. Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, B.C. México. 79 pp.
- Knefelkamp, B., Carstens, K., y Wiltshire, K. H. (2007). Comparison of different filter types on chlorophyll-a retention and nutrient measurements. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 345(1), 61-70.
- Lara-Espinoza, A. (2007). Variabilidad espacial de alcalinidad total durante eventos de surgencia en Bahía San Quintín, Baja California, México. B.Sc. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, México, 65 pp.
- Lara-Lara, J. R., & Alvarez-Borrego, S. (1975). Ciclo anual de clorofilas y producción orgánica primaria en Bahía San Quintín, BC. *Ciencias Marinas*, 2(1), 77-97.

- Martínez-Magaña, V. H. (1995). Distribución de metales pesados en sedimentos de Bahía San Quintín, Baja California, México (Doctoral dissertation, Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California, México, 60 pp).
- Millán-Núñez, R., Alvarez-Borrego, S., Nelson, D.M. (1982). Effects of physical phenomena on the distribution productivity in a coastal lagoon. Reprinted from *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 15, 317-335.
- Morel, F. M., & Price, N. M. (2003). The biogeochemical cycles of trace metals in the oceans. *Science*, 300(5621), 944-947.
- Montoya Garcia, V. (2007). Síntesis de ligandos N-aluyl-3,5-pirazol y estudio de su reactividad con Pd(II) y Pt(II). Complejos de Pd(II) como nuevos catalizadores para la reacción de Heck. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Barcelona. Departamento de Química. 49 pp. ISBN: 9788469060360
- Naranjo-Ortiz, D.A., Canino-Herrera, S.R., Bustos-Serrano, H., Sánchez-Gonzalez, A. (2017). Evaluación de la calidad de agua y sedimento, en San Quintín durante época de mareas muertas, abril de 2017. Reporte técnico. 36 pp.
- Newton AC, del Castillo RF, Echeverría C, Ganeletti D, González-Espinoza M, Malizia LR.(2012). Forest landscape restoration in the drylands of Latin America. *Ecology and Society*, 17, p.21
- Sigman, D. M., & Hain, M. P. (2012). The biological productivity of the ocean. *Nature Education Knowledge*, 3(6), 1-16.
- Ocampo-Orozco, J. R. (2011). Comportamiento de las dunas de arena en las barras de San Quintín (Punta Azufre y Punta Mazo) para 1973 y 2006 utilizando técnicas de percepción remota y SIG. (Tesis de especialidad). Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México.
- POESQ (2007). Esquema de Desarrollo Urbano para la Región de San Quintín. Recuperado de: <http://www.spabc.gob.mx/wp-content/uploads/2018/04/2.1-CARACTERIZACION-SISTEMA-NATURAL-POESQ-2007.pdf>

Pons Picart, J (2007). UAB Divulga. Universidad Autónoma de Barcelona. Recuperado de:<https://www.uab.cat/web?cid=1096481466568&pagename=UABDivulga%2FPage%2FTemplatePageDetallArticleInvestigar¶m1=1176360504632>

Ribas-Ribas, M., Hernández-Ayón, J.M., Camacho-Ibar, V.F., Cabello-Pasini, A., Mejía-Trejo, A., Durazo, R., Galindo-Bect, S., Souza, A.J., Forja, J.M., Siqueiros Valencia, A. (2011). Effects of upwelling, tides and biological processes on the inorganic carbon system of a coastal lagoon in Baja California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95, 367-376.

Rivera-Saldivar, F. L. (2010). Aplicación de sistemas de información geográfica en la gestión espacial acuícola de Bahía Falsa, San Quintin, B.C. (Tesis de especialidad). Universidad Autónoma de Baja California., Ensenada, México.

Parsons, T.R., Y. Maita y C.M. Lalli .(1984). *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press. Oxford y New York. 184 pp.

Pennington JT, Chávez FP. (2000). Seasonal fluctuations of temperature, salinity, nitrate, chlorophyll and primary production at station H3/M1 over 1989–1996 in Monterey Bay, California. *Deep-Sea Res. II* 47: 947–973.

