

Julio de 2023

ANÁLISIS DE METALES EN RECURSOS PESQUEROS DE LA BAHÍA QUINTERO-PUCHUNCAVÍ

Realizado por:
Centro de investigación
HUB AMBIENTAL UPLA

En colaboración con el Laboratorio de Química Analítica y Ambiental de la
Universidad de Valparaíso

Autores:

- Dra.(c) Stephanny Curaz Leiva (UPLA)
- Fabiola Moenne Figueroa (UPLA)
- Dr.(c) Fabio Blanco Murillo (UPLA)
- Dra. María José Díaz Aguirre (UPLA)
- Dr. Iván Sola Macia (UPLA)
- Sebastián Martorell Araya (UPLA)
- Oltane Contreras Rivera (UPLA)
- Nestor Silva Vergara (UPLA)
- Macarena Pérez Flores (UPLA)
- Dr. (c) Pablo Carmona Vicencio (UPLA-UV)
- Jhoel Ruiz Pinilla (UPLA-UV)
- Monserrat Olivares Duran (UV)
- Dra. María Gabriela Lobos Valenzuela (UV)
- Dra. Fernanda Rodríguez (UPLA)
- Dra. Céline Lavergne (UPLA)
- Dra. Verónica Molina Trincado (UPLA)
- Dr. Claudio Sáez Avaria (UPLA)

Índice

Resumen	1
Introducción	3
Objetivos del estudio	5
Metodología	6
Obtención de muestras	6
Procesamiento de muestras para los diferentes análisis en el laboratorio	8
Preparación de muestras para el análisis de metales	10
Estrategia de análisis estadísticos	11
Análisis de normativas nacionales e internacionales	11
Resultados	12
Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	12
Metales en sedimentos	13
Comparación con las normas de límites máximos	14
Metales en biota	15
Cadmio	17
- Peces	17
- Moluscos	17
- Crustáceos	18
- Algas	19
Cromo	19
- Peces	19
- Moluscos	20
- Crustáceos	21
- Algas	21
Cobre	22
- Peces	22
- Moluscos	23
- Crustáceos	23
- Algas	24
Manganeso	25
- Peces	25

- Moluscos	25
- Crustáceos	26
- Algas	27
Plomo	27
- Peces	27
- Moluscos	28
- Crustáceos	29
- Algas	29
Vanadio	30
- Peces	30
- Moluscos	31
- Crustáceos	31
- Algas	32
Níquel	33
Zinc	33
- Peces	33
- Moluscos	33
- Crustáceos	34
- Algas	35
Mercurio	35
- Peces	35
- Moluscos	36
- Crustáceos	37
- Algas	37
Comparación con las normas de límites máximos	39
Comparación de los límites máximos	41
1. Cadmio	41
- Peces:	41
2. Plomo	48
3. Mercurio	53
Discusión	55
Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	55
Metales en sedimentos	56



Metales en biota	58
Conclusiones	67
Sugerencias	68
Agradecimientos	69
Referencias bibliográficas	70
Anexos	75

Resumen

La zona costera de la bahía Quintero-Puchuncaví, en donde se encuentra emplazado el complejo industrial Ventanas, es un área de gran preocupación ambiental, relacionada a diversas fuentes de contaminación y riesgo para la salud humana. Entre los factores de preocupación se encuentran los metales pesados, que se acumulan en sedimentos y la biota marina. Para determinar los niveles que alcanzan metales pesados como el Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Plomo (Pb), Vanadio (V), Níquel (Ni), Zinc (Zn) y Mercurio (Hg), se realizó un estudio del ecosistema marino submareal y se comparó con la localidad de Quintay, utilizada como control dado su bajo impacto antropogénico. El estudio contempló muestreo de agua superficial (parámetros fisicoquímicos y coliformes fecales) y sedimento marino, además del muestreo de recursos bentónicos (algas, peces, crustáceos y moluscos). Los resultados de los análisis de coliformes fecales y metales se compararon con límites máximos establecidos en decretos, normas y reglamentos nacionales e internacionales para el cuidado de la salud del ecosistema y el ser humano.

Los resultados del estudio indican que se detectan la mayoría de los metales analizados en sedimentos y biota. Estos metales presentaron una distribución variable y estuvieron altamente enriquecidos en la bahía en comparación con la zona control, a excepción del V. En sedimentos, el Cu y el V superaron las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de Aguas Marinas y Sedimentos de la Bahía de Quintero-Puchuncaví (NSCA Q-P). En la biota, las concentraciones de Pb y Cd superaron los límites máximos establecidos en las normas y reglamentos nacionales e internacionales para tejido de peces, crustáceos y moluscos, incluyendo el Reglamento (CE) n°1881/2006 (Unión Europea) y CODEX (WHO-FAO), entre otros. Entre los sitios impactados por estos metales destaca la zona norte de Ventanas, en donde además se encuentra un emisario de aguas residuales ilegal que presenta altas abundancias de Coliformes Fecales, que superan los límites establecidos por el D.S. N° 90/2000.



Este estudio demuestra que existen diversas fuentes de contaminación en la zona costera de la bahía Quintero-Puchuncaví, lo que parece estar induciendo una sobre acumulación de metales pesados en la biota marina, incluyendo recursos bentónicos. Se sugiere avanzar en la regulación de estos metales, incorporando otros metales en las NSCA Q-P y la actualización del Decreto 977. Se hace necesario el cierre definitivo del emisario de aguas servidas clandestino en punta Ventanas, como desarrollar mayores estudios toxicológicos de riesgo en pescados, crustáceos y mariscos; lo anterior, considerando el riesgo latente al que se expone la población de la zona con la potencial ingesta de altos niveles de metales pesados a través de ciertos recursos pesqueros.

Introducción

La bahía de Quintero-Puchuncaví (32°46'S, 71°33'O) es de fondo somero, de 40 metros de profundidad promedio, con forma de herradura y abierta hacia el noroeste. Es una zona emblemática de actividad industrial en el país; los primeros proyectos industriales datan de la década de los 50, y en 1998 se declaró Área Costera Reservada para uso preferentemente portuario (Decreto 106/1998). En la actualidad, las actividades realizadas en la bahía contemplan iniciativas portuarias e industriales, como operaciones de puertos, fundiciones, refinerías y operación de centrales energéticas, entre otros. Además, en la zona existe actividad pesquera, incluyendo pesca industrial y artesanal, con presencia de Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB). A pesar de la implementación de instrumentos de control ambiental desde el año 1984 (DS 86/1984), la presencia de contaminantes, particularmente metales y metaloides en los suelos de la zona, no se han podido reducir (Gayo et al. 2022).

Se ha informado la presencia de diversos contaminantes orgánicos (COVs, hidrocarburos) e inorgánicos (metales y metaloides) en el ecosistema de la Bahía incluyendo sedimentos, agua de mar y biota (Sáez et al., 2012a; 2012b, Parra et al., 2015; Muñoz et al., 2020). Debido a la inquietud de los habitantes y organizaciones sociales con respecto a la potencial contaminación, en particular, de metales presentes en los recursos pesqueros, se llevó a cabo un muestreo en la bahía, que incluyó la obtención de parámetros fisicoquímicos *in situ* y la toma de muestras de agua, sedimentos y biota. Los parámetros analizados incluyeron coliformes fecales en agua de mar, materia orgánica en sedimentos y concentraciones de metales pesados en sedimentos y biota marina. Los metales objetivos de este estudio son los siguientes:

- Cadmio (Cd): Elemento no esencial, sin función biológica y tóxico, utilizado en los procesos industriales de metalurgia y combustión de carbón y combustibles, entre otros (Newman, 2015). Tiene potencial de bioacumulación en la trama trófica marina (Espejo et al., 2018).



- Cromo (Cr): Metal traza considerado peligroso para la salud humana a altas concentraciones (Tapia et al., 2010). En la actualidad aún se debate sobre si es considerado como un elemento esencial (Vincent, 2010; Chen et al., 2022). Sus concentraciones en el ambiente aumentan por actividades como la metalurgia y la industria del carbón (Cary, 1982).
- Cobre (Cu): Elemento esencial a nivel traza y que resulta tóxico a altas concentraciones (Newman, 2015). Sus concentraciones aumentan debido a actividades portuarias y descargas de desechos industriales (Piola & Johnston, 2006).
- Manganeso (Mn): Elemento traza esencial que resulta tóxico a altas concentraciones. Las vías más comunes de exposición son por inhalación y consumo de agua o alimentos contaminados (Kemmitt, 1973; Brandt & Schramm, 1986). Sus concentraciones aumentan por el uso de fungicidas o actividades industriales, como fundiciones (O'Neal & Zheng, 2015).
- Plomo (Pb): Metal no esencial y de alta toxicidad que se encuentra en distintos ambientes debido a su presencia en aguas residuales o su uso en actividades portuarias o en procesos de fundición (Newman, 2015; Piñón-Gimate et al., 2020).
- Vanadio (V): Se considera como elemento traza para algunas especies, pero no para el humano (EPSA, 2004). Se encuentra naturalmente en el ambiente, pero sus concentraciones aumentan debido a la combustión de petróleo, carbón y como residuo de aceites combustibles (Gad & Pham, 2014). La principal vía de exposición es la alimentación, aunque es menos tóxica que la exposición por inhalación (Gad & Pham, 2014).
- Níquel (Ni): Elemento traza esencial que en altas concentraciones resulta tóxico (Newman, 2015). La vía más común de exposición es el consumo de agua o alimentos con Ni. Aumenta en el ambiente debido a procesos industriales y eliminación de residuos (Tepe, 2014).



- Zinc (Zn): Elemento traza esencial que resulta tóxico a altas concentraciones, aunque se considera menos tóxico en comparación con los otros metales (Newman, 2015). Sus concentraciones aumentan en el ambiente por el uso de materiales de recubrimiento y prevención de corrosión, combustión de carbón y fundiciones (Schleicher et al., 2020).
- Mercurio (Hg): Elemento no esencial, sin función biológica y tóxico, cuyas concentraciones en el ambiente aumentan por actividades como la minería del oro y la industria y combustión del carbón (Newman, 2015). Se bioacumula y biomagnifica en la trama trófica marina (Madgett et al., 2021).

Objetivos del estudio

- Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de mar y las concentraciones de metales en sedimentos y biota marina, en especial de interés pesquero, de la bahía de Quintero-Puchuncaví en comparación con un sitio control (Quintay).
- Desarrollar un análisis de riesgo en relación con las concentraciones de metales con las máximas permitidas o recomendadas en normativa o estándares a nivel nacional e internacional.

Metodología

Obtención de muestras

Las muestras de agua, sedimentos y biota se obtuvieron en primavera en 7 sitios de Quintero-Puchuncaví y 2 sitios de Quintay ($33^{\circ}11'S$ $71^{\circ}41'W$) que fue considerada como la localidad control.

En las comunas de Quintero-Puchuncaví los puntos de muestreo submareales, realizados el 6 de septiembre, incluyeron dos puntos en Ventanas norte: Sitio 1, identificado como VN1 ($32^{\circ}44'33''S-71^{\circ}29'56''O$) y sitio 2, identificado como VN2 ($32^{\circ}44'46''S-71^{\circ}29'48''O$), uno en Caleta Loncura, sitio 3 identificado como Q-LN ($32^{\circ}46'610''S-71^{\circ}30'668''O$), dos puntos en Puerto Ventanas: sitio 4, identificado como PV1 ($32^{\circ}45'34''S-71^{\circ}29'21''O$) y sitio 5, identificado como PV2 ($32^{\circ}45'29''S-71^{\circ}29'38''O$) y uno en Playa Ventanas, sitio 6, identificado como VV ($32^{\circ}44'84''S-71^{\circ}29'45''O$), mientras que el sitio del muestreo costero, realizado el 28 de octubre, fue en Playa Ventanas, correspondiente al Sitio 7 ($32^{\circ}44'30''S-71^{\circ}29'22''O$). Por otra parte, en Quintay, los puntos de muestreo marinos fueron los sitios Lilén como control Quintay 1 ($33^{\circ}11'31''S-71^{\circ}04'60''O$) y Caleta Quintay, como control Quintay 2 ($33^{\circ}11'31''S-71^{\circ}42'30''O$) (Figura 1).

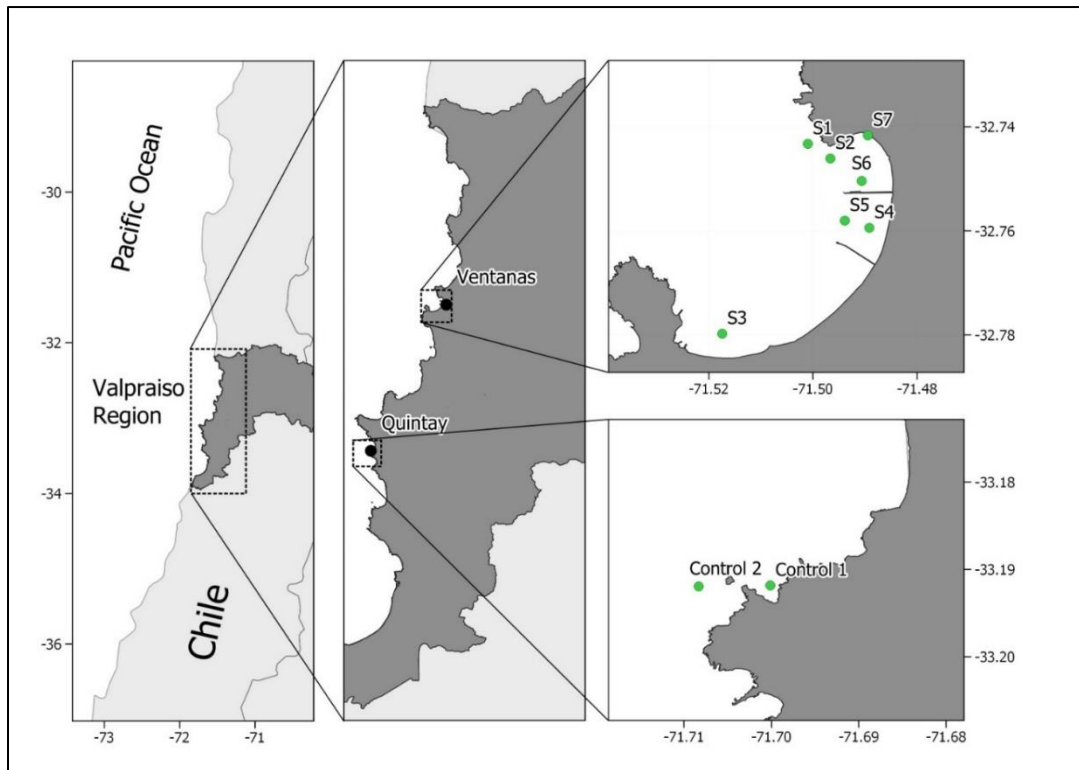


Figura 1. Mapa de los sitios de muestreo del proyecto. Abreviaturas: S1: VN1* / S2: VN2 / S3: Q-LN / S4: PV1 / S5: PV2 / S6: VV / S7: Sitio 7 / Control 1: Control Quintay 1 / Control 2: Control Quintay 2. * Estación con emisario de aguas servidas ilegal

Los muestreos se realizaron a bordo de una embarcación artesanal en presencia de representantes de la Secretaría Regional Ministerial de Salud (SEREMI) de la Región de Valparaíso. Las condiciones fisicoquímicas en el agua se determinaron mediante un Multiparámetro Impermeable (HI98194, Hanna instruments) con sensores para temperatura (°C), pH, oxígeno disuelto (% y mg/L), salinidad (PSU), sólidos totales disueltos (TDS), conductividad (uS/cm) y presión (mbar). Posteriormente, se colectaron muestras discretas de agua superficial (155 mL, Nalgene), agua y sedimentos entre 0 - 15 m de profundidad en triplicados y biota mediante buceo autónomo, de todos los sitios, excepto el sitio 7 que solo hubo recolección de biota. La estrategia de muestreo consistió en recolectar ejemplares con estilos de vida diferentes, considerando productores primarios, animales bentónicos y pelágicos y con diferentes fuentes de alimentación (carnívoros,

herbívoros, filtradores, detritívoros). Por otra parte, el muestreo costero fue realizado a pie en horario nocturno desde la playa.

Todas las muestras, tanto de agua, sedimento y biota, se mantuvieron en coolers con gel pack durante el traslado al laboratorio HUB AMBIENTAL UPLA, almacenadas o procesadas inmediatamente asegurando su correcta manipulación para su futuro procesamiento.

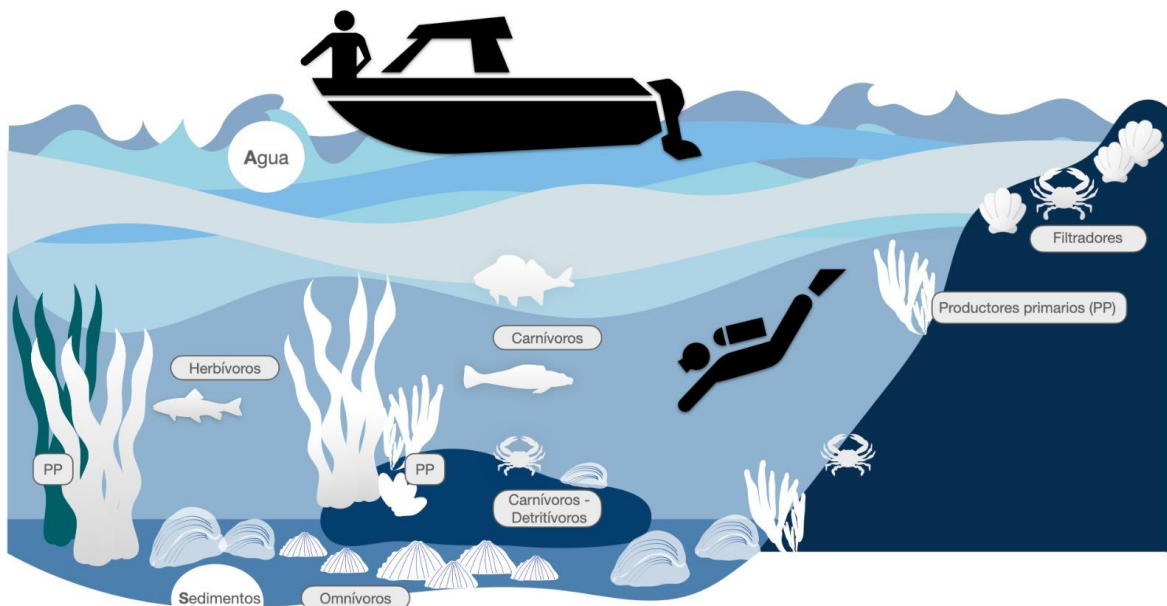


Figura 2. Estrategia de muestreo incluyendo buceo autónomo

Procesamiento de muestras para los diferentes análisis en el laboratorio

Las muestras de agua para el análisis de coliformes fecales fueron inmediatamente analizadas siguiendo el procedimiento descrito en Método Estándar 9221 -E2/C ed. 23.

Para el análisis de metales, los sedimentos fueron almacenados a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ en frascos de plástico nuevos y limpios (lavados por 24 h en 10% ácido nítrico), para luego ser secados en frío (liofilizados) por 95 horas a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (LGJ-18 estándar). Una vez secos, fueron homogeneizados con un mortero de ágata y tamizados con tamiz de

plástico (poro de 0,062 mm). Luego fueron almacenados nuevamente en frascos de plástico limpios para someterlos a digestión.

Por otra parte, todas las muestras de biota fueron identificadas al nivel taxonómico más bajo posible. Todos los animales fueron limpiados con agua ultrapura para eliminar restos externos, luego, fueron pesados, medidos y sexados, mientras que las muestras de algas fueron enjuagadas en agua ultrapura y pesadas (Figura 3). Posterior a eso, utilizando un cuchillo de cerámica sobre una base plástica, todos los animales fueron diseccionados para obtener su parte comestible, es decir, el tejido pectoral de los peces, el tejido de las pinzas de las jaibas y el cuerpo completo de los moluscos. Para alcanzar la biomasa suficiente para el análisis de metales, se debió generar muestras compuestas de lapas, ostiones y jaiba Shangai (6 - 18 individuos). Para el caso de las algas, todas las fracciones de frondas recolectada fueron incluidas en el análisis. Todas las muestras fueron almacenadas en frascos de plástico limpios a -80°C , para luego ser secadas en frío (liofilizadas) por 95 horas a -50°C (LGJ-18 estándar). Una vez secas, las muestras fueron homogeneizadas y almacenadas nuevamente en frascos de plástico, para someterlas a digestión ácida.

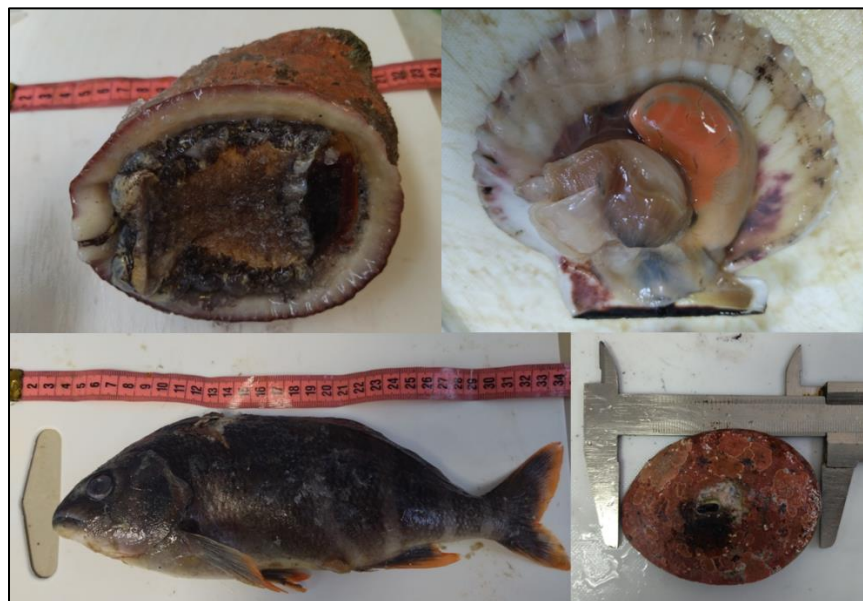


Figura 3. Procedimiento de caracterización de ejemplares

Preparación de muestras para el análisis de metales

Las muestras de tejidos y sedimentos fueron digeridas en ácido nítrico (65%) según los procedimientos US EPA 3052, y US EPA 3051a, respectivamente. Para esto, se incorporaron 0,5 g peso seco de cada muestra en 10 mL de HNO₃ dentro de un vial de teflón, y luego sometido a digestión controlada en microondas (marca Metash, modelo MWD-700). Para cada muestra se obtuvo una digestión total transparente, que fue disuelta en 100 mL de agua ultrapura. En el caso de los sedimentos, cada digestión tuvo que ser filtrada (Papel filtro grado 390/ W40 Sartorius) antes de la dilución. Las concentraciones de Cd, Cr, Cu, Mn, Pb, V, Ni y Zn se determinaron por espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), en equipo Thermo Scientific, modelo iCAP Pro, según el método EPA 200.7, utilizando como material de referencia BCR-627 de atún, ERM-CE278k mejillón (chorito), BCR-279 lechuga de mar (macroalga), ERM-CC580 de sedimento de estuario y DORM-4 de proteína de pez. Para determinar las concentraciones de Hg, las muestras se trasladaron al Laboratorio de Química Analítica y Ambiental de la Universidad de Valparaíso. En laboratorio, se pesaron 0,1 – 0,15 g de sedimentos y 0,08 g de biota para luego someterlos a un analizador directo de mercurio (marca Milestone, modelo DMA-80). Los Materiales de Referencia Certificados empleados fueron II 2711a suelo de Montana, y atún CE-464 y BCR 710.

Las concentraciones de metales de biota se obtuvieron en mg/kg de peso seco, y fueron transformadas a peso húmedo considerando que la mayoría de las normas se encuentran en esta nomenclatura. Para esto, se consideró el porcentaje de humedad corporal de los distintos animales analizados, que varía entre 60 - 80% en peces y crustáceos (López-Benito, 1956; Schmidt et al., 1990; Ahmed et al., 2022), 70 – 80% en moluscos (López-Benito, 1956; Schmidt et al., 1990) y 80 – 90% en algas (Schmidt et al., 1990; García et al., 2016). Con estos rangos, se utilizó un promedio 75% de humedad para peces, moluscos y crustáceos, y un promedio de 85% en algas. Para la transformación de peso seco a peso húmedo, se utilizó la siguiente conversión:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Concentración en} \\ \text{peso húmedo} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Concentración en} \\ \text{peso seco} \end{array} \right] \times (1 - \% \text{humedad})$$

Estrategia de análisis estadísticos

Los resultados fueron analizados estadísticamente para determinar su significancia mediante la comparación de la concentración de metales entre los sitios impactados y el control. En sedimentos se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) con prueba *post hoc* (Tukey). Para el análisis de significancia en biota, debido a la falta de replicabilidad de algunas especies, se determinó el promedio de la concentración de cada metal para cada especie en el sitio control y en los sitios impactados, permitiendo la comparación entre ambos grupos (Anexo).

Análisis de normativas nacionales e internacionales

Se realizó un análisis exhaustivo de normas nacionales e internacionales que determinan los niveles máximos de contaminantes permitidos en sedimentos y en productos alimenticios, para así comparar las concentraciones de metales pesados determinadas en este estudio. Para los sedimentos, las normas evaluadas fueron:

- Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de Aguas Marinas y Sedimentos de la Bahía de Quintero-Puchuncaví.
- Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.

Para el análisis de los límites máximos en biota, las normas evaluadas fueron:

- Decreto 977. Reglamento Sanitario de los Alimentos. Ministerio de Salud. Chile
- Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.
- REGLAMENTO (CE) No 1881/2006. Unión Europea
- Australia New Zealand Food Standards Code
- CODEX Standard 193-1995

Resultados

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Los parámetros fisicoquímicos muestran condiciones ambientales similares entre los sitios estudiados, a excepción del Sitio 7, correspondiente al muestreo nocturno ubicado en la playa. Este sitio se caracterizó por presentar una mayor temperatura y menor salinidad (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos obtenidos in situ

Parámetros	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV	Sitio 7
Temperatura (°C)	12,4	12,5	12,3	12,5	12,7	12,5	12,5	12,5	14,4
Conductividad eléctrica (μS/cm)	52410	52410	52300	52360	52370	52350	52350	52360	38510
Salinidad (PSU)	34,5	34,5	34,4	34,4	34,4	34,4	34,3	34,4	31,8
pH	7,87	7,91	7,87	7,97	7,97	8,02	8,03	8,01	8,08
Oxígeno disuelto (%)	127,1	110	86,9	99,6	98,8	100,7	103,1	103,3	NaN
Oxígeno disuelto (mg/L)	11,05	9,5	7,5	8,5	8,4	8,6	8,8	8,8	Nan
Sólidos (TDS (g/L))	26,2	26,2	26,15	26,18	26,19	26,17	26,18	26,18	19,26
Presión (mbar)	1019,1	1019,6	1011,5	1011,2	1010,5	1009,8	1009,7	1009,6	1013,6
Profundidad (m)	12	10	15,6	10	10,1	12	12	10	0

NaN: dato no obtenido

Los resultados de **coliformes fecales** en el agua, expresados en Número Más Probable (NMP) por 100 mL de agua de mar, mostraron una mayor abundancia en VN1, alcanzando los 35000 NMP/100 mL (Tabla 2). El resto de los sitios presentaron un promedio de coliformes fecales $\leq 1,8$ NMP/100 mL.

Tabla 2. Análisis de coliformes fecales en agua de mar

Parámetros	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	2,0	5400	2,0	<1,8	<1,8	<1,8	2,0
Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	2,0	16000	1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8
Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0	35000	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8

En rojo valores que superan: <1000 NMP/100 mL y <70 NMP/100 mL en zonas de manejo (DS N°652. D.S N°90 y D.S. N°144)

Metales en sedimentos

El promedio de las concentraciones de metales (mg/kg) se resume en la Tabla 3. Los resultados de las concentraciones de metales en sedimentos representan la media de muestras triplicadas en cada sitio de estudio. Los metales analizados fueron detectados en todos los sedimentos tanto de los sitios impactados como en los controles; sin embargo, únicamente el Cu presentó diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) y superó ambas normas. Los otros metales que presentaron concentraciones significativamente mayores en Quintero-Ventanas en comparación a Quintay son los siguientes; Mn (la mayoría de los otros sitios, excepto con los sitios Quintay 2 y VN1), Pb (Quintay 1 y el sitio VV), Ni (Quintay 1 y los sitios VN1, PV1, PV2 y VV), Zn (sitios control versus impactados) y Hg (controles y sitio PV1). El V fue el único metal cuya concentración fue alta en todos los sitios analizados, excepto por Q-LN y PV1, los cuales presentan valores cercanos a la norma.

