

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



Concentración de PBDEs en *Mytilus californianus* como bioindicador, en Islas y Costa de Baja California.

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA**

PRESENTA

Sara O. Topete Martínez

Ensenada, Baja California, México Enero del 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



**Concentración de PBDEs en *Mytilus californianus* como
bioindicador, en Islas y Costa de Baja California.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA**

PRESENTA

Sara O. Topete Martínez

Ensenada, Baja California, México Enero del 2017

RESUMEN

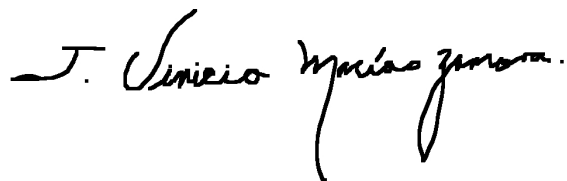
Concentración de PBDEs en *Mytilus californianus* como bioindicador, de Islas y Costa de Baja California.

Los PBDEs son compuestos organobrominados usados como retardantes de flama en una variedad de productos con los cuales el ser humano está en contacto constante. En el sur de California, E.U. altas concentraciones de PBDEs han sido reportadas en diferentes matrices, encontrándose dentro de las mayores concentraciones reportadas a nivel mundial. A pesar de la información que existe en esta región geográfica, en Baja California, México únicamente existe un trabajo reportado por Macias-Zamora et al.,(2016) con concentraciones de PBDEs en sedimentos superficiales del norte de la península de B.C., por esto en el presente trabajo se medirán las concentraciones de PBDEs en el mejillón *Mytilus californianus* como bioindicador, en seis islas del Océano Pacífico y nueve localidades costeras dentro de los límites del estado de Baja California para conocer las tendencias de distribución de PBDEs en ésta región y establecer diferencias entre concentraciones de PBDEs en los mejillones del norte de B.C. respecto el sur de B.C., así como de la zona costera respecto a las islas. Usando la técnica de medición analítica propuesta por Zeng & Vista (1997) se extrajeron los compuestos orgánicos de los mejillones y fueron cuantificados con un cromatógrafo de gases Agilent 7890A acoplado a un detector selectivo de

masas Agilent 5975C en modo SIM. Las mayores concentraciones de PBDEs se presentaron en la parte norte de Baja California con 9.70 ng/g (peso húmedo) para Isla Coronados y 6.33 ng/g (peso húmedo) para Rosarito, representadas principalmente por los congéneres BDE66, BDE47 y BDE153. La posible fuente de PBDEs en la región se podría deber principalmente a las descarga de aguas municipales, asociadas al desarrollo urbano en cada localidad de muestreo, así también una fuente de aporte potencial de PBDEs en la región son los vientos Santa Ana. No se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones de PBDEs de las islas y las localidades de la zona costera. La mezcla comercial predominante de la cual podrían tener origen los congéneres medidos en la región de estudio podrían corresponder a penta-BDE. A pesar de que la región de estudio se encuentra al sur de California, E.U. donde se han reportado las mayores concentraciones de PBDEs a nivel mundial en diferentes matrices, los resultados de este trabajo muestran que las concentraciones de PBDEs en mejillones de islas y costa de Baja California son menores y estadísticamente diferentes a las reportadas por el programa norteamericano Mussel-Watch en el sur de California, E.U.

Palabras clave: PBDEs, *Mytilus californianus*, bioindicador, retardante-flama, Baja California.

Aprobada por:



Dr. J. Vinicio Macias Zamora



Dr. Nancy Ramírez Álvarez



Dr. Ricardo Searcy Bernal

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
POSGRADO EN OCEANOGRAFIA COSTERA**

**Concentración de PBDEs en *Mytilus californianus* como
bioindicador, en Islas y Costa de Baja California.**

TESIS

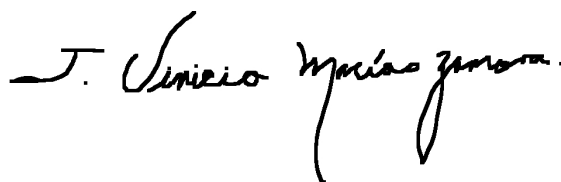
**QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFIA COSTERA

Presenta

Sara Olimpia Topete Martinez

Aprobada por:



Dr. J. Vinicio Macias Zamora



Dr. Nancy Ramírez Álvarez



Dr. Ricardo Searcy Bernal

AGRADECIMIENTOS.

A todo el equipo de trabajo que de forma directa ó indirecta ha colaborado y/o formado parte de éstos dos años y medio en éste posgrado. A CONACyT, por haberme otorgado la beca de manutención durante dos años de ésta maestría. A mi director de tesis el Dr. Vinicio Macias por su ayuda y colaboración durante el desarrollo de este trabajo, a mis sinodales la Dra. Nancy Ramírez Álvarez y el Dr. Ricardo Searcy Bernal por colaborarme de manera objetiva en las correcciones de éste manuscrito así como recomendaciones para lograr un mejor desarrollo académico. A todas aquellas personas que formaron parte de mis salidas al campo: Arturo Álvarez, Félix Hernández Guzmán, Nancy Ramírez Álvarez, José Luis Sánchez Osorio y Arturo Siqueiros Valencia, que fueron una parte importante durante ésta etapa de éste trabajo. A las chicas del laboratorio Cristina, Doreny y Roxana por “echarme la mano” con esos “detalles” que más allá de lo profesional, hablan muy bien del buen equipo del que en su momento me hicieron parte. A el corazón de mi vida que me has dado respiros ante situaciones difíciles durante esta etapa, y finalmente a ti, por siempre estar aquí.

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.	9
OBJETIVO GENERAL.....	14
OBJETIVOS PARTICULARES.....	14
METODOLOGÍA.....	15
ÁREA DE ESTUDIO.....	15
MÉTODO DE CAMPO.....	17
ANÁLISIS QUÍMICO.....	18
ESTADÍSTICA.....	21
RESULTADOS.....	23
DISCUSIÓN.....	33
CONCLUSIONES.....	48
REFERENCIAS.....	50
ANEXOS.....	62

LISTA DE TABLAS.

Tabla I.....	3
Tabla II.....	3
Tabla III.....	28
Tabla IV.....	33
Tabla V.....	44
Tabla VI.....	46
Tabla VII.....	48

ANEXOS

Tabla I.....	63
Tabla II.....	64
Tabla III.....	65
Tabla IV.....	65
Tabla V.....	66
Tabla VI.....	67

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1.....	2
Figura 2.....	15
Figura 3.....	24
Figura 4.....	25
Figura 5.....	26
Figura 6.....	27
Figura 7.....	29
Figura 8.....	30
Figura 9.....	33

INTRODUCCIÓN.

Existe un grupo de compuestos orgánicos sintéticos que son éteres difenil polibrominados genéricamente conocidos como PBDEs por sus siglas en ingles. Esta familia de compuestos químicos sintéticos es usada a nivel industrial como retardantes de fuego en diversos productos comerciales e industriales tales como: carcasas de aparatos electrónicos, nylon, textiles, pinturas, sillones, alfombras, colchones entre muchos otros, su empleo tiene como objetivo retardar la combustión de estos productos en caso de incendio y así proporcionar un tiempo adicional de resguardo ante este tipo de eventualidades. La primera producción comercial de PBDEs comenzó a inicios de 1970 en Alemania y a mediados de esa década ya eran producidos en Estados Unidos (CDC, 2009) y distribuidos en tres mezclas comerciales, conocidas como penta-BDE, octa-BDE y deca-BDE. Los principales componentes o congéneres de la mezcla comercial penta-BDE incluye a los Tetra-BDE (predominando BDE-47) y los penta-BDE (predominando BDE-99 y BDE-100). Esta mezcla se utiliza principalmente en la espuma o foam de poliuretano. La mezcla comercial octa-BDE contiene cerca del 37% del congénere BDE-183, también contiene BDE-153 y BDE-154 (Salvadó, et al., 2016) y es usado principalmente en las carcasas de productos electrónicos, mientras que la mezcla deca-BDE contiene mas del 97% de BDE-209 y ha sido usado en textiles, nylon, adhesivos y carcasas de televisión (La Guardia et al.,

2006 y Wang et al., 2015). Desde los primeros reportes de existencia de PBDEs en el ambiente en Suecia en el año de 1981 (Andersson y Blomkvist, 1981) hasta la actualidad diversos estudios han reportado a los PBDEs con una amplia distribución en el ambiente y en los seres vivos (Hites, 2004), y sus características fisicoquímicas los hacen potencialmente peligroso para éstos.

- **Estructura química.**

Químicamente la estructura de los PBDEs está conformada por dos grupos fenilos unidos por un enlace éter (C-O-C), donde en cada grupo fenilo contiene sustituciones por uno ó más átomos de bromo (Fig.1) existiendo un total de 209 compuestos de PBDEs, su formula general condensada es $\text{CH}_{12}\text{H}_{(0-9)}\text{Br}_{(1-10)}$

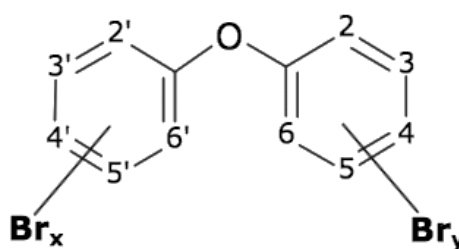


Figura 1. Estructura general de los PBDEs

Estos compuestos son clasificados por el número de bromos en su estructura química, existiendo especies químicas homólogas, es decir aquellos PBDEs con el mismo número de bromos, desde el monobromo hasta el decabromo. Dentro de cada grupo de homólogos existen congéneres cuya

diferencia dependerá de la posición ocupada por los átomos de bromo dentro de los grupos fenilos, así su nombre está dispuesto en orden ascendente usando el sistema de numeración desarrollado por Ballschmiter y Zell en 1980 que sigue las reglas de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, IUPAC (por sus siglas en inglés) para caracterización de los sustituyentes bifenilos. En la Tabla I se muestra un ejemplo de la nomenclatura de algunos PBDEs.

Tabla I. Nomenclatura de algunos PBDEs de acuerdo a la IUPAC.

No. IUPAC, Congéneres	Sustitución de Bromo	Homólogo
BDE47	2,2,4,4	Tetra-BDE
BDE49	2,2,4,5	Tetra-BDE
BDE99	2,2,4,4,5	Penta-BDE
BDE100	2,2,4,4,6	Penta-BDE
BDE153	2,2,4,4,5,5	Hexa-BDE
BDE154	2,2,4,4,5,6	Hexa-BDE
BDE209	2,2,3,3,4,4,5,5,6,6	Deca-BDE

Tabla II. Composición de PBDEs de acuerdo a las tres mezclas comerciales (La Guardia et al., 2006).

Mezcla comercial	Composición	
Penta-BDE	44 %	BDE-99
	32 %	BDE-47
	9 %	BDE-100
	4 %	BDE-153
Octa-BDE	37 %	BDE-183
	22 %	BDE-197
	14 %	BDE-207
	9 %	BDE-196
Deca-BDE	97-98 %	BDE-209
	2-3 %	BDE-206
	< 1 %	BDE-207
	< 1 %	BDE-208

- Características fisicoquímicas.

La estructura química de estos compuestos les da características que los hacen persistentes y peligrosos al ambiente y salud humana. El enlace bromo-carbono le da estabilidad frente a la hidrólisis, así mientras mas sustituciones por átomos de bromo tenga, es mas elevada su resistencia a ser degradados. Tienen baja presión de vapor por lo que tienen el potencial para ser transportados vía atmósfera y durante su transporte pueden ser fototransformados por un proceso de debrominación durante la exposición a la luz solar (Stapleton y Dodder, 2008). Típicamente, estos compuestos muestran o poseen baja solubilidad en agua debido a la halogenación, lo que se manifiesta por un alto coeficiente de partición octanol-agua ó K_{ow} (K_{ow} es el coeficiente de partición octanol-agua y representa la razón de solubilidad de un compuesto en octanol, solvente no polar, respecto a su solubilidad en agua, solvente polar, por lo que el K_{ow} es un indicador relativo de la tendencia de un compuesto orgánico para ser adsorbido a compuestos orgánicos). Para las mezclas comerciales de PBDEs Penta-DBE, Octa-BDE y Deca-BDE el log K_{ow} es de 6.64 a 6.97, 6.29 y 6.265 respectivamente (EPA, 2014), esto significa que los sedimentos actúan como un depósito importante y en ocasiones depósito final de estos compuestos, lo que puede convertir a los sedimentos en una fuente a largo plazo de estos contaminantes hacia la columna de agua y biota marina (Fuet al., 2003) presentando como consecuencia, en ocasiones, un alto riesgo

ecológico (ATSDR, 2004) ya que atraviesan fácilmente la estructura fosfolipídica (por ser compuestos lipofílicos) de las membranas biológicas acumulándose en los depósitos de grasa (Suntio et al., 1988; Budavari et al., 1989).

Debido a sus características fisicoquímicas y a los efectos adversos sobre animales, humanos y el incremento en las concentraciones en el ambiente y biota (Ryan and Rawn, 2014), en el año 2009 los homólogos PBDES del tetra-BDE al hepta-BDE contenidos en las formulaciones Penta y Octa BDE fueron incluidos en el anexo A del Convenio de Estocolmo para compuestos orgánicos persistentes (UNEP, 2011). El objetivo de este convenio es la protección de la salud humana y el medio ambiente, reduciendo prohibiendo, substituyendo y eliminando el uso de estos compuestos orgánicos que tienen un tiempo de vida media en suelo y agua de 150 días, y en sedimento de 600 días (Palm et al., 2002).

- Regulaciones.