ANEXOS

Anexo 1

Valores de concentración de nutrientes inorgánicos del mes de noviembre del 2019

Estación	NO₂⁻ (μM)	NO₃⁻ (μm)	PO₄³⁻ (μm)	NH₄ (μM)	Si(OH)₄ (μM)
1	0.10	-	1.86	-	2.87
2	0.11	1.02	1.61	-	0.92
3	0.10	0.28	1.57	-	-
4	0.07	1.06	1.37	-	-
5	0.08	-	1.22	-	-
6	0.07	1.06	1.24	-	4.50
7	0.02	0.32	1.12	-	-
8	0.07	0.01	1.17	-	2.61
9	0.05	-	1.35	-	20.37
10	0.10	-	-	-	-
11	0.12	0.06	1.67	-	11.74
12	0.11	0.55	1.60	-	12.81
13	0.07	0.04	-	-	-
14	-	0.64	-	13.19	-
15	2.73	2.73	-	20.62	-

Anexo 2

Valores de concentración de nutrientes inorgánicos del mes de marzo del 2020

Estación	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	PO ₄ ³⁻ (μM)	Si(OH) ₄ (μM)
1	0.56	0.72	1.10	2.51
2	0.52	1.16	0.90	5.16
3	0.41	0.36	0.68	5.06
4	0.50	2.27	0.90	7.71
5	0.39	0.41	0.88	4.02
6	0.50	0.40	1.10	2.98
7	0.51	0.32	1.35	5.35
8	0.60	0.45	2.26	6.10
9	0.43	2.81	0.95	4.02
10	0.45	0.34	3.03	5.06
11	0.40	0.38	0.78	3.74
12	0.41	1.36	1.08	4.59

Anexo 3

Valores de concentración de nutrientes inorgánicos del mes de junio del 2020

Estación	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	PO ₄ ³⁻ (μM)	Si(OH) ₄ (μM)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	0.39	0.15	0.16	2.41
5	0.43	0.08	0.16	13.85
6	0.60	-	0.21	9.69
7	0.55	0.04	0.19	9.41
8	0.51	-	0.14	11.30
9	0.27	0.23	0.24	6.10
10	0.37	0.08	0.24	4.12
11	0.36	0.19	0.19	4.02
12	0.41	0.07	0.16	6.95
13	0.24	0.31	0.16	11.21
14	0.27	0.19	0.26	10.83
15	0.31	0.30	0.24	21.51

Anexo 4

Valores de concentración de nutrientes inorgánicos del mes de julio del 2020

Estación	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	PO ₄ ³⁻ (μM)	NH ₄ (μM)	Si(OH) ₄ (μM)
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	0.007	0.06	1.15	-	15.56
5	0.003	0.18	1.23	-	7.05
6	0.004	0.13	1.08	0.53	13.76
7	0.011	0.10	0.16	-	14.14
8	0.007	1.44	1.30	-	9.69
9	0.007	0.20	0.76	-	8.94
10	0.007	0.07	0.73	1.04	15.75
11	0.004	0.11	1.18	0.53	12.72
12	0.005	0.11	1.18	0.68	13.67
13	0.008	0.05	0.93	0.22	12.79
14	0.008	0.22	1.47	0.32	27.28
15	0.004	0.13	1.42	0.00	21.70

Anexo 5

Valores de concentración de nutrientes inorgánicos del mes de octubre del 2020

Estación	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	PO ₄ ³⁻ (μM)	NH ₄ (μM)	Si(OH) ₄ (μM)
2	0.35	1.20	3.08	6.13	2.23
4	0.44	0.16	2.76	7.10	5.91
6	0.05	0.27	3.40	9.55	2.13
7	0.05	0.37	2.49	1.28	2.23
9	0.18	0.07	3.92	6.44	7.52
10	0.08	0.60	2.46	1.44	2.13
12	0.70	0.12	2.04	3.07	5.91
13	0.65	0.32	3.06	5.11	9.22
14	0.06	0.29	3.55	1.18	2.23