Tabla 3. Promedio de las concentraciones de metales en los sitios de estudio y su comparación con las normas nacionales e internacionales

Metales	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV	CEQGs (TEL)	NSCA Q-P
Cd	0,005 ± 0,002	<LD	0,03 ± 0,01	<LD	0,008 ± 0,003	<LD	0,006 ± 0,002	<LD	0,70	0,40
Cr	23,86 ± 6,47	25,79 ± 6,99	19,66 ± 5,33	29,99 ± 8,13	25,01 ± 6,78	29,31 ± 7,94	34,07 ± 9,23	39,63 ± 10,74	52,30	52,30
Cu	9,26 ± 1,06	13,65 ± 1,57	20,03 ± 2,31	19,44 ± 2,24	33,23 ± 3,83	29,51 ± 3,40	59,96 ± 6,92	23,91 ± 2,76	18,70	50,63
Mn	73,38 ± 5,15	85,34 ± 5,99	99,76 ± 7,00	121,60 ± 8,53	106,38 ± 7,46	132,75 ± 9,31	110,81 ± 7,77	160,95 ± 11,29	Sin datos	Sin datos
Pb	3,11 ± 0,28	4,34 ± 0,39	4,28 ± 0,38	4,63 ± 0,42	6,28 ± 0,57	7,54 ± 0,68	5,84 ± 0,53	8,32 ± 0,75	32,60	30,20
V	57,24 ± 23,50	51,76 ± 21,25	35,89 ± 14,73	55,59 ± 2,82	33,34 ± 13,68	29,01 ± 11,9	48,39 ± 19,86	52,81 ± 21,68	Sin datos	33,90
Ni	1,44 ± 0,15	2,00 ± 0,21	2,51 ± 0,27	2,36 ± 0,25	2,42 ± 0,26	2,91 ± 0,31	3,46 ± 0,37	3,65 ± 0,39	Sin datos	21,00
Zn	9,27 ± 1,01	12,41 ± 1,36	20,96 ± 2,30	22,75 ± 2,50	26,07 ± 2,86	29,67 ± 3,26	29,17 ± 3,20	36,88 ± 4,05	124	Sin datos
Hg	0,003 ± 0,0002	0,004 ± 0,0003	0,04 ± 0,002	0,03 ± 0,001	0,04 ± 0,001	0,08 ± 0,002	0,04 ± 0,001	0,03 ± 0,001	0,13	0,13

<LD: bajo límite de detección. CEQDGs: Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. NSCA Q-P: Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de Aguas Marinas y Sedimentos de la Bahía de Quintero-Puchuncaví. En rojo: valores que superan al menos una norma.

Comparación con las normas de límites máximos

Las normas seleccionadas fueron:

- 1) Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de Aguas Marinas y Sedimentos de la Bahía de Quintero-Puchuncaví (NSCA). Su objetivo es conservar los ecosistemas acuáticos y contribuir a la conservación de sus servicios ecosistémicos a través de la mantención o mejora de la calidad de las aguas y sedimentos de la bahía Quintero-Puchuncaví, estableciendo determinados umbrales de calidad ambiental para cada área de vigilancia y parámetro fisicoquímico establecido. Esta

norma fue aprobada por el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático del Gobierno de Chile el 7 de julio. Aún no se publica en el Diario Oficial.

- 2) Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (CEQGs). Desarrolladas como herramientas de protección para el funcionamiento de ecosistemas acuáticos saludables, y presentan dos rangos de valores: niveles de efectos de umbral (TEL) y niveles de efecto probable (PEL). Un valor bajo TEL corresponde al nivel en el que no se esperan efectos biológicos. Un valor entre TEL y PEL corresponde al nivel en el que pueden ocurrir efectos adversos. Un valor sobre PEL indica la ocurrencia frecuente de efectos adversos. Para fines de trabajo, se consideraron los valores TEL.

Las concentraciones de Cd, Cr, Pb, Ni, Zn y Hg no sobrepasan ninguna de las dos normas. En el caso de las concentraciones de Mn, se debe considerar que no existe regulación ni en CEQGs ni en las NSCA. Las concentraciones de Cu superan los valores de CEQGs en todos los sitios, y superan los establecido en las NSCA en el sitio PV2. Las concentraciones de V superan el valor establecido en las NSCA en 4 de 6 sitios de la bahía Quintero-Puchuncaví.

Metales en biota

En la Tabla 4 se detalla la lista de especies obtenidas y el número de ejemplares por sitio. Cabe destacar, que la jaiba nadadora solo se obtuvo en el muestreo costero en horario nocturno (sitio 7). A continuación, se describen los resultados asociados a cada metal por grupo de animales.

Tabla 4. Nombre y cantidad de las especies encontradas en cada uno de los sitios de estudio

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV	Sitio 7
Peces									
Rollizo (<i>Pinguipes chilensis</i>)	3	4	3	1	-	-	-	-	-
Jerguilla (<i>Aplodactylus punctatus</i>)	2	2	-	2	-	-	-	3	-
Bilagay (<i>Cheilodactylus variegatus</i>)	2	1	-	-	-	-	-	2	-
Moluscos									
Loco (<i>Concholepas concholepas</i>)	6	7	-	2	1	-	1	-	-
Lapa (<i>Fissurella</i> sp.)	18	18	-	11	-	-	-	-	-
Ostión (<i>Argopecten purpuratus</i>)	-	-	-	-	-	-	12	-	-
Crustáceos									
Jaiba nadadora (<i>Ovalipes trimaculatus</i>)	-	-	-	-	-	-	-	-	6
Jaiba peluda (<i>Romaleon polyodon</i>)	3	1	-	1	8	-	1	1	-
Jaiba mora (<i>Homalaspis plana</i>)	2	3	4	4	-	-	-	-	-
Jaiba shangai (<i>Allopetrolisthes punctatus</i>)	-	-	13	6	-	-	-	-	-
Algas									
Alga roja (<i>Rhodomenia</i> sp.)	-	-	-	-	*	-	-	*	-
Alga verde (<i>Ulva</i> sp.)	-	-	-	-	*	-	-	-	-
Huiro palo (<i>Lessonia trabeculata</i>)	*	*	*	*	-	-	-	-	-

Guion (-) significa que la especie no fue muestreada en ese sitio. Las algas se presentan con asterisco (*) ya que solo se obtuvieron sus frondas, y por lo tanto no es posible identificar el número de ejemplares completos obtenidos en cada sitio.

Cadmio

- Peces

En las tres especies de peces se detectaron mayores concentraciones de Cd en los sitios impactados en comparación a los sitios control (Tabla 5, Figura Anexo 1, Figura Anexo 2). En las especies *P. chilensis* y *A. punctatus* las diferencias de las concentraciones fueron significativamente distintas entre los sitios (Tabla Anexo 1). *C. variegatus* presentó la mayor concentración en el sitio VV (Figura Anexo 3).

Tabla 5. Promedio de las concentraciones de Cd en *P. chilensis*, *A. punctatus* y *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Rollizo (<i>P. chilensis</i>)	0,003 ± 0,0004	0,01 ± 0,001	0,03 ± 0,004	0,06 ± 0,009 *	ne	ne	ne	ne
Jerguilla (<i>A. punctatus</i>)	0,01 ± 0,001	0,007 ± 0,001	ne	0,05 ± 0,007	ne	ne	ne	0,03 ± 0,004
Bilagay (<i>C. variegatus</i>)	0,01 ± 0,005	0,01 ± 0,005 *	ne	ne	ne	ne	ne	0,04 ± 0,02

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Cd. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio.

- Moluscos

En la especie *C. concholepas* el sitio con la mayor concentración de Cd fue Control Quintay 2 (Tabla 6, Figura Anexo 4), y no se presentaron diferencias significativas entre los grupos. Al contrario, en el caso de *Fissurella* sp., la mayor concentración se presentó en VN2 (Tabla 6, Figura Anexo 5), y sí se presentaron diferencias significativas (Tabla Anexo 1). *A. purpuratus* solo se presentó en el sitio PV2, en donde presentó una concentración media de 2,72 ± 0,42 mg/kg.

Tabla 6. Promedio de las concentraciones de Cd en *C.concholepas*, *Fissurella* sp. y *A. purpuratus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Loco (<i>C. concholepas</i>)	0,71 ± 0,11	2,90 ± 0,45	ne	1,70 ± 0,26	1,25 ± 0,19*	ne	1,04 ± 0,16*	ne
Lapa (<i>Fissurella</i> sp.)	0,20 ± 0,03	0,28 ± 0,04	ne	0,49 ± 0,07	ne	ne	ne	ne
Ostión (<i>A.purpuratus</i>)	ne	ne	ne	ne	ne	ne	2,72 ± 0,42	ne

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Cd. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Crustáceos

En las especies *R. polyodon* y *H. plana* se obtuvieron mayores concentraciones de Cd en los sitios impactados en comparación con los sitios, pero no se detectaron diferencias significativas entre los sitios (Tabla Anexo 1). En *R. polyodon* este valor corresponde a la concentración total de un solo ejemplar (Figura Anexo 6). Las especies *O. trimaculatus* y *A. punctatus* no se recolectaron en los sitios control (Tabla 7).

Tabla 7. Media de las concentraciones de Cd en *R. polyodon*, *H.plana*, *O. trimaculatus* y *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV	Sitio 7
Jaiba peluda (<i>R. polyodon</i>)	0,90 ± 0,14	0,08 ± 0,01 *	ne	1,09 ± 0,17 *	0,51 ± 0,08	ne	21,46 ± 3,38 *	0,62 ± 0,09 *	ne
Jaiba mora (<i>H. plana</i>)	0,20 ± 0,03	0,09 ± 0,01	0,21 ± 0,03	0,17 ± 0,02	ne	ne	ne	ne	ne
Jaiba nadadora (<i>O. trimaculatus</i>)	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	0,82 ± 0,14
Jaiba shangai (<i>A.punctatus</i>)	ne	ne	0,22 ± 0,03	0,54 ± 0,08	ne	ne	ne	ne	ne

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Cd. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Algas

La especie *L. trabeculata* presentó la mayor concentración de Cd en Control Quintay 1 (Tabla 8, Figura Anexo 8). Las especies *Rhodymenia* sp. y *Ulva* sp. no se recolectaron en los sitios control.

Tabla 8. Total de las concentraciones de Cd en *Rhodymenia* sp., *Ulva* sp. y *L. trabeculata* expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Sitios	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Alga roja (<i>Rhodymenia</i> sp.)	ne	ne	ne	ne	0,15 ± 0,02	ne	ne	0,29 ± 0,04
Alga verde (<i>Ulva</i> sp.)	ne	ne	ne	ne	0,09 ± 0,01	ne	ne	ne
Huiro (<i>L. trabeculata</i>)	0,60 ± 0,09	0,33 ± 0,05	0,25 ± 0,03	0,14 ± 0,02	ne	ne	ne	ne

Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

Cromo

- Peces

En las tres especies, la mayor concentración de Cr se presentó en los sitios impactados (Tabla 9, Figura Anexo 9, Figura Anexo 10); no se presentaron diferencias significativas entre los sitios para las especies *P. chilensis* y *A. punctatus* (Tabla Anexo 2). *C. variegatus* presentó la mayor concentración en el sitio VV (Figura Anexo 11).

Tabla 9. Media de las concentraciones de Cr en *P.chilensis*, *A. punctatus* y *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Rollizo (<i>P. chilensis</i>)	0,29 ± 0,05	0,06 ± 0,01	0,18 ± 0,03	0,14 ± 0,02 *	ne	ne	ne	ne
Jerguilla (<i>A.punctatus</i>)	0,05 ± 0,01	0,13 ± 0,02	ne	0,16 ± 0,03	ne	ne	0,16 ± 0,03	ne
Bilagay (<i>C. variegatus</i>)	0,03 ± 0,006	0,07 ± 0,01 *	ne	ne	ne	ne	ne	0,15 ± 0,03

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Cr. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Moluscos

En *C. concholepas* y *Fissurella* sp. las mayores concentraciones de Cr se presentaron en los sitios impactados (Tabla 10, Figura Anexo 12, Figura Anexo 13), y en ambos casos se detectaron diferencias significativas entre los sitios impactados y los sitios de estudio (Tabla Anexo 2). *A. purpuratus* solo se presentó en el sitio PV2.

Tabla 10. Media de las concentraciones de Cr en *C.concholepas*, *Fissurella* sp. y *A. purpuratus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Loco (<i>C. concholepas</i>)	0,03 ± 0,006	0,04 ± 0,008	ne	0,19 ± 0,03	0,16 ± 0,03 *	ne	0,07 ± 0,01 *	ne
Lapa (<i>Fissurella</i> sp.)	0,12 ± 0,02	0,11 ± 0,02	ne	0,70 ± 0,14	ne	ne	ne	Ne
Ostión (<i>A.purpuratus</i>)	ne	ne	ne	ne	ne	ne	0,32 ± 0,06	Ne

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Cr. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Crustáceos

La mayor concentración de Cr se presentó en los sitios impactados, tanto en la especie *R. polyodon* como en *H. plana* (Tabla 11, Figura Anexo 14, Figura Anexo 15), presentando diferencias significativas en ambos casos (Tabla Anexo 2). Las especies *O. trimaculatus* y *A. punctatus* no se recolectaron en los sitios control.

Tabla 11. Media de las concentraciones de Cr en *R. polyodon*, *H.plana*, *O. trimaculatus* y *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV	Sitio 7
Jaiba peluda (<i>R. polyodon</i>)	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01 *	ne	0,17 ± 0,03*	0,18 ± 0,03	ne	0,34 ± 0,06 *	0,20 ± 0,03 *	ne
Jaiba mora (<i>H. plana</i>)	0,04 ± 0,008	0,097 ± 0,01	0,15 ± 0,03	0,48 ± 0,09	ne	ne	ne	ne	ne
Jaiba nadadora (<i>O. trimaculatus</i>)	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	1,29 ± 0,26
Jaiba shangai (<i>A.punctatus</i>)	ne	ne	0,18 ± 0,03	0,18 ± 0,03	ne	ne	ne	ne	ne

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Cr. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Algas

La especie *L. trabeculata* presentó la mayor concentración de Cr en VN2 (Tabla 12, Figura Anexo 16). Las especies *Rhodymenia* sp. y *Ulva* sp. no se recolectaron en los sitios control.

Tabla 12. Total de las concentraciones de Cr en *Rhodomenia* sp., *Ulva* sp. y *L. trabeculata* expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Sitios	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Alga roja (<i>Rhodomenia</i> sp.)	ne	ne	ne	ne	0,04 ± 0,008	ne	ne	1,25 ± 0,25
Alga verde (<i>Ulva</i> sp.)	ne	ne	ne	ne	0,06 ± 0,01	ne	ne	ne
Huiro (<i>L. trabeculata</i>)	0,07 ± 0,01	0,04 ± 0,008	0,04 ± 0,008	1,01 ± 0,20	ne	ne	ne	ne

Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

Cobre

- Peces

En las tres especies, la mayor concentración de Cu se presentó en los sitios impactados (Tabla 13). Las especies *P. chilensis* y *A. punctatus* presentaron diferencias significativas en sus concentraciones al comparar los sitios control y los impactados (Tabla Anexo 3). *C. variegatus* presentó la mayor concentración en el sitio VV (Figura Anexo 19).

Tabla 13. Media de las concentraciones de Cu en *P. chilensis*, *A. punctatus* y *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Rollizo (<i>P. chilensis</i>)	0,27 ± 0,01	0,30 ± 0,01	0,50 ± 0,02	0,38 ± 0,02 *	ne	ne	ne	ne
Jerguilla (<i>A. punctatus</i>)	0,27 ± 0,01	0,27 ± 0,01	ne	0,43 ± 0,02	ne	ne	ne	0,40 ± 0,02
Bilagay (<i>C. variegatus</i>)	0,35 ± 0,01	0,32 ± 0,01 *	ne	ne	ne	ne	ne	0,40 ± 0,02

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Cu. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Moluscos

En *C. concholepas* y *Fissurella* sp. las mayores concentraciones de Cu se presentaron en los sitios impactados (Tabla 14, Figura Anexo 20, Figura Anexo 21), y en ambos casos se detectaron diferencias significativas entre los sitios impactados y los sitios de estudio (Tabla Anexo 3). *A. purpuratus* solo se presentó en el sitio PV2.

Tabla 14. Media de las concentraciones de Cu en *C.concholepas*, *Fissurella* sp. y *A. purpuratus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Loco (<i>C. concholepas</i>)	2,62 ± 0,14	5,10 ± 0,28	ne	14,23 ± 0,79	10,36 ± 0,58 *	ne	19,77 ± 1,10*	ne
Lapa (<i>Fissurella</i> sp.)	2,60 ± 0,14	3,35 ± 0,18	ne	15,46 ± 0,86	ne	ne	ne	ne
Ostión (<i>A.purpuratus</i>)	ne	ne	ne	ne	ne	ne	7,71 ± 0,43	ne

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Cu. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Crustáceos

En la especie *R. polyodon* la mayor concentración de Cu se obtuvo en el sitio PV2, cuyo valor corresponde a la concentración de un solo ejemplar (Tabla 15, Figura Anexo 22). La especie *H. plana* presentó la mayor concentración en el sitio Control Quintay 1. En ninguno de los dos casos se presentaron diferencias significativas entre sitios (Tabla Anexo 3). Las especies *O. trimaculatus* y *A. punctatus* no se recolectaron en los sitios control.

Tabla 15. Media de las concentraciones de Cu en *R. polyodon*, *H.plana*, *O. trimaculatus* y *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV	Sitio 7
Jaiba peluda (<i>R. polyodon</i>)	28,89 ± 1,61	13,20 ± 0,73 *	ne	27,08 ± 1,51 *	16,03 ± 0,89	ne	45,84 ± 2,56 *	21,83 ± 1,22 *	ne
Jaiba mora (<i>H. plana</i>)	17,36 ± 0,97	11,96 ± 0,66	14,58 ± 0,81	15,13 ± 0,84	ne	ne	ne	ne	ne
Jaiba nadadora (<i>O. trimaculatus</i>)	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	27,18 ± 1,52
Jaiba shangai (<i>A.punctatus</i>)	ne	ne	8,94 ± 0,50	20,77 ± 1,16	ne	ne	ne	ne	ne

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Cu. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Algas

La especie *L. trabeculata* presentó la mayor concentración de Cu en VN2 (Tabla 16, Figura Anexo 24). Las especies *Rhodymenia* sp. y *Ulva* sp. no se recolectaron en los sitios control.

Tabla 16. Total de las concentraciones de Cu en *Rhodymenia* sp., *Ulva* sp. y *L. trabeculata* expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Sitios	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Alga roja (<i>Rhodymenia</i> sp.)	ne	ne	ne	ne	1,87 ± 0,10	ne	ne	3,03 ± 0,16
Alga verde (<i>Ulva</i> sp.)	ne	ne	ne	ne	1,53 ± 0,08	ne	ne	ne
Huiro (<i>L. trabeculata</i>)	0,20 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,59 ± 0,03	1,73 ± 0,09	ne	ne	ne	ne

Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

Manganeso

- Peces

Las especies *P. chilensis* y *A. punctatus* presentaron la mayor concentración de Mn en sitios impactados, mientras que la especie *C. variegatus* presentó concentraciones similares en todos los sitios de estudio (Tabla 17, Figura Anexo 27). Ninguna especie presentó diferencias significativas entre los sitios (Tabla 4 Anexo).

Tabla 17. Media de las concentraciones de Mn en *P.chilensis*, *A. punctatus* y *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Rollizo (<i>P. chilensis</i>)	0,11 ± 0,04	0,18 ± 0,06	0,19 ± 0,07	0,14 ± 0,05 *	ne	ne	ne	ne
Jerguilla (<i>A.punctatus</i>)	0,10 ± 0,03	0,12 ± 0,04	ne	0,19 ± 0,07	ne	ne	ne	0,12 ± 0,04
Bilagay (<i>C. variegatus</i>)	0,08 ± 0,03	0,09 ± 0,03 *	ne	ne	ne	ne	ne	0,09 ± 0,03

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Mn. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Moluscos

En *C. concholepas* y *Fissurella* sp. las mayores concentraciones de Cu se presentaron en los sitios impactados (Tabla 18, Figura Anexo 28, Figura Anexo 29), y en ambos casos se detectaron diferencias significativas entre los sitios impactados y los sitios de estudio (Tabla Anexo 3). *A. purpuratus* solo se presentó en el sitio PV2.

Tabla 18. Media de las concentraciones de Mn en *C.concholepas*, *Fissurella* sp. y *A. purpuratus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Loco (<i>C. concholepas</i>)	0,34 ± 0,13	0,38 ± 0,14	ne	0,57 ± 0,22	0,54 ± 0,20 *	ne	0,44 ± 0,17 *	ne
Lapa (<i>Fissurella</i> sp.)	0,42 ± 0,16	0,38 ± 0,14	ne	1,19 ± 0,46	ne	ne	ne	ne
Ostión (<i>A.purpuratus</i>)	ne	ne	ne	ne	ne	ne	5,04 ± 1,95	ne

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Mn. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Crustáceos

Las concentraciones de Mn fueron mayores en los sitios impactados en las especies *R. polyodon* y *H. plana* (Tabla 19, Figura Anexo 30, Figura Anexo 31), y no se presentaron diferencias significativas entre los sitios (Tabla Anexo 4). Las especies *O. trimaculatus* y *A. punctatus* no se recolectaron en los sitios control.

Tabla 19. Media de las concentraciones de Mn en *R. polyodon*, *H.plana*, *O. trimaculatus* y *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV	Sitio 7
Jaiba peluda (<i>R. polyodon</i>)	0,53 ± 0,20	0,32 ± 0,12 *	ne	0,21 ± 0,08 *	0,23 ± 0,08	ne	1,09 ± 0,42 *	0,37 ± 0,14 *	ne
Jaiba mora (<i>H. plana</i>)	0,23 ± 0,08	0,24 ± 0,09	0,18 ± 0,06	0,27 ± 0,10	ne	ne	ne	ne	ne
Jaiba nadadora (<i>O. trimaculatus</i>)	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	3,68 ± 1,42
Jaiba shangai (<i>A.punctatus</i>)	ne	ne	0,95 ± 0,36	1,64 ± 0,63	ne	ne	ne	ne	ne

- Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Mn. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Algas

La especie *L. trabeculata* presentó la mayor concentración de Mn en VN2 (Tabla 20, Figura Anexo 32). Las especies *Rhodymenia* sp. y *Ulva* sp. no se recolectaron en los sitios control.

Tabla 20. Total de las concentraciones de Mn en *Rhodymenia* sp., *Ulva* sp. y *L. trabeculata* expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Sitios	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Alga roja (<i>Rhodymenia</i> sp.)	ne	ne	ne	ne	1,38 ± 0,53	ne	ne	3,56 ± 1,37
Alga verde (<i>Ulva</i> sp.)	ne	ne	ne	ne	0,73 ± 0,28	ne	ne	ne
Huiro (<i>L. trabeculata</i>)	0,30 ± 0,11	0,29 ± 0,11	0,20 ± 0,11	1,85 ± 0,71	ne	ne	ne	ne

Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

Plomo

- Peces

Las especies *P. chilensis* y *A. punctatus* presentaron la mayor concentración de Mn en VN2 (Tabla 21). La especie *P. chilensis* presentó diferencias significativas al comparar sus concentraciones entre sitios de estudio (Tabla Anexo 5, Figura Anexo 33). La especie *C. variegatus* presentó la mayor concentración en el sitio VV (Figura Anexo 35).

Tabla 21. Media de las concentraciones de Pb en *P.chilensis*, *A. punctatus* y *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Rollizo (<i>P. chilensis</i>)	0,04 ± 0,01	0,08 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,49 ± 0,14 *	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>
Jerguilla (<i>A.punctatus</i>)	0,07 ± 0,02	0,10 ± 0,03	<i>ne</i>	0,52 ± 0,15	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	0,12 ± 0,03
Bilagay (<i>C. variegatus</i>)	0,12 ± 0,03	0,12 ± 0,03 *	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	0,17 ± 0,05

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Pb. *Ne*: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Moluscos

En *C. concholepas* la mayor concentración de Pb se encontró en Q-LN (Tabla 22, Figura Anexo 36), y presentó diferencias significativas al comparar los sitios (Tabla Anexo 5). En el caso de *Fissurella* sp., la mayor concentración se encontró en Control Quintay 1, y no presentó diferencias significativas (Figura Anexo 37). *A. purpuratus* solo se presentó en el sitio PV2.

Tabla 22. Media de las concentraciones de Pb en *C.concholepas*, *Fissurella* sp. y *A. purpuratus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Loco (<i>C. concholepas</i>)	0,08 ± 0,02	0,09 ± 0,02	<i>ne</i>	0,16 ± 0,04	0,13 ± 0,03*	<i>ne</i>	0,14 ± 0,04*	<i>ne</i>
Lapa (<i>Fissurella</i> sp.)	0,33 ± 0,10	0,09 ± 0,02	<i>ne</i>	0,15 ± 0,04	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>
Ostión (<i>A.purpuratus</i>)	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	0,49 ± 0,14	<i>ne</i>

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Pb. *Ne*: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Crustáceos

Las concentraciones de Pb fueron mayores en los sitios impactados en las especies *R. polyodon* y *H. plana* (Tabla 23, Figura Anexo 38, Figura Anexo 39), y no se presentaron diferencias significativas entre los sitios (Tabla Anexo 5). Las especies *O. trimaculatus* y *A. punctatus* no se recolectaron en los sitios control.

Tabla 23. Media de las concentraciones de Pb en *R. polyodon*, *H.plana*, *O. trimaculatus* y *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV	Sitio 7
Jaiba peluda (<i>R. polyodon</i>)	0,10 ± 0,03	0,18 ± 0,05 *	<i>ne</i>	0,13 ± 0,03 *	0,10 ± 0,03	<i>ne</i>	0,15 ± 0,04 *	1,33 ± 0,40 *	<i>ne</i>
Jaiba mora (<i>H. plana</i>)	0,07 ± 0,02	0,11 ± 0,03	0,27 ± 0,08	0,11 ± 0,03	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>
Jaiba nadadora (<i>O. trimaculatus</i>)	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	0,26 ± 0,07
Jaiba shangai (<i>A.punctatus</i>)	<i>ne</i>	<i>ne</i>	0,12 ± 0,03	0,18 ± 0,05	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Pb. *Ne*: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Algas

La especie *L. trabeculata* presentó la mayor concentración de Mn en VN2 (Tabla 24, Figura Anexo 40). Las especies *Rhodymenia* sp. y *Ulva* sp. no se recolectaron en los sitios control.

Tabla 24. Total de las concentraciones de Pb en *Rhodymenia* sp., *Ulva* sp. y *L. trabeculata* expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Sitios	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Alga roja (<i>Rhodymenia</i> sp.)	ne	ne	ne	ne	0,14 ± 0,04	ne	ne	0,20 ± 0,06
Alga verde (<i>Ulva</i> sp.)	ne	ne	ne	ne	0,22 ± 0,06	ne	ne	ne
Huiro (<i>L. trabeculata</i>)	0,10 ± 0,03	0,07 ± 0,02	0,22 ± 0,06	0,24 ± 0,07	ne	ne	ne	ne

Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

Vanadio

- Peces

Las especies *P. chilensis* y *A. punctatus* presentaron la mayor concentración de V en los sitios control (Tabla 25, Figura Anexo 41, Figura Anexo 42). En ninguno de los dos casos se presentaron diferencias significativas al comparar los sitios (Tabla Anexo 7). La especie *C. variegatus* también presentó la mayor concentración en el sitio control (Figura Anexo 43).

Tabla 25. Media de las concentraciones de V en *P.chilensis*, *A. punctatus* y *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Rollizo (<i>P. chilensis</i>)	0,21 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,21 ± 0,01 *	ne	ne	ne	ne
Jerguilla (<i>A.punctatus</i>)	0,23 ± 0,01	0,23 ± 0,01	ne	0,22 ± 0,01	ne	ne	ne	0,21 ± 0,01
Bilagay (<i>C. variegatus</i>)	0,22 ± 0,01	0,19 ± 0,01 *	ne	ne	ne	ne	ne	0,19 ± 0,01

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de V. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Moluscos

La mayor concentración de V se encontró en los sitios impactados en las especies *C. concholepas* y *Fissurella* sp. (Tabla 26, Figura Anexo 44, Figura Anexo 45). En ambos casos las diferencias entre sitios de estudio fueron significativas (Tabla Anexo 6). *A. purpuratus* solo se presentó en el sitio PV2.