El uso y producción de las fórmulas comerciales del penta-BDE y octa-BDE fueron prohibidas por la Unión Europea en el año 2004 así como varios estados de Estados Unidos, mientras que en California y Hawái se prohibieron en el 2006 (Hess, 2009). Alrededor del mundo se ha eliminado el uso de las mezclas comerciales penta-BDE y octa-BDE entre el 2004 y 2010. El deca-BDE es aún usado globalmente, en Canadá se encuentra en fase de eliminación

desde el 2013. En Estados Unidos, las mayores empresas productoras del deca-BDE se comprometieron a poner fin a la producción, usos, importación y venta de esta mezcla eliminando su uso a finales del 2012 (EPA, 2010) como iniciativa propia y con el fin de incentivar que otras empresas productoras a menor escala del deca-BDE se sumen a esa iniciativa. Con esto se pretende minimizar el impacto de estos compuestos hacia el ambiente, a pesar de esto en muchos países aun se siguen empleando.

- **Fuentes y Efectos.**

Las mezclas comerciales de PBDEs han sido adicionadas a una amplia variedad de productos con los que día a día el ser humano se encuentra en contacto constante y como resultado de sus propiedades fisicoquímicas han sido reportados en diferentes matrices ambientales como agua sedimento, aire, polvo de hogares, aire de exteriores, suelo, plantas, animales, así como también en leche materna humana y sangre humana (Ma et al., 2012; Ni et al., 2013; Law et al., 2014). Jones-Otazo et al., (2005) y Stapleton et al., (2005) establecen que las mayores fuentes de PBDEs hacia el ambiente provienen del polvo de hogares, otras fuentes hacia el ambiente provienen de liberaciones durante la manufactura de los productos comerciales y su reciclamiento, así como incineradores de residuos, procesos metalúrgicos y los sistemas de calefacción también son importantes emisores de PBDEs a la atmósfera (Wang et al., 2010; Tu et al., 2011). Una vez dentro de la atmósfera, los PBDEs se pueden distribuir en todo el medio ambiente mediante el transporte atmosférico (Strandberg et al., 2001), en suelos y sedimentos mediante escorrentía, salidas

de aguas residuales de fuentes puntuales industriales (Litten et al., 2003), por lixiviación de productos usados en proceso de deterioro (ATSDR, 2004; USEPA, 2008).

Estudios de casos sobre seres humanos y animales han indicado que los PBDEs pueden provocar enfermedades, la mayoría de ellas están relacionadas con las hormonas tiroideas debido a que estas hormonas comparten estructuras químicas similares a los PBDEs (Allen et al., 2016, Makey et al., 2016, Zhou et al., 2001). En un estudio que examinó los cambios neuroconductuales en el período perinatal de crías de rata expuestas al BDE-99, se observó que la exposición da lugar a dificultades en el aprendizaje (Blanco et al., 2013) relacionándolo con afectaciones a el sistema nervioso central. Los PBDEs son clasificados por algunos autores como disruptores endócrinos debido a que causan trastornos reproductivos y hepatotoxicidad, así como alteraciones neuroconductuales y lesiones no neoplásticas en experimentos del deca-BDE con animales (US EPA, 2008), a su vez la EPA los clasifica como posible carcinógeno humano.

- **Bioindicador *Mytilus californianus* (Conrad, 1837)**

El mejillón *Mytilus californianus* es una especie de molusco bivalvo perteneciente a la familia Mytilidae, nativa de la costa oeste del Norte de América con una amplia distribución desde las islas Aleutianas Alaska hasta Punta Concepción en Baja California Sur México, siendo uno de los organismos

mas abundantes y predominantes del intermareal rocoso (Blanchette et al., 2008). Debido a que es un organismo sésil son catalogados como los mejores integradores de las condiciones ambientales por contaminantes orgánicos en un área dada (Berner et al., 1976; Farrington et al., 1980; Farrington, 1983; and Tripp and Farrington, 1984; Viarengo y Canesi, 1991; Kearns y Karr, 1994; Keller and Ruessler, 1997; Tsakiris, 2016) debido a que por medio de sus branquias filtran el agua y por ingestión de partículas acumulan los compuestos orgánicos en su tejido graso, por lo tanto son buenos indicadores para monitoreo de la calidad ambiental debido a que los niveles de contaminantes orgánicos en sus tejidos responden a cambios de los niveles en el medio ambiente acumulándose en ellos con poca transformación metabólica (Roesijadi et al., 1984; Sericano, 1993; Viarengo y Canesi, 1991). Su amplia distribución a lo largo de la costa oeste de Norte América minimiza los problemas inherentes en comparación de datos de concentraciones de estos mismos compuestos dentro de la región; en el Sur de California, E.U., concentraciones de PBDEs han sido reportados en este mejillón por el programa norteamericano (Kimbrough et al., 2009).

ANTECEDENTES.

Los PBDEs son considerados como compuestos orgánicos ubicuos ya que se han reportado concentraciones tanto en suelo, sedimento y organismos a nivel mundial.

En sedimentos superficiales del delta del río Yangtzé en tres ciudades de China (Nantong, Wuxi, and Suzhou) Zhang et al. (2014) reportaron una concentración promedio de PBDEs de 378 ng/g (peso seco), dominando marcadamente la mezcla deca-BDE (>90 %) adjudicándolo a las actividades industriales de la región, representando un riesgo potencial mínimo a organismos del bentos de acuerdo a la guía de calidad de sedimentos. En la bahía de Gwangyang en Corea, las concentraciones de PBDEs fueron determinadas en agua de mar y en sedimentos marinos con intervalos de 56.1 a 343 pg/L y 1.16 a 43.6 ng/g peso seco, respectivamente; en tejido comestible e hígado de bivalvos, los intervalos de concentraciones fueron de 1.79 a 67.9 ng/g peso en lípidos y 1.69 a 10.5 ng/g peso en lípidos, respectivamente. Las estaciones con mayores concentraciones en agua y sedimento se encontraron cerca de zonas con actividades industriales sugiriendo la contribución a la contaminación por PBDEs, con predominio del congénere BDE209 (Kim et al., 2012). En otro estudio realizado en 2009-2010 (Airaksinen et al., 2015) efectuado en 17 especies de peces comestibles en el Mar Báltico siendo la población de Finlandia los principales consumidores de éstos, de 207 muestras se obtuvo que la concentración de PBDEs varió entre 0.029 y 73 ng/g peso

húmedo. El congénere mas abundante fue el BDE47 con un 42%, el BDE99 (8.4%), BDE100 (11%), BDE154 (5.6%), y BDE209 (27%). Así también se observaron altos niveles de BDE209 en el Mar Báltico, en la costa de Pori, para los peces arenque del Báltico, la perca, el lucio y lucioperca, aunque en general, los niveles de PBDE en Mar Báltico fueron bajos (Airaksinen et al. 2015).

Con el fin de evaluar la concentración relativa de PBDEs en diferentes matrices, Hites en el 2004 publica una revisión de las concentraciones de congéneres de PBDEs, reporta que en sangre, leche y tejido humano los niveles de PBDEs han aumentado exponencialmente por un factor de 100 durante los últimos 30 años; la concentración de PBDEs en la población europea es de ~2 ng/g peso en lípidos pero las concentraciones de PBDEs en la población de Estados Unidos es mucho mas alta de ~35 ng/g peso en lípidos. Las concentración en mamíferos marinos de la zona ártica de Canadá es baja, 5 ng/g de peso en lípidos, pero han aumentado de manera exponencial con un tiempo de duplicación de 7 años. Mientras que en el resto del mundo los mamíferos marinos presentan concentraciones de PBDEs de ~ 1000 ng/g de peso en lípidos incrementando su concentración exponencialmente a el doble en un tiempo de 5 años. Así también los niveles de concentración de PBDEs en huevos de aves y en peces de algunos países de Europa, son en general menores que los reportados en países de Norte América, por ejemplo, algunos huevos de aves en Suecia mostraron altos niveles de PBDEs alrededor de ~2000 ng/g de peso en lípidos, pero en huevos de gaviota de la región de los

grandes lagos en Norte América presentaron concentraciones tres veces mayor ~7000 ng/g peso en lípidos aumentando estos niveles al doble cada tres años. Peces del continente europeo tienen concentraciones de PBDEs 10 veces más bajas que los peces de Norte América. Con éstos datos resulta claro que la población y ambiente de Norte América está mas contaminado por PBDEs comparado con los niveles medidos en Europa.

Específicamente en California, E.U. (estado que colinda con el estado de Baja California, México en su parte sur) se ha reportado que la parte sur presenta mayores concentraciones de PBDEs que la parte norte. En el sur de California en Estados Unidos se han reportado los mayores niveles de PBDEs en Norte América, registrando concentraciones promedio en muestras de polvos de hogares para el BDE47, BDE99, y BDE100 de 2700 ng/g, 3800 ng/g y 684 ng/g respectivamente, siendo de cuatro a diez veces mayores que las reportadas en regiones mas al norte de Estados Unidos (Zota et al., 2008). De forma similar Meng et al., (2009) reportan concentraciones altas de PBDEs en pinnípedos del Sur de California, con las concentraciones mas altas nunca antes reportadas para estos organismos con un intervalo en concentración de 0.04 a 33.7 µg/g de peso húmedo. Evidenciando esta cita en los monitoreos del programa de Estados Unidos Mussel Watch reportan en 2009 altas concentraciones de PBDEs medidos en el mejillón *Mytilus californianus*, *Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis* y *Mytilus trossulus* en Norte América presentándose las concentraciones mas altas en California de hasta 8,202 ng/g

peso en lípidos en la Bahía de Anaheim, 731 – 900 ng/g en la bahía de San Francisco, en la Marina del Rey con 855 ng/g, en Playa Imperial con 846 ng/g, en La Jolla con 514 ng/g y en Long Beach 432 ng/g de peso en lípido entre las localidades de California con las mayores concentraciones. Sin embargo a pesar de toda la información que existe tanto en California como en otras partes del mundo, en México y en específico en Baja California, no se tiene información de los niveles existentes en el medio, con excepción de los reportado por Macias-Zamora et al., (2016) para sedimentos superficiales de la frontera Tijuana, México con California, E.U. hasta Ensenada, B.C., México, por lo que este trabajo propone usar al mejillón *Mytilus californianus* como bioindicador de las concentraciones de ciertos congéneres de BDEs, el muestreo del mejillón considera algunas islas y puntos de la zona costera del Océano Pacífico de Baja California con el objetivo de conocer las tendencias y/o patrones de distribución de este contaminante en ésta región para establecer diferencias entre concentraciones de PBDEs en el norte de B.C. respecto el sur de B.C., también establecer si existe una diferencia de las concentraciones de PBDEs entre mejillones de la zona costera e Islas, esto debido a la influencia que puedan tener las concentraciones de las islas desde la zona costera como posible fuente causado por el desarrollo antropogénico e inherente a los posibles medios de transporte local en B.C.

HIPÓTESIS.

Se espera que las concentraciones mayores de PBDEs se presenten en mejillones de la parte norte de Baja California tanto para las localidades de las islas como las localidades de la zona costera, disminuyendo esta concentración hacia las localidades ubicadas en el sur; de igual manera, se espera que entre los mejillones de las islas y las de la zona costera las mayores concentraciones de PBDEs se localicen en los mejillones de la costa debido a la cercanía con posibles fuentes locales.

OBJETIVO GENERAL.

- Determinar las concentraciones de 15 congéneres de BDEs en las islas y la costa del Océano Pacífico en Baja California, México utilizando a *Mytilus californianus* como bioindicador.
- Determinar si las concentraciones de PBDEs en las islas son influenciadas por las concentraciones de PBDEs provenientes de la zona costera.

Objetivos particulares.

- Establecer diferencias ó igualdades entre las concentraciones de PBDEs en mejillones de las localidades de las islas y zona costera, así como las localidades ubicadas al norte y sur del estado de B.C.
- Comparar las concentraciones totales de PBDEs medidos en mejillones de la zona costera de este trabajo con los reportados para el Sur de California, Estados Unidos.
- Comparar las concentraciones de los congéneres de PBDEs medidos en mejillones de este trabajo con los reportados a nivel mundial.

METODOLOGÍA.

Área de estudio.

Las localidades de muestreo de la zona costera (Rosarito, Puerto Nuevo, Salsipuedes, Punta Morro, Eréndira, San Quintín, Punta Baja, Ojitos y Playa Esmeralda) e Islas (Coronados, Todo Santos, San Martín, San Jerónimo y Cedros) se localizan en la figura 2.

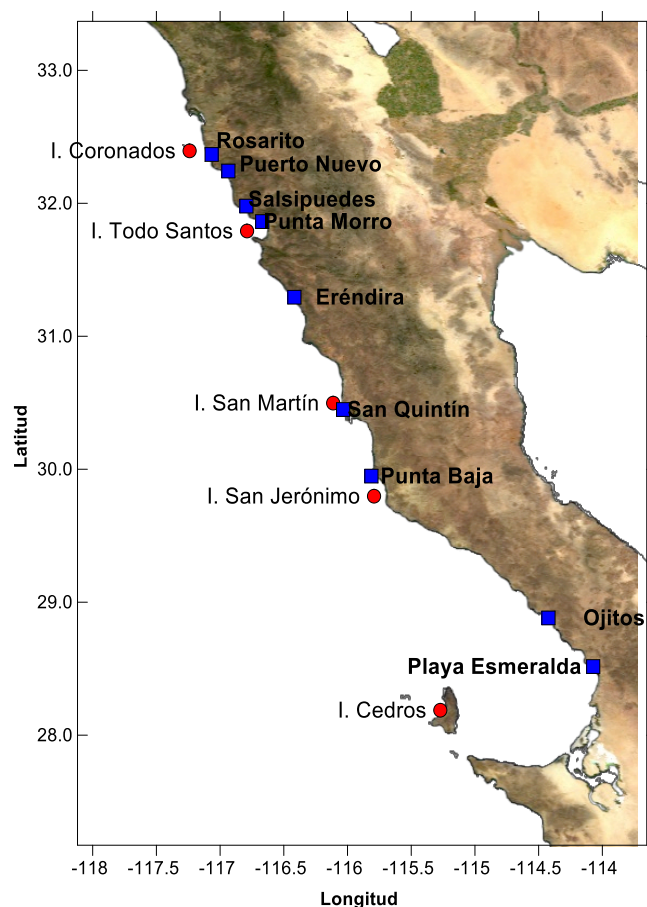


Figura 2. Estaciones de muestreo en Islas del Pacífico de Baja California (círculos en rojo) y estaciones costeras de B.C. (cuadros en azul).