Anexo 6

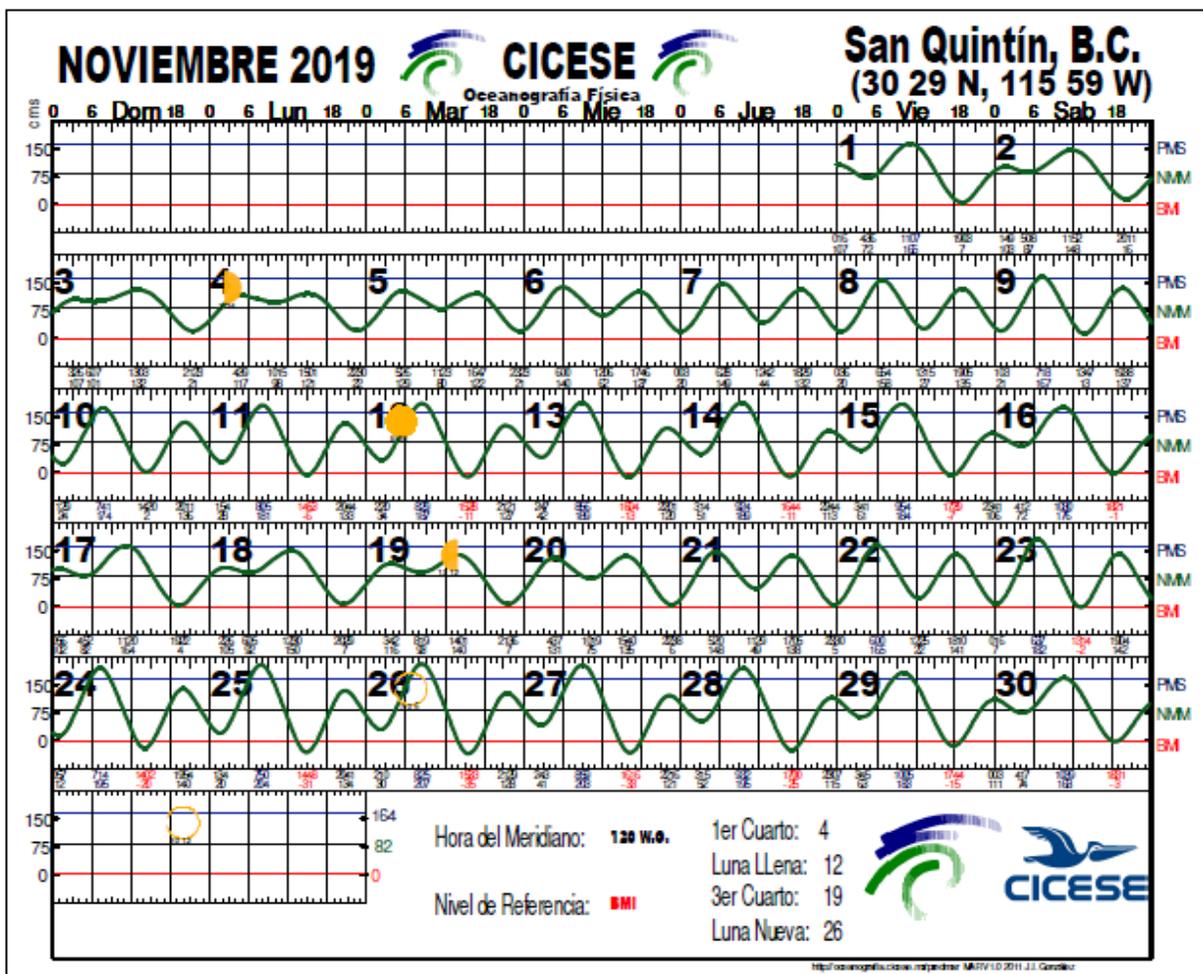
DBO5 mg O₂⁻¹L				
Estaciones	noviembre/2019	junio	julio	octubre / 2020
1	0.03	-	-	-
2	0.13	-	-	-
3	0.05	-	-	-
4	0.02	0.17	0.29	-
5	0.05	0.05	0.20	-
6	0.02	-	0.42	-
7	0.02	0.22	0.29	-
8	0.30	0.17	0.24	0.51
9	0.02	0.13	-	-
10	0.03	0.13	0.19	1.33
11	0.03	-	0.32	1.57
12	0.02	0.10	0.07	2.28
13	0.02	0.10	-	-
14	0.14	0.17	0.46	2.30
15	0.16	0.10	0.54	1.91