Tabla 26. Media de las concentraciones de V en *C.concholepas*, *Fissurella* sp. y *A. purpuratus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Loco (<i>C. concholepas</i>)	0,68 ± 0,04	0,87 ± 0,05	ne	1,16 ± 0,07	1,31 ± 0,08*	ne	1,00 ± 0,06*	ne
Lapa (<i>Fissurella</i> sp.)	0,80 ± 0,04	0,76 ± 0,04	ne	1,08 ± 0,06	ne	ne	ne	ne
Ostión (<i>A.purpuratus</i>)	ne	ne	ne	ne	ne	ne	0,85 ± 0,05	ne

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de V. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Crustáceos

Las concentraciones de V fueron mayores en los sitios impactados en las especies *R. polyodon* y *H. plana* (Tabla 27, Figura Anexo 46, Figura Anexo 47), y no se presentaron diferencias significativas entre los sitios (Tabla Anexo 6). Las especies *O. trimaculatus* y *A. punctatus* no se recolectaron en los sitios control.

Tabla 27. Media de las concentraciones de V en *R. polyodon*, *H.plana*, *O. trimaculatus* y *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV	Sitio 7
Jaiba peluda (<i>R. polyodon</i>)	0,71 ± 0,04	0,54 ± 0,03 *	ne	0,92 ± 0,05 *	0,52 ± 0,03	ne	1,30 ± 0,08 *	0,46 ± 0,02 *	ne
Jaiba mora (<i>H. plana</i>)	0,43 ± 0,02	0,37 ± 0,02	0,52 ± 0,03	1,06 ± 0,06	ne	ne	ne	ne	ne
Jaiba nadadora (<i>O. trimaculatus</i>)	Ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	1,69 ± 0,10
Jaiba shangai (<i>A.punctatus</i>)	ne	ne	0,99 ± 0,06	0,61 ± 0,03	ne	ne	ne	ne	ne

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de V. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Algas

La especie *L. trabeculata* presentó la mayor concentración de V en VN2 (Tabla 28, Figura Anexo 48). Las especies *Rhodymenia* sp. y *Ulva* sp. no se recolectaron en los sitios control.

Tabla 28. Total de las concentraciones de V en *Rhodymenia* sp., *Ulva* sp. y *L. trabeculata* expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Sitios	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Alga roja (<i>Rhodymenia</i> sp.)	ne	ne	ne	ne	0,14 ± 0,04	ne	ne	0,20 ± 0,06
Alga verde (<i>Ulva</i> sp.)	ne	ne	ne	ne	0,22 ± 0,06	ne	ne	ne
Huiro (<i>L. trabeculata</i>)	0,10 ± 0,03	0,07 ± 0,02	0,22 ± 0,06	0,24 ± 0,07	ne	ne	ne	ne

Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

Níquel

Los resultados de las concentraciones de Níquel en biota estuvieron bajo el nivel de detección en todas las especies de biota analizadas.

Zinc

- Peces

Las especies *P. chilensis* y *A. punctatus* presentaron la mayor concentración de Zn en los sitios impactados (Tabla 29, Figura Anexo 49, Figura Anexo 50). La especie *C. variegatus* también presentó la mayor concentración en el sitio impactado (Figura Anexo 51).

Tabla 29. Media de las concentraciones de Zn en *P.chilensis*, *A. punctatus* y *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Rollizo (<i>P. chilensis</i>)	3,10 ± 0,40	3,14 ± 0,41	3,70 ± 0,48	3,56 ± 0,46 *	ne	ne	ne	ne
Jerguilla (<i>A.punctatus</i>)	5,06 ± 0,66	5,06 ± 0,66	ne	4,03 ± 0,53	ne	ne	ne	6,97 ± 0,91
Bilagay (<i>C. variegatus</i>)	2,81 ± 0,36	3,54 ± 0,46 *	ne	ne	ne	ne	ne	4,04 ± 0,53

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Zn. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Moluscos

La mayor concentración de Zn se encontró en los sitios impactados en las especies *C. concholepas* y *Fissurella* sp. (Tabla 30, Figura Anexo 52, Figura Anexo 53). En ambos casos las diferencias entre sitios de estudio fueron significativas (Tabla Anexo 7). *A. purpuratus* solo se presentó en el sitio PV2.

Tabla 30. Media de las concentraciones de Zn en *C.concholepas*, *Fissurella* sp. y *A. purpuratus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Loco (<i>C. concholepas</i>)	10,99 ± 1,44	18,60 ± 2,44	ne	86,38 ± 11,36	38,23 ± 5,03 *	ne	17,59 ± 2,31*	ne
Lapa (<i>Fissurella</i> sp.)	4,20 ± 0,55	5,73 ± 0,75	ne	11,53 ± 1,51	ne	ne	ne	ne
Ostión (<i>A.purpuratus</i>)	ne	ne	ne	ne	ne	ne	28,02 ± 3,68	ne

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Zn. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Crustáceos

Las concentraciones de Zn fueron mayores en los sitios impactados en las especies *R. polyodon* y *H. plana* (Tabla 31, Figura Anexo 54, Figura Anexo 55), y no se presentaron diferencias significativas entre los sitios (Tabla Anexo 7). Las especies *O. trimaculatus* y *A. punctatus* no se recolectaron en los sitios control.

Tabla 31. Media de las concentraciones de Zn en *R. polyodon*, *H.plana*, *O. trimaculatus* y *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV	Sitio 7
Jaiba peluda (<i>R. polyodon</i>)	44,60 ± 5,86	45,41 ± 5,97 *	ne	45,89 ± 6,03 *	52,09 ± 6,85	ne	54,16 ± 7,12 *	37,45 ± 4,92 *	ne
Jaiba mora (<i>H. plana</i>)	51,60 ± 6,79	59,43 ± 7,82	60,67 ± 7,98	59,52 ± 7,83	ne	ne	ne	ne	ne
Jaiba nadadora (<i>O. trimaculatus</i>)	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	47,49 ± 6,24
Jaiba shangai (<i>A.punctatus</i>)	ne	ne	39,51 ± 5,19	29,33 ± 3,85	ne	ne	ne	ne	ne

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Zn. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Algas

La especie *L. trabeculata* presentó la mayor concentración de Zn en VN2 (Tabla 32, Figura Anexo 56). Las especies *Rhodymenia* sp. y *Ulva* sp. no se recolectaron en los sitios control.

Tabla 32. Total de las concentraciones de Zn en *Rhodymenia* sp., *Ulva* sp. y *L. trabeculata* expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Sitios	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Alga roja (<i>Rhodymenia</i> sp.)	ne	ne	ne	ne	7,38 ± 0,97	ne	ne	9,26 ± 1,21
Alga verde (<i>Ulva</i> sp.)	ne	ne	ne	ne	2,51 ± 0,33	ne	ne	ne
Huiro (<i>L.</i> <i>trabeculata</i>)	0,83 ± 0,10	1,61 ± 0,21	1,77 ± 0,23	3,35 ± 0,44	ne	ne	ne	ne

Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

Mercurio

- Peces

Las especies *P. chilensis* y *A. punctatus* presentaron la mayor concentración de Zn en VN2 (Tabla 33, Figura Anexo 57, Figura Anexo 58), y no se presentaron diferencias significativas al comparar los sitios (Tabla Anexo 8). La especie *C. variegatus* presentó la mayor concentración en Control Quintay 1 (Figura Anexo 59).

Tabla 33. Media de las concentraciones de Hg en *P.chilensis*, *A. punctatus* y *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Rollizo (<i>P. chilensis</i>)	0,09 ± 0,001	0,15 ± 0,01	0,07 ± 0,006	0,19 ± 0,02 *	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>
Jerguilla (<i>A.punctatus</i>)	0,005 ± 0,0001	0,11 ± 0,004	<i>ne</i>	0,18 ± 0,002	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	0,05 ± 0,0003
Bilagay (<i>C. variegatus</i>)	0,13 ± 0,003	0,10 ± 0,0008 *	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	0,12 ± 0,001

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Hg. *Ne*: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Moluscos

La mayor concentración de Hg se encontró en los sitios impactados en las especies *C. concholepas* y *Fissurella* sp. (Tabla 34, Figura Anexo 60, Figura Anexo 61). En ambos casos las diferencias entre sitios de estudio fueron significativas (Tabla Anexo 8). *A. purpuratus* solo se presentó en el sitio PV2.

Tabla 34. Media de las concentraciones de Hg en *C.concholepas*, *Fissurella* sp. y *A. purpuratus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Loco (<i>C. concholepas</i>)	0,006 ± 0,0001	0,006 ± 0,00009	<i>ne</i>	0,12 ± 0,0006	0,02 ± 0,0005*	<i>ne</i>	0,05 ± 0,001*	<i>ne</i>
Lapa (<i>Fissurella</i> sp.)	0,001 ± 0,00005	0,001 ± 0,00003	<i>ne</i>	0,003 ± 0,00008	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>
Ostión (<i>A.purpuratus</i>)	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	0,014 ± 0,0003	<i>ne</i>

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Hg. *Ne*: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Crustáceos

Las concentraciones de Hg fueron mayores en los sitios impactados en la especie *R. polyodon*, evidenciando diferencias significativas entre los sitios (Tabla Anexo 8, Figura Anexo 62). La especie *H. plana* presentó concentraciones similares en los sitios control e impactados, sin diferencias significativas (Tabla 35, Tabla Anexo 8). Las especies *O. trimaculatus* y *A. punctatus* no se recolectaron en los sitios control.

Tabla 35. Media de las concentraciones de Hg en *R. polyodon*, *H.plana*, *O. trimaculatus* y *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV	Sitio 7
Jaiba peluda (<i>R. polyodon</i>)	0,02 ± 0,0005	0,01 ± 0,0002 *	ne	0,04 ± 0,0004 *	0,05 ± 0,0006	ne	0,13 ± 0,0004 *	0,03 ± 0,0002 *	ne
Jaiba mora (<i>H. plana</i>)	0,03 ± 0,001	0,06 ± 0,001	0,06 ± 0,0004	0,06 ± 0,001	ne	ne	ne	ne	ne
Jaiba nadadora (<i>O. trimaculatus</i>)	ne	ne	ne	ne	ne	Ne	ne	ne	0,13 ± 0,001
Jaiba shangai (<i>A.punctatus</i>)	ne	ne	0,006 ± 0,00001	0,006 ± 0,00005	ne	ne	ne	ne	ne

Asterisco (*) indica que los valores se obtuvieron de una sola muestra, por lo tanto el valor expresado es la concentración total de Hg. Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

- Algas

La especie *L. trabeculata* presentó la mayor concentración de Zn en VN2 (Tabla 36, Figura Anexo 64). Las especies *Rhodymenia* sp. y *Ulva* sp. no se recolectaron en los sitios control.

Tabla 36. Total de las concentraciones de Zn en *Rhodymenia* sp., *Ulva* sp. y *L. trabeculata* expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Sitios	Control Quintay 1	Control Quintay 2	VN1	VN2	Q-LN	PV1	PV2	VV
Alga roja (<i>Rhodymenia</i> sp.)	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	0,002 ± 0,0007	<i>ne</i>	<i>ne</i>	0,002 ± 0,0001
Alga verde (<i>Ulva</i> sp.)	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	0,002 ± 0,0001	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>
Huiro (<i>L.</i> <i>trabeculata</i>)	0,0005 ± 0,00002	0,0006 ± 0,0003	0,001 ± 0,0002	0,03 ± 0,0001	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>	<i>ne</i>

Ne: la especie no fue encontrada en ese sitio

Comparación con las normas de límites máximos

Los Decretos y Normas nacionales e internacionales que se utilizaron para la comparación de las concentraciones de metales pesados se detallan en la Tabla 37. Se seleccionaron las normas, decretos y reglamentos que establecen los límites máximos para uno o más metales de interés de este estudio.

- 1) El Decreto 977: Reglamento Sanitario de los Alimentos (Ministerio de salud, Chile): establece las condiciones sanitarias de los alimentos para proteger la salud y nutrición de la población y garantizar el suministro de productos sanos e inocuos.
- 2) La Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009: Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba: establece los requisitos sanitarios para las áreas de captura de moluscos bivalvos; los establecimientos que procesan productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados, incluyendo las embarcaciones de pesca y recolección, así como las especificaciones sanitarias que deben cumplir dichos productos.
- 3) Reglamento (CE) n°1881/2006 de la comisión, Unión Europea: fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios a fin de garantizar una protección eficaz de la salud pública.
- 4) Australia New Zealand Food Standards Code – Schedule 19 – Maximum levels of contaminants and natural toxicants: establece el nivel máximo de contaminantes y toxinas naturales permitidos en diversos alimentos, estableciendo requisitos legales para el etiquetado, composición, seguridad, manipulación, producción primaria y procesamiento de alimentos.
- 5) CODEX Standard 193-1995: establece normas alimentarias internacionales para contribuir a la seguridad, calidad y equidad del comercio de alimentos, y su principal objetivo es proteger a los consumidores. Este programa está establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Tabla 37. Normas y Decretos de límites máximos de contaminantes permitidos en alimentos

Decreto / Norma	Metal	Especies	Límite máximo (mg/kg)
DECRETO 977. Reglamento Sanitario de los Alimentos. Ministerio de Salud. Chile	Hg	Pescados no depredadores (frescos, procesados o conservados)	0,5
		Pescados depredadores (frescos, procesados o conservados)	1,0
		Mariscos (frescos, procesados o conservados)	0,5
	Pb	Pescados depredadores y no depredadores (frescos, procesados o conservados)	2,0
		Mariscos (frescos, procesados o conservados)	2,0
NORMA Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.	As total	Crustáceos y Moluscos bivalvos (frescos, refrigerados y congelados)	80
	Cd	Moluscos (frescos, refrigerados y congelados)	2,0
		Productos de la pesca procesados	0,5
	Pb	Otras	0,5
Pescados y crustáceos		0,5	
Reglamento (CE) No 1881/2006. Unión Europea	Cd	Moluscos	1,0
		Carne de pescado	0,05
		Crustáceos (apéndices y abdomen)	0,5
	Hg	Carne de pescado	0,5
		Crustáceos (excluidas ciertas especies)	0,5
		Gasterópodos	0,3
	Pb	Carne de pescado	0,3
		Crustáceos (excluidas ciertas especies)	0,5
		Moluscos bivalvos	1,5
Australia New Zealand Food Standards Code – Schedule 19	Cd	Moluscos	2,0
	Pb	Peces	0,5
		Moluscos	2,0
	Hg	Peces	1,5*
Moluscos		1,5*	
CODEX Standard 193-1995	Cd	Crustáceos	1,5*
		Moluscos Bivalvos	2
	As total	Cefalópodos	2
Pb	Pescados	3,5	
		Pescados	0,3

Asterisco (*): se sugiere un nivel medio de Hg por muestra de máximo 0,5 mg/kg

Comparación de los límites máximos

Ninguna norma hace referencia a los límites máximos de metales establecidos para especies de algas marinas.

1. Cadmio

- **Peces:** El único reglamento que establece un límite máximo de Cd para peces es el Reglamento (CE) n°1881/2006 (Unión Europea), que establece un máximo de 0,05 mg/kg. Las especies *P. chilensis* y *A. punctatus* superaron una o más normas. En el caso de la especie *C. variegatus* se podrían sugerir valores que pueden superar una o más normas.

Rollizo (*Pinguipes chilensis*)

Superó el límite en el sitio VN2, correspondiente a la concentración máxima de un solo ejemplar (Figura 4).

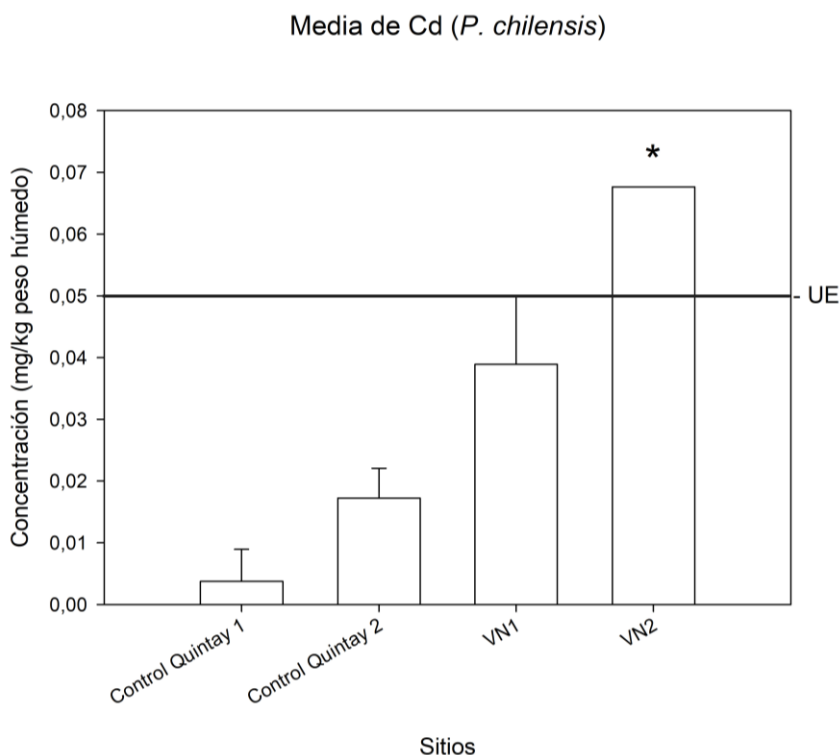


Figura 4. Límite máximo de las concentraciones de Cd en *P. chilensis*, expresadas en mg/kg (peso húmedo).
UE: Reglamento (CE) No 1881/2006, Unión Europea

Jerguilla (*Aplodatylys punctatus*)

Al evaluar la media de las concentraciones se establece que esta especie se encontró al límite del valor establecido por la Unión Europea en el sitio VN2 (Figura 5).

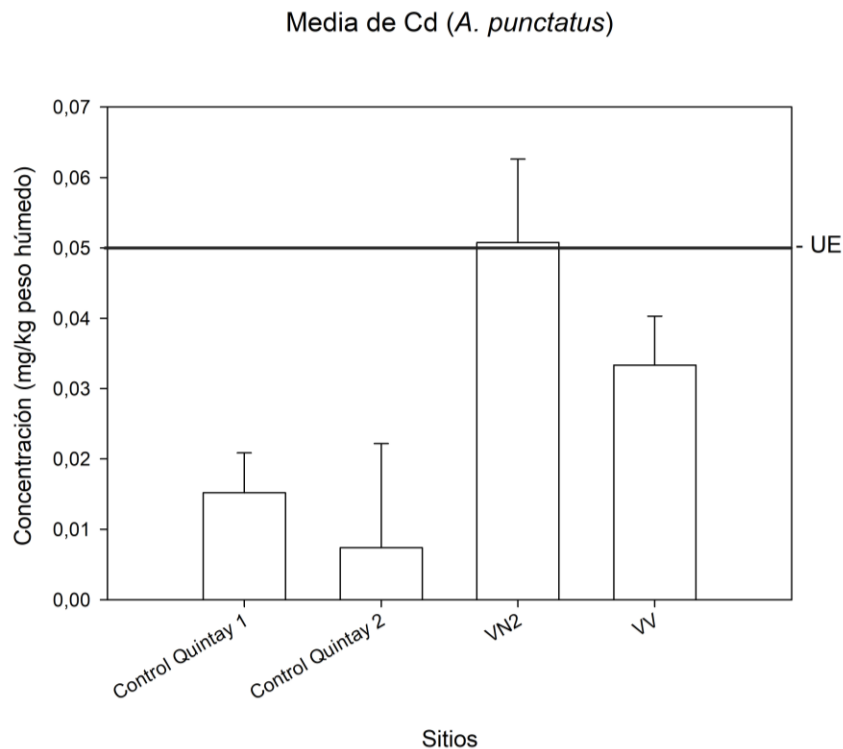


Figura 5. Límite máximo de las concentraciones de Cd en *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo).
UE: Reglamento (CE) No 1881/2006, Unión Europea

Bilagay (*Cheilodactylus variegatus*)

Los valores de las concentraciones de Cd se acercan al límite del valor establecido por la Unión Europea en el sitio VV (Figura 6).

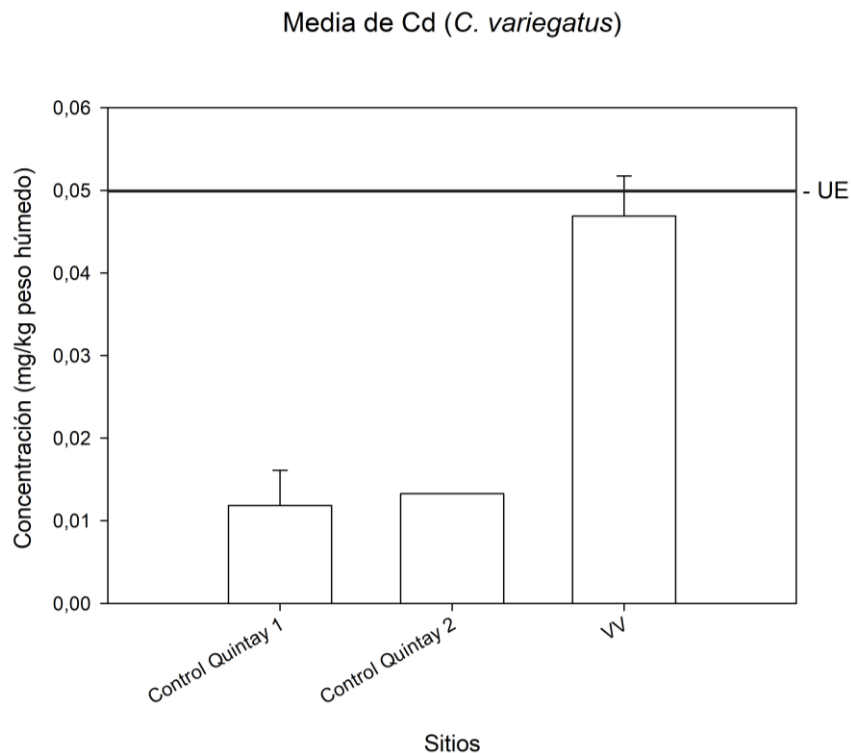


Figura 6. Límite máximo de las concentraciones de Cd en *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). UE: Reglamento (CE) No 1881/2006, Unión Europea

- **Moluscos:** Los reglamentos que establecen un límite máximo de Cd para moluscos son la norma Oficial Mexicana (máximo de 2,0 mg/kg), el Reglamento (CE) n°1881/2006 (Unión Europea) (máximo 1,0 mg/kg para moluscos bivalvos), Australia New Zealand Food Estándar Code (máximo 2,0 mg/kg) y CODEX Estándar (máximo 2,0 mg/kg). Las especies *C. concholepas* y *A. purpuratus* superaron una o más normas. El género *Fissurella* sp. no superó ninguna.

Loco (*Concholepas concholepas*)

Al evaluar la media de la concentración de Cd se establece que esta especie superó el límite máximo de 2,0 mg/kg en el Control Quintay 2 (Figura 7).

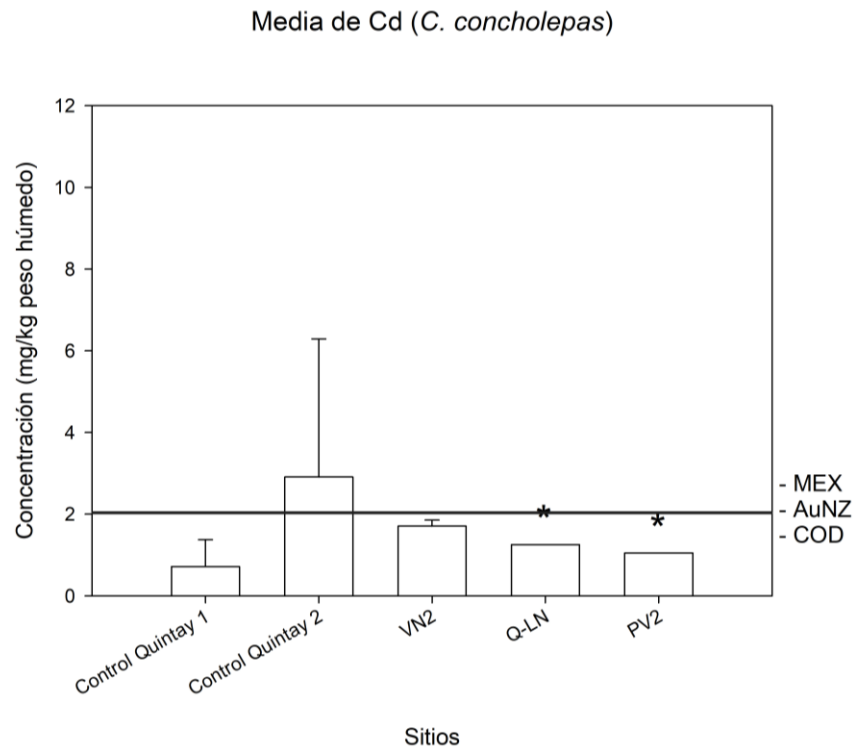


Figura 7. Límite máximo de las concentraciones de Cd en *C. concholepas*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). MEX: NORMA Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009. AuNZ: Australia New Zealand Food Standard Code. COD: CODEX Standard 193-1995.

Ostión (*Argopecten purpuratus*)

Al evaluar la media de la concentración de Cd en las muestras compuestas, se establece que esta especie superó el límite máximo de 2,0 mg/kg establecido para moluscos en general, y superó, además, el límite de 1,0 mg/kg establecido para moluscos bivalvos (Figura 8).

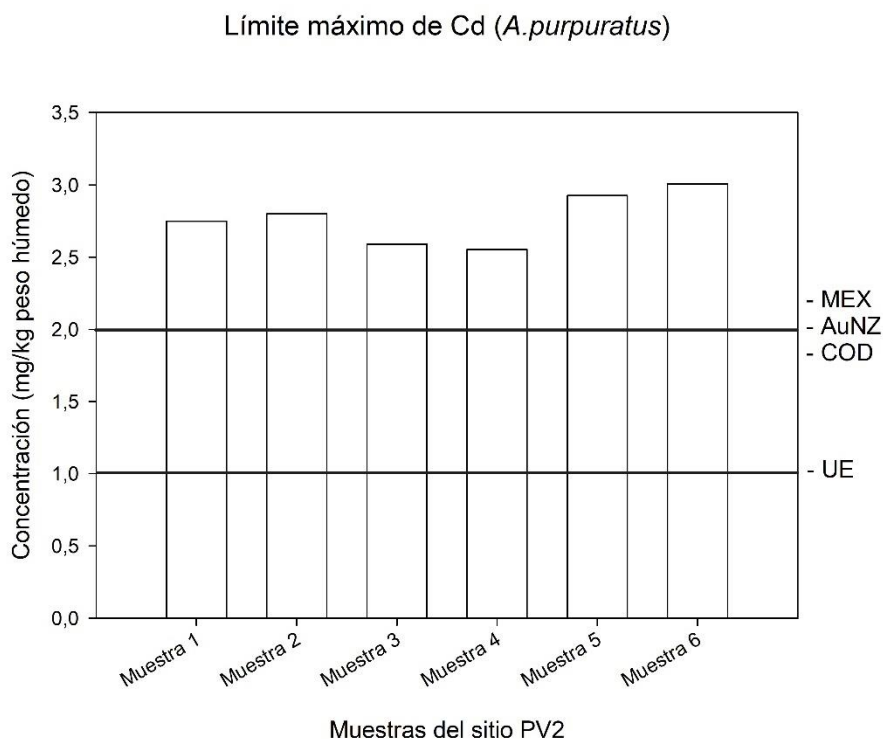


Figura 8. Límite máximo de las concentraciones de Cd en *A. purpuratus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). MEX: NORMA Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009. AuNZ: Australia New Zealand Food Standar Code. COD: CODEX Standard 193-1995. UE: Reglamento (CE) No 1881/2006, Unión Europea

- **Crustáceos:** El único reglamento que establece un límite máximo de Cd para crustáceos es el Reglamento (CE) n°1881/2006 (Unión Europea), que establece un máximo de 0,5 mg/kg. Las especies *O. trimaculatus*, *R. polyodon* y *A. punctatus* superaron una o más normas. La especie *H. plana* no superó ninguna.

Jaiba nadadora (*Ovalipes trimaculatus*)

Al evaluar la concentración total de cada ejemplar del Sitio 7, se establece que cuatro de seis ejemplares superaron el límite máximo de 0,5 mg/kg (Figura 9).