La península de Baja California (B.C.) es un estado costero perteneciente a los Estados Unidos Mexicanos con límites que van desde la latitud 32° 32' 04" norte, 28°00' 00' sur y las longitudes 114° 43' 19" este, 117.0 07' 19" oeste (Fig. 2) hacia el norte colinda con el estado de California, E.U., hacia el sur con Baja California Sur, México, hacia el este con el Golfo de California ó Mar de Cortez y hacia el oeste con el Océano Pacífico. Baja California está compuesto de 5 municipios: Tijuana, Mexicali, Tecate, Playas de Rosarito y Ensenada, donde únicamente Tecate y Mexicali no se encuentran en el borde costero del Océano Pacífico; con una población de 3, 315,766 habitantes distribuidos en los 5 municipios: Tijuana con 1 ,641,579 habitantes, Mexicali con 988,417 habitantes, Ensenada con 486,639 habitantes, Tecate con 102,406 habitantes y Playas de Rosarito con 96,734 habitantes (INEGI, 2015). En el Océano Pacífico ocho islas forman parte de B.C.: Coronados, Todos Santos, San Martín, San Jerónimo, Isla Guadalupe, San Benito, Cedros y Natividad (de norte a sur de la península). Estas islas se encuentran bajo la influencia de la corriente de California proveniente de zonas árticas, donde tiene su influencia hasta cerca de los límites de Baja California en la localidad de Punta Eugenia, B.C.S. (latitud 27° 50' 57.97" N y longitud 115°05'0.24" O. Esta región oceanográfica presenta características típicas de un sistema de circulación de frontera en Baja California como lo son las surgencias costeras provocadas por los vientos a lo largo de la costa débiles en invierno y fuertes en el verano (Nelson 1977 en Hewitt, 1981), así mismo un flujo superficial predominante hacia el ecuador como respuesta al mecanismo forzante, y una

contracorriente subsuperficial dirigida hacia el polo que fluye a lo largo del talud continental (~200–400 metros) (Durazo et al. 2010). La presencia de eddies frente a la zona costera son comunes en la región (Hewitt, 1981). Por otro lado, el norte de Baja California es bien caracterizado por presencia de vientos cálidos (Santanas) procedentes del noreste de la península de regiones desérticas influenciados por las diferencias de presión atmosférica y la orografía de la región (Castro et al. 2003), los cuales tienen influencia sobre el océano pacífico frente a las costas de Baja California más allá de las islas del estado (NASA, 2014).

Método de campo.

Las muestras de mejillones fueron colectadas en los meses de noviembre-diciembre del 2014 en las localidades de Isla San Jerónimo, Isla San Martín, Isla Todo Santos e Isla Coronados, Ojitos, Playa Esmeralda, Punta Baja, Rosarito, Salsipuedes, San Quintín, Eréndira, la estación de Punta Morro y Puerto Nuevo se realizó la colecta en el mes de enero del 2015 e Isla Cedros en el mes de marzo del 2016.

El método en el campo está basado en el que utiliza el programa norteamericano Mussel Watch: en cada localidad se realizaron tres estaciones con distancia entre si de 25 a 250 metros, se colectaron 50 mejillones por estación de la especie *Mytilus californianus* con talla de al menos 5.08 cm de largo. Los mejillones fueron conservados en medio frío hasta su traslado a el laboratorio. El tejido de los 50 mejillones por cada una de las estaciones fue

extraído y homogenizado para ser trasladado a frascos ámbar en congelador con temperatura -10 °C hasta su análisis en laboratorio.

Análisis químico.

La extracción y limpieza de las muestras de mejillones se basó en la técnica propuesta por Zeng & Vista (1997). Para el control de calidad durante el proceso experimental se adquirió en el National Institute of Standards & Technology (NIST) el material estándar de referencia certificado SRM-1947c proveniente de mejillón marino de la especie *Mytilus galloprovincialis* cuyos niveles de éstos compuestos han sido cuantificados y puede ser utilizado como estándar de referencia para evaluar la eficiencia y calidad del método empleado, así también se realizó durante el proceso dentro de cada set de muestras un blanco fortificado y un blanco de procedimiento, en donde el blanco fortificado contiene los 15PBDEs a medir en este trabajo a una concentración conocida, mientras que el blanco de procedimiento contiene únicamente los estándares usados para medir la recuperación del método (estándares surrogados).

Para la extracción de los compuestos se empleó la extracción con Soxhlet durante 16 horas con reflujo cada 7 minutos aproximadamente, 6 gr de muestra en húmedo fue colocada en un dedal de porcelana con 18 gr de sulfato de sodio anhidro, dentro del dedal de porcelana se adicionó el estándar surrogado FBDE6001S cubriéndolo con fibra de vidrio, éste se dejó reposar durante cuatro horas para que el estándar se adhiriera mejor a la matriz. 150 ml

de solvente diclorometano (J.T. Baker, grado HPLC) se colocaron en un matraz bola de base plana y 50 ml en la corneta donde fue colocado el dedal de porcelana transcurridas las 4 horas. A cada matraz se le colocó dos bolitas de alambre de cobre previamente activado (tratado en HCl al 50% por media hora y con posteriores lavados con agua destilada y solventes) con 1 cm de diámetro aproximadamente.

Transcurrido el tiempo de extracción los 200 ml del extracto se transfieren a un frasco estándar de Genevac Rocket Evaporation System (RKCM-12060-SNW) donde fue concentrado hasta tener un volumen aproximado de 1 ml. Éste volumen se trasladó a tubos de concentración con posteriores enjuagues con diclorometano. Los tubos de concentración fueron puestos a un flujo con nitrógeno grado industrial para ser concentrados a un volumen de 1ml y ser pasados por columnas cromatográficas. El extracto de 1ml fue eluido en columnas cromatográficas de 30 cm por 1 cm de diámetro empacadas con las resinas silica hacia el fondo con 12 cm de altura, seguido de alúmina con 6 cm y fluorisil con 4 cm, desactivadas al 3%. La elución en las columnas consiste en eluir la muestra con 15 ml de hexano para obtener la fracción 1, colectada en un recipiente adecuado (F1), 40 ml de hexano:diclorometano 70:30 seguido de 20 ml de hexano:diclorometano 60:40, para obtener la fracción 2 colectada en otro recipiente (F2). Las fracciones 1 fueron concentradas en rota evaporador hasta un volumen de 1.0 ml, mientras que las fracciones 2 fueron trasladadas a frascos estándar del Genevac Rocket Evaporation System (RKCM-12060-SNW) con posteriores enjuagues para ser concentradas a un volumen de 1.0 ml. La

fracción 1 y 2 se trasladaron a tubos de concentración con posteriores enjuagues con solvente hexano (J.T. Baker, grado HPLC) para ser concentradas a un volumen final de 0.50 ml. Éste volumen final se trasladó a frascos cromatográficos adicionándoles el estándar interno FBDE4001S antes de la inyección en el equipo cromatográfico. La cuantificación se realizó usando un cromatógrafo de gases Agilent 7890A acoplado a un detector selectivo de masas Agilent 5975C usando una columna cromatográfica DB-XXLB (15m, 0.18mm i.d., 0.07µm grueso de fase estacionaria). El helio fue empleado como gas acarreador a un flujo de 2 ml/min y metano se uso como gas reactivo. El volumen de inyección de la muestra de 2µl con modo de inyección splitless. La temperatura del puerto de inyección de 250 °C, la temperatura inicial del horno se programó 70 °C durante 1 minuto, seguidas de dos rampas, a 10 °C/min hasta 225 °C con tiempo de espera de 1 minuto y 12 °C/min hasta 320 °C con tiempo de espera de 5 minutos. El detector fue operado en modo ionización química negativa, con temperatura de la fuente y cuadrupolo a 150 °C. Tres iones fueron monitoreados para 14 congéneres de PBDEs, m/z 79, 81 y 161 mientras que el congénere 209 se monitorearon también los iones m/z 408 y 487.

Los congéneres de BDEs cuantificados del tejido de mejillón son los siguientes:

- PBDE-17
- PBDE-28
- PBDE-49/71
- PBDE-47

- PBDE-66
- PBDE-100
- PBDE-99
- PBDE-85
- PBDE-154
- PBDE-153
- PBDE-138
- PBDE-183
- PBDE-190
- PBDE-209

Los PBDEs fueron identificados por medio de estándares individuales y mezclas de AccuStandars. 14-PBDEs en la mezcla BDE-COC y el BDE49 individual en BDE-049S. La curva de calibración se preparó con los siguientes puntos de concentraciones 6 ng/ml, 12 ng/ml, 25 ng/ml, 50 ng/ml y 100 ng/ml. Los cromatogramas fueron obtenidos digitalmente por el software integrado del cromatógrafo de gases Mass Hunter CG/MS Acquisition B.07.03.2129 e integrados en el software acoplado Enhanced ChemStation Data Analysis MSD F.01.03.2357. La concentración de cada compuesto, resultado de la integración fue multiplicada por el volumen final antes de la inyección en el equipo y dividida entre el peso de la muestra.

Estadística.

- ANOVA.

Las concentraciones promedio de cada localidad fueron agrupadas en aquellas localidades pertenecientes a la zona costera, islas, la parte norte de Baja California y la parte sur de Baja California. La prueba de Bartlett aplicada a

los datos sin transformar resultó en varianzas no homogéneas ($P < 0.05$). Por este motivo se aplicó la transformación $\log(x+1)$, lo que permitió homogenizar las varianzas ($P > 0.05$) (Zar, 1999). Con los datos transformados, se realizó un ANOVA de dos vías con interacción usando el software AnalystSoft Inc., StatPlus:mac versión v6.

- **Modelos numéricos.**

Análisis de componente principal.

Usando el software computacional minitab® 16.1.0. con las concentraciones promedio de cada congénere (valor promedio de las tres muestras en cada localidad) para cada localidad de muestreo se realizó la matriz de correlación con funciones empíricas ortogonal (FEO), a partir de esta matriz la obtención de las funciones numéricas ó componentes principales se realizaron con los eigen vectores correspondientes a los eigenvalores ≥ 1 (propios de la matriz de correlación obtenida).

Análisis de factor.

Este análisis de resolución gráfica se realizó usando el software computacional minitab® 16.1.0. con las concentraciones promedio de cada congénere (valor promedio de las tres muestras en cada localidad). El método de extracción de la resolución gráfica es mediante el componente principal con dos factores de extracción, sin rotación.

RESULTADOS.

La concentración de cada congénere de PBDEs en las tres estaciones de cada localidad fue promediada para ser considerado como concentración promedio de cada uno de los congéneres de BDEs por localidad, las concentraciones están reportadas en unidades de ng/g de peso húmedo. Los porcentajes de recuperación del método empleado están dentro del intervalo 60-90%. (Tabla IV, Anexos). Los resultados de los estándares utilizados se encuentran en la sección de anexos en este manuscrito (Tabla II y III), así como los límites de detección (tabla V).

De las 14 localidades muestreadas entre islas y la zona costera, los mejillones de Isla Coronados presentaron la mayor concentración promedio de 9.70 ng/g (Σ_{15} PBDEs) seguido de la localidad de Rosarito y Punta Morro e Isla Todo Santos con concentraciones de 6.33 y 3.87 y 1.46 ng/g respectivamente. Mientras que los mejillones de Isla San Martín, Isla San Jerónimo, Isla Cedros, Puerto Nuevo, Salsipuedes, Eréndira, San Quintín, Ojitos y Playa Esmeralda presentaron concentraciones promedio menor a 0.60 ng/g (Fig. 3 a y b), con excepción de Punta Baja los cuales no presentaron concentraciones medibles con el esquema y capacidad de medición usado. En la figura 3 se muestra la distribución de las concentraciones de PBDEs en los mejillones de las islas y zona costera, en ella se observa que las mayores concentraciones de éstos compuestos están localizadas hacia el norte de Baja California, notándose una tendencia general a decrecer latitudinalmente hacia el sur, esta tendencia es

mas evidente en las estaciones correspondientes a las Islas (Fig. 3 a), mientras que en las localidades costeras existen incrementos en concentraciones de PBDEs en algunas localidades de norte a sur en Baja California (Fig. 3 b).

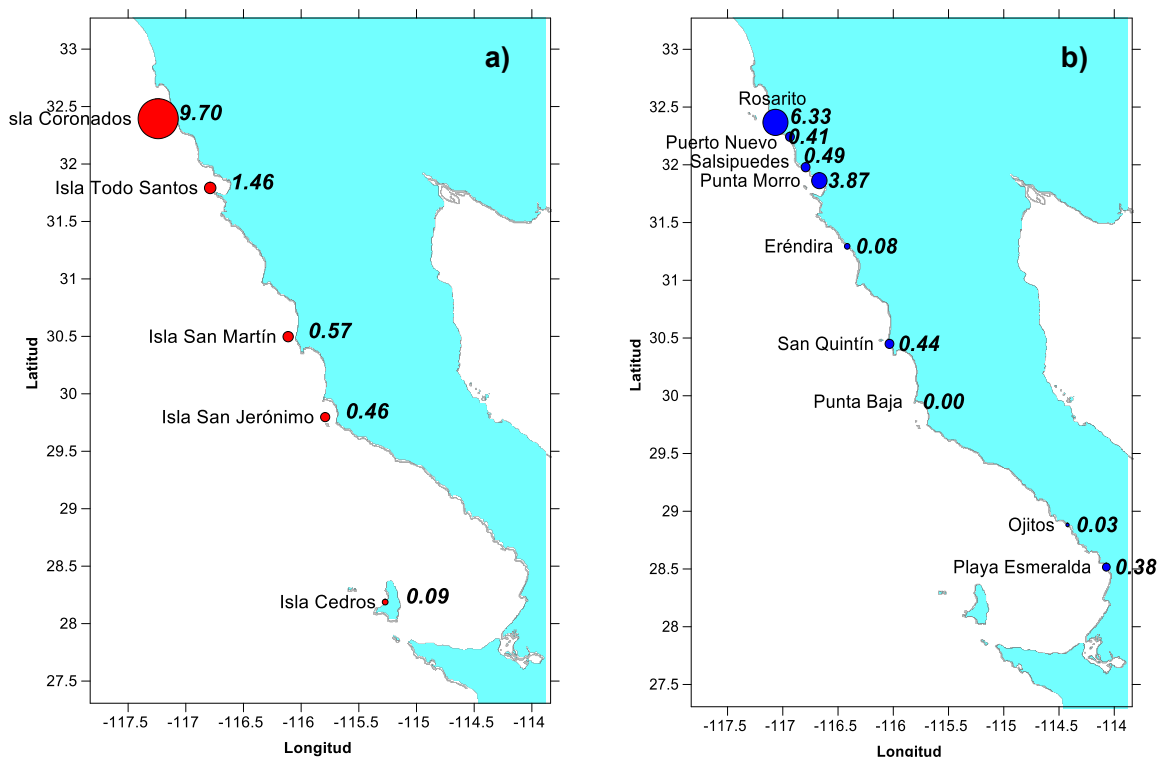


Figura 3. Concentraciones promedio de $\Sigma_{15}\text{PBDEs}$ en ng/g de peso húmedo en los mejillones de localidades de las islas (a) y localidades de la zona costera (b).