Anexo 7

DQO mg O₂⁻¹L		
Estaciones	noviembre/2019	Julio/2020
1	5.56	-
2	4.80	-
3	4.52	-
4	5.08	4.80
5	5.16	1.75
6	3.64	6.10
7	4.28	6.75
8	3.44	5.80
9	4.60	5.25
10	4.00	8.30
11	4.40	6.45
12	5.04	6.50
13	4.60	4.50
14	0.03	4.95
15	-	4.40

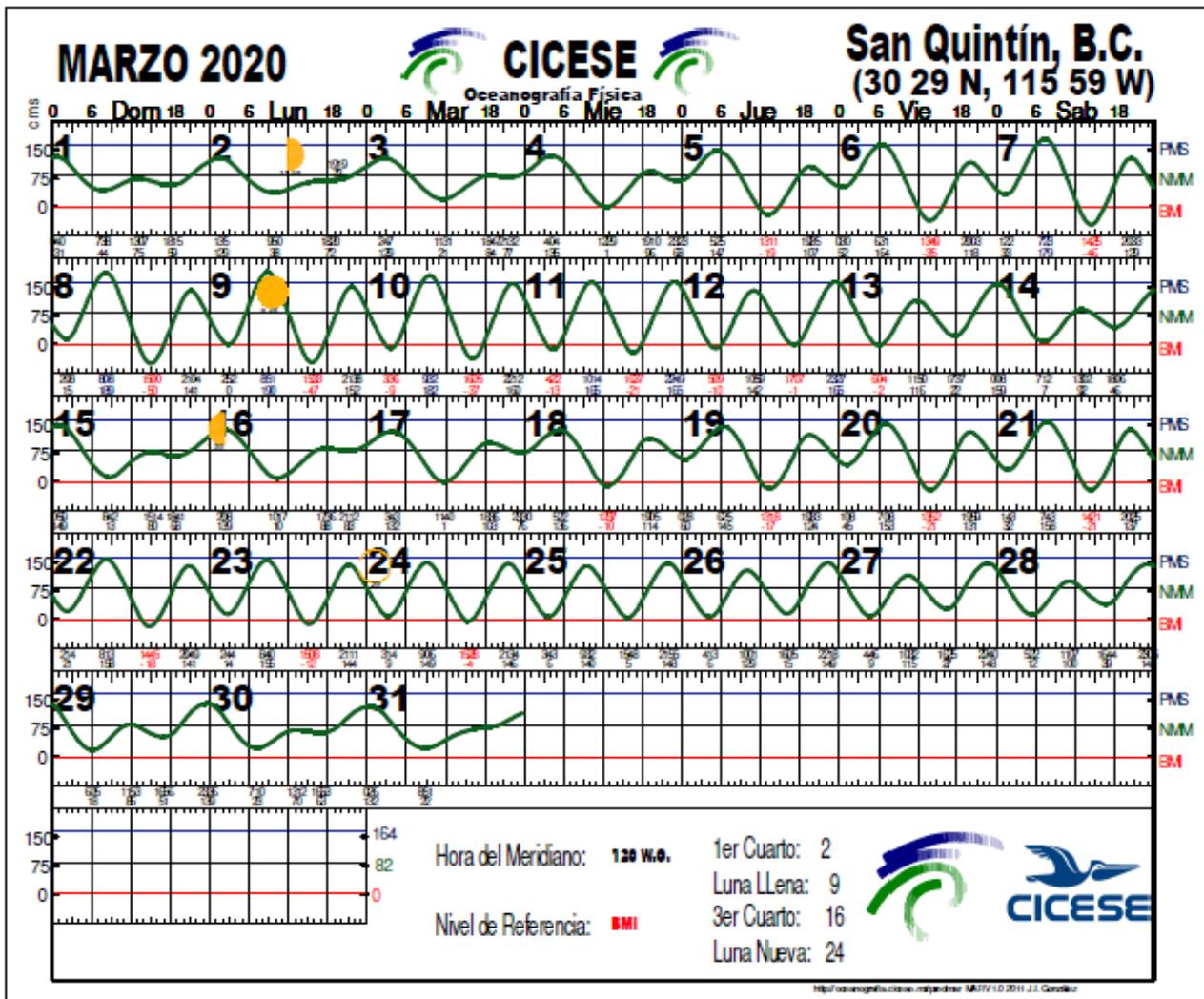
Anexo 8

Tabla de mareas (día de muestreo 10 de noviembre).