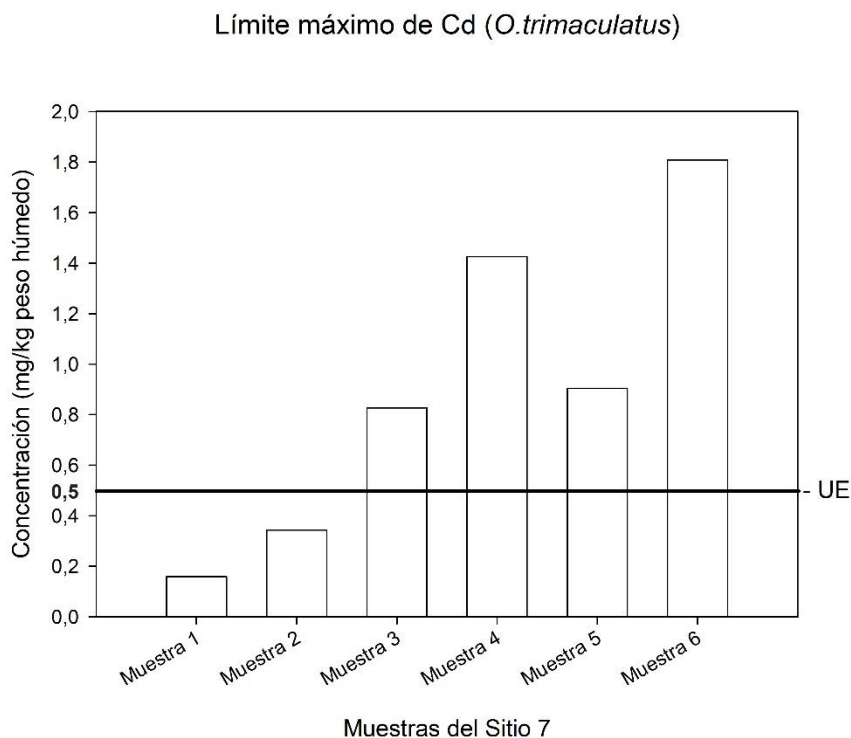


Figura 9. Límite máximo de las concentraciones de Cd en *O. trimaculatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). UE: Reglamento (CE) No 1881/2006, Unión Europea

Jaiba peluda (*Romaleon polyodon*)

En el sitio PV2, que representa la concentración total de Cd de un solo ejemplar, presentó la mayor concentración de Cd, superando en varias unidades el límite de 0,5 mg/kg (Figura 10). Todos los otros sitios también superaron la concentración límite, a excepción del sitio Control Quintay 2. Cabe señalar, que los sitios Control Quintay 1 y Q-LN hacen referencia a la media de las concentraciones de Cd de tres y ocho ejemplares, respectivamente, mientras que en los otros sitios el valor indicado es el valor total de la concentración de un solo ejemplar.

Media de Cd (*R. polyodon*)

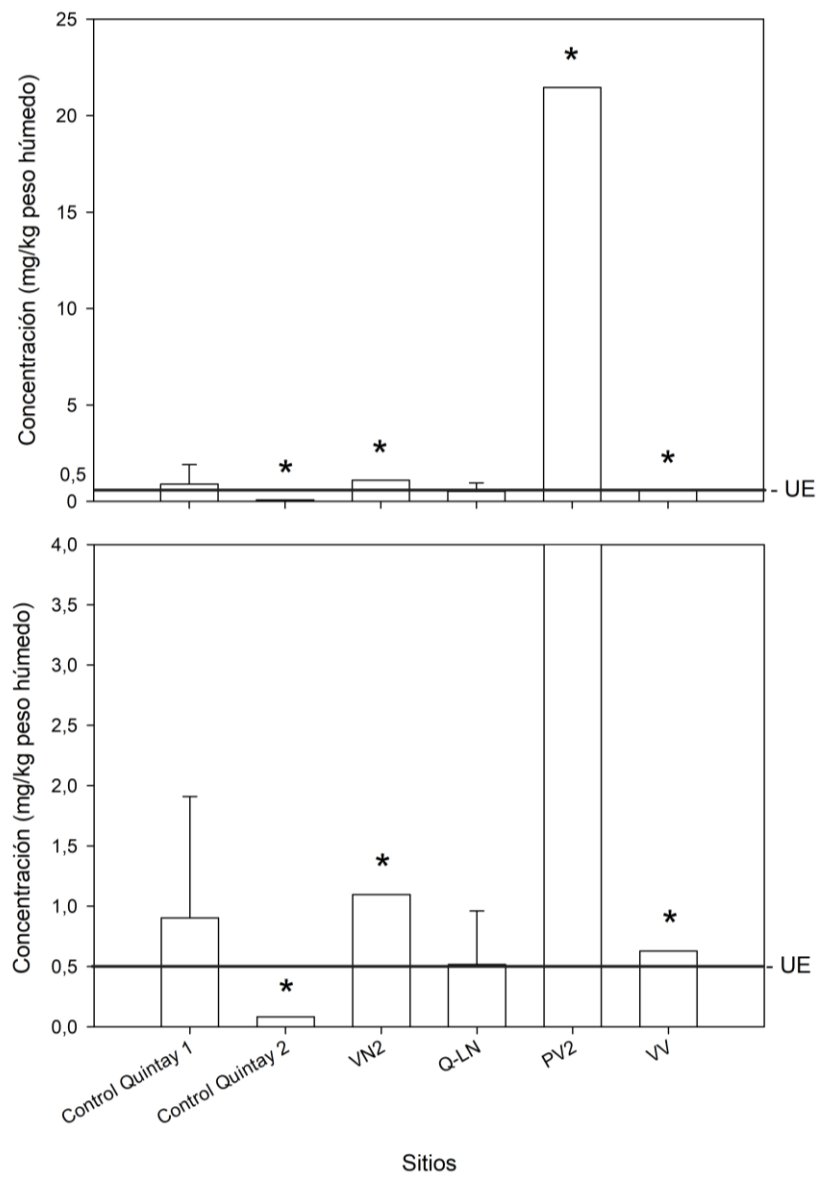


Figura 10. Límite máximo de las concentraciones de Cd en *R. polyodon*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). UE: Reglamento (CE) No 1881/2006, Unión Europea.

Jaiba shangai (*Allopetrolisthes punctatus*)

Al evaluar la media de la concentración de Cd de las muestras compuestas de cada sitio, se establece que la muestra del sitio VN2 superó el límite de 0,5 mg/kg (Figura 11).

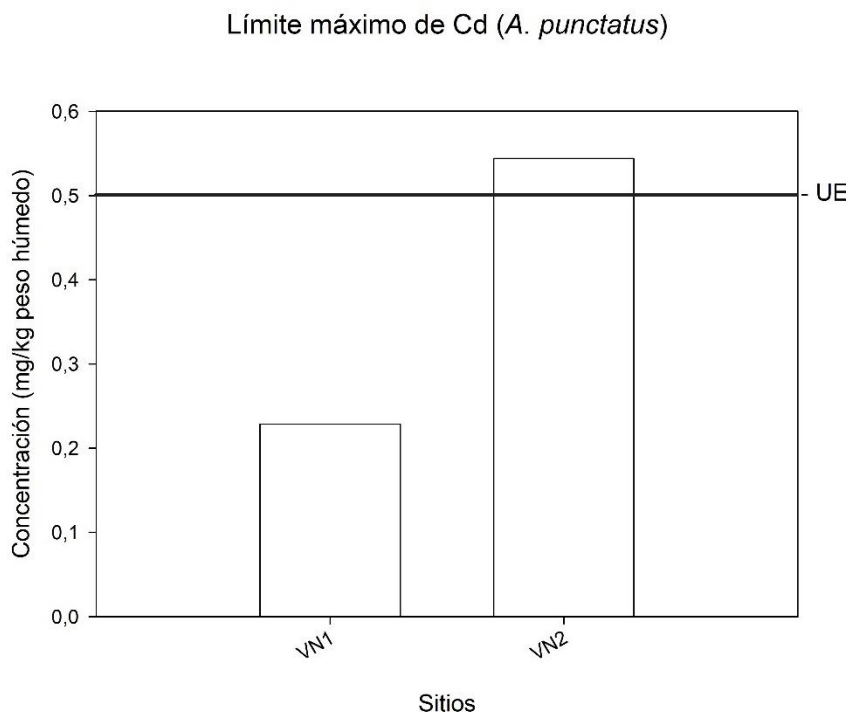


Figura 11. Límite máximo de las concentraciones de Cd en *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). UE: Reglamento (CE) No 1881/2006, Unión Europea

2. Plomo

- **Peces:** Las normas que establecen límites máximos de Pb en peces son el Decreto 977 del Ministerio de Salud (Chile) (2,0 mg/kg), la Norma Oficial Mexicana (0,5 mg/kg), el Reglamento (CE) n°1881/2006 (Unión Europea) (0,3 mg/kg), Australia New Zealand Food Standar Code (0,5 mg/kg), y CODEX (0,3 mg/kg). Las especies *P. chilensis* y *A. punctatus* superaron una o más normas. La especie *C. variegatus* no superó ninguna.

Rollizo (*Pinguipes chilensis*)

Superó el límite en el sitio VN2, correspondiente a la concentración de un solo ejemplar (Figura 12A). El límite máximo establecido por el Decreto 977 supera lo establecido por las otras normas (Figura 12B).

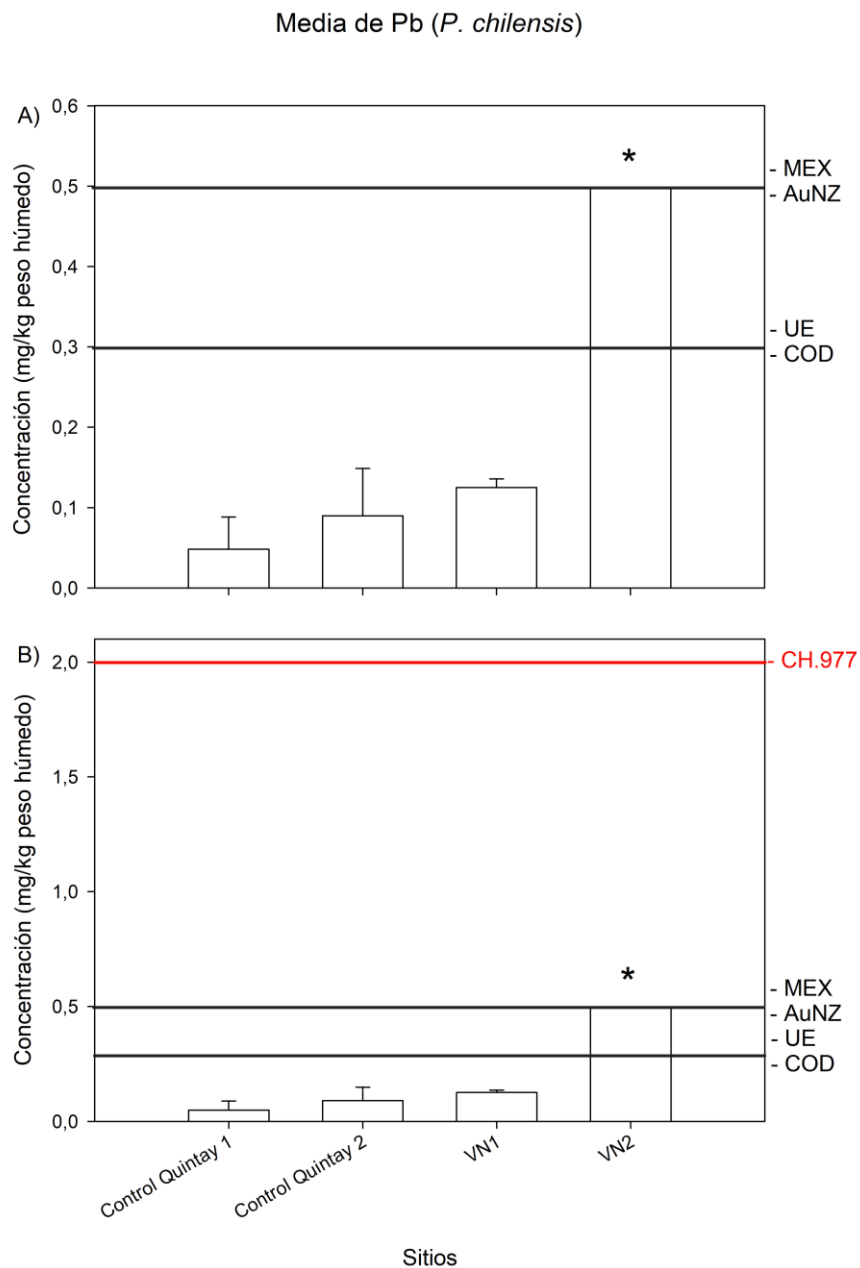


Figura 12. Límite máximo de las concentraciones de Pb en *P. chilensis*, expresadas en mg/kg (peso húmedo).

MEX: NORMA Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009. AuNZ: Australia New Zealand Food Standar Code.

COD: CODEX Standard 193-1995. UE: Reglamento (CE) No 1881/2006, Unión Europea. CH.977: DECRETO 977. Reglamento Sanitario de los Alimentos.

Jerguilla (*Aplodatylys punctatus*)

Al comparar la media de las concentraciones, se observa que el sitio VN2 superó los valores establecidos (Figura 13). El límite máximo establecido por el Decreto 977 supera lo establecido por las otras normas (Figura 13B).

Media de Pb (*A. punctatus*)

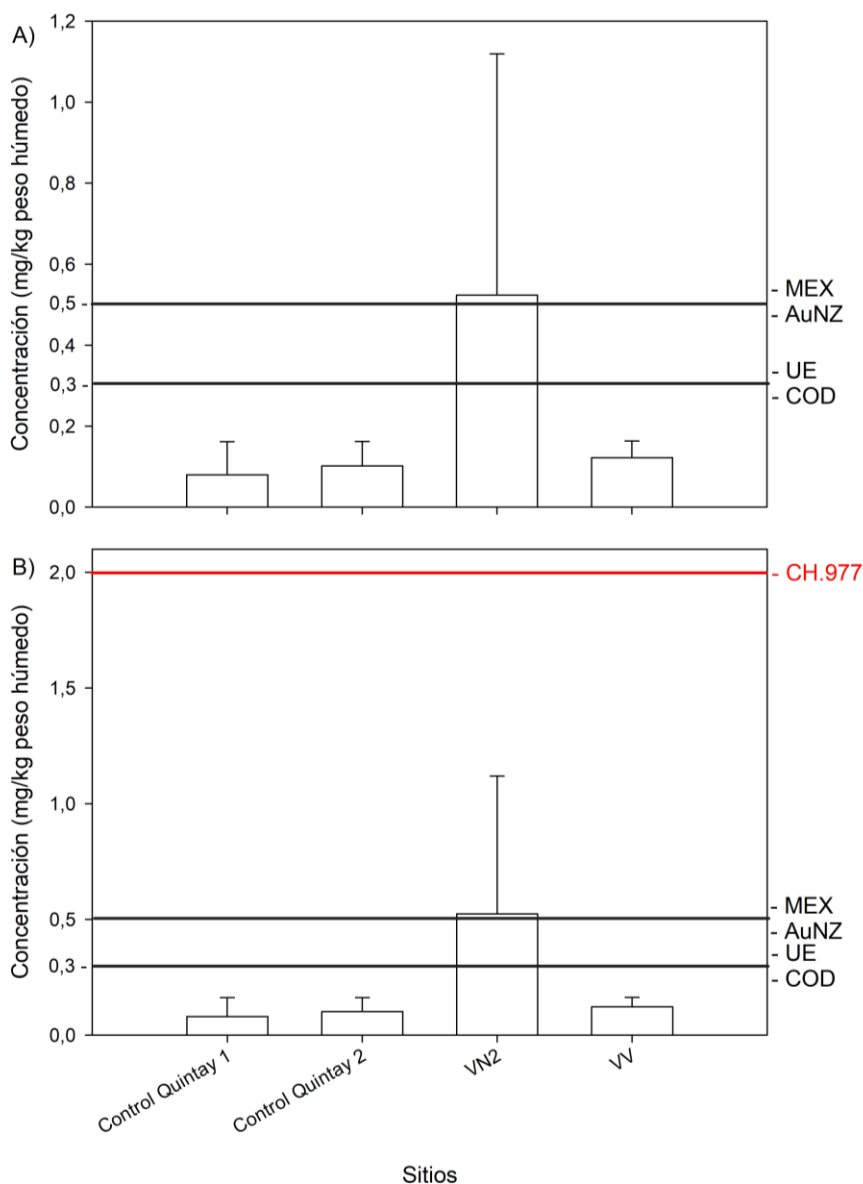


Figura 13. Límite máximo de las concentraciones de Pb en *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). MEX: NORMA Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009. AuNZ: Australia New Zealand Food Standard Code. COD: CODEX Standard 193-1995. UE: Reglamento (CE) No 1881/2006, Unión Europea. CH.977: DECRETO 977. Reglamento Sanitario de los Alimentos.

- **Moluscos:** Las normas que establecen límites máximos de Pb en moluscos son el Decreto 977 del Ministerio de Salud (Chile) (2,0 mg/kg), la Norma Oficial Mexicana (1,0 mg/kg), el Reglamento (CE) n°1881/2006 (Unión Europea) (1,5 mg/kg para moluscos bivalvos) y Australia New Zealand Food Standar Code (2,0 mg/kg). Ninguna especie de molusco superó lo establecido por las normas.
- **Crustáceos:** Las normas que establecen límites máximos de Pb en crustáceos son el Decreto 977 del Ministerio de Salud (Chile) (2,0 mg/kg), la Norma Oficial Mexicana (0,5 mg/kg) y el Reglamento (CE) n°1881/2006 (Unión Europea) (0,5 mg/kg). La especie *O. trimaculatus* superó una o más normas. En la especie *H. plana*, se podrían sugerir valores que superen una o más normas. Las especies *R. polyodon* y *A. punctatus* no superaron ninguna norma.

Jaiba nadadora (*Ovalipes trimaculatus*)

Al evaluar la concentración total de cada ejemplar del Sitio 7, se establece que un ejemplar superó el límite máximo de 0,5 mg/kg (Figura 14A). El límite máximo establecido por el Decreto 977 supera lo establecido por las otras normas (Figura 14B).

Límite máximo de Pb (*O. trimaculatus*)

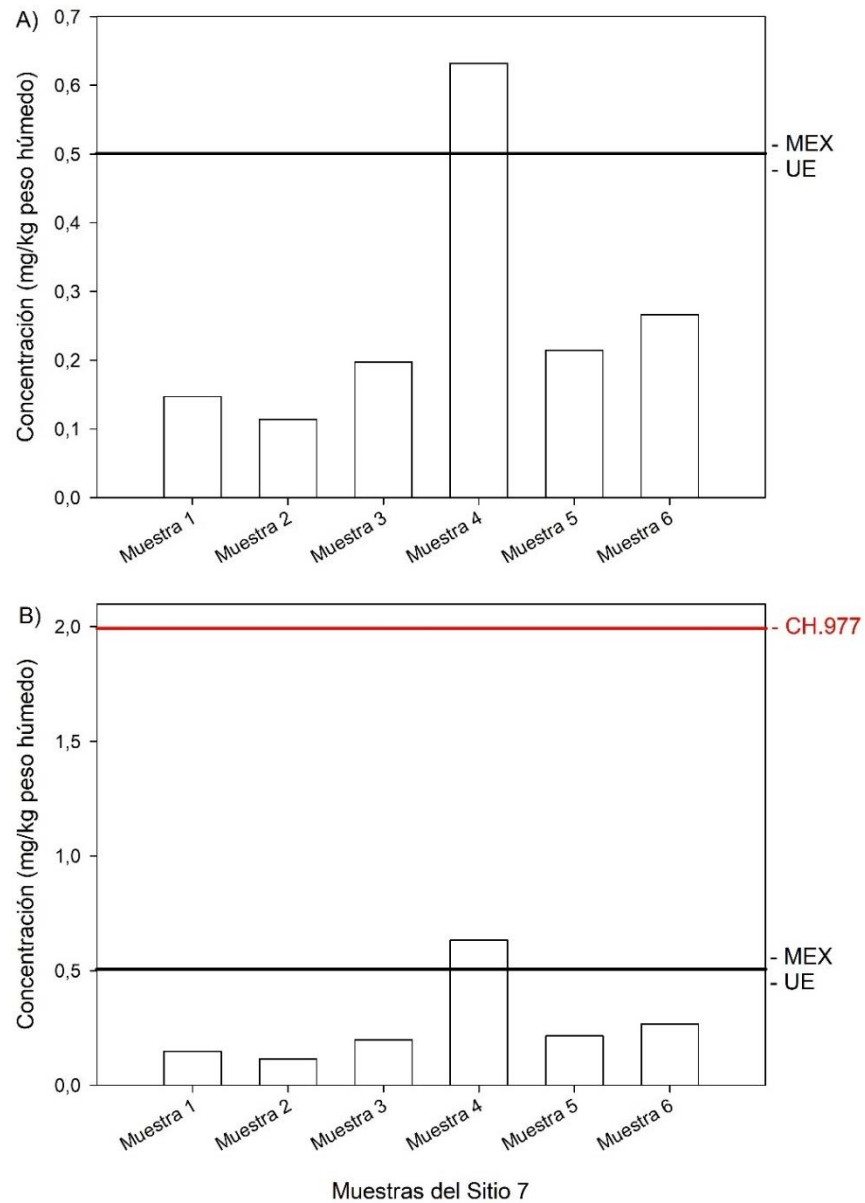


Figura 14. Límite máximo de las concentraciones de Pb en *O. trimaculatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). MEX: NORMA Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009. UE: Reglamento (CE) No 1881/2006, Unión Europea. CH.977: DECRETO 977. Reglamento Sanitario de los Alimentos.

Jaiba mora (*Homalaspis plana*)

Los valores de las concentraciones de Cd se acercan al límite del valor establecido por la Norma Mexicana y la Unión Europea en el sitio VN1 (Figura 15).

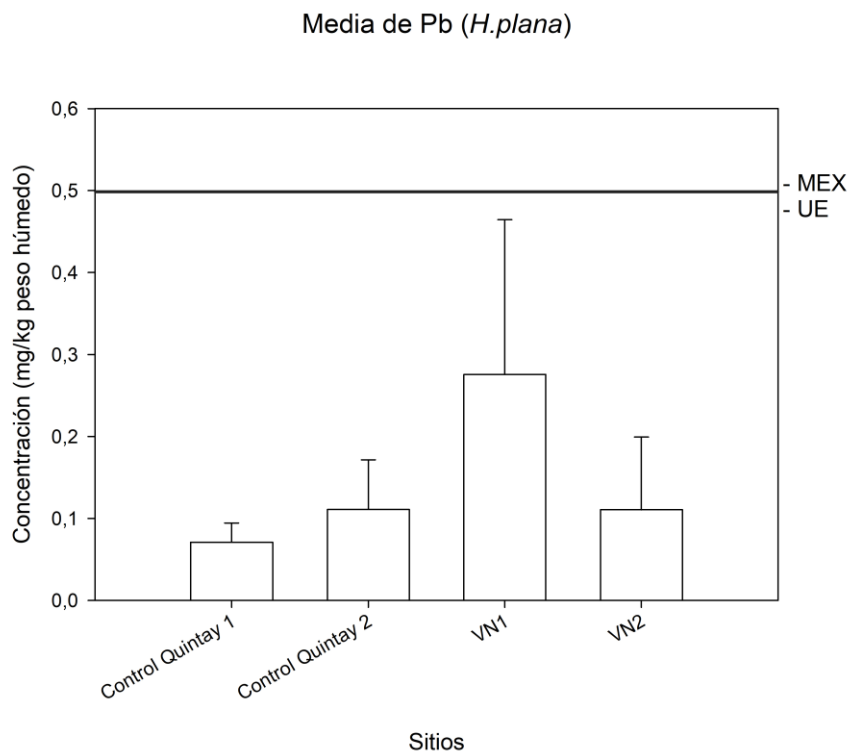


Figura 15. Limite máximo de las concentraciones de Pb en *H. plana*, expresadas en mg/kg (peso húmedo).
UE: Reglamento (CE) No 1881/2006, Unión Europea.

3. Mercurio

- **Peces:** Las normas que establecen límites máximos de Hg en peces son el Decreto 977 del Ministerio de Salud (Chile) (0,5 mg/kg), el Reglamento (CE) n°1881/2006 (Unión Europea) (0,5 mg/kg) y Australia New Zealand Food Standar Code (1,5 mg/kg). Ninguna especie sobrepasó los valores establecidos.
- **Moluscos:** Las normas que establecen límites máximos de Hg en moluscos son el Decreto 977 del Ministerio de Salud (Chile) (0,5 mg/kg), el Reglamento



(CE) n°1881/2006 (Unión Europea) (0,3 mg/kg para moluscos gastrópodos) y Australia New Zealand Food Standar Code (1,5 mg/kg). Ninguna especie sobrepasó los valores establecidos.

- **Crustáceos:** Las normas que establecen límites máximos de Hg en crustáceos son el Decreto 977 del Ministerio de Salud (Chile) (0,5 mg/kg), el Reglamento (CE) n°1881/2006 (Unión Europea) (0,5 mg/kg) y Australia New Zealand Food Standar Code (1,5 mg/kg). Ninguna especie sobrepasó los valores establecidos.

Discusión

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Al analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se determinó que el sitio VN1, ubicado al norte de Ventanas, presentó los mayores niveles de coliformes fecales, con concentraciones de entre 5400 y 35000 NMP/100 mL. A su vez, este resultado se correlaciona con la menor oxigenación detectada (86,9%) de todos los sitios de estudio, lo que podría estar asociado a una mayor actividad microbiana. En esta zona se encuentra un emisario no registrado (ilegal) de 30 cm de diámetro que descarga aguas residuales, sin tratamiento primario ni secundario, directamente en el intermareal (Sáez et al., 2012a). Cabe destacar, que las muestras utilizadas en este estudio se obtuvieron a aproximadamente 50 m de distancia del emisario, por lo que se debe considerar el factor de dilución asociado a la distancia del emisario.

Los niveles de coliformes fecales registrados superan los determinados por la norma de emisión D.S n°90/2000, que establece las normas de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, e indica que los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litoral (ZPL) van entre 70 y 1000 coliformes fecales NMP/100 mL, siendo 70 el límite máximo en áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos. Además, la Norma Chilena NCh.1333 de “Requisitos de calidad de agua para diferentes usos”, establece que en aguas de recreación con contacto directo (natación, buceo, esquí acuático) el límite máximo permitido es de 1000 NMP/100 mL. En este contexto, es importante mencionar que el sitio VN1 se encuentra a, aproximadamente, 1 km al sur de la AMERB Ventanas (Punta Lunes), decretada en el artículo 1 del D.S n°652 de 1997. En esta área de manejo se extraen moluscos (*C. concholepas*, *Fissurella* sp.), equinodermos (*Loxechinus albus*) y algas pardas (*L. trabeculata*, *L. spicata*). Además, durante el año 2021 se aprobó la autorización de actividades de acuicultura experimental relacionadas con el cultivo de la ostra japonesa (*Crassostrea gigas*).

Los moluscos bivalvos, al ser filtradores, pueden concentrar los contaminantes presentes en el agua, incluyendo bacterias y virus patógenos (Mudadu et al., 2022). Los patógenos filtrados pueden sobrevivir en el cuerpo del molusco por varios días, por lo que el consumo de mariscos que crecen en aguas contaminadas representa un vector para infecciones, aumentando la exposición y riesgo para la salud humana (Donia et al., 2012).

En la bahía, se presentan flujos de agua salientes hacia el norte, dependiendo de la variabilidad e intensidad del viento, sumado a las corrientes oceánicas (Letelier & Pinilla, 2016). Por lo tanto, existe la probabilidad de que, debido a su proximidad, las descargas de aguas residuales del emisario en el sitio de estudio VN1 puedan generar un impacto en la producción de moluscos de la AMERB Punta Lunes.

Metales en sedimentos

Los sedimentos marinos tienen un rol clave en la acumulación y transformación de contaminantes en los ecosistemas bentónicos (Candfield, 1993). Los sedimentos presentan un enriquecimiento de metales traza debido a procesos naturales, como la erosión de rocas y del suelo. Sin embargo, las actividades humanas incrementan la concentración de estos y otros metales (Hernández-Crespo & Martín, 2015). Esto se refleja en la diferencia en las concentraciones de Cr, Cu, Mn, Pb, Ni, Zn, y Hg entre los sitios control y los sitios de estudio (Tabla 3).

Al evaluar las concentraciones de metales dentro del sitio de estudio, se observó que algunos metales presentaron una menor concentración en comparación con estudios anteriores. Los valores de Cd registrados en el sitio VN1 son similares a los registrados anteriormente en su cercanía, en donde las concentraciones de Cd y otros metales (Cr, Cu, Mn, Pb, Ni y Zn) resultaron similares en el año 2009 (Sáez et al., 2012b) y menores a los informados en la bahía, que variaron entre 0,1 – 0,8 mg/kg en el año 2012 (MMA, 2013). Las concentraciones medias de Cr fueron coincidentes con informes previos, especialmente aquellos reportados en el año 2015 y 2020 (Parra et al., 2015; Salamanca et al., 2021).