En el gráfico de cajas y bigotes de la figura 4 muestra la agrupación de la concentración $\Sigma_{15}\text{PBDEs}$ en los mejillones de las localidades de las islas (caja izquierda) y las localidades de la costa (caja derecha) mostrando que en las islas presentan concentración promedio de PBDEs de 2.45 ng/g (mediana de 0.60 ng/g) mayor a la concentración promedio de los mejillones en las

localidades costeras de 1.30 ng/g (mediana de 0.40 ng/g), cabe recalcar que la concentración de estos organismos en la localidad de Isla Coronados es al menos 6 veces mayor a la concentración de las demás islas (Fig. 3 a) lo cual ocasiona un incremento en el cuartil 3 (75 % de los datos) de la caja de las islas, llevando el límite superior de la caja a un valor de 5.58 (Figura 4, izquierda). Comparando esta agrupación de mejillones de localidades costeras con los mejillones de las islas sin considerar a la localidad Isla Coronados (Fig. 5) su distribución cambia siendo la concentración promedio de las islas 0.60 ng/g (mediana de 0.50 ng/g) observando que los mejillones de las localidades costeras presentan las concentraciones mayores de PBDEs (Fig. 5, derecha).

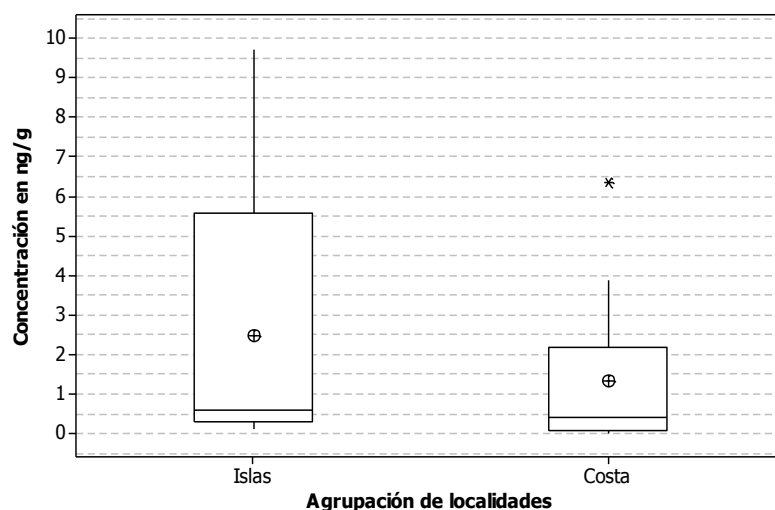


Figura 4. Abundancias relativas de PBDEs en mejillones (ng/g de peso húmedo) de las de islas (lado izquierdo) y zona costera (lado derecho). * Valores extremos, — Mediana, ⊕ Promedio.

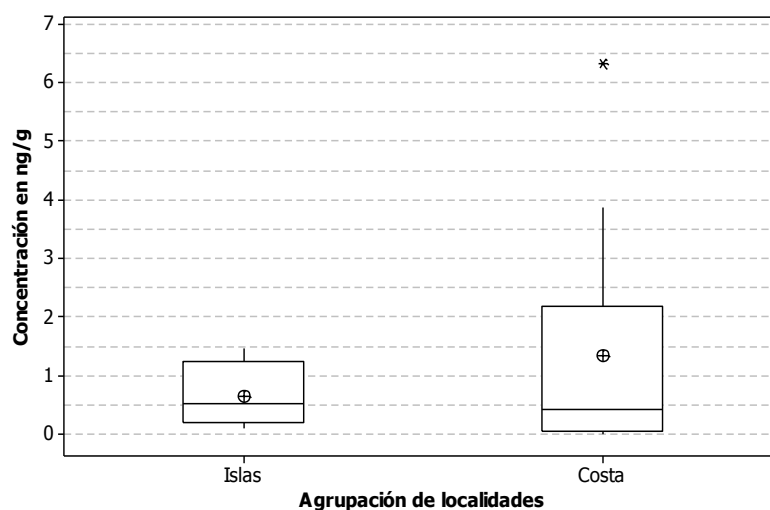


Figura 5. Abundancias relativas de PBDEs en mejillones (ng/g de peso húmedo) de las islas (lado izquierdo, sin considerar a la localidad Isla Coronados) y zona costera (lado derecho). * Valores extremos, — Mediana, ⊕ Promedio.

La figura 6 muestra dos agrupación de las localidades de muestreo, aquellas localizadas en el norte de Baja California (Isla Coronados, Isla Todos Santos, Rosarito, Puerto Nuevo, Salsipuedes, Punta Morro y Eréndira) y las localizadas en el sur de la misma (Isla San Martín, Isla San Jerónimo, Isla Cedros, San Quintín, Punta Baja, Ojitos y Playa Esmeralda) donde se muestra que los mejillones con las mayores concentraciones de PBDEs se localizaron en el norte de la península con una concentración promedio para el norte de 3.20 ng/g (mediana de 1.46 ng/g) y para el sur de 0.30 ng/g (mediana de 0.40 ng/g).

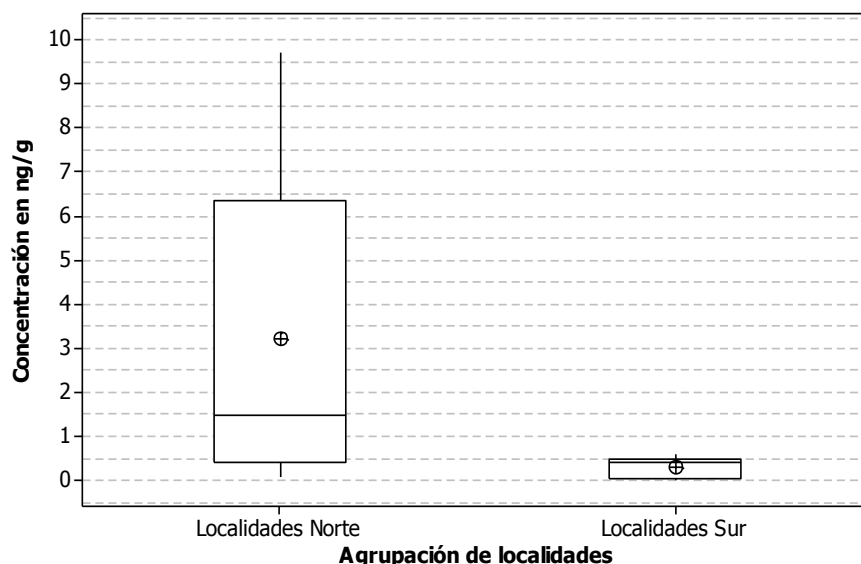


Figura 6. Abundancias relativas de PBDEs en mejillones (ng/g de peso húmedo) de las localidades ubicadas en el norte de B.C. (a) y localidades ubicadas en el sur de B.C. (b). (* Valores extremos, — Mediana, ⊕ Promedio).

Para establecer diferencias con significancia de las concentraciones de PBDEs medidos en los mejillones de las islas versus a aquellos medidos en las localidades costeras, así como en las localidades de muestreo localizadas en la parte norte de la península (Isla Coronados, Isla Todo Santos, Rosarito, Puerto Nuevo, Salsipuedes, Punta Morro y Eréndira) versus en el sur de la misma (Isla San Martín, Isla San Jerónimo, Isla Cedros, San Quintín, Punta Baja, Ojitos y Playa Esmeralda), en la tabla III se muestra un anova de dos vías con interacción entre estos grupos. Las concentraciones de las localidades de las islas y las localidades en la zona costera no fueron significativamente distintos ($P=0.471$). Para las concentraciones de PBDEs de los mejillones de las localidades localizadas en el norte de Baja California y las localidades del

sur de Baja California las diferencias sí fueron significativas ($P=0.031$). La interacción entre las agrupaciones de localidades de Islas y Costas con las localidades del norte y sur, no fue significativa ($p=0.253$).

Tabla III. Anova de dos vías con interacción a partir de concentraciones de BDEs promedio de las localidades costeras.

Agrupación de localidades	SS	D.F.	MS	F	Nivel p	F crit
<i>Isla vs Costa (Factor 1)</i>	0.044	1	0.044	0.561	0.471	4.965
<i>Norte vs Sur (Factor 2)</i>	0.490	1	0.490	6.250	0.031	4.965
<i>Interacción factor 1*Factor 2</i>	0.125	1	0.115	1.470	0.253	4.965
<i>Dentro de grupos</i>	0.785	10	0.078			
<i>Total</i>	1.434	13	0.110			

Diferencia significativa en $p<0.05$, SS: Suma de cuadrados., D.F.: Grados de libertad., M.S.: Media cuadrática., F: Valor F calculado.

Los congéneres de BDEs que se presentaron con las mayores concentraciones y presentes en la mayoría de las islas son BDE49/71, BDE47, BDE153 (Fig. 7 a), con una única excepción en los mejillones de Isla Coronados en donde el BDE66 tiene la mayor concentración de los congéneres en las localidades de Isla con 3.60 ng/g de peso húmedo, mientras que en las localidades costeras los congéneres con la mayor concentración son el BDE47, BDE99, BDE153 y BDE100 (Fig. 7 b) y se encuentran presentes en la mayoría de las localidades costeras. De éstos congéneres las localidades que presentan las concentraciones mas altas en la zona costera son Rosarito (3.09 ng/g de BDE47, 2.20 ng/g de BDE99, 0.56 ng/g de BDE100), Punta Morro (1.74 ng/g de BDE153, 0.97 ng/g de BDE47, 0.57 ng/g de BDE100, 0.39 ng/g de BDE99), San Quintín (0.33 ng/g de BDE47), Puerto Nuevo (0.32 ng/g de BDE47),

Salsipuedes (0.25 ng/g de BDE47), y Playa Esmeralda (0.26 ng/g de BDE47) (Fig. 7 b), mientras que en las estaciones de Isla es Isla Coronados (3.60 ng/g de BDE66, 1.98 ng/g de BDE49/71, 1.81 ng/g de BDE47, 1.53 ng/g de BDE153), Isla San Jerónimo (0.463 ng/g de BDE153), Isla San Martín (0.368 ng/g de BDE153, 0.16 ng/g de BDE 49/71) e Isla Todo Santos (0.30 de BDE 47). El congénere BDE85 no presentó concentración en las localidades de las Isla, mientras que en la zona costera solo se presentó en la estación Rosarito (Fig. 1, Anexos). El BDE154, BDE183 y BDE190 son los congéneres que estuvieron presentes en únicamente dos ó menos localidades (Fig. 1, Anexos).

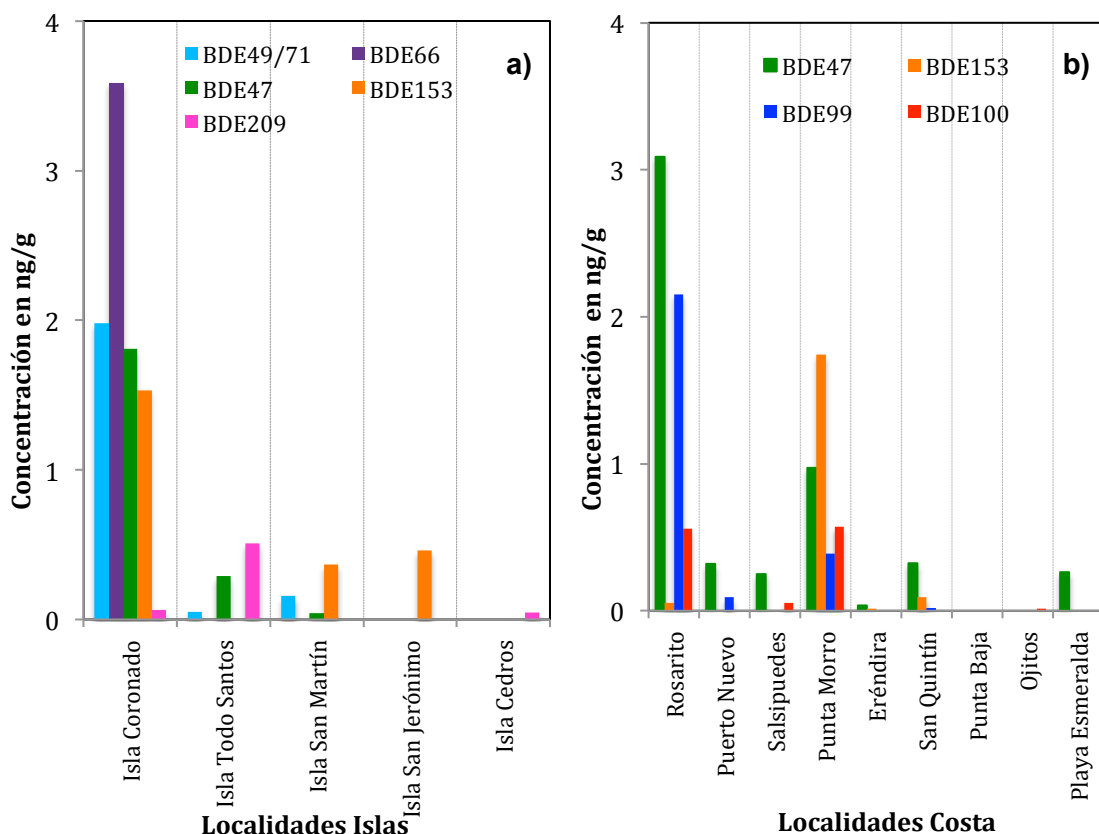


Figura 7. Concentración promedio de los principales congéneres de BDEs en los mejillones en cada localidad de muestreo en ng/g peso en húmedo; a) localidades

correspondientes a islas y b) las localidades costeras. Las estaciones en el eje equis de cada gráfico está ordenado de norte a sur geográficamente a partir del origen.