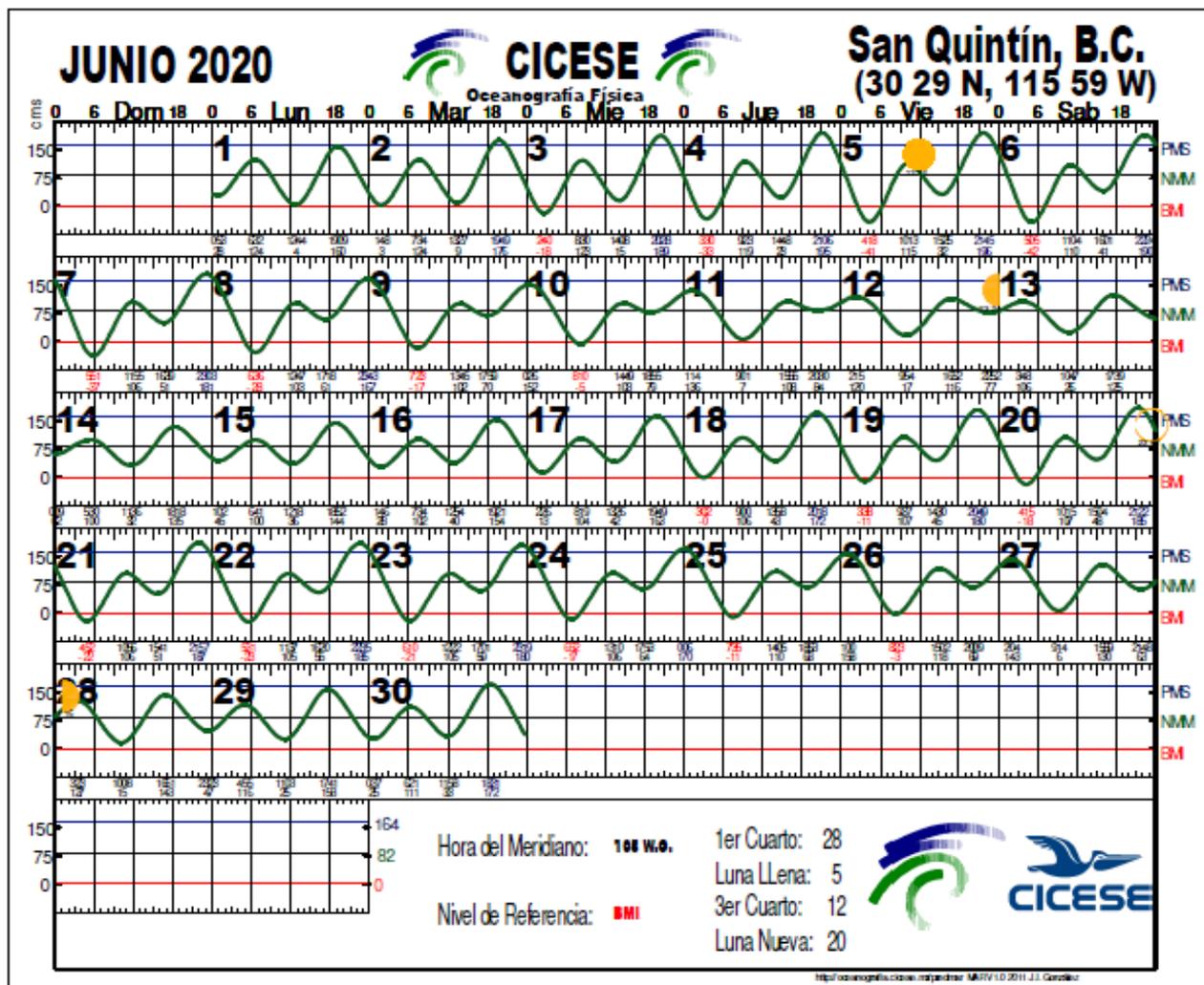
Anexo 9

Tabla de mareas (día de muestreo 21 de marzo).