Las concentraciones medias de Cu encontradas en este estudio fueron similares a reportes recientes (Salamanca et al., 2021), pero menores a las informadas en 2015 (Parra et al., 2015). En este año, se detectaron valores de 213 mg/kg de Cu en un sitio cercano al sitio VN2 y 150 mg/kg, 371 mg/kg y 129 mg/kg en sitios cercanos a Q-LN, PV1 y PV2 de Cu, respectivamente (Parra et al., 2015). Las concentraciones de Mn resultaron menores en comparación a informes del año 2015, que presentaron valores de 398 mg/kg en las cercanías del sitio VN2, 509 mg/kg en el sitio Q-LN, 633 mg/kg en el sitio PV1 y 378 mg/kg en el sitio PV2 (Parra et al., 2015).

Para el caso del Pb, las concentraciones fueron inferiores en comparación a las informadas anteriormente en la bahía (24,7 mg/kg. MMA, 2013; 25 mg/kg Parra et al., 2015), pero similares al reporte de Salamanca et al. (2021). Las concentraciones medias de V resultaron menores a los registrados por Parra y colaboradores (2015), que en un sitio cercano a Q-LN, PV1 y PV2 detectaron 127, 171 y 93 mg/kg, respectivamente.

Las concentraciones de Ni fueron menores en comparación a datos anteriores, los que registraron entre 8 y 12 mg/kg en sitios cercanos a los sitios de estudio (Parra et al., 2015), y un rango entre 4,2 y 10,5 mg/kg en la bahía (Salamanca et al., 2021).

Las concentraciones de Zn variaron en rangos intermedios, pero con valores máximos menores a estudios anteriores, en los que se determinó un amplio rango de variación de Zn de entre 1,23 y 50,8 mg/kg en la bahía (MMA, 2013), y de hasta 158 mg/kg de concentración de Zn en un sitio cercano al sitio PV1 (Parra et al., 2015).

Las concentraciones medias de Hg se encontraron en un rango similar a registros previos en la bahía, en la que se determinó un rango de Hg de 0,01 – 0,4 mg/kg (MMA, 2013) y 0,014 – 0,085 mg/kg (Salamanca et al., 2021).

Al comparar los resultados con los límites permitidos en las Guías Canadienses de Calidad de Sedimentos (CEQGs) y en las Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA Q-P) se determinó que las concentraciones de Cu superaron los valores de las CEQGs en los 6 sitios de estudio, mientras que en el sitio PV2

superaron lo establecido en las NSCA Q-P. Por otra parte, las concentraciones de V superaron el valor establecido en las NSCA en 4 de 6 sitios de la bahía Quintero-Puchuncaví. Los controles también superan los valores señalados para V; sin embargo, el valor establecido en las NSCA corresponde exclusivamente para la bahía Quintero-Puchuncaví. Los altos niveles de V en los sitios control se pueden asociar a la combustión de aceites combustibles (Gad & Pham, 2014), ya que ambos controles se encuentran en los alrededores de puertos artesanales de carga y descarga con alto tráfico marítimo.

Metales en biota

La ingesta de metales pesados en animales acuáticos depende del hábitat y estilo de vida y su nivel trófico. Los procesos de acumulación de metales en tejidos y órganos son especies dependientes, por lo que organismos del mismo ambiente pueden presentar diferentes niveles de concentraciones de metales (Jakimska et al., 2011). Algunas especies de algas, por otro lado, bioacumulan metales, presentando altas concentraciones en sitios contaminados (Sharp et al., 1988; Sáez et al. 2012a). Es por esto, que en estudios ambientales se deben incorporar especies de distintos hábitats y niveles tróficos considerando un sitio control con un menor impacto esperado. En este estudio, la mayoría de los metales estuvieron enriquecidos en Quintero-Ventanas en comparación con Quintay.

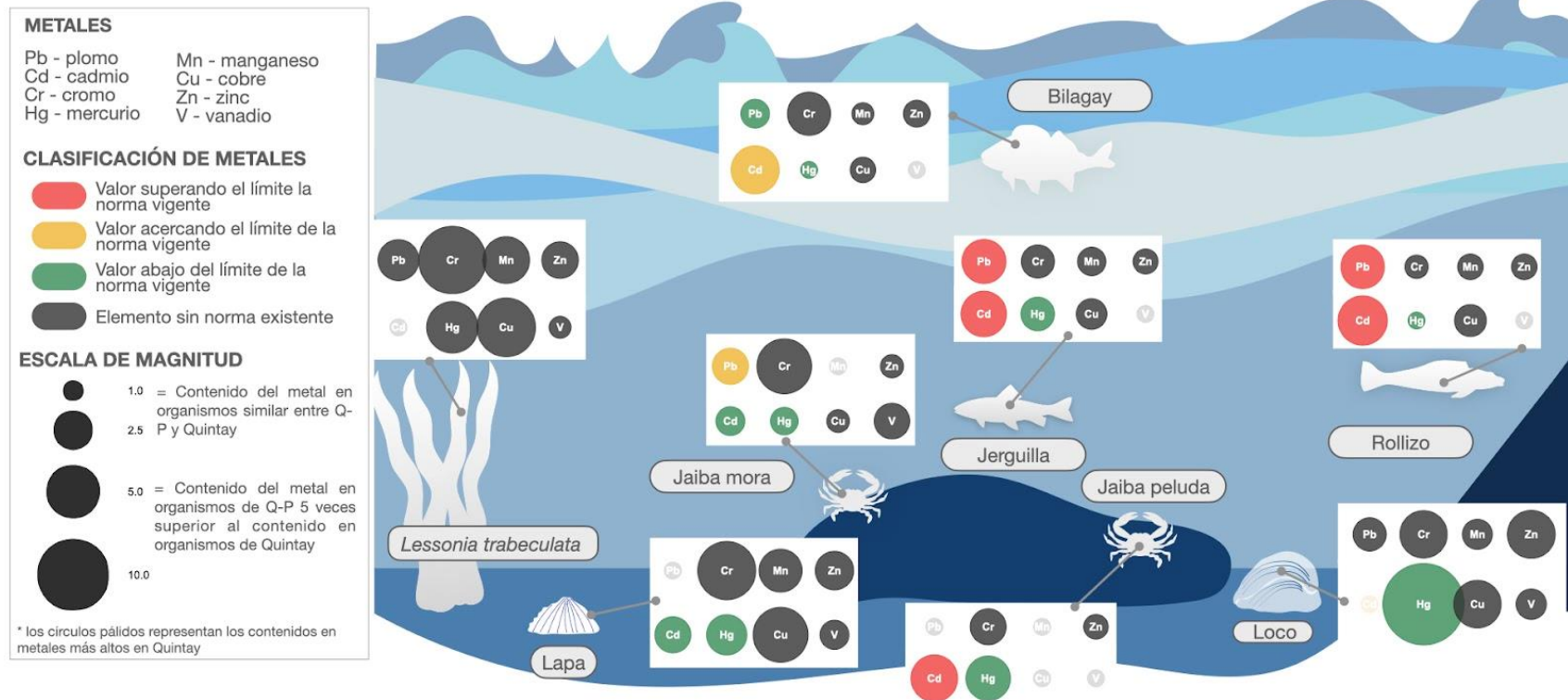


Figura 16. Representación de la distribución de metales en la biota basados en una tasa de cambio comparativa entre los sitios impactados de Quintero-Puchuncaví y sitios control (Quintay). El tamaño de la burbuja da cuenta de la magnitud de acumulación de metales y su comparativa entre sitios para cada especie. El color de la burbuja indica si esta variación supera norma de referencia (rojo), si se encuentra cercano a norma (amarillo), bajo norma (verde), o si no cuentan o conoce norma *ad hoc* (gris).

- Cadmio

En peces, la concentración de Cd resultó mayor (4 veces más) en los sitios de la Bahía Quintero-Puchuncaví en comparación con los controles en Quintay (Tabla 5), encontrando diferencias significativas al evaluar las concentraciones promedio en rollizo (*P. chilensis*) y jerguilla (*A. punctatus*) (Figura 16, Tabla 1 Anexo). En moluscos, la tendencia fue dependiente de la especie. La concentración de Cd en loco (*C. concholepas*) fue mayor en el sitio Control Quintay 2, a diferencia de lo que ocurrió con las lapas (*Fissurella* sp.), en las que las concentraciones aumentaron en el sitio impactado (2 veces más, Figura 16). La ingesta de metales depende, entre otras cosas, de los hábitos alimenticios: las lapas son omnívoras, mientras que el loco es carnívoro, y existe evidencia de biomagnificación de Cd en la trama trófica marina, especialmente en macroinvertebrados (Espejo et al., 2018). Otro punto importante para considerar es que Quintay es una zona influenciada por el punto de surgencia de Punta Curaumilla (33°06'S 71°44'W). En condiciones de surgencia, se ha observado que el Cd es removido de la capa superficial del agua por los organismos planctónicos y luego, es transportado hacia las zonas costeras (Sáez et al., 2012a). En el caso del ostión (*A. purpuratus*), al encontrarse solo en el sitio impactado, no se pudo realizar una comparación; sin embargo, se observó que las concentraciones de Cd eran muy similares entre los grupos de muestra en otras especies (Tabla 5).

En crustáceos, la jaiba peluda (*R. polyodon*) mostró una concentración de Cd similar a los sitios control, excepto en el sitio PV2, en donde un ejemplar presentó una concentración de $21,46 \pm 3,38$ mg/kg (3 veces más, Figura 16). Las especies jaiba nadadora (*O. trimaculatus*) y jaiba shangai (*A. punctatus*) no se encontraron en los controles, por lo que no se pudo realizar una comparación; sin embargo, ambas superan los límites de 1 o más normativas vigentes. Algunas especies de crustáceos pueden ser altamente sensibles a la contaminación y propensos a la bioacumulación de cadmio como se ha reportado en trabajos anteriores (Lordan y Zabetakis, 2022; Williams et al., 2022) En las algas, la única especie que

permitió una comparación es el huiro palo (*L. trabeculata*), cuyas concentraciones de Cd fueron mayores en los controles (Tabla 17). La bioacumulación de cadmio ha sido previamente reportada en algunas especies de macroalgas, las cuales se han propuesto como potenciales candidatos para realizar estudios de biomonitoreo (Rybak et al., 2012; Sáez et al. 2012a Gresswell et al., 2014).

Al comparar los resultados con las normas de límites máximos de metales, se estableció que las especies de peces rollizo y jerguilla superan el Reglamento (CE) n°1881/2006 de la Unión Europea (Figuras 4 y 5, respectivamente), mientras que el bilagay presentó valores cercanos al límite (Figura 6). En moluscos, el loco se encuentra en el límite establecido por la Norma Oficial Mexicana (NOM-242-SSA1-2009), el Australia New Zealand Food Standards Code y por CODEX Standard (193-1995) (Figura 7). El ostión supera los límites establecidos por estas normas y códigos pero, además, supera el límite establecido por la Unión Europea para moluscos bivalvos (Figura 8). En crustáceos, las especies jaiba nadadora (Figura 9), jaiba peluda (Figura 10) y jaiba shanghai (Figura 11) superan el límite establecido por el Reglamento (CE) n°1881/2006 de la Unión Europea.

- **Cromo**

En peces, las concentraciones de Cr siguieron una tendencia similar en los sitios control y los sitios impactados tanto en rollizo como en jerguilla (Tabla 9). En el caso de bilagay, fueron hasta 3 veces mayores que en los sitios control (Figura 16). En este contexto, no existen registros de acumulación de Cr en esta especie, ni en especies pelágicas de Chile, sin embargo, se ha evidenciado la acumulación de Cr y otros metales en especies pelágicas en otros ecosistemas que están bajo distintas fuentes de presión antropogénica (Koolivand et al., 2017). En moluscos, loco y lapa las concentraciones aumentaron en los sitios impactados (4 veces y 6 veces más, respectivamente, Figura 16). En crustáceos también se siguió la tendencia de aumento de concentraciones en los sitios

impactados, lo que se demostró en las jaibas peluda y mora (Tabla 11). Al comparar los promedios, se determinó que las concentraciones de Cr de jaiba peluda son 2 veces mayores en el sitio impactado, y las concentraciones de jaiba mora son, aproximadamente, 5 veces mayores (Figura 16). Las especies jaiba nadadora y jaiba shangai no se encontraron en los controles. En el caso de la jaiba nadadora, se observó que las concentraciones de Cr entre individuos de un mismo sitio son variables. En las algas, el huiro palo mostró un aumento de concentraciones en VN2 (Tabla 12), y las concentraciones fueron hasta 9 veces mayor.

Los resultados obtenidos no se pudieron comparar con ninguna norma ni reglamento de límites máximos, ya sean nacionales o internacionales, ya que no hacen referencia al Cr en la evaluación de especies marinas.

- **Cobre**

En peces, las especies rollizo y jerguilla mostraron un aumento de concentraciones en los sitios impactados (Tabla 13), encontrando diferencias significativas en ambos casos. La especie bilagay mostró una tendencia similar entre controles y sitios impactados. En moluscos se siguió la misma tendencia, y las concentraciones de loco y lapas resultaron mayores en los sitios impactados (Tabla 14), presentando diferencias significativas entre los sitios. La comparación de promedios permitió establecer que la concentración de Cu en locos es, aproximadamente, 4 veces mayor que en el sitio control, y en lapas es 5 veces mayor (Figura 16). En el caso del ostión se observó que las concentraciones de Cu son constantes. En crustáceos se encontraron concentraciones de Cu similares entre los sitios control y los sitios impactados en la jaiba peluda y la jaiba mora. Se ha sugerido que los crustáceos acumulan Cu, debido a que es un metal esencial (Barwick y Maher, 2003). En el caso de la jaiba nadadora, se observó que las concentraciones de Cu entre individuos fueron variable (Tabla 15). En las algas, el huiro palo mostró un aumento de

concentraciones en VN2 (Tabla 16), y las concentraciones fueron hasta 6 veces mayor.

Los resultados obtenidos no se pudieron comparar con ninguna norma ni reglamento de límites máximos, ya sean nacionales o internacionales, ya que no hacen referencia al Cu en la evaluación de especies marinas. No obstante, el Reglamento Sanitario de los Alimentos (Decreto 977) establece 10 mg/kg como límite máximo de Cu en la categoría “otros productos”. Si bien, es un término genérico, con este valor se podría determinar que los ejemplares de loco y lapa recolectados en los sitios impactados sobrepasan el límite (Tabla 14). Lo mismo ocurre con las jaibas peluda y mora, que también sobrepasan los 10 mg/kg (Tabla 15), incluso en los sitios control.

- **Manganeso**

En peces, las concentraciones de Mn fueron similares al comparar los sitios control e impactados en las tres especies. En moluscos sí se observó una tendencia al aumento, tanto en loco como en lapas (Tabla 18), que demostraron diferencias significativas entre sitios. Las concentraciones de Cr en locos fueron 1,5 veces mayores que en el sitio control, y las concentraciones de lapas fueron casi 3 veces mayores (Figura 16). Los crustáceos jaiba peluda y jaiba mora presentaron concentraciones similares entre los sitios de estudio. La jaiba peluda, en el sitio PV2, presentó la mayor concentración, correspondiente a un solo ejemplar (Tabla 19); sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los sitios. En las algas, el huiro palo mostró un aumento de concentraciones en VN2 (Tabla 20), y las concentraciones fueron, aproximadamente, 4 veces mayor.

Los resultados obtenidos no se pudieron comparar con ninguna norma ni reglamento de límites máximos, ya sean nacionales o internacionales, ya que no hacen referencia al Mn en la evaluación de especies marinas.

- **Plomo**

En peces, las concentraciones de Pb en rollizo y jerguilla fueron mayores en los sitios impactados (Tabla 21), y resultaron 3 veces mayor en ambos casos (Figura 16). El bilagay mostró concentraciones similares en los sitios impactados. En moluscos, los resultados variaron según la especie: el loco mostró un aumento de concentraciones hacia los sitios impactados, mientras que en lapas el aumento de concentraciones ocurrió en el control (Tabla 22). En crustáceos las concentraciones de Pb fueron similares entre los sitios, sin diferencias significativas en las jaibas peluda y mora. En las algas, el huero palo mostró un aumento de concentraciones en los sitios impactados (Tabla 24) y las concentraciones fueron, aproximadamente, 3 veces mayor (Figura 16).

Al comparar los resultados con las normas de límites máximos de metales, se estableció que las especies de peces rollizo (Figura 12) y jerguilla (Figura 13) superan el Reglamento (CE) n°1881/2006 de la Unión Europea y el CODEX Standard (193-1995), y se encuentran al límite de los valores establecidos por la Norma Oficial Mexicana (NOM-242-SSA1-2009) y el Australia-New Zealand Food Standards Code. Es importante señalar que los valores establecidos en el Decreto 977 (Reglamento Sanitario de los Alimentos, Chile) son más permisivos en comparación con las normativas internacionales. En moluscos, ninguna especie superó los valores establecidos por las normas. En crustáceos, la jaiba nadadora superó lo establecido en la Norma Oficial Mexicana (NOM-242-SSA1-2009) y en el Reglamento (CE) n°1881/2006 de la Unión Europea (Figura 14), y los valores de jaiba mora se acercaron al límite (Figura 15). Al igual que en el caso de los peces, el Decreto 977 (Reglamento Sanitario de los Alimentos, Chile) presenta valores permitidos mucho mayores en comparación con la normativa internacional.

- **Vanadio**

En peces, la concentración de V fue similar entre los sitios control y los sitios impactados. En las especies de molusco loco y lapa, se presentó un aumento

de las concentraciones en los sitios impactados (Tabla 26). En ambos casos, las concentraciones fueron, aproximadamente, 2 veces mayores en los sitios impactados en comparación con los sitios control (Figura 16). En crustáceos, a pesar de que hubo una tendencia de aumento de las concentraciones en los sitios impactados en jaiba peluda y jaiba mora, estas tendencias no fueron significativamente distintas de los sitios control. El huiro palo presentó concentraciones similares entre todos los sitios (Tabla 28).

El vanadio no se encuentra naturalmente en los ambientes; se encuentra en grandes cantidades en todos los petróleos crudos y materiales de origen fósil, y se libera como residuo de aceites combustibles (Rodríguez & Altamirano, 2006; Gad & Pham, 2014). Una posible explicación a los niveles de V en Quintay es que los sitios de muestreo fueron cercanos a la Caleta Quintay, en la que se encuentran, aproximadamente, 26 botes de pesquería artesanal que utilizan el área como ruta de movimiento, sumados a los botes utilizados en actividades turísticas.

Los resultados obtenidos no se pudieron comparar con ninguna norma ni reglamento de límites máximos, ya sean nacionales o internacionales, ya que no hacen referencia al Mn en la evaluación de especies marinas.

- **Zinc**

En peces, la concentración de Zn fue similar en los sitios impactados y control. En las especies de moluscos loco y lapa, se observó un aumento de las concentraciones en los sitios impactados (Tabla 30), presentando diferencias significativas en ambos casos. La concentración de Zn en locos fue, aproximadamente, 4 veces mayor en los sitios impactados en comparación con los sitios control, y en lapas fue, aproximadamente, 2 veces más (Figura 16). En crustáceos los valores fueron similares entre los controles y los sitios impactados (Tabla 31), y no se presentaron diferencias significativas. En algas, específicamente en el huiro palo, sí se observó un aumento de las

concentraciones (Tabla 32), encontrando concentraciones hasta 2 veces mayores en los sitios impactados en comparación con los controles.

Los resultados obtenidos no se pudieron comparar con ninguna norma ni reglamento de límites máximos, ya sean nacionales o internacionales, ya que no hacen referencia al Mn en la evaluación de especies marinas.

- **Mercurio**

En peces las concentraciones fueron similares entre los sitios impactados y los controles. En la jerguilla el sitio con la mayor concentración fue VN2 y, aunque no se presentaron diferencias significativas, la concentración de Hg en los sitios impactados fue, aproximadamente, 2 veces mayor que en los controles (Tabla 33). En moluscos se presentó un aumento de concentraciones en los sitios impactados, detectando diferencias significativas en loco y lapas (Tabla 34). Al comparar los sitios, loco presentó concentraciones hasta 13 veces mayores en los sitios impactados, y las lapas presentaron hasta 3 veces más (Figura 16). En crustáceos, la especie jaiba peluda presentó diferencias significativas, encontrando concentraciones mayores en los sitios impactados, mientras que en la especie jaiba mora, las concentraciones fueron similares y no presentaron diferencias significativas. En algas, el huiro palo presentó un aumento de las concentraciones (Tabla 36), encontrando concentraciones hasta 4 veces mayores en los sitios impactados en comparación con los controles (Figura 16).

Al comparar los resultados con las normas de límites máximos de metales, se estableció que ninguna especie supera el límite establecido en las normas, ya sean nacionales o internacionales.

Conclusiones

Con el fin de evaluar el potencial riesgo asociado al consumo de productos del mar (peces, crustáceos y moluscos) provenientes de la bahía de Quintero-Puchuncaví, se realizó un estudio exhaustivo de la presencia de coliformes fecales en agua y del contenido en metales en sedimentos y biota de la bahía en comparación a sitios controles en Quintay.

Los resultados de este estudio confirman que la distribución de metales, tanto en sedimentos como en biota, es variable y en muchos casos supera los límites establecidos por normas nacionales y/o internacionales en el ambiente y alimentos para consumo humano. Es importante destacar que la abundancia de coliformes fecales encontradas en el sitio VN1 también superan lo establecido de acuerdo a normativa nacional.

En relación a los niveles de metales pesados en sedimentos, se ven variabilidades en relación a monitoreos previos (MMA, 2013; Parra et al., 2015; Salamanca et al., 2021). En los sedimentos se destacan las altas concentraciones de Vanadio (V) y Cobre (Cu), que superan las recién aprobadas Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de Aguas Marinas y Sedimentos de la Bahía de Quintero-Puchuncaví. Para el caso de la biota, los metales Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) superan los límites máximos de las normas y reglamentos de referencia, principalmente los de índole internacional. En particular, se encontraron contenidos altos de Pb y Cd, y a la vez superiores en comparación a los sitios control en las especies rollizo, jerguilla y jaiba peluda. Aun así, en varios casos, no se dispone de normas nacionales regulando los contenidos de metales en especies que son de interés para el consumo humano. Esto da cuenta de la escasa regulación con la que se dispone para evaluar el nivel de riesgo en el consumo humano de recursos bentónicos, no solo del área y a nivel nacional, sino que en el contexto global. Estos análisis de riesgos se realizan como relevantes de profundizar, de manera de complementar la normativa vigente y evaluar la amenaza para la población, en especial de la zona de Quintero-Puchuncaví.

Finalmente, se observaron contenidos en metales altos en algas, es decir, los niveles tróficos base, confirmando no solo el riesgo para la salud humana sino que para la integridad de los ecosistemas costeros en su conjunto. Lo anterior, puede verse traducido en afectaciones ecosistémicas a distintos niveles tróficos, y manifiesto en aspectos etológicos, reproductivos, endocrinos, entre muchos otros; esto puede incluir productores primarios y consumidores secundarios, herbívoros y carnívoros, detritívoros y filtradores. A pesar de que este estudio entrega una aproximación multifactorial sin precedentes en su amplitud y profundidad para entender el alcance de los niveles de metales en la zona costera de Quintero-Puchuncaví, ciertamente aún queda un amplio margen de conocimiento que recabar. No solo para profundizar en el análisis de riesgos en cuánto a la salud humana y ecosistémica, sino que también para el mejoramiento de estándares y normativa a nivel nacional e internacional.

Sugerencias

1. Se sugiere tomar medidas urgentes en relación al emisario de aguas servidas ilegal en la zona peninsular de “La Ventana”. No solo por el amplio incumplimiento con normas y recomendaciones nacionales e internacionales, sino que por su proximidad a la AMERB Punta Lunes.
2. En relación al punto anterior, se sugiere realizar un monitoreo en profundidad de los organismos bentónicos de la AMERB Punta Lunes, para evaluar potencial afectación y riesgos de los productos marinos explotados para consumo humano.
3. Dentro de los alcances de este estudio, se sugiere considerar la necesidad de un monitoreo continuo que permita conocer no solo la distribución de los metales analizados, sino que también su variabilidad en el tiempo. Lo anterior, debido a que los niveles de metales en el ambiente marino, además de los aportes antropogénicos, se pueden ver afectados por cambios naturales. Por ejemplo, períodos de surgencia costera, cambios interanuales

asociados al Fenómeno Niño-Niña (ENSO), marejadas y variabilidad determinada por las vicisitudes del Cambio Climático.

4. Las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de Aguas Marinas y Sedimentos de la Bahía de Quintero-Puchuncaví, recientemente aprobadas, son un instrumento de control importante para esta zona. Sin embargo, es necesario su continúa mejoría; por ejemplo, contemplando otros metales y parámetros (e.g. coliformes fecales) que se presentan notoriamente enriquecidos en la Bahía.
5. Se sugiere la realización de un estudio toxicológico que aborde los riesgos potenciales de consumo humano considerando grupos etarios y frecuencia de consumo de los recursos marinos de la zona.
6. Se recomienda la revisión y actualización del Decreto 977: Reglamento Sanitario de los Alimentos (Ministerio de salud, Chile), que resulta poco representativo y permisivo en relación a avances y estándares asociados a normativa internacional *ad hoc*.

Agradecimientos

Estos estudios se han realizado con fondos otorgados por el Gobierno Regional de Valparaíso a través del proyecto FIC código BIP N°40046077, complementados con el proyecto ANID INES I+D (INID210013). Se agradece el apoyo logístico del Sindicato de Pescadores de la Caleta Quintay y Sindicato de Pescadores de Ventanas por su ayuda y compromiso, y al Consejero Regional Sr. Carlos Vegas Bernal por su apoyo logístico y asistencia en buceo y recolección de muestras. Así también, se agradece el apoyo crítico en la génesis del estudio a las Secretarías Regionales Ministeriales de Medio Ambiente y Salud de la Región de Valparaíso.