La figura 8 representa el porcentaje de aportación de las concentraciones de los 15-PBDEs en cada una de las localidades de muestreo de acuerdo a la mezcla comercial. Se observa en color azul que la mezcla comercial que predomina en los mejillones de las localidades muestreadas es la Penta-BDE, seguida de la mezcla comercial Octa-BDE y en menor porcentaje la mezcla comercial Deca-BDE.

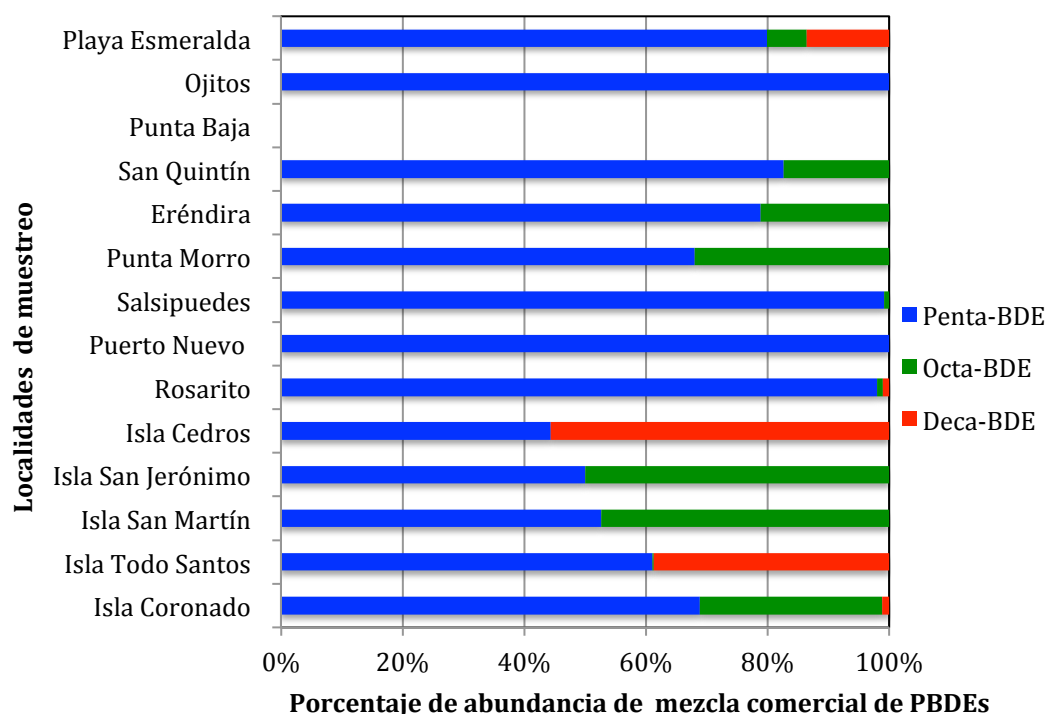


Figura 8. Porcentaje de abundancia de PBDEs de acuerdo a la mezcla comercial Penta-BDE, Octa BDE, DecaBDE.

A partir de un análisis de componente principal usando los datos de concentraciones de cada congénere de BDE para cada localidad (Tabla IV) se muestra en la figura 9 un análisis de factor con resolución gráfica el cual indica que existe una asociación entre las variables dentro de una distancia máxima de 45° en el plano tridimensional. Al observar la tabla IV y la figura 9 se observa un conjunto de siete estaciones asociadas en el C.P.1 (componente principal 1): Rosarito, Puerto Nuevo, Salsipuedes, Punta Morro, Eréndira, San Quintín y Playa Esmeralda. En el C.P. 2 se observa una asociación entre Isla Todo Santos, Isla San Martín e Isla San Jerónimo, sin embargo al observar la figura 9 observamos que la resolución gráfica denota únicamente la asociación de Isla San Martín y San Jerónimo dejando a Isla Todos Santos con una mayor asociación a las localidades mencionadas para el C.P.1. En el C.P.3 (Tabla IV) se encuentran asociados las localidades de Isla Coronados, Isla Cedros y Ojitos sin embargo al observar la figura 9 muestra que no existe una asociación real de Isla Coronados con Isla Cedros y Ojitos pero si mostrando asociación con la estación de Punta Morro.

Tabla IV. Componente principal (C.P.) de los congéneres de BDEs para cada localidad de muestreo. En color gris están señaladas la mejor representación numérica del componente principal (C.P.1, C.P.2, C.P. 3) para cada una de las localidades.

Localidades	C.P.1	C.P.2	C.P.3
Isla Coronado	0.46	0.70	-0.76
Isla Todo Santos	0.27	-0.35	0.29
Isla San Martín	0.25	0.85	0.17
Isla San Jerónimo	0.19	0.81	0.35
Isla Cedros	-0.14	-0.23	0.36
Rosarito	0.90	-0.19	0.08
Puerto Nuevo	0.92	-0.10	-0.01
Salsipuedes	0.63	-0.12	0.04
Punta Morro	0.65	0.65	0.39
Eréndira	0.65	0.12	0.08
San Quintín	0.91	0.18	0.06
Ojitos	-0.11	-0.13	0.24
Playa Esmeralda	0.79	-0.11	0.00

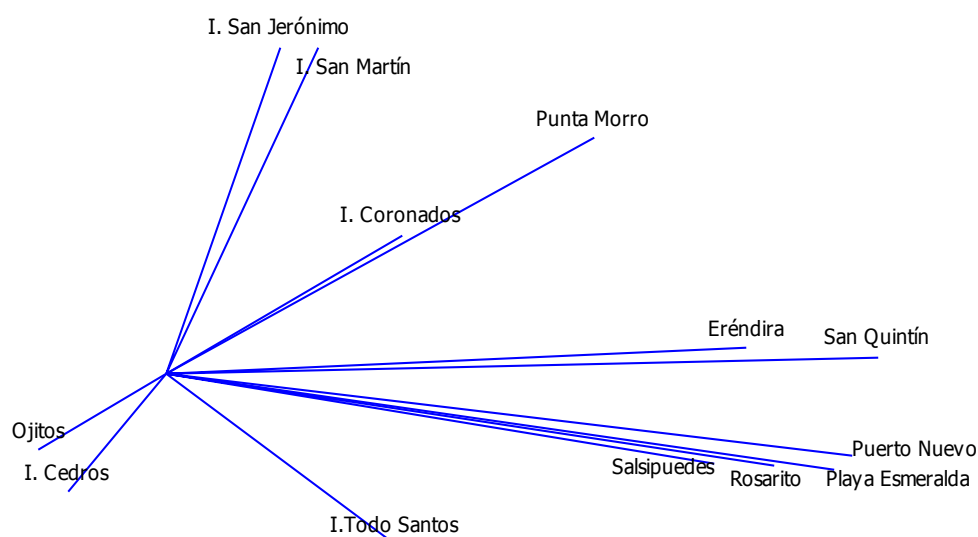


Figura 9. Análisis de factor con las concentraciones de los congéneres de BDEs de las localidades de muestreo.

DISCUSIÓN.

Los congéneres de PBDEs fueron detectados en todas las localidades de muestreo, excepto en Punta Baja. De las catorce localidades de muestreo, la localidad de Isla Coronados (Fig. 3 a) presentó la mayor concentración promedio ($\Sigma_{15}\text{PBDE}$) de PBDEs.

La concentración promedio de PBDEs en los mejillones de las islas es mayor a la concentración promedio de éstos en la zona costera (Fig. 4), sin embargo a partir de un análisis de varianza (tabla III) entre las concentraciones de PBDEs de estos dos grupos ($p < 0.05$), no mostró diferencias significativas entre ellas, esto sugiere una distribución homogénea de PBDEs entre las localidades costeras e islas.

Dentro del conjunto de las islas la concentración promedio es de 2.45 ng/g de peso en húmedo, es importante destacar que los mejillones de Isla Coronados tiene la mayor concentración promedio ($\Sigma_{15}\text{PBDE}$) de PBDEs de todas las islas con 9.70 ng/g de peso húmedo, ésta concentración es casi cuatro veces mayor al promedio de la concentración en las islas. A su vez los mejillones de Isla Coronados poseen las máximas concentraciones de la mayoría de los congéneres de BDEs, estos son: BDE17, BDE49/71, BDE47, BDE66, BDE99, BDE154, BDE153 y BDE183. El BDE66 únicamente se presentó en esta isla, con la máxima concentración registrada de los quince congéneres de BDEs, 3.60 ng/g de peso húmedo (Tabla I, Anexos); mientras que la concentración promedio ($\Sigma_{15}\text{PBDE}$) de cada una de las islas restantes

está dentro del intervalo 0.091-1.461 ng/g que es al menos seis veces menor a la concentración promedio en las islas. Por lo mencionado anteriormente es notable que la concentración ($\Sigma_{15}\text{PBDE}$) de Isla Coronados sesga el promedio de las islas (Fig. 4) ya que sin considerar a Coronados en la concentración promedio, éste disminuye de 2.45 a 0.645 ng/g (Fig. 5), debido a esto la localidad de Isla Coronados representa un foco de atención de estos compuestos orgánicos en la región de estudio.

En el estado de B.C., la mayor parte de la población está concentrada en el borde costero dentro de las localidades costeras de mayor urbanización, de norte a sur son Tijuana, Playas de Rosarito, Ensenada y San Quintín; en estas localidades es donde se registraron las mayores concentraciones de PBDEs en mejillones, destacando Rosarito y Punta Morro con las mayores concentraciones ($\Sigma_{15}\text{PBDE}$) 6.33 y 3.87 ng/g respectivamente (Fig. 3); estas dos localidades poseen las máximas concentraciones de la mayoría de los congéneres de BDEs dentro de las localidades costeras: BDE47, BDE99, BDE153, BDE100, BDE138, BDE28, BDE154, BDE209, BDE66, BDE17, BDE85. Las mayores concentraciones de PBDEs cerca de fuentes potenciales ya ha sido reportada por otros autores como Song et al. 2006, Salvadó et al. 2012 y Daso et al. 2016.

En esta región dos fuentes potenciales podrían ser el origen del aporte local de contaminantes orgánicos: los vientos procedentes del noreste y las descargas de aguas hacia el Océano Pacífico. En B.C. los mayores flujos hacia el océano provienen de las siguientes plantas de tratamiento: en el

municipio de Tijuana la planta Binacional ó Pitar con flujo de 1075.7 l/s ubicada en la frontera entre Estados Unidos y México, la planta de tratamiento San Antonio de los Buenos (Punta Banderas) con flujo de 932.9 l/s, en Playas de Rosarito la planta Rosarito Norte con 65 l/s y Rosarito 1 con 71.20 l/s y en el municipio de Ensenada la planta de tratamiento el Sauzal con 34.9 l/s, el Noreste con 27.3 l/s, el Gallo con 192.2 l/s, el Naranja con 287.7 l/s y la planta de tratamiento Maneadero con 5.3 l/s, todas con descarga en la Bahía Todos Santos. (CONAGUA, 2014). Evidentemente los mayores flujos de descargas de agua provienen de las plantas de tratamiento ubicadas en las localidades mas pobladas y por ende con mayor actividad antropogénica, mismas localidades donde se presentaron las mayores concentraciones de PBDEs en la zona costera. Una es la localidad de Rosarito localizada en el municipio Playas de Rosarito y la otra es Punta Morro que se encuentra dentro de la Bahía Todos Santos en el municipio de Ensenada, por esta razón se considera a las plantas de tratamiento como la principal fuente de PBDEs en Baja California. Autores como Allchin et al., (1999), Rayne et al., (2003) y Oros et al., (2005) también adjudican a las plantas de tratamiento de aguas residuales como las principales fuentes de aporte de PBDEs en Reino Unido, el río Columbia en Canadá y el estuario de San Francisco, respectivamente. Dentro de los flujos de agua hacia el Océano Pacífico también se podrían considerar los escurrimientos continentales (run-off) provocado por lluvias hacia la plataforma continental, sin embargo, debido a la sequía presente

desde finales de 1999 (Reyes-Coca y Troncoso-Gaytán, 2004) y actualmente catalogada como sequía extrema en el estado (CONAGUA, 2016), esta fuente de arrastre de compuestos orgánicos provenientes del continente hacia el océano e inclusive con posibilidad de tener influencia sobre las islas podría ser descartado. Otro factor que si puede influenciar en la presencia de PBDEs en la zona costera y principalmente en las islas son los vientos procedentes de noreste ó mejor conocidos como vientos Santa Ana, a pesar de no haber evidencia citada que corrobore a estos vientos como medio de transporte de PBDEs, por una parte, se conoce que los compuestos orgánicos se adsorben a los sedimentos (Fuet al., 2003) y si se considera que una característica de los vientos Santa Ana es el masivo transporte de partículas (polvo ó aerosoles), partículas que pueden influenciar sobre el océano e inclusive más allá de las islas del Pacífico dentro de los límites del estado de B.C. (N.A.S.A., 2002). Además, la condición de los vientos Santa Ana propicia incendios (N.A.S.A.,2005), que también aportan partículas orgánicas al medio, por esto es posible que parte de la presencia de PBDEs en las islas tenga sus orígenes procedente del continente, posiblemente de las costas del estado de B.C. Es importante mencionar que hay imágenes satelitales que muestran que las partículas transportadas por estos vientos pueden influenciar al estado de B.C. desde otros sitios (N.A.S.A., 2011). Aportes locales en cada una de las islas también podrían influir en las concentraciones de PBDEs, principalmente en Isla Cedros que

es la isla con mayor número de habitantes respecto a las demás, cuenta con una población de alrededor 4500 habitantes y no existen registros de plantas de tratamiento en la isla, por lo que sus aguas de desecho se descargan directamente al océano. Salvadó et al. (2012) reporta que concentraciones de PBDEs pueden ser encontradas a una distancia de hasta 100-140 km de su fuente en el océano mediante transporte superficial sedimentario, durante el cual ocurren transformaciones de los congéneres originales durante este transporte. En este trabajo, las islas se encuentran a distancias menores que la citada por este autor: Isla Coronados a 14.5 km de la costa, Isla Todo Santos a 16 km de la costa, Isla San Martín a 6.5 km de la costa, Isla San Jerónimo a 9.5 km de la costa e Isla Cedros a 37 km de la zona costera (en este caso la población de la isla puede ser una fuente así como lo que puede llegar por transporte de la costa cercana). Algunos de los congéneres encontrados en las islas podrían tener su origen en las mezclas comerciales (La Guardia et al., 2006) pero otros de ellos que son de baja brominación podrían ser el resultado de la transformación de congéneres de alta brominación que tengan origen en localidades de zonas costeras debido a la corta distancia que hay entre islas y costa de acuerdo a Salvadó et al. (2012).