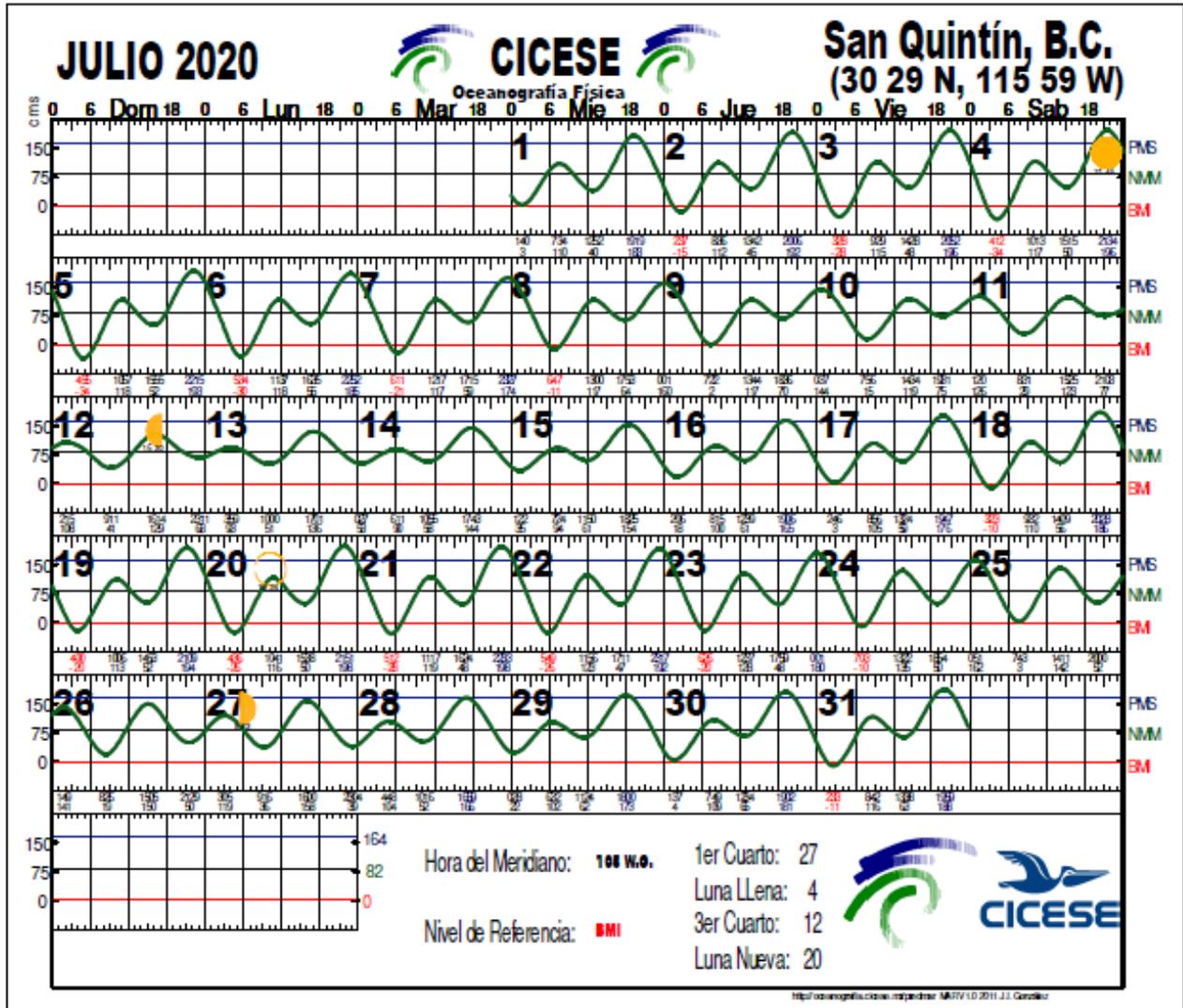
Anexo 10

Tabla de mareas (día de muestreo 25 de junio).



Anexo 11

Tabla de mareas (día de muestreo 25 de julio).



Anexo 12

Tabla de mareas (día de muestreo --- de octubre).