Referencias bibliográficas

- Ahmed, I., Jan, K., Fatma, S. y Dawood, M.A.O. (2022). Muscle proximate composition of various food fish species and their nutritional significance: A review. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 106, 690 – 719. doi: 10.1111/jpn.13711
- Barwick, M., y Maher, W. (2003). Biotransference and biomagnification of selenium copper, cadmium, zinc, arsenic and lead in a temperate seagrass ecosystem from Lake Macquarie Estuary, NSW, Australia. *Marine Environmental Research*, 56, 471–502. doi:10.1016/S0141-1136(03)00028-X
- Brandt, M., y Schramm, V.L. (1986). Mammalian manganese metabolism and manganese uptake and distribution in rat hepatocyte. En Schramm, V. y Wedler F. (Eds.). *Manganese in Metabolism and Enzyme Function*. Pp. 3 – 16. Academic Press, Inc., London.
- Cary, E. E. (1982). Chromium in air, soil and natural Waters. En Langard, S. (Ed.), *Biological and environmental aspects of chromium*. 1st ed. Pp. 49 - 56. Elsevier Biomedical Press.
- Chen, J., Kan, M., Ratnasekera, P., Deol, L.K.; Thakkar, V., Davison, K.M. (2022). Blood Chromium Levels and Their Association with Cardiovascular Diseases, Diabetes, and Depression: National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2015–2016. *Nutrients*, 14, 2687. <https://doi.org/10.3390/nu14132687>
- Cresswell, T., Simpsonb, S.L., Smith, R.E.W., Nugegoda, D., Mazumder, D., y Twining, J. (2014). Bioaccumulation and retention kinetics of cadmium in the freshwater decapod *Macrobrachium australiense*. *Aquatic Toxicology*, 148, 174 – 183. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquatox.2014.01.006>
- Donia, D., Dell’Amico, M.C., Petrincaa, A.R., Martinucci, I., Mazzei, M., Tolari., F., y Divizia, M. (2012). Presence of hepatitis E RNA in mussels used as bio-monitors of viral marine pollution. *Journal of Virological Methods*, 186, 198 – 202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jviromet.2012.06.007>

- Espejo, W., de A. Padilha, J., Kidd, K. A., Dorneles, P. R., Barra, R., Olaf, M., et al., (2018). Trophic transfer of cadmium in marine food webs from Western Chilean Patagonia and Antarctica. *Marine Pollution Bulletin*, 137, 246 – 251. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.022>
- Gad, S.C. y Pham, T. (2014). Vanadium, *Encyclopedia of Toxicology*, 4, 416 – 418. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00960-X>
- García, J.S., Palacios, V., y Roldán, A. (2016). Nutritional Potential of Four Seaweed Species Collected in the Barbate Estuary (Gulf of Cadiz, Spain). *J. Nutr. Food. Sci.*, 6: 505. doi:10.4172/2155-9600.1000505
- Gayo, E. M., Muñoz, A. A., Maldonado, A., Lavergne, C., Francois, J. P., Rodríguez, D., et al. (2022). A cross-cutting approach for relating Anthropocene, environmental injustice and sacrifice zones. *Earth's Future*, 10, e2021EF002217. doi: 10.1029/2021EF002217
- Hernández-Crespo, C., y Martín, M. (2015). Determination of background levels and pollution assessment for seven metals (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn) in sediments of a Mediterranean coastal lagoon. *Catena*, 113, 206 – 214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.05.013>
- Jakimska, A., Konieczka, P., Skóra, K., y Namieśnik, J. (2011). Bioaccumulation of Metals in Tissues of Marine Animals, Part I: the Role and Impact of Heavy Metals on Organisms. *Pol. J. Environ. Stud*, 20(5), 1117-1125.
- Kemmit, R.D.W. (1973). Manganese. En Bailar, J., Emelús, H., Nyholm, R. (Ed). *The Chemistry of Manganese, Technetium and Rhenium* (1sr ed. 771 – 876), Pergamon Press Ltd., Oxford.
- Koolivand, A., Mazandaranizadeh, H., Binavapoor, M., Mohammadtaheri, A., y Saeedi, R. (2017). Hazardous and industrial waste composition and associated management activities in Caspian industrial park, Iran. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 7, 9 – 14. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.12.001>

- Letelier, J., y Pinilla, E. (2016). *Determinación de los impactos en los recursos hidrobiológicos y en los ecosistemas marinos presentes en el área de influencia del derrame de hidrocarburo de Bahía Quintero, V Región: Oceanografía*. Instituto de Fomento Pesquero.
- López-Benito, M. (1956). Composición química de algunos moluscos y crustáceos de la ría de Vigo. *Inv. Pesq.*, IV, 127 – 132.
- Lordan, R., y Zabetakis, I. (2022). Cadmium: A Focus on the Brown Crab (*Cancer pagurus*) Industry and Potential Human Health Risks. *Toxic*, 10(10), 591. <https://doi.org/10.3390/toxics10100591>
- Madgett, A. S., Yates, K., Webster, L., McKenzie, C., y Moffat, C. (2021). The concentration and biomagnification of trace metals and metalloids across four trophic levels in a marine food web. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 112929. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112929>
- MMA. (2013). *Análisis de riesgo ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua, en las comunas de Concón, Quintero y Punchuncaví*. Centro de Ecología Aplicada.
- Mudadu, A.G., Spanu, C., Pantoja, J.C.F, Dos Santos, M.C., De Oliveira, C.D., et a., (2022). Association between *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. food safety criteria in live bivalve molluscs from wholesale and retail markets. *Food Control*, 137, 108942. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108942>
- Muñoz, P. T., Rodríguez-Rojas, F., Celis-Plá, P. S. M., Méndez, L., Pinto, D., Pardo, D., et al. (2020). Physiological and metabolic responses to hypersalinity reveal interpopulation tolerance in the green macroalga *Ulva compressa* with different pollution histories. *Aquatic Toxicology*, 225, 105552. doi: 10.1016/j.aquatox.2020.105552
- Newman, M. C. (2015). *Fundamentals of ecotoxicology. The Science of Pollution*. CRC Press.

- O'Neal, S.L. y Zheng. W. (2015). Manganese Toxicity Upon Overexposure: a Decade in Review. *Curr Envir Health Rpt*, 2:315–328. Doi: 10.1007/s40572-015-0056-x
- Parra, S., Bravo, M. A., Quiroz, W., Querol, X., y Paipa, C. (2015). Distribution and pollution assessment of trace elements in marine sediments in the Quintero Bay (Chile). *Marine Pollution Bulletin*, 99(1–2), 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.07.066>
- Piñón-Gimate, A., Jakes-Cota, U., Tripp-Valdez, A. Casas-Valdez, M. y Almendarez-Hernández, L.C. (2020). Assessment of human health risk: Copper and lead concentrations in Stone Scorpionfish (*Scorpaena mystes*) from the coastal region of Santa Rosalia in the Gulf of California, Mexico. *Regional Studies in Marine Science*, 101003. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.101003>
- Piola, R. F. y Johnston, E. L. (2006). Differential resistance to extended copper exposure in four introduced bryozoans. *Marine Ecology Progress Series*, 311, 103–114. <https://doi.org/10.3354/meps311103>
- Rodríguez, J.J., y Altamirano, M.A. (2006). Vanadio: contaminación, metabolismo y genotoxicidad. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 22(4), 173 – 189.
- Rybak, A., Messyasz, B., y Łeska, B. (2012). Freshwater *Ulva* (Chlorophyta) as a bioaccumulator of selected heavy metals (Cd, Ni and Pb) and alkaline earth metals (Ca and Mg). *Chemosphere*, 89, 1066 – 1076. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.071>
- Sáez, C.A., Lobos, M.G., Macaya, E.C., Oliva, D., Quiroz, W. y Brown, M.T. (2012a). Variation in Patterns of Metal Accumulation in Thallus Parts of *Lessonia trabeculata* (Laminariales; Phaeophyceae): Implications for Biomonitoring. *PLoS ONE*, 7(11), e50170. doi:10.1371/journal.pone.0050170
- Sáez, C.A., Pérez-Matus, A., Lobos, M.G., Oliva, D., Vásquez, J.A. y Bravo, M. (2012b). Environmental assessment in a shallow subtidal rocky habitat: approach coupling chemical and ecological tools. *Chemistry and Ecology*, 28(1), 1-15. <http://dx.doi.org/10.1080/02757540.2011.619529>

- Salamanca, M.O., Chandía, C., Bermedo, L., Hidalgo, M., Hernández, A., Figueroa, C., et al. (2021). *Evaluación temporal y espacial del contenido de metales pesados en sedimentos de la bahía de Quintero-Puchuncaví*. Universidad de Concepción.
- Schleicher, N.J., Dong, S., Packman, H., Little, S.H., Ochoa Gonzalez, R., Najorka, J. et al., (2020). A Global Assessment of Copper, Zinc, and Lead Isotopes in Mineral Dust Sources and Aerosols. *Front. Earth Sci.* 8:167. doi: 10.3389/feart.2020.00167
- Schmidt-Hebbel, H., Pennacchiotti, I., Maason, L. y Mella, M.A. (1990). *Tabla de composición química de alimentos chilenos*. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química, Universidad de Chile.
- Sharp, G.J., Samant, H.S., y Vaidya., O.C. (1998). Selected Metal Levels of Commercially Valuable Seaweeds Adjacent to and Distant from Point Sources of Contamination in Nova Scotia and New Brunswick. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 40:724-730.
- Tapia, J., Vargas-Chacoff, L., Bertrán, C., Carrasco, G., Torres, F., Pinto, R., et al. (2010). Study of the content of cadmium, chromium and lead in bivalve molluscs of the Pacific Ocean (Maule Region, Chile). *Food Chemistry*, 121, 666 – 671. doi:10.1016/j.foodchem.2009.12.091
- Tepe, A. Y. (2014). Trace Metals – Chromium, Nickel, Copper, and Aluminum. *Encyclopedia of Food Safety*, 2, 356 – 362. doi:10.1016/B978-0-12-378612-8.00205-5
- Vincent, J.B. (2010). Chromium: celebrating 50 years as an essential element?. *Dalton Transactions*, 39, 3787 – 3794. doi: 10.1039/b920480f
- Williams, E.S., Priya,V.L., y Karim, L.R. (2022). Bioaccumulation of heavy metals in edible tissue of crab (*Scylla serrata*) from an estuarine Ramsar site in Kerala, South India. *Watershed Ecology and the Environment*, 4, 59 – 65. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2022.06.001>

Anexos

A) Gráficos de las concentraciones de metales en los grupos de especies.

En esta sección solo se presentan las especies que permitieron una comparación entre los sitios control e impactados. No se consideraron las especies Ostión (*A. purpuratus*), jaiba nadadora (*O. trimaculatus*), jaiba shangai (*A. punctatus*), alga roja (*Rhodomenia* sp.) ni alga verde (*Ulva* sp.), debido a que solo que encontraron en sitios impactados.

1) Cadmio

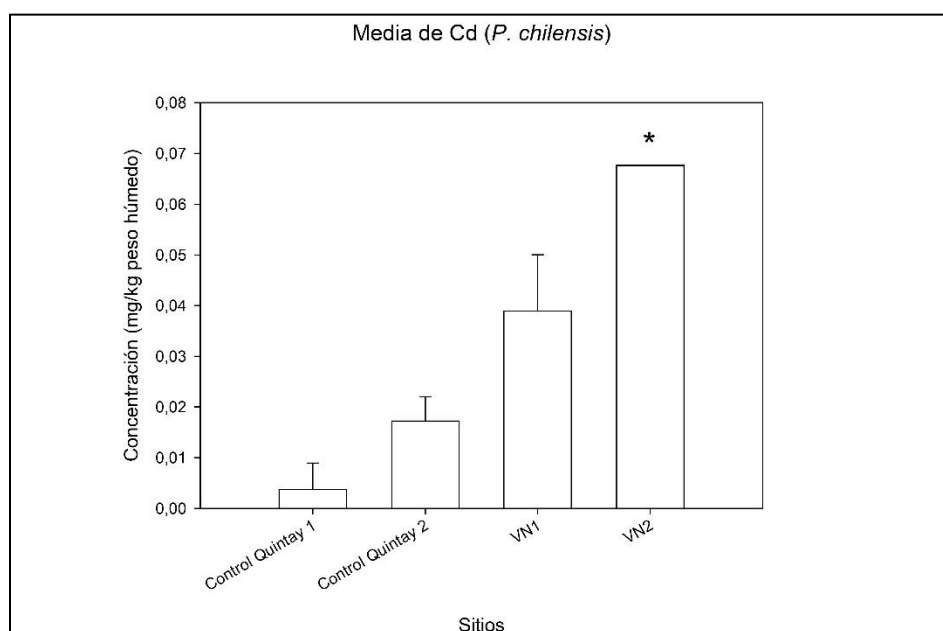


Figura 1. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cd en *P. chilensis*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Control Quintay 2: n=4 / VN1: n=3. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar

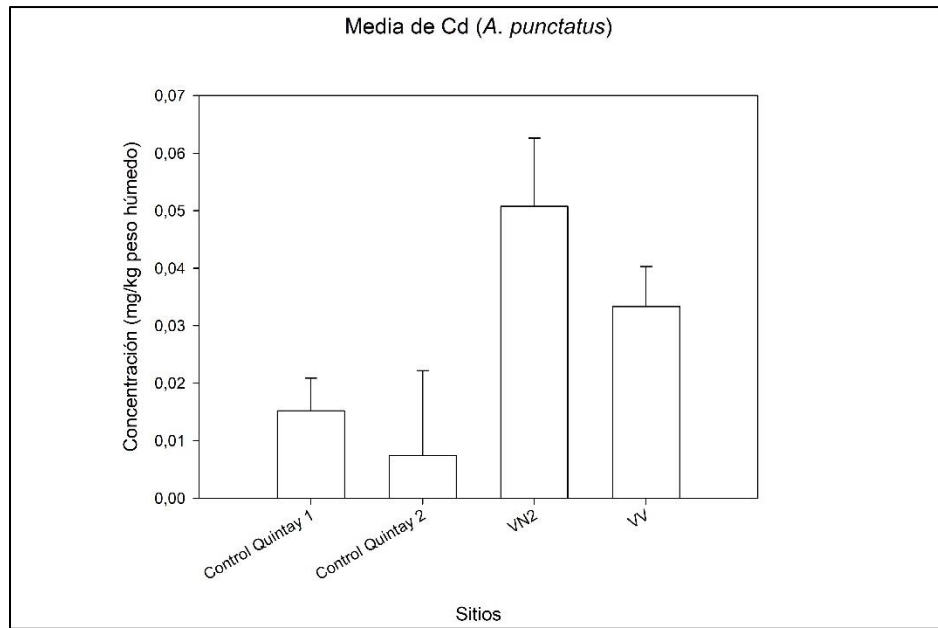


Figura 2. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cd en *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=2 / VN2: n=2 / VV: n=3.

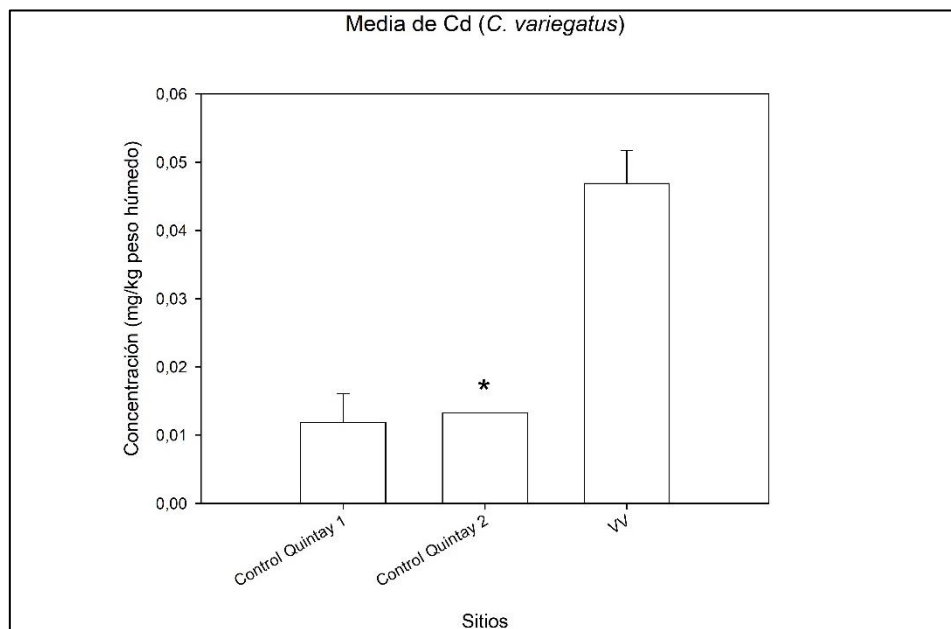


Figura 3. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cd en *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / VV: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar

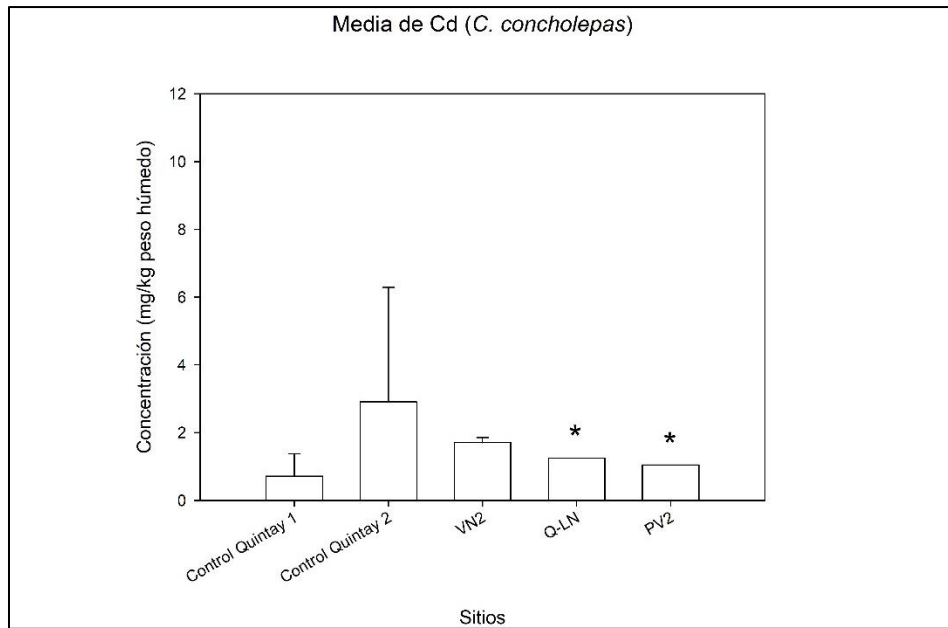


Figura 4. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cd en *C. concholepas*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=7 / VN2: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

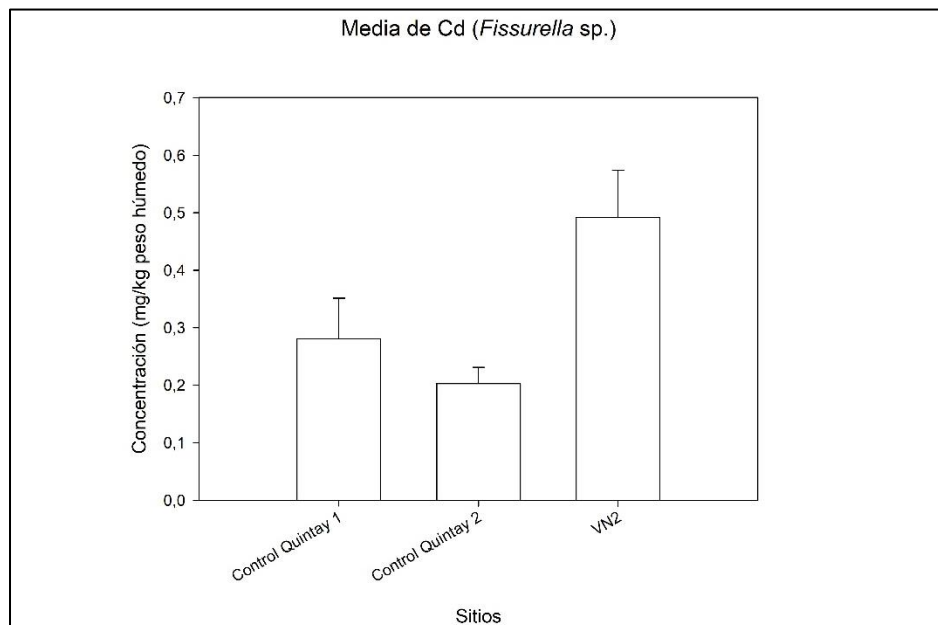


Figura 5. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cd en *Fissurella* sp., expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=6 / VN2: n=3.

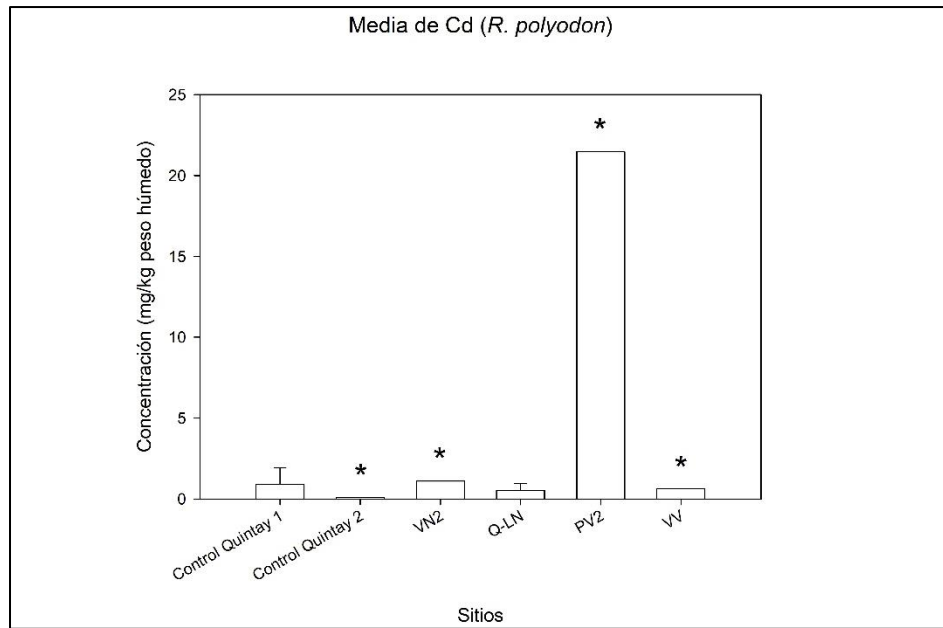


Figura 6. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cd en *R. polyodon*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Q-LN: n=8. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

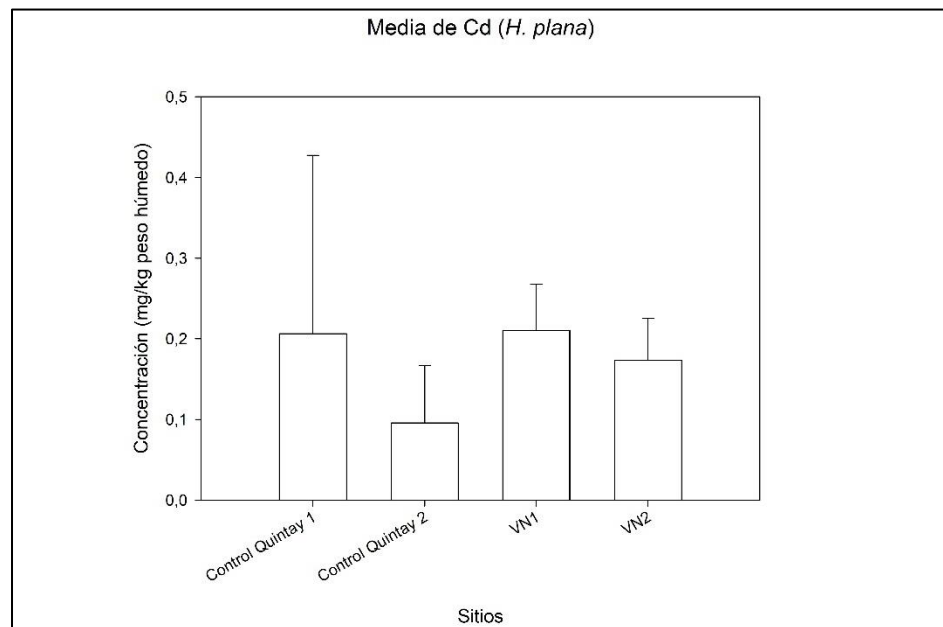


Figura 7. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cd en *H.plana*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=3 / VN1: n=4 / VN2: n=4.

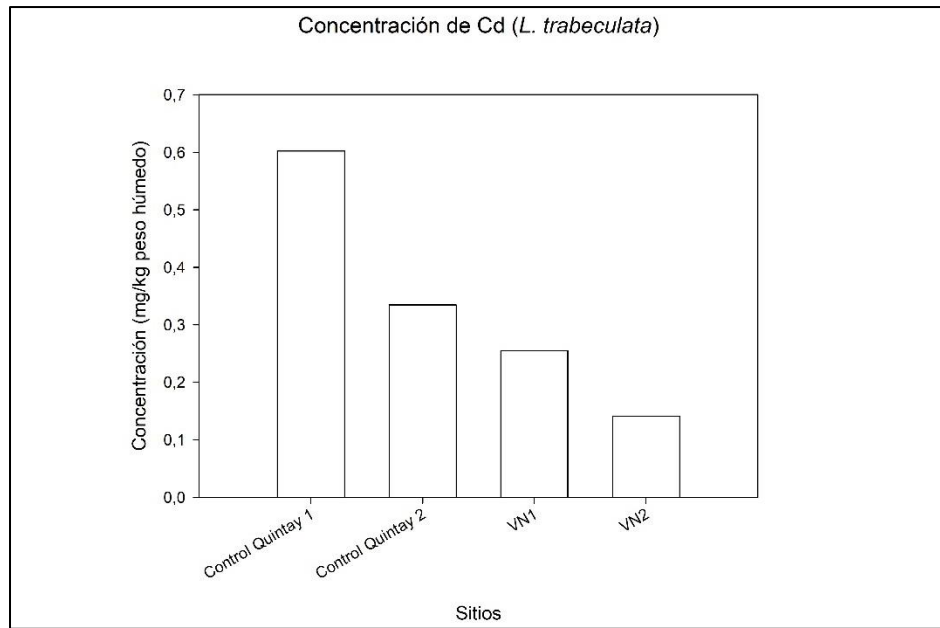


Figura 8. Gráfico de las concentraciones totales de Cd en *L. trabeculata*, expresadas en mg/kg (peso húmedo).

2) Cromo

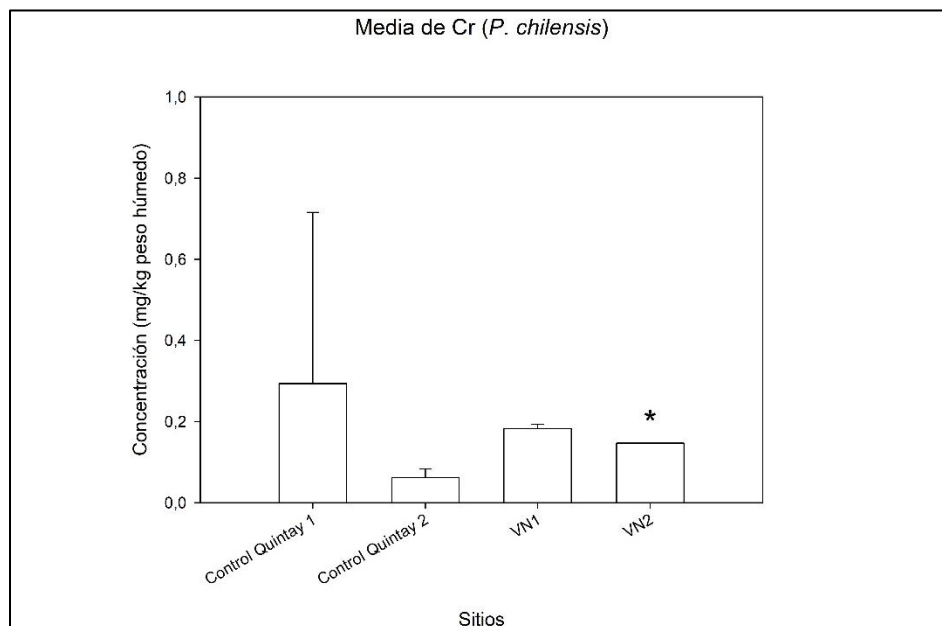


Figura 9. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cr en *P. chilensis*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Control Quintay 2: n=4 / VN1: n=3. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar

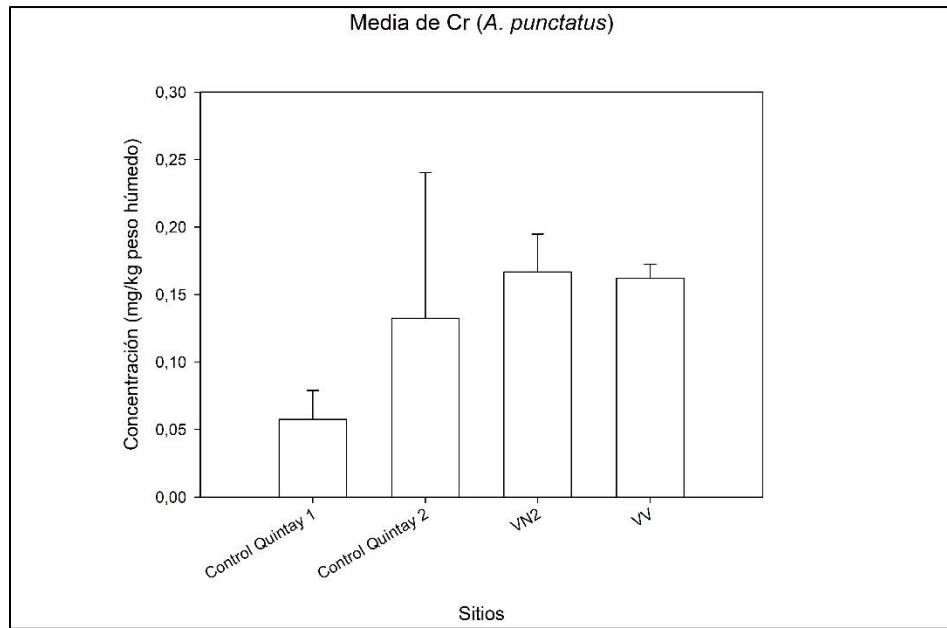


Figura 10. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cr en *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=2 / VN2: n=2 / VV: n=3.