La mayor abundancia de PBDEs en el estado parece provenir de la mezcla comercial penta-BDE (Fig. 7) con un porcentaje de abundancia de mas del 60% en todas las localidades a excepción de tres islas: San Jerónimo, San Martín y Cedros donde su porcentaje es menor, localizadas en el sur del estado; ésto puede sugerir que el origen de la fuente de PBDEs en

el estado proviene principalmente del uso de la mezcla penta-BDE, sin embargo, es importante no descartar que congéneres de BDEs de alta brominación como el BDE209 pueden contribuir a la formación de productos de más baja brominación por medio de transformación metabólica dentro del organismo (Gandhi et al., 2011), por lo tanto el origen de PBDEs podría no ser únicamente de la mezcla comercial penta-BDE, si no también de transformaciones metabólicas de congéneres de BDEs de mayor brominación. Mörck et al. (2003) reporta que después de una ingesta oral del decaBDE en ratas, la excreción de las heces fecales contenían el 90% de esta mezcla, por lo que un 10% de la dosis pudo ser absorbida por las ratas, sin embargo no se puede excluir que más del 10% de la dosis oral se haya absorbido debido a que el 65% de los congéneres excretados en las heces era metabolitos. En contraste, tetraBDE y pentaBDE son fácilmente absorbidos con menos del 14% de la dosis excretada en las heces para el tetraBDE y menos de 50% para el pentaBDE, considerando al tetraBDE metabólicamente estable (O'rn and Klasson Wehler, 1998 y Hakk et al., 2002 en Mörck et al., 2003). Con lo anterior, es posible que gran parte de la mezcla pentaBDE en los mejillones sea por la absorción de ésta mezcla por el organismo. Hites en el 2004 señala que >97% de la producción global de esta mezcla fue usada en Norte América. La mezcla comercial pentaPBDE mantiene la siguiente proporciones de los congéneres BDE47, BDE99, BDE100, BDE153, BDE154 9:12:2:1:1 (Hites, 2004), esto coincide con las concentraciones medidas en las localidades costeras donde el BDE47,

BDE99, BDE100 y BDE153 presentaron las mayores concentraciones, ésta misma señal se observa en las islas pero con una concentración menor de estos congéneres, a excepción de Isla Coronados, donde la mayor concentración está dada por el BDE66 y seis congéneres que mantienen una concentración mayor comparado a la concentración de estos congéneres en las localidades costeras (Tabla I, Anexo). Posiblemente esta diferencia que mantiene la localidad de Isla Coronados se deba a la influencia que tiene del sur de California, Estados Unidos. El análisis de componente principal (Tabla IV) y análisis de factor (Fig. 9) denota a Isla Coronados en una tendencia de asociación única respecto a las demás estaciones de muestreo, ya que estas presentan tendencias de asociación grupal, esto sugiere que Isla Coronados podría tener una fuente de aporte de PBDEs diferente respecto a las demás localidades de muestreo. Asociado a esto, el principal uso dado al agua pública en el estado de B.C. es el agrícola en un 77% mientras que el industrial un 8.0 %, público y urbano 5.3% y doméstico conforman un 0.02% (CONAGUA, 2012), esta agua es la que llega a las plantas de tratamiento con destino final el océano. En cambio en el sur de California, el agua pública que llega a las plantas de tratamiento (Pitar, Point Loma, North City, San Luis Rey, Palm Springs y Orange County) mantienen también un alto porcentaje de uso agrícola, pero también mayores cantidades de agua proveniente de industrias (industria aeronáutica, técnica espacial, informática, electrónica, médica entre otras) que podría dar origen a una señal ligeramente diferente y con mayores concentraciones de PBDEs, esta señal podría ser la que esté aportando

concentraciones de PBDEs en la localidad de Isla Coronados. En la región de esta isla la dinámica costera es principalmente de eddies ciclónicos (DiGiacomo et al., 2001 y N.A.S.A., 2013) lo cual favorecen el transporte superficial de sedimentos, y junto con los vientos del noreste (N.A.S.A., 2007), pueden ser el mecanismo de transporte de los PBDEs que afecten a Isla Coronados.

Las concentraciones mayores de PBDEs se localizaron en la parte norte de B.C., tanto para islas como localidades costeras (Fig. 3 a y b) con diferencia significativa respecto a las concentraciones de las localidades de sur de B.C. ($p < 0.05$) (Tabla III). Esto posiblemente a que las mayores fuentes potenciales de PBDEs se localizan hacia la parte norte del estado, que es la región con mayor número de habitantes así como de mayor desarrollo antropogénico, ésta concentración decrece conforme se llega a latitudes menores que son regiones con menos población así como menor desarrollo antropogénico y a su vez mas lejanas a las fuentes potenciales (Salvadó et al., 2012). Éste patrón resulta mas evidente en las islas que en las localidades costeras, esto debido a las fluctuaciones de las concentraciones de PBDEs que existen en localidades costeras de norte a sur, ya que las fluctuaciones se presentaron en los sitios de mayor población, mayor aporte de aguas de desecho a la zona costera y cercanía a las fuentes.

Isla Todo Santos es una de las localidades ubicadas en el norte del estado con las mayores concentraciones de PBDEs, debido posiblemente a la influencia del municipio de Ensenada como fuente potencial. Ésta isla está

localizada dentro de la Bahía Todo Santos (BTS), donde la circulación de los sedimentos superficiales converge hacia la parte central de la bahía, (Sánchez et al., 2009), esta dinámica interna podría favorecer el transporte de PBDEs hacia Isla Todo Santos a pesar de ser una estación con relativa lejanía costera. Respecto a las estaciones localizadas hacia el sur de Baja California, San Quintín presentó la mayor concentración promedio Σ_{15} PBDEs de las localidades costeras del sur del estado, probablemente asociado al desarrollo antropogénico del poblado ya que cuenta con 90,821 habitantes (INEGI, 2010).

Por otra parte, la circulación superficial en el sur de B.C. está dada principalmente por dos meandros ó giros anticiclónicos durante todas las estaciones del año excepto otoño (Durazo et al. 2007). Ésta circulación de giros está dividida por la localidad de Punta Eugenia, localizada al sur de isla Cedros. Punta Eugenia es el límite inferior de la corriente de California, en ésta región los cambios estacionales en la circulación superficial, dentro de la cual se localiza Playa Esmeralda e Isla Cedros, favorecen la entrada de Agua Tropical Superficial (ATS) y Agua Subtropical Superficial (AStS) (Durazo et al. 2007) cercanos a la zona costera con dirección hacia el norte (Zaytsev et al. 2007 en Durazo et al. 2007), durante verano y otoño; éstos patrones de circulación superficial provenientes del sur, así como los eventos anticiclónicos podrían favorecer la presencia de PBDEs en Playa Esmeralda debido a que son eventos a mesoescala estacionales que transportan agua y partículas hacia zonas costeras, partículas que podrían adsorber

componentes orgánicos los cuales provengan de las regiones de mayor desarrollo antropogénico en el área como Isla Cedros ó Guerrero Negro; a su vez existe un aporte continental que no puede descartarse, que son los aerosoles provenientes de otras regiones como lo muestra la imagen de la N.A.S.A. del 2011.

Globalmente los congéneres de PBDEs que han sido reportados con las mayores concentraciones en mejillones es el BDE47, BDE99, BDE100, BDE153 (Hites, 2004, Hoenincke et al. 2007, Jin et al. 2008, Liu et al. 2008, Richman et al. 2013, Moon et al. 2007), lo cual coincide con los resultados de éste trabajo dónde los congéneres con las mayores concentraciones son el BDE47, BDE153, BDE66, BDE99 y BDE100. En otros trabajos el BDE66 no se ha reportado dentro de los congéneres de mayor concentración, sin embargo es importante mencionar que en este trabajo fue encontrado únicamente en Isla Coronados. A pesar de que el BDE209 constituye el 82% de la demanda total de PBDEs a nivel global es poco frecuente que sea reportado en organismos, Hale et al. (2003), Liu et al. (2008) y Richman et al. (2013) reportan la presencia de éste congénere, así mismo es reportado en el presente trabajo con una concentración promedio de 0.053 ng/g de peso húmedo.

Respecto a las concentraciones de PBDEs medidas en el estado de California, E.U. por el programa norteamericano Mussel Watch (Kimbrough et al. 2009) (Tabla V), reportan concentraciones dentro de un intervalo de

296-8202 ng/g (peso en lípidos) para los diez sitios muestreados. Las concentraciones reportadas son de hasta cinco órdenes de magnitud mayor a las concentraciones reportadas en este trabajo. Al realizar la prueba estadística de Wilcoxon con corrección de Kruskal-Wallis para muestras independientes ($\alpha = 0.05$ y valor $\chi^2 = 3.841$) se corrobora estadísticamente ésta diferencia. Se debe considerar que en esta comparación el número de congéneres medidos en California son 38, mientras que en este trabajo son 15 congéneres.

Tabla V. Concentración promedio de PBDEs reportadas por el programa mussel watch en 2009 en California, Estados Unidos, y concentraciones promedio de PBDEs reportadas en este trabajo en Islas y Costas de Baja California, México, en ng/g peso en lípidos.

Estaciones en *California (<i>Mytilus californianus</i> , <i>Mytilus edulis</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , y <i>Mytilus trossulus</i>)			Estaciones en Baja California, México. (<i>Mytilus californianus</i>)	
	1996	2004-2007	2014	
Bahía Anaheim	1112	8202	Isla Coronado	248.2
Bahía de San Francisco		900	Isla Todo Santos	42.3
Marina del Rey	404	855	Isla San Martín	11.1
Playa Imperial		846	Isla San Jerónimo	5.9
Crescent		581	Isla Cedros	6.5
La Jolla		514	Rosarito	81.8
Point Loma		488	Puerto Nuevo	6.2
Long Beach	883	432		
Eureka		383	Salsipuedes	12.7
San Diego Bay		296	Punta Morro	130.1
			Eréndira	1.5
			San Quintín	5.7
			Punta Baja	0
			Ojitos	0.5
			Playa Esmeralda	13.0

*38 Congéneres BDEs medidos en California: BDE1, BDE2, BDE3, BDE7, BDE8, BDE10, BDE11, BDE12, BDE13, BDE15, BDE17, BDE25, BDE28, BDE30, BDE32, BDE33, BDE35, BDE37, BDE47, BDE49/71, BDE66, BDE75, BDE77, BDE85, BDE99, BDE100, BDE116, BDE118, BDE119, BDE126, BDE138, BDE153, BDE154, BDE155, BDE156, BDE181, BDE181, BDE190. (Kimbrough et al. 2009)

**15 Congéneres BDEs medidos en éste trabajo: BDE17, BDE28, BDE49/71, BDE47, BDE66, BDE100, BDE99, BDE85, BDE154, BDE153, BDE138, BDE183, BDE190, BDE209.

Macias-Zamora et al., (2016) reporta en la parte sur de la Cuenca de las Californias (Desde Tijuana hasta Bahía Todos Santos en Ensenada) que en los sedimentos superficiales el congénere mas abundante es el BDE209 con 80% de abundancia seguido del BDE47 y el BDE99. Esto no coincide con lo encontrado en los organismos en este trabajo, ya que los congéneres mas abundantes en los mejillones dentro de esta región son el BDE66, BDE47 y BDE153. Sin embargo estas diferencias en composición preferencial de los PBDEs entre organismos y sedimentos ha sido previamente documentada por diversos autores (Cai et al., 2012; Zhu et al., 2014; Zheng et al., 2016), ellos reportan al BDE209 como el congénere mas abundante en los sedimentos y al congénere BDE47 como el mas abundante en mejillones y otros organismos (Christensen et al., 2002; Liu et al., 2005; Dosis et al., 2016). Podría ser que estas diferencias se deban a transformaciones metabólicas que sufra el BDE209 durante la incorporación de éste congénere en los organismos, degradándose hasta congéneres de menor peso molecular pero con mayor estabilidad química como lo es el BDE47, y podría ser que por esta razón casi nunca sea encontrado el BDE209 en organismos, mientras que en los sedimentos el BDE209, debido a que es un compuesto químicamente pesado es más difícil que sea degradado a congéneres de menor peso molecular y por ello es más fácil encontrarlo en ésta matriz.

De manera global las concentraciones de PBDEs reportadas en diferentes matrices en Norteamérica son de 10 a 100 veces mas altas que las concentraciones medidas en Europa y Asia (Johnson-Restrepo et al., 2005 y

Kimbrough et al., 2009), en especial en el Sur de California donde a nivel mundial se han reportado las concentraciones mas altas en mamíferos marinos, sangre humana, leche materna, así como polvo de hogares (Hites, 2004, Meng et al., 2009 y Zota et al., 2008). En Baja California la concentración promedio de PBDEs (Σ_{15} PBDE) en el mejillón *Mytilus californianus* es 1.74 ng/g de peso húmedo, al ser comparado con los valores reportados en otros sitios del mundo en la misma matriz, los niveles en Baja California se encuentran ligeramente encima de los valores de los países europeos, por debajo de las concentraciones reportadas en los países asiáticos y mucho menores a las concentraciones reportadas en el sur de California Estados Unidos (Tabla VI).

Tabla VI. Concentraciones de PBDEs reportadas en mejillón en diferentes países.

País.	No. Congéneres	Año	Σ_n PBDE mass fractions (ng/g peso húmedo)	Referencia
Southern Greenland	4	2002	0.027	Christensen et al. 2002
Tsim Sha Tsui, Hong Kong	15	2005	46.6	Liu et al. 2005.
Sai Kung, Hong Kong	15	2005	69.6	Liu et al. 2005.
Bo Sea, China	15	2009	0.68	Wang et al. 2009
Thau Lagoon – Mediterranean Sea, France	13	1981–2003	0.28	Johansson et al. 2006
Ionian Sea, Italy	3	2008	1.04	S. Giandomenico et al. 2013
Adriatic Sea, Italy	3	2008	0.17	S. Giandomenico et al. 2013
Baja California, Mex.	15	2014	1.74	Presente trabajo

Bajo la responsabilidad del Ministerio Federal Medioambiental de la Protección Ambiental Canadiense (Federal Minister of Environment under the *Canadian Environmental Protection Act, 1999*) se desarrolló una guía de calidad medioambiental (FEQGs, Federal Environmental Quality Guidelines) para agua, sedimento y tejidos biológicos de las mezclas de PBDEs (triBDE, tetraBDE, pentaBDE, hexaBDE, heptaBDE, deca-BDE) con el fin de proteger la vida acuática y a los consumidores de mamíferos y aves de vida acuática de los efectos adversos de los PBDEs, esto mediante la evaluación de un límite sobre el cual puede existir un bajo efecto adverso; al usar ésta guía de calidad para evaluar un posible efecto adverso con los resultados de éste trabajo, únicamente la estación costera Rosarito (tabla VII) presentó un valor superior al límite establecido por esta guía, al ser el congénere BDE99 con una concentración de 2.15 ng/g (peso húmedo) que superó el nivel de 1 ng/g (peso húmedo) en tejido de pescado establecido en la guía. Si bien, cabe recalcar la importancia de la comparación a pesar de ser tejidos de diferentes especies de organismos, debido a que ambos organismos son de consumo humano.

Tabla VII. Guía de Calidad ambiental para éteres bifenilos polibrominados (PBDEs) de Canadian Environmental Protection Act.

Federal Enviromental Quality Guidelines for Polybrominated Diphenyl Ethers (Tomado de Environment Canada 2013)			Éste trabajo
<i>Homólogo/ Formulación</i>	<i>Congénere</i>	<i>Tejido de pescado (ng/g peso húmedo)</i>	<i>Estación Rosarito, tejido mejillón (ng/g peso húmedo) (Promedio Σ_{15}PBDEs)</i>
TrBDE	total	120	0.06
TeBDE	total	88	1.04
	total	1	0.08
	BDE99	1	2.15
PeBDE	BDE100	1	0.56
HxBDE	total	420	0.10
HeBDE	total	-	0.00
OcBDE	total	-	-
NoBDE	total	-	-
DeBDE	total	-	0.06

CONCLUSIONES.

- El análisis estadístico de la concentración de PBDEs en mejillones de la especie *Mytilus californianus* sugiere que no existen diferencias entre las localidades de las islas y las localidades de la zona costera.
- Las concentraciones de PBDEs en los organismos de las localidades ubicadas al norte del estado, muestra diferencia significativas respecto con las concentraciones de PBDEs en los organismos de las localidades ubicadas al sur del estado.
- Islas Coronados es la localidad con la concentración promedio mayor de PBDEs, posiblemente por una influencia local proveniente del norte.
- Puede haber fuentes adicionales de PBDEs en Baja California, provenientes del sur de California que afectan principalmente a la localidad de Isla Coronados.
- Los congéneres con las mayores concentraciones registradas en los mejillones de las localidades de muestreo son el BDE66, BDE47 y BDE153.
- Las concentraciones de PBDEs en mejillones de las islas podrían provenir de concentraciones de PBDEs proveniente de la zona costera del estado de B.C.
- Los congéneres de BDEs medidos podrían tener como fuente dominante la mezcla comercial penta-BDE.

-
- Las concentraciones de PBDEs en *Mytilus californianus* medidas en este trabajo son menores a las reportadas en las costas de California, E.U.
 - De los 15 localidades en que fueron medidos los PBDEs en *Mytilus californianus*, solo los mejillones colectados en la localidad de Rosarito presenta un bajo riesgo de posible efecto para tejido de organismo de acuerdo a la guía de calidad FEQGs.
 - Los congéneres de BDEs dominantes en el mejillón *Mytilus californianus* son distintos a los reportados para sedimentos superficiales dentro de la zona (Macías-Zamora et al., 2016). En donde el BDE 209 es el congénere en mayor proporción en los sedimentos y el BDE 47 en los organismos de la zona.

REFERENCIAS.

- Airaksinen, R., Hallikainen, A., Rantakokko, P., Ruokojärvi, P., Vuorinen, P. J., Mannio, J., & Kiviranta, H. (2015). Levels and congener profiles of PBDEs in edible Baltic, freshwater, and farmed fish in Finland. *Environmental science & technology*, 49(6), 3851-3859.
- Allchin, C. R., Law, R. J., & Morris, S. (1999). Polybrominated diphenylethers in sediments and biota downstream of potential sources in the UK. *Environmental Pollution*, 105(2), 197-207.
- Allen, J. G., Gale, S., Zoeller, R. T., Spengler, J. D., Birnbaum, L., & McNeely, E. (2016). PBDE flame retardants, thyroid disease, and menopausal status in US women. *Environmental Health*, 15(1), 1.
- Cai, M. G., Hong, Q. Q., Wang, Y., Luo, X. J., Chen, S. J., Cai, M. H., ... & Mai, B. X. (2012). Distribution of polybrominated diphenyl ethers and decabromodiphenylethane in surface sediments from the Bering Sea, Chukchi Sea, and Canada Basin. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 81, 95-101.
- Castro, R. Pares-Sierra A., Marinone S.G (2003). Evolución y extensión de los vientos Santa Ana de febrero de 2002 en el océano, frente a California

y la Península de Baja California. *Ciencias Marinas* (2003), 29(3): 275–281

CDC, Center for Disease Control and Prevention, U. S., 2009. Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals.

CONAGUA (2016).

http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Inventario_Nacional_Plantas1.pdf

Christensen, J. H., Glasius, M., Pécseli, M., Platz, J., & Pritzl, G. (2002). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in marine fish and blue mussels from southern Greenland. *Chemosphere*, 47(6), 631-638.

Daso, A. P., Fatoki, O. S., & Odendaal, J. P. (2016). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and hexabromobiphenyl in sediments of the Diep and Kuils Rivers in South Africa. *International Journal of Sediment Research*, 31(1), 61-70.

DiGiacomo, P. M., & Holt, B. (2001). Satellite observations of small coastal ocean eddies in the Southern California Bight. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C10), 22521-22543.

- Dosis, I., Athanassiadis, I., & Karamanlis, X. (2016). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in mussels from cultures and natural population. *Marine pollution bulletin*, 107(1), 92-101.
- Drouillard, K. G., Chan, S., O'Rourke, S., Haffner, G. D., & Letcher, R. J. (2007). Elimination of 10 polybrominated diphenyl ether (PBDE) congeners and selected polychlorinated biphenyls (PCBs) from the freshwater mussel, *Elliptio complanata*. *Chemosphere*, 69(3), 362-370.
- Durazo, R., Ramírez-Manguilar, A. M., Miranda, L. E., & Soto-Mardones, L. A. (1997). Climatología de variables hidrográficas. *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California, 2007*, 25-57
- EPA. US Environmental Protection Agency 2010. DecaBDE phase-out initiative.
https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/download/reference_id/1003362.
- EPA. Environmental Protection Agency 2014. Technical Fact Sheet Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) and Polybrominated Biphenyls (PBBs)
https://www.epa.gov/sites/production/files/201403/documents/ffrrofactsheet_contaminant_perchlorate_january2014_final_0.pdf

- Gandhi, N., Bhavsar, S. P., Gewurtz, S. B., & Tomy, G. T. (2011). Can biotransformation of BDE-209 in lake trout cause bioaccumulation of more toxic, lower-brominated PBDEs (BDE-47,-99) over the long term?. *Environment international*, 37(1), 170-177.
- Giandomenico, S., Spada, L., Annicchiarico, C., Assennato, G., Cardellicchio, N., Ungaro, N. and Di Leo, A., 2013. *Marine pollution bulletin*, 73(1), pp.243-251
- Hale, R. C., Alaee, M., Manchester-Neesvig, J. B., Stapleton, H. M., & Ikonomou, M. G. (2003). Polybrominated diphenyl ether flame retardants in the North American environment. *Environment International*, 29(6), 771-779.
- Hewitt, R. O. G. E. R. (1981). Eddies and speciation in the California Current. *CalCOFI Rep*, 22, 96-98.
- Hites, R. A. (2004). Polybrominated diphenyl ethers in the environment and in people: a meta-analysis of concentrations. *Environmental science & technology*, 38(4), 945-956.

INEGI (2015)

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/componentes/mapa/default.asp>

X, última visita a el sitio web en octubre del 2016.

Jin, J., Liu, W., Wang, Y., & Tang, X. Y. (2008). Levels and distribution of polybrominated diphenyl ethers in plant, shellfish and sediment samples from Laizhou Bay in China. *Chemosphere*, 71(6), 1043-1050.

Johnson-Restrepo, B., Kannan, K., Rapaport, D. P., & Rodan, B. D. (2005). Polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated biphenyls in human adipose tissue from New York. *Environmental science & technology*, 39(14), 5177-5182.

Johansson, I., Héas-Moisán, K., Guiot, N., Munschy, C. and Tronczyński, J., 2006. *Chemosphere*, 64(2), pp.296-305.

Kerans, B. L., & Karr, J. R. (1994). A Benthic Index of Biotic Integrity (B IBI) for Rivers of the Tennessee Valley. *Ecological applications*, 4(4), 768-785.

Keller, A. E., & Ruessler, D. S. (1997). The toxicity of malathion to unionid mussels: Relationship to expected environmental concentrations. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16(5), 1028-1033.

- Kim, Y. H., Kim, H. S., Choi, H. G., Cho, H. S., & Moon, H. B. (2012). Contamination and bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Gwangyang Bay, Korea. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 4(1), 42-49.
- Kimbrough, K. L., Johnson, W. E., Lauenstein, G. G., Christensen, J. D., & Apeti, D. A. (2009). An assessment of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sediments and bivalves of the US coastal zone.
- La Guardia, M. J., Hale, R. C., & Harvey, E. (2006). Detailed polybrominated diphenyl ether (PBDE) congener composition of the widely used penta-, octa-, and deca-PBDE technical flame-retardant mixtures. *Environmental science & technology*, 40(20), 6247-6254.
- Liu, Y., Zheng, G. J., Yu, H., Martin, M., Richardson, B. J., Lam, M. H., & Lam, P. K. (2005). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sediments and mussel tissues from Hong Kong marine waters. *Marine pollution bulletin*, 50(11), 1173-1184.
- Macías-Zamora, J. V., Ramírez-Álvarez, N., Hernández-Guzmán, F. A., & Mejía-Trejo, A. (2016). On the sources of PBDEs in coastal marine sediments off Baja California, Mexico. *Science of the Total Environment*,

571, 59-66.

Makey, C. M., McClean, M. D., Braverman, L. E., Pearce, E. N., He, X. M., Sjödin, A., ... & Webster, T. F. (2016). Polybrominated diphenyl ether exposure and thyroid function tests in North American Adults. *Environmental health perspectives*, 124(4), 420.

Moon, H. B., Kannan, K., Lee, S. J., & Choi, M. (2007). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sediment and bivalves from Korean coastal waters. *Chemosphere*, 66(2), 243-251.

Mörck, A., Hakk, H., Örn, U., & Wehler, E. K. (2003). Decabromodiphenyl ether in the rat: absorption, distribution, metabolism, and excretion. *Drug Metabolism and Disposition*, 31(7), 900-907.

Meng, X. Z., Blasius, M. E., Gossett, R. W., & Maruya, K. A. (2009). Polybrominated diphenyl ethers in pinnipeds stranded along the southern California coast. *Environmental pollution*, 157(10), 2731-2736.

N.A.S.A.

2002

<http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=10727>

727, última visita al sitio en octubre del 2016.

N.A.S.A. (2005)

http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=6040&eocn=related_to&eoci=related_image , última visita al sitio en octubre del 2016.

N.A.S.A. (2007)

http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=19219&eocn=image&eoci=related_image, última visita al sitio en octubre del 2016.

N.A.S.A. (2011) <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=86647>, última visita al sitio en octubre del 2016.

N.A.S.A. (2013) <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=80591>, última visita al sitio en octubre del 2016.

Nelson. G. (1977). Wind stress and wind stress curl over the California Current. NOAA Tech. Rep.. NMFS. SSRF-714, 87 p.