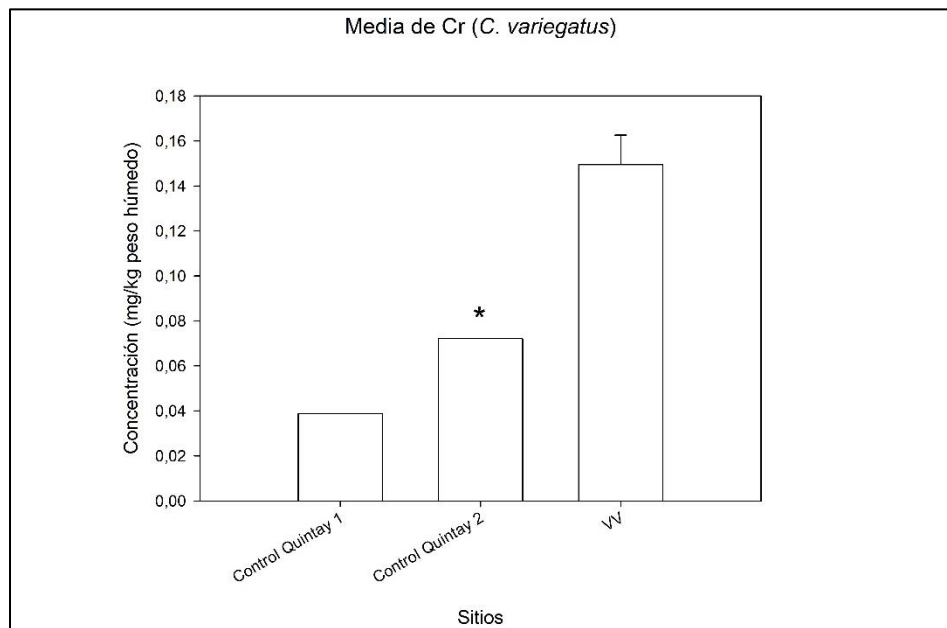


Figura 11. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cr en *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / VV: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

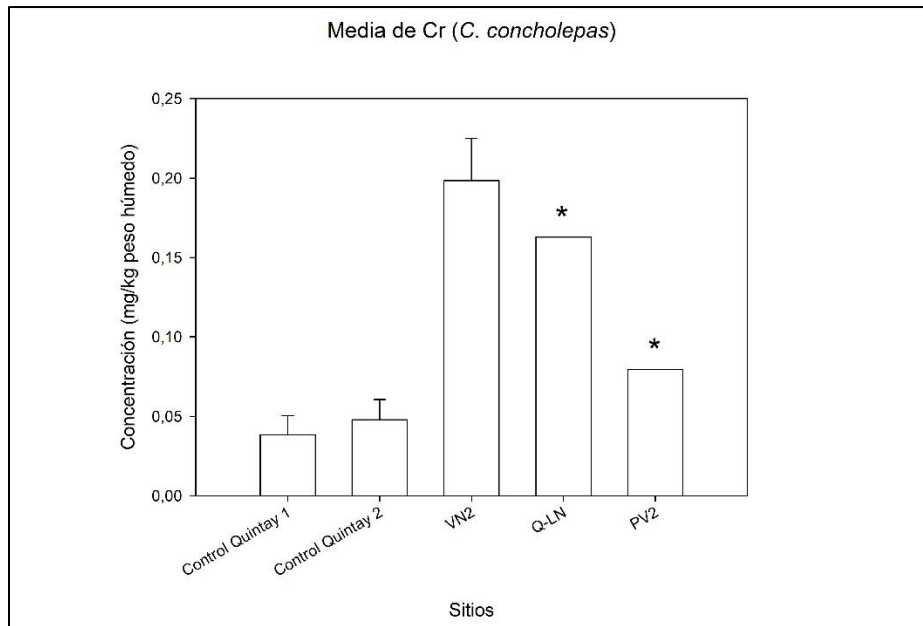


Figura 12. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cr en *C. concholepas*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=7 / VN2: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

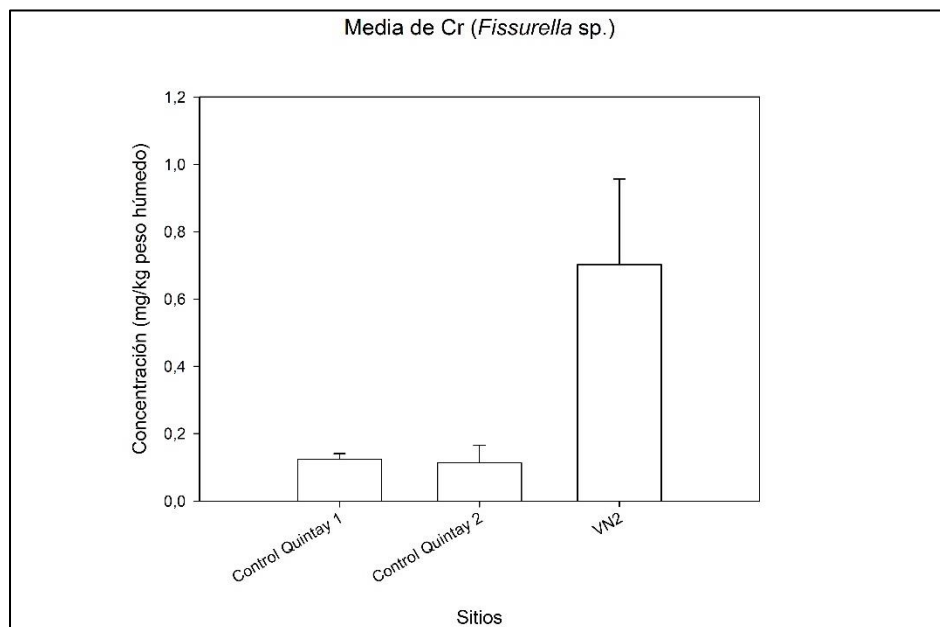


Figura 13. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cr en *Fissurella* sp., expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=6 / VN2: n=3.

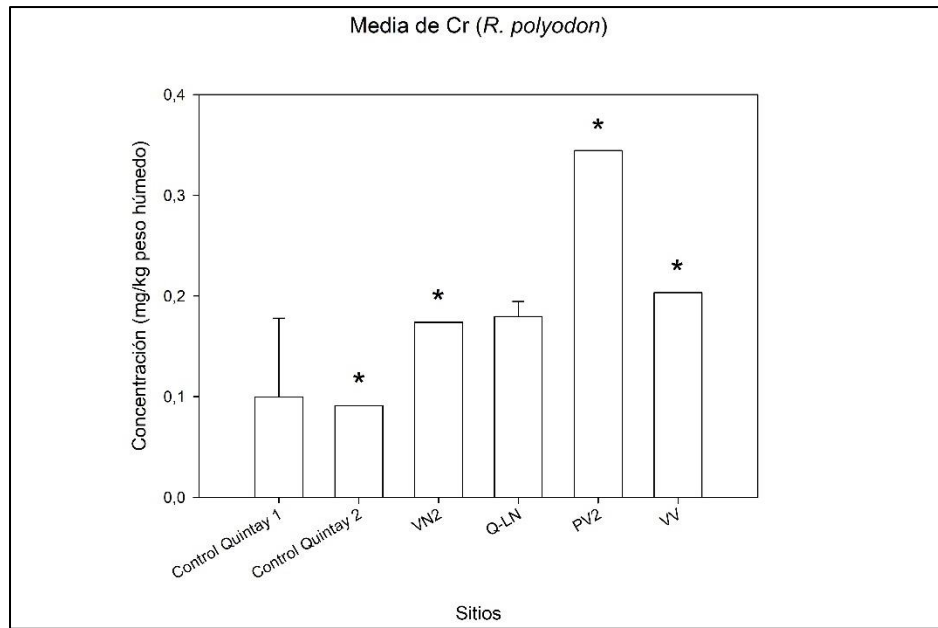


Figura 14. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cr en *R. polyodon*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Q-LN: n=8. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

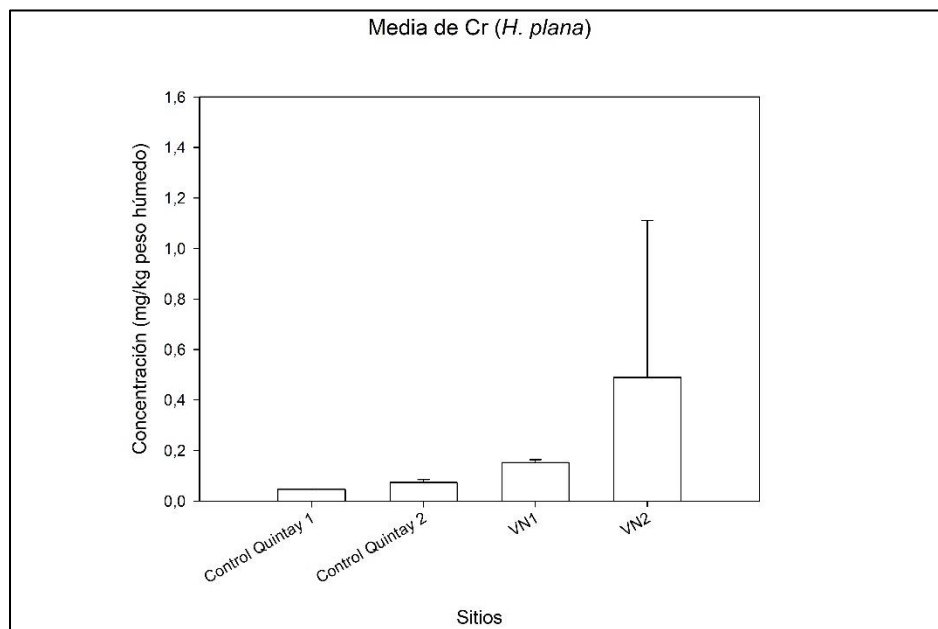


Figura 15. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cr en *H.plana*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=3 / VN1: n=4 / VN2: n=4.

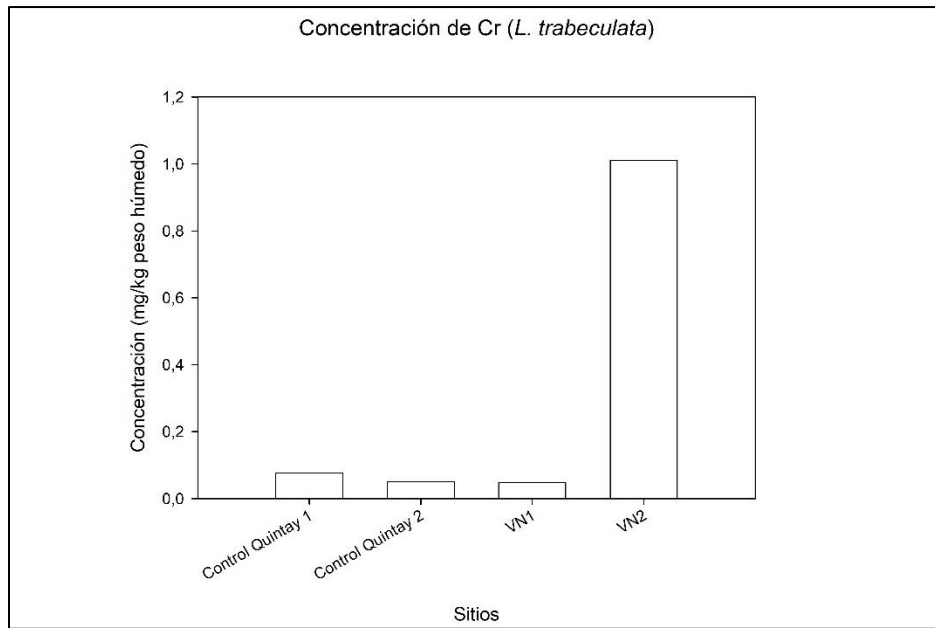


Figura 16. Gráfico de las concentraciones totales de Cr en *L. trabeculata*, expresadas en mg/kg (peso húmedo).

3) Cobre

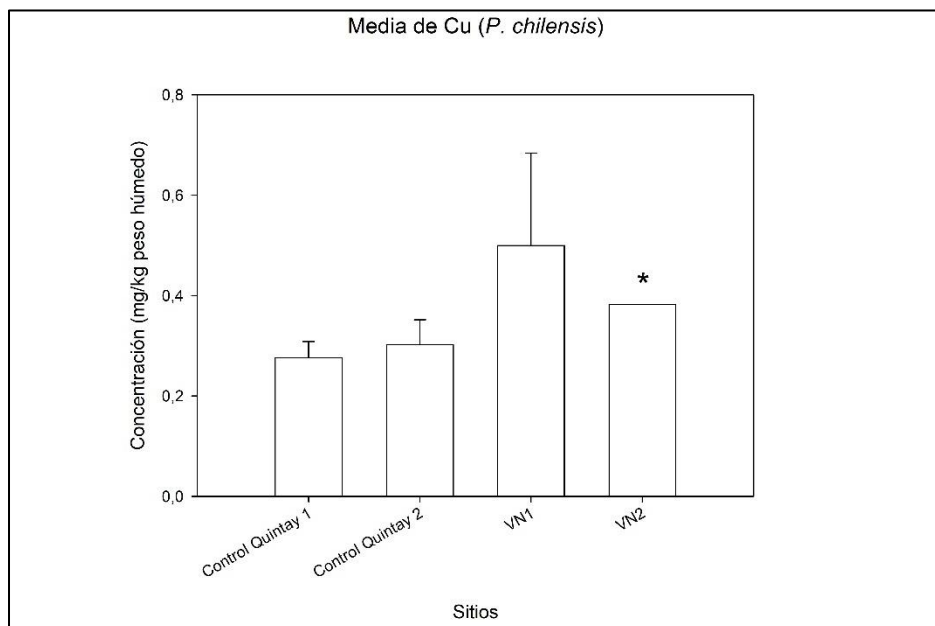


Figura 17. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cu en *P. chilensis*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Control Quintay 2: n=4 / VN1: n=3. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar

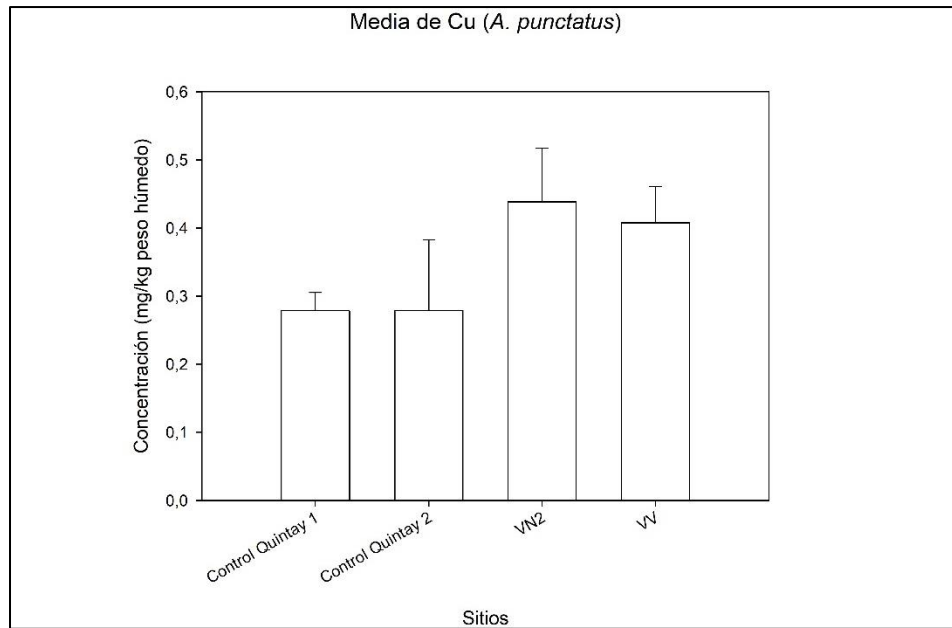


Figura 18. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cu en *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=2 / VN2: n=2 / VV: n=3.

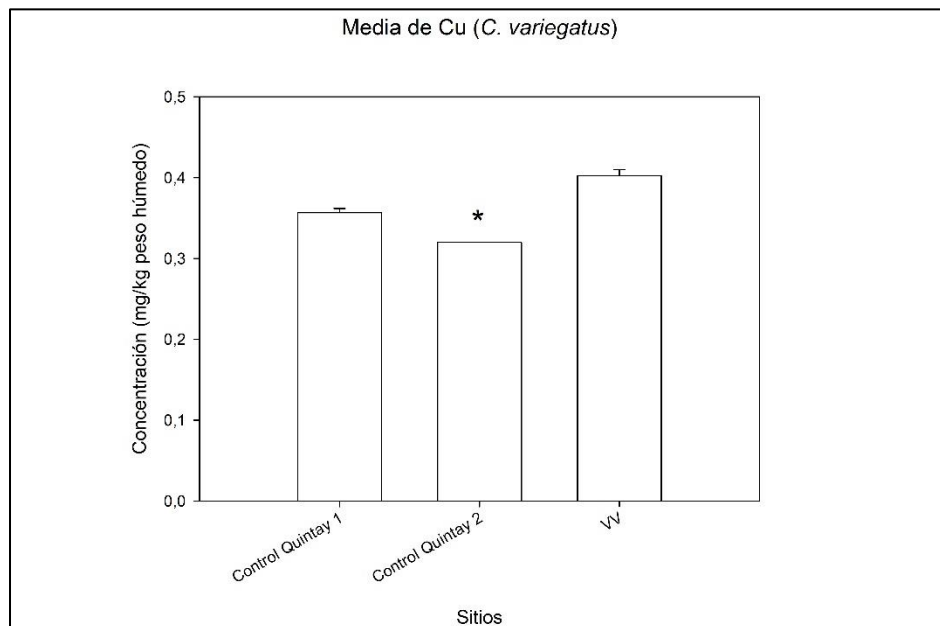


Figura 19. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cu en *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / VV: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar

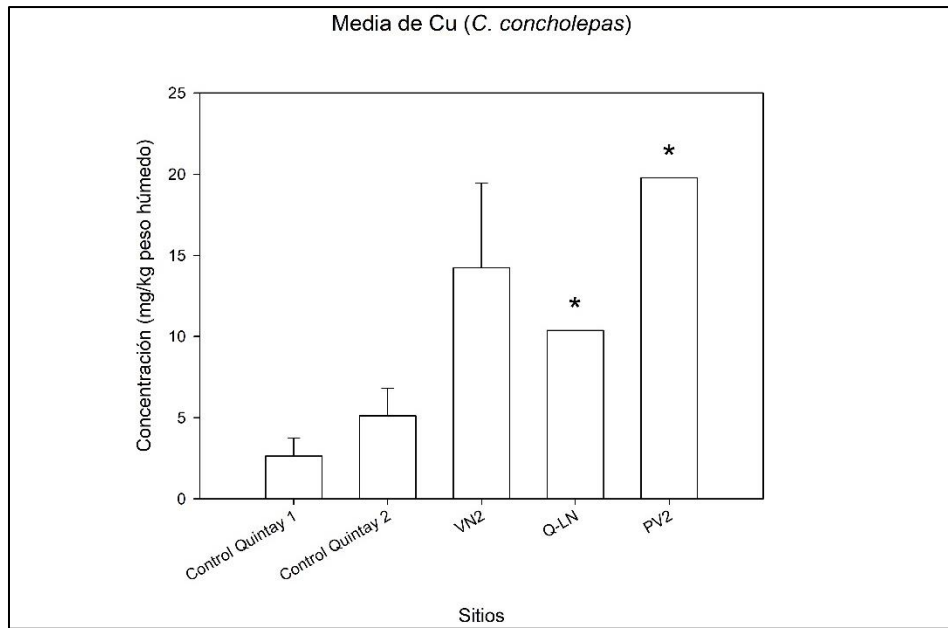


Figura 20. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cu en *C. concholepas*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=7 / VN2: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

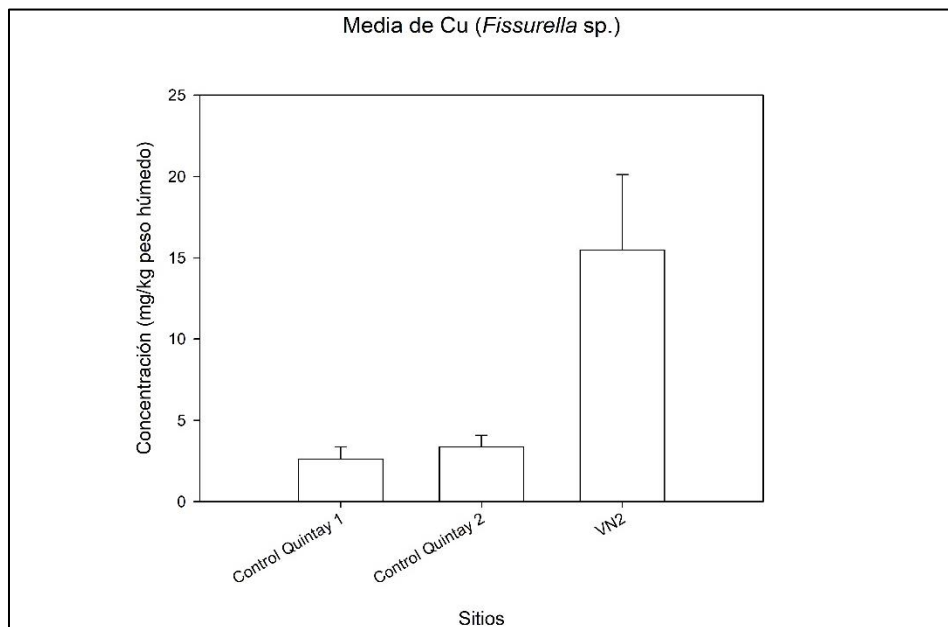


Figura 21. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cu en *Fissurella* sp., expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=6 / VN2: n=3.

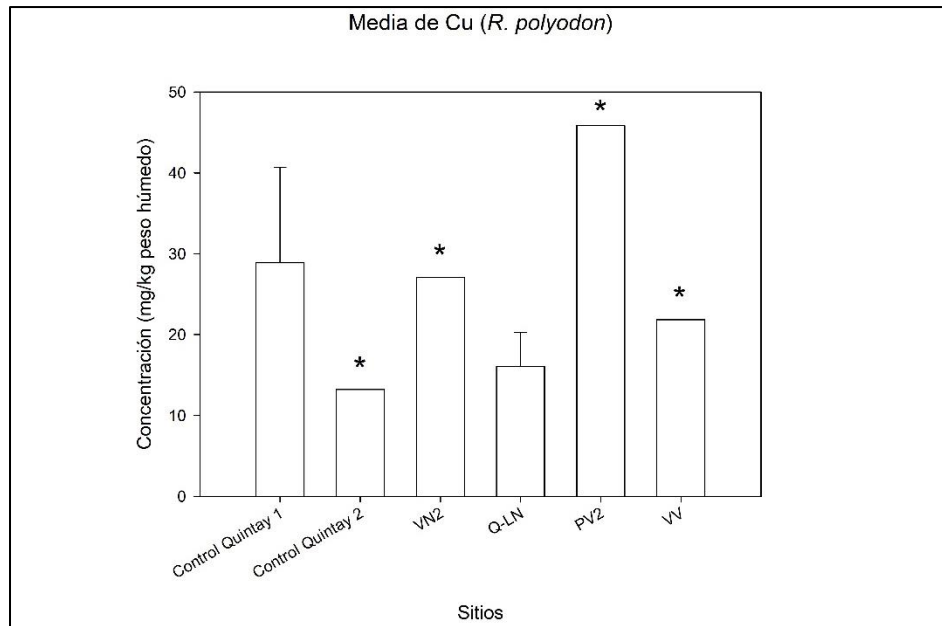


Figura 22. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cu en *R. polyodon*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Q-LN: n=8. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

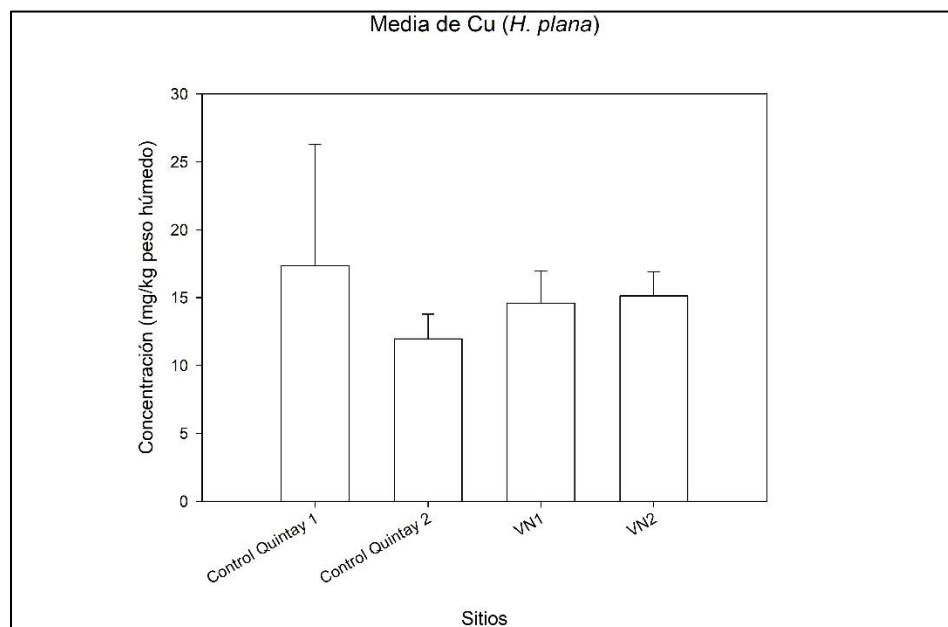


Figura 23. Gráfico de las medias de las concentraciones de Cu en *H.plana*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=3 / VN1: n=4 / VN2: n=4.

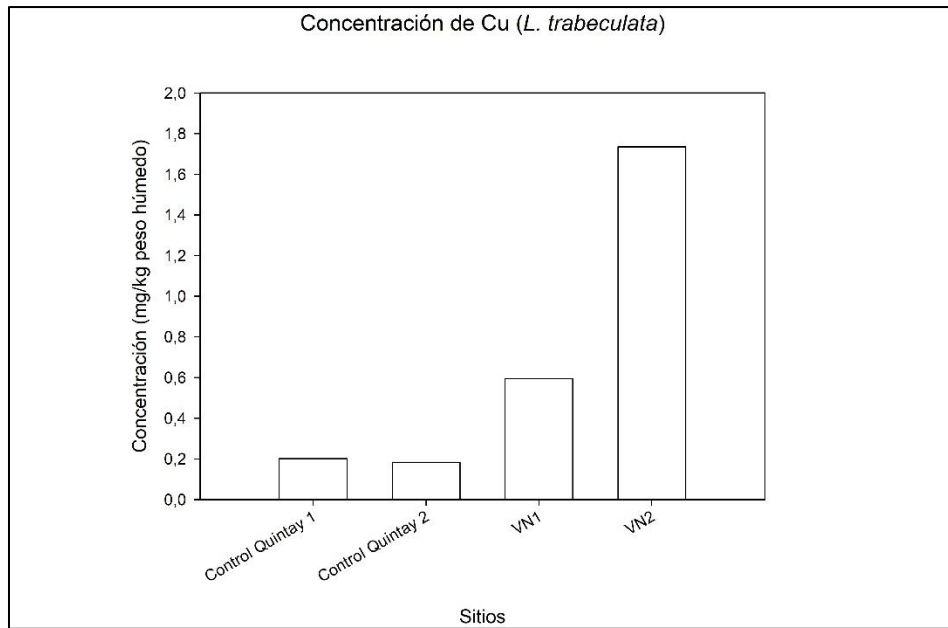


Figura 24. Gráfico de las concentraciones totales de Cd en *L. trabeculata*, expresadas en mg/kg (peso húmedo).