Oros, D. R., Hoover, D., Rodigari, F., Crane, D., & Sericano, J. (2005). Levels and distribution of polybrominated diphenyl ethers in water, surface sediments, and bivalves from the San Francisco Estuary. *Environmental science & technology*, 39(1), 33-41.

- Reyes-Coca, S., & Troncoso-Gaytán, R. (2004). Modulación multidecenal de la lluvia invernal en el noroeste de Baja California. *Ciencias Marinas*, 30.
- Rayne, S., Ikonomou, M. G., & Antcliffe, B. (2003). Rapidly increasing polybrominated diphenyl ether concentrations in the Columbia River system from 1992 to 2000. *Environmental science & technology*, 37(13), 2847-2854.
- Richman, L. A., Kolic, T., MacPherson, K., Fayez, L., & Reiner, E. (2013). Polybrominated diphenyl ethers in sediment and caged mussels (*Elliptio complanata*) deployed in the Niagara River. *Chemosphere*, 92(7), 778-786.
- Salvadó, J. A., Grimalt, J. O., López, J. F., de Madron, X. D., Heussner, S., & Canals, M. (2012). Transformation of PBDE mixtures during sediment transport and resuspension in marine environments (Gulf of Lion, NW Mediterranean Sea). *Environmental pollution*, 168, 87-95.
- Song, M., Chu, S., Letcher, R. J., & Seth, R. (2006). Fate, partitioning, and mass loading of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) during the treatment processing of municipal sewage. *Environmental science & technology*, 40(20), 6241-6246

- Sánchez, A., Carriquiry, J., Barrera, J., & López-Ortiz, B. E. (2009). Comparación de modelos de transporte de sedimento en la Bahía Todos Santos, Baja California, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(1), 13-24.
- Tsakiris, E. T. (2016). *Conservation and Management of Freshwater Mussels (Bivalvia: Unionidae): Reproduction, Non-Invasive Techniques and Relocation* (Doctoral dissertation).
- Viarengo, A., & Canesi, L. (1991). Mussels as biological indicators of pollution. *Aquaculture*, 94(2-3), 225-243
- Wang, Z., Ma, X., Lin, Z., Na, G., & Yao, Z. (2009). Congener specific distributions of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sediment and mussel (*Mytilus edulis*) of the Bo Sea, China. *Chemosphere*, 74(7), 896-901.
- Wang, Y., Wang, S., Xu, Y., Luo, C., Li, J., & Zhang, G. (2015). Characterization of the exchange of PBDEs in a subtropical paddy field of China: A significant inputs of PBDEs via air-foilage exchange. *Environmental Pollution*, 205, 1-7.
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical Analysis*. 4th edn.(Prentice Hall: New Jersey.).

Zaytsev 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, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds.), Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México. Pp. 29–43.

Zeng, E. Y., & Vista, C. L. (1997). Organic pollutants in the coastal environment off San Diego, California. 1. Source identification and assessment by compositional indices of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental toxicology and Chemistry*, 16(2), 179-188.

Zhang, T., Yang, W. L., Chen, S. J., Shi, D. L., Zhao, H., Ding, Y., ... & Mai, B. X. (2014). Occurrence, sources, and ecological risks of PBDEs, PCBs, OCPs, and PAHs in surface sediments of the Yangtze River Delta city cluster, China. *Environmental monitoring and assessment*, 186(8), 5285-5295.

Zhou, T., Ross, D. G., DeVito, M. J., & Crofton, K. M. (2001). Effects of short-term in vivo exposure to polybrominated diphenyl ethers on thyroid hormones and hepatic enzyme activities in weanling rats. *Toxicological*

Sciences, 61(1), 76-82.

Zhu, H., Wang, Y., Wang, X., Luan, T., & Tam, N. F. (2014). Distribution and accumulation of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Hong Kong mangrove sediments. *Science of the Total Environment*, 468, 130-139.

Zota, A. R., Rudel, R. A., Morello-Frosch, R. A., & Brody, J. G. (2008). Elevated house dust and serum concentrations of PBDEs in California: unintended consequences of furniture flammability standards?. *Environmental science & technology*, 42(21), 8158-8164.

ANEXOS.

Tabla I. Concentración de PBDEs en *Mytilus californianus* de cada una de las estaciones de muestreo por localidad en ng/g por peso húmedo.

Localidades/15- PBDEs	BDE17	BDE28	BDE49/71	BDE47	BDE66	BDE100	BDE99	BDE85	BDE154	BDE153	BDE138	BDE183	BDE190	BDE209
Isla Coronados E1	0.00	0.00	0.00	0.51	0.52	0.00	0.03	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.13
Isla Coronados E2	0.08	0.56	3.96	3.11	6.65	0.00	0.31	0.00	0.21	1.76	0.00	0.27	0.00	0.00
Isla Todo Santos E1	0.04	0.46	0.06	0.38	0.00	0.06	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.76
Isla Todo Santos E2	0.02	0.20	0.09	0.25	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77
Isla Todo Santos E3	0.03	0.25	0.02	0.25	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00
Isla San Martín E1	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Isla San Martín E2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Isla San Martín E3	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00
Isla San Jerónimo E1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00
Isla San Jerónimo E2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00
Isla San Jerónimo E3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00
Isla Cedros E1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Isla Cedros E2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
Isla Cedros E3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rosarito E1	0.00	0.00	0.00	2.70	0.02	0.49	1.70	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
Rosarito E2	0.00	0.05	0.00	2.06	0.00	0.24	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rosarito E3	0.00	0.28	0.00	4.50	0.06	0.94	3.74	0.04	0.00	0.10	0.78	0.00	0.00	0.19
Puerto Nuevo	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salsipuedes E1	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.19	0.00
Salsipuedes E2	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salsipuedes E3	0.00	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00
Punta Morro E1	0.07	0.28	0.00	0.89	0.02	0.51	0.34	0.00	0.11	2.27	0.00	0.00	0.00	0.00
Punta Morro E2	0.00	0.00	0.00	0.52	0.00	0.35	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Punta Morro E3	0.00	0.00	0.00	1.51	0.00	0.86	0.64	0.00	0.11	2.96	0.00	0.00	0.00	0.00
Eréndira E1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Eréndira E2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.09	0.00	0.00	0.00
Eréndira E3	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
San Quintín E1	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00
San Quintín E2	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
San Quintín E3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Punta Baja E1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Punta Baja E2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Punta Baja E3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ojitos E1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ojitos E2	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ojitos E3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Playa Esmeralda E1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.07	0.00	0.00
Playa Esmeralda E2	0.00	0.00	0.00	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
Playa Esmeralda E3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla II. Estándares de procedimiento analítico blanco y estándar fortificado con 200 ng/ml en el volumen de inyección cromatográfica. (El congénere BDE209 es cinco veces mayor a la concentración en el volumen de inyección cromatográfica.

	BDE17	BDE28	BDE49/71	BDE47	BDE66	BDE100	BDE99	BDE85	BDE154	BDE153	BDE138	BDE183	BDE190	BDE209
Blanco 1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Blanco 2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Blanco 3	N.D.	N.D.	N.D.	0.12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Blanco 4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Blanco 5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Blanco 6	N.D.	0.05	N.D.	0.09	N.D.	N.D.	0.07	N.D.	N.D.	N.D.	0.6	N.D.	0.01	N.D.
Fortificado 1	220	224	209	219	204	211	179	215	178	188	173	133	95	272
Fortificado 2	222	229	219	211	214	211	220	229	193	212	196	151	140	465
Fortificado 3	194	205	218	222	208	226	207	214	199	224	227	180	174	677
Fortificado 4	224	216	174	226	192	209	157	219	183	194	182	146	118	428
Fortificado 5	218	208	202	215	218	245	214	260	202	220	192	149	110	165
Fortificado 6	169	172	165	186	182	180	194	202	181	180	185	166	144	173

Tabla III. Estándar de referencia 1947c del procedimiento analítico de las muestras de mejillón *Mytilus californianus* para PBDEs en ng/g (peso en húmedo).

	BDE17	BDE47	BDE99
1	0.050	0.794	0.237
2	0.036	0.541	0.128
3	0.094	1.729	0.416
4	0.082	1.585	0.364
5	0.081	1.312	0.359
6	0.074	1.343	0.333

Tabla IV. Porcentaje de recuperación de las estaciones de muestreo en cada localidad de muestreo en Baja California.

Muestras analizadas / Porcentaje de recuperación		Muestras analizadas / Porcentaje de recuperación	
Isla San Martín E1	70	Isla Todos Santos E1	70
Isla San Martín E2	70	Isla Todos Santos E2	63
Isla San Martín E3	81	Isla Todos Santos E3	74
Isla Cedros E1	89	San Gerónimo E1	62
Isla Cedros E2	84	San Gerónimo E2	82
Isla Cedros E3	96	San Gerónimo E3	68
Eréndira E1	70	Punta Baja E1	57
Eréndira E2	81	Punta Baja E2	68
Eréndira E3	78	Punta Baja E3	67
Playa Esmeralda E1	67	Blanco 1	72
Playa Esmeralda E2	72	Blanco 2	90
Playa Esmeralda E3	66	Blanco 3	70
Salsipuedes E1	62	Blanco 4	81
Salsipuedes E2	73	Blanco 5	83
Salsipuedes E3	62	Blanco 6	84
Ojitos E1	68	Fortificado 1	74
Ojitos E2	66	Fortificado 2	80
Ojitos E3	85	Fortificado 3	79
Isla Coronado E1	68	Fortificado 4	68
Isla Coronado E2	92	Fortificado 5	88
Rosarito E1	82	Fortificado 6	85
Rosarito E2	73	Std.Ref.1947c 1	82
Rosarito E3	79	Std.Ref.1947c 2	93
San Quintín E1	73	Std.Ref.1947c 3	75
San Quintín E2	79	Std.Ref.1947c 4	82
San Quintín E3	71	Std.Ref.1947c 5	88

Puerto Nuevo	83	Std.Ref.1947c 6	89
Punta Morro E1	67		
Punta Morro E2	60		
Punta Morro E3	76		

Tabla V. Límite de detección del método empleado para PBDEs en el análisis de muestras de mejillón *Mytilus californianus*.

Congéneres BDEs.	Límite de detección. (ng/ml)
BDE17	0.16
BDE28	0.24
BDE49/71	0.03
BDE47	0.14
BDE66	0.20
BDE100	0.24
BDE99	0.19
BDE85	0.12
BDE154	0.19
BDE153	0.03
BDE138	0.05
BDE183	0.14
BDE190	0.06
BDE209	0.39

Tabla VI. Matriz espejo de análisis de componente principal de las concentraciones promedio de las estaciones de muestreo.

	I.C.	I.T.S.	I.S.M.	I.S.J.	I.C.	R.	P.N.	S.	P.M.	E.	S.Q.	O.	P.E.	PC1	PC2	PC3
I.C.	1.00	-0.10	0.37	0.22	0.28	0.13	0.25	0.11	0.25	0.18	0.34	0.20	0.22	0.46	0.70	0.76
I.T.S.	0.10	1.00	-0.18	0.19	0.48	0.34	0.36	0.25	0.01	0.10	0.29	0.20	0.43	0.27	0.35	0.29
I.S.M.	0.37	-0.18	1.00	0.91	0.18	0.08	0.03	0.08	0.76	0.20	0.25	0.16	0.05	0.25	0.85	0.17
I.S.J.	0.22	-0.19	0.91	1.00	0.12	0.12	0.10	0.12	0.82	0.18	0.20	0.11	0.11	0.19	0.81	0.35
I.C.	0.28	0.48	-0.18	0.12	1.00	0.08	0.16	0.07	0.04	0.12	0.16	0.27	0.01	0.14	0.23	0.36
R.	0.13	0.34	-0.08	0.12	0.08	1.00	0.93	0.60	0.40	0.57	0.78	0.06	0.76	0.90	0.19	0.08
P.N.	0.25	0.36	-0.03	0.10	0.16	0.93	1.00	0.74	0.40	0.68	0.93	0.14	0.92	0.92	0.10	0.01
S.	0.11	0.25	-0.08	0.12	0.07	0.60	0.74	1.00	0.28	0.52	0.74	0.06	0.74	0.63	0.12	0.04
P.M.	0.25	-0.01	0.76	0.82	0.04	0.40	0.40	0.28	1.00	0.46	0.62	0.02	0.32	0.65	0.65	0.39
E.	0.18	0.10	0.20	0.18	0.12	0.57	0.68	0.52	0.46	1.00	0.76	0.20	0.79	0.65	0.12	0.08
S.Q.	0.34	0.29	0.25	0.20	0.16	0.78	0.93	0.74	0.62	0.76	1.00	0.15	0.92	0.91	0.18	0.06
O.	0.20	0.20	-0.16	0.11	0.27	0.06	0.14	0.06	0.02	0.20	0.15	1.00	0.16	0.11	0.13	0.24
P.E.	0.22	0.43	-0.05	0.11	0.01	0.76	0.92	0.74	0.32	0.79	0.92	0.16	1.00	0.79	0.11	0.00
PC1	0.46	0.27	0.25	0.19	0.14	0.90	0.92	0.63	0.65	0.65	0.91	0.11	0.79	1.00	0.23	0.04
PC2	0.70	-0.35	0.85	0.81	0.23	0.19	0.10	0.12	0.65	0.12	0.18	0.13	0.11	0.23	1.00	0.24
PC3	0.76	0.29	0.17	0.35	0.36	0.08	0.01	0.04	0.39	0.08	0.06	0.24	0.00	0.04	0.24	1.00

A continuación el listado de las abreviaciones de las localidades en la matriz espejo del análisis de componente principal.

I.C.: Islas Coronados.

I.T.S.: Isla Todo Santos.

I.S.M.: Isla San Martín.

I.S.J.: Isla San Jerónimo.

I.C.: Isla Cedros.

R.: Rosarito.

P.N.: Puerto Nuevo.

S.: Salsipuedes.

P.M.: Punta Morro,

E.: Eréndira.

S.Q.: San Quintín.

O.: Ojitos.

P.E.: Playa Esmeralda.