4) Manganeso

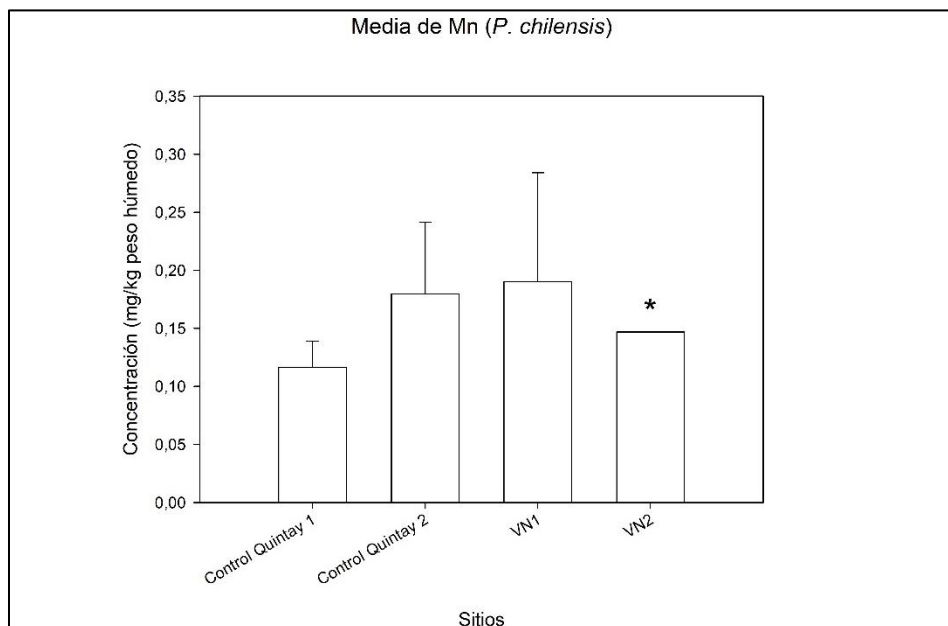


Figura 25. Gráfico de las medias de las concentraciones de Mn en *P. chilensis*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Control Quintay 2: n=4 / VN1: n=3. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar

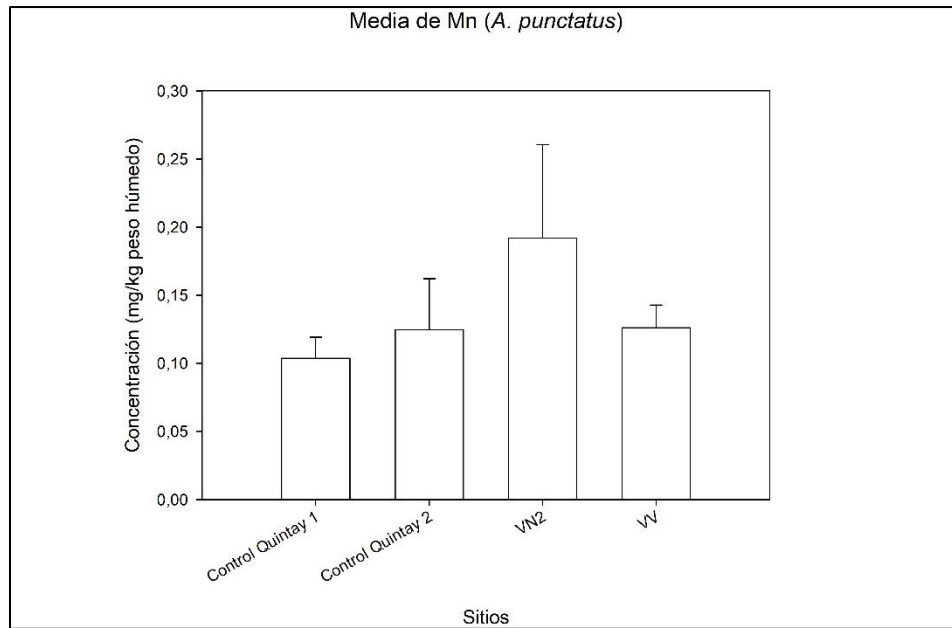


Figura 26. Gráfico de las medias de las concentraciones de Mn en *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=2 / VN2: n=2 / VV: n=3.

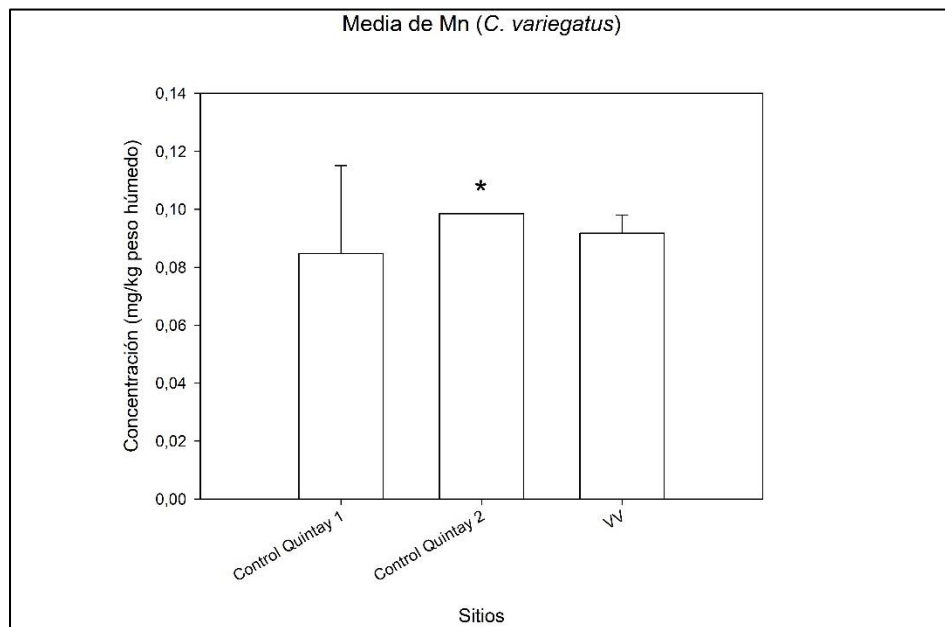


Figura 27. Gráfico de las medias de las concentraciones de Mn en *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / VV: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar

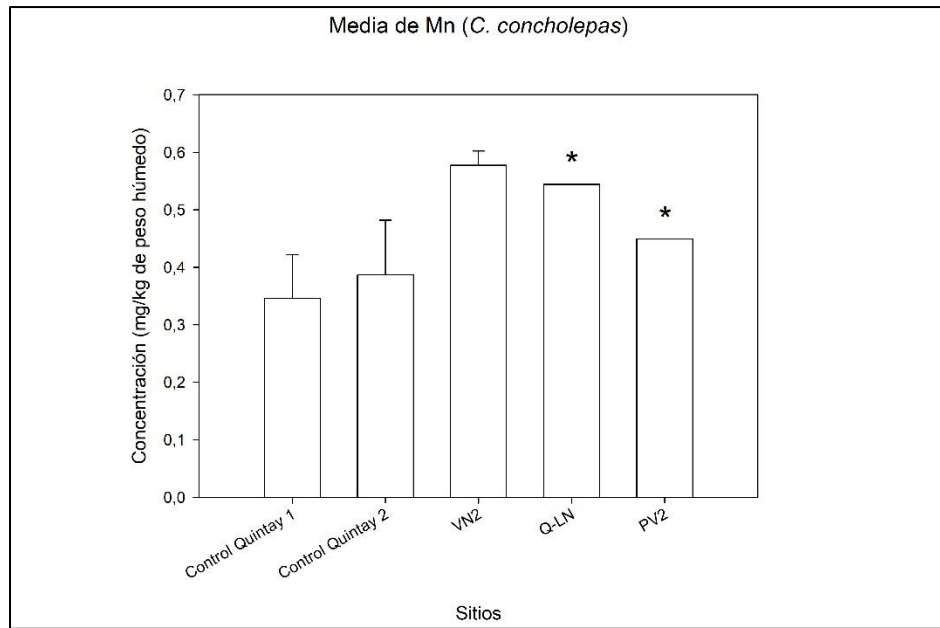


Figura 28. Gráfico de las medias de las concentraciones de Mn en *C. concholepas*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=7 / VN2: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

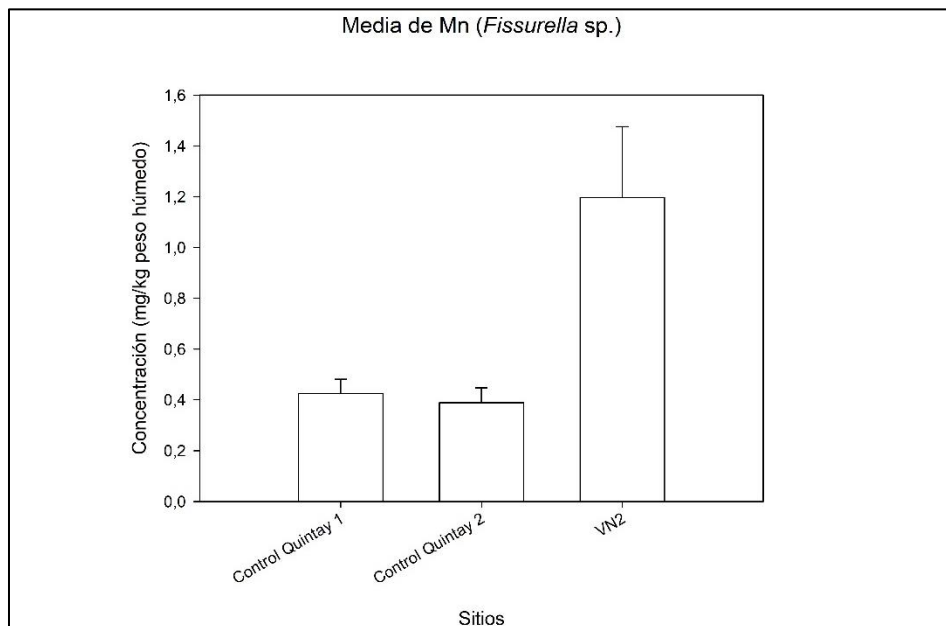


Figura 29. Gráfico de las medias de las concentraciones de Mn en *Fissurella* sp., expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=6 / VN2: n=3.

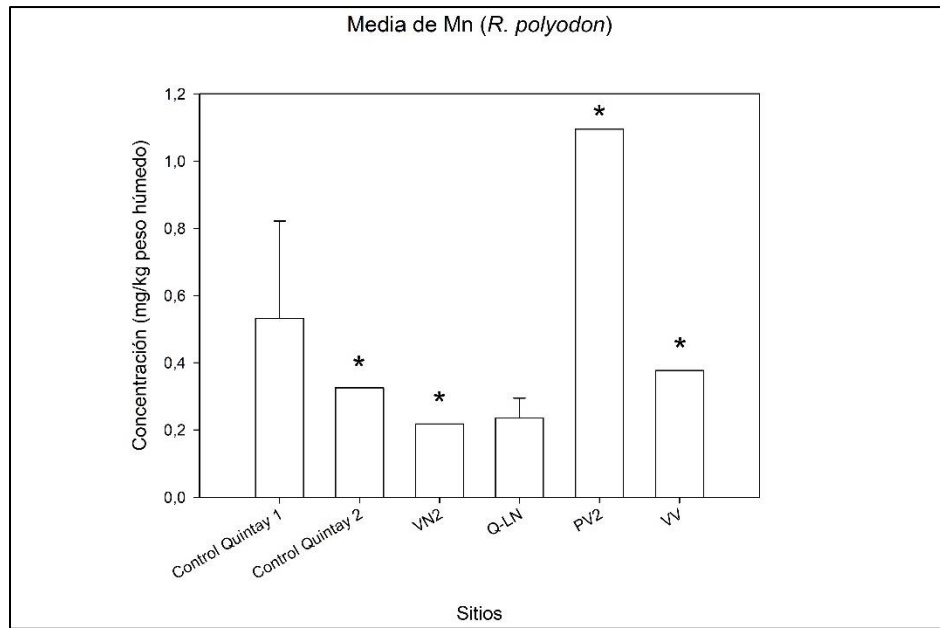


Figura 30. Gráfico de las medias de las concentraciones de Mn en *R. polyodon*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Q-LN: n=8. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

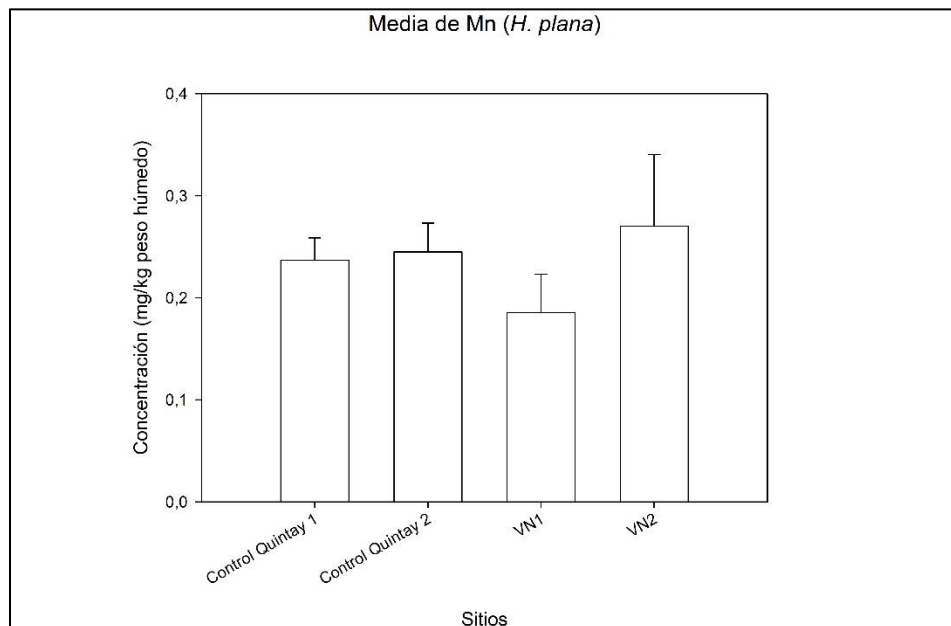


Figura 31. Gráfico de las medias de las concentraciones de Mn en *H.plana*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=3 / VN1: n=4 / VN2: n=4.

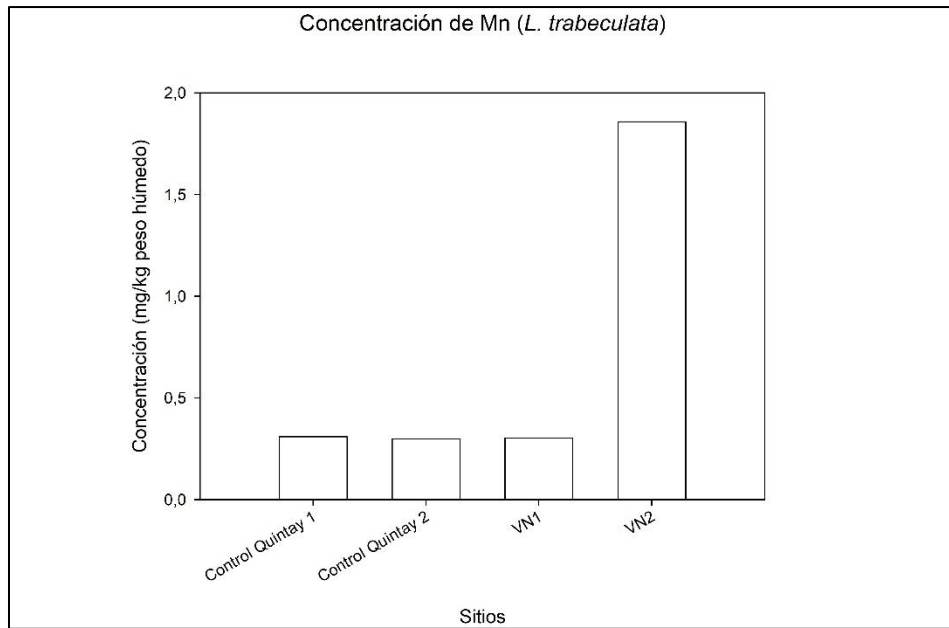


Figura 32. Gráfico de las concentraciones totales de Mn en *L. trabeculata*, expresadas en mg/kg (peso húmedo).

5) Plomo

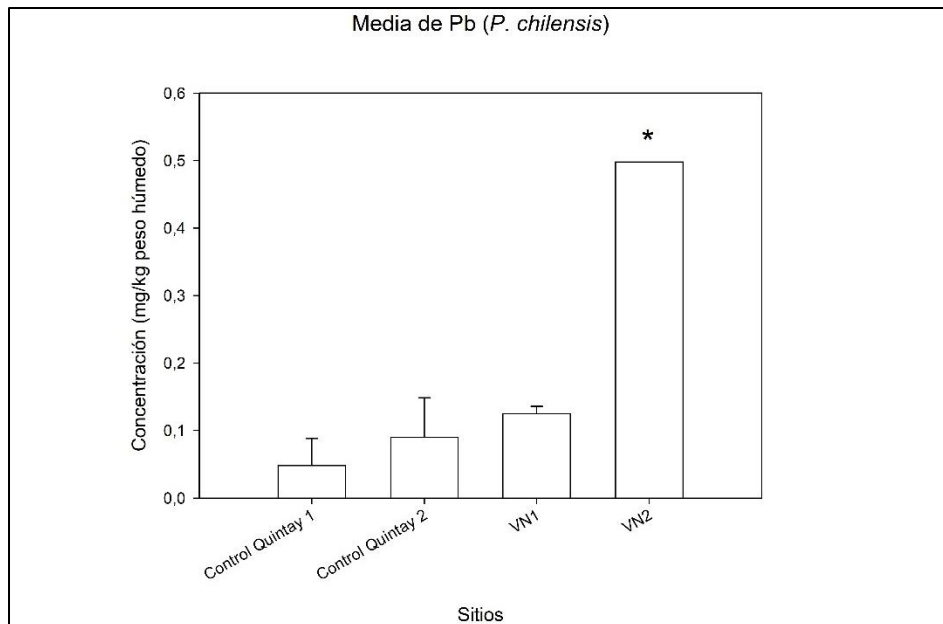


Figura 33. Gráfico de las medias de las concentraciones de Pb en *P. chilensis*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Control Quintay 2: n=4 / VN1: n=3. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar

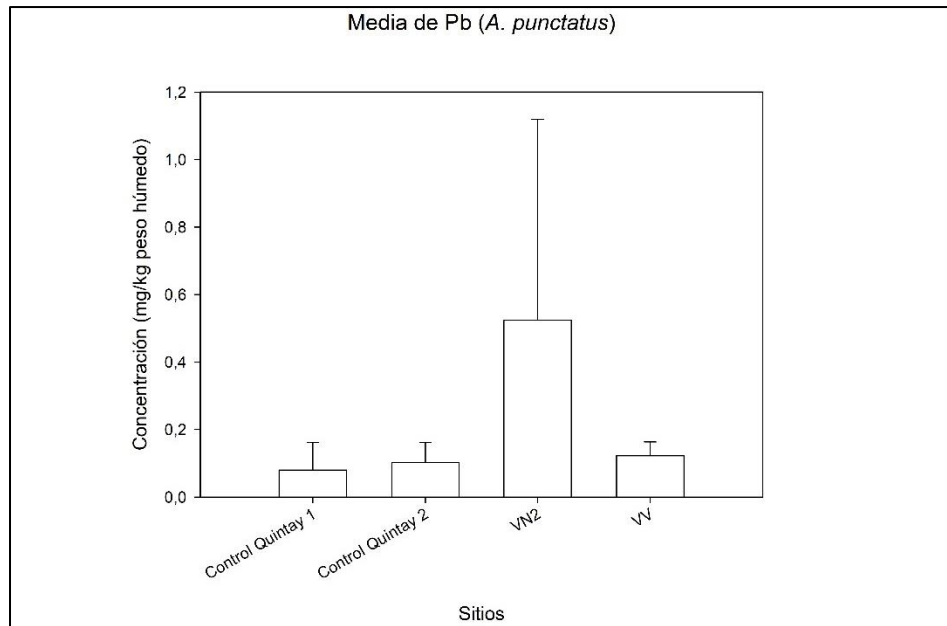


Figura 34. Gráfico de las medias de las concentraciones de Pb en *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=2 / VN2: n=2 / VV: n=3.

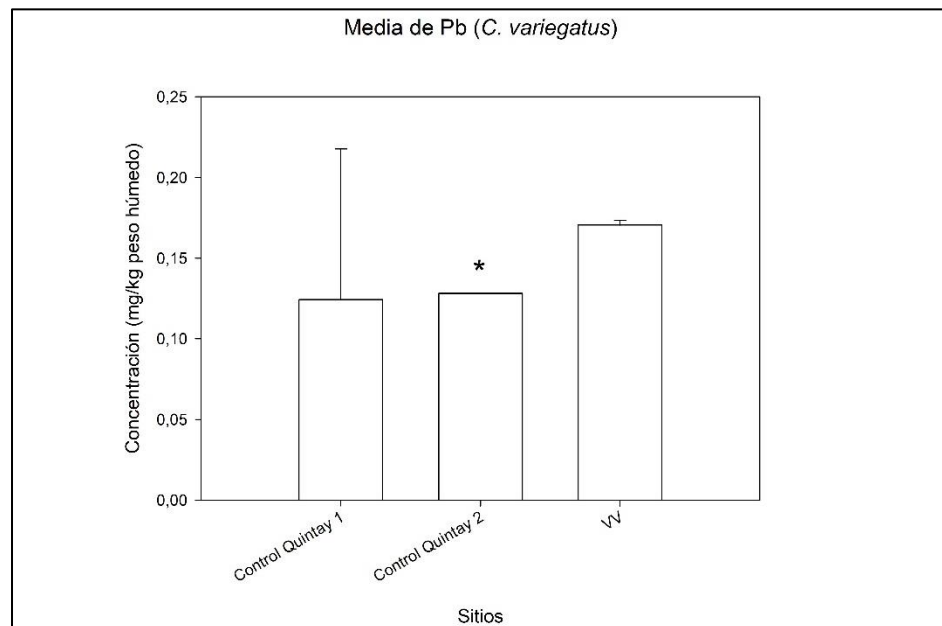


Figura 35. Gráfico de las medias de las concentraciones de Pb en *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / VV: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar

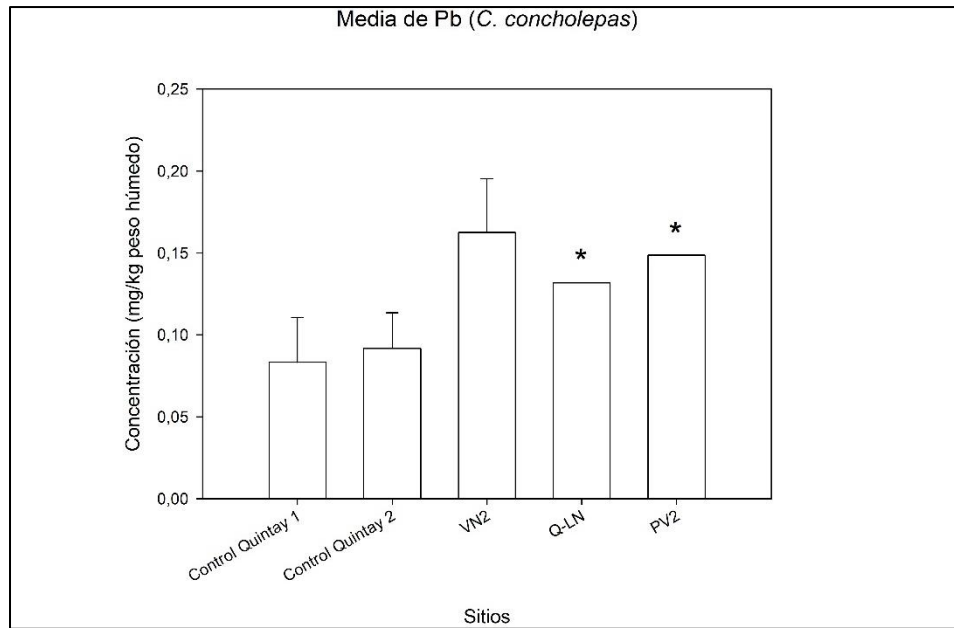


Figura 36. Gráfico de las medias de las concentraciones de Pb en *C. concholepas*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=7 / VN2: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

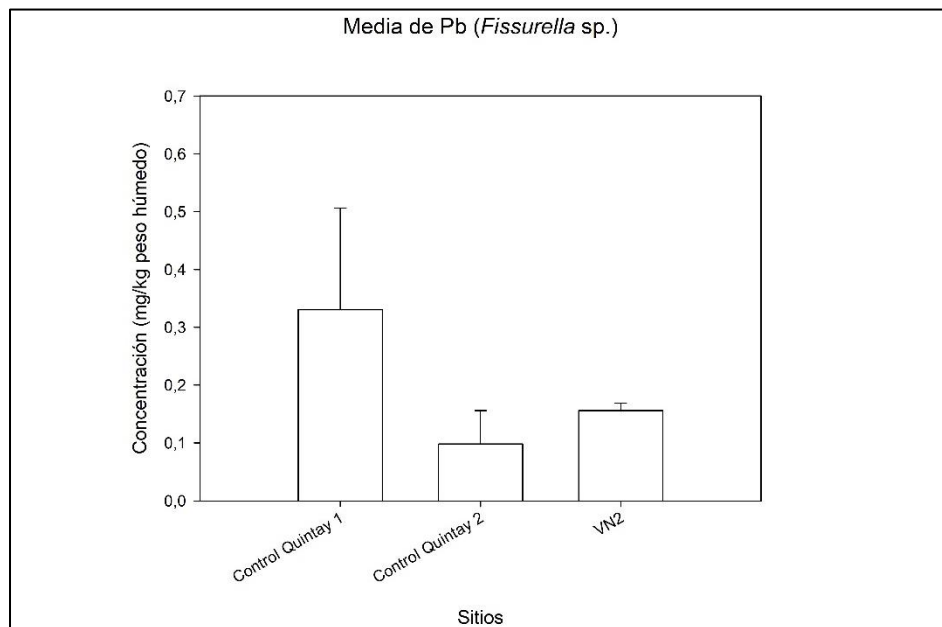


Figura 37. Gráfico de las medias de las concentraciones de Pb en *Fissurella* sp., expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=6 / VN2: n=3.

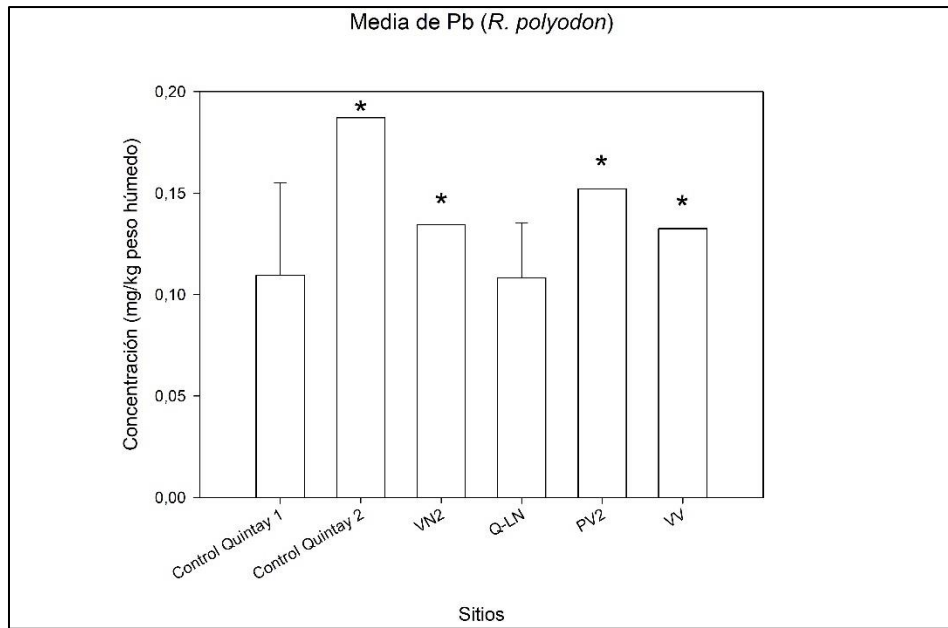


Figura 38. Gráfico de las medias de las concentraciones de Pb en *R. polyodon*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Q-LN: n=8. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

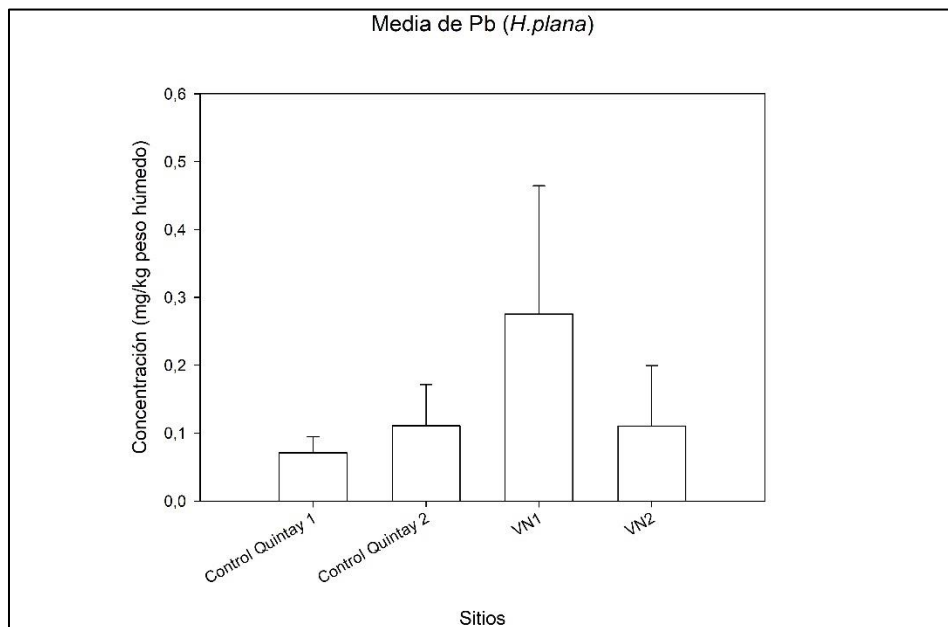


Figura 39. Gráfico de las medias de las concentraciones de Pb en *H.plana*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=3 / VN1: n=4 / VN2: n=4.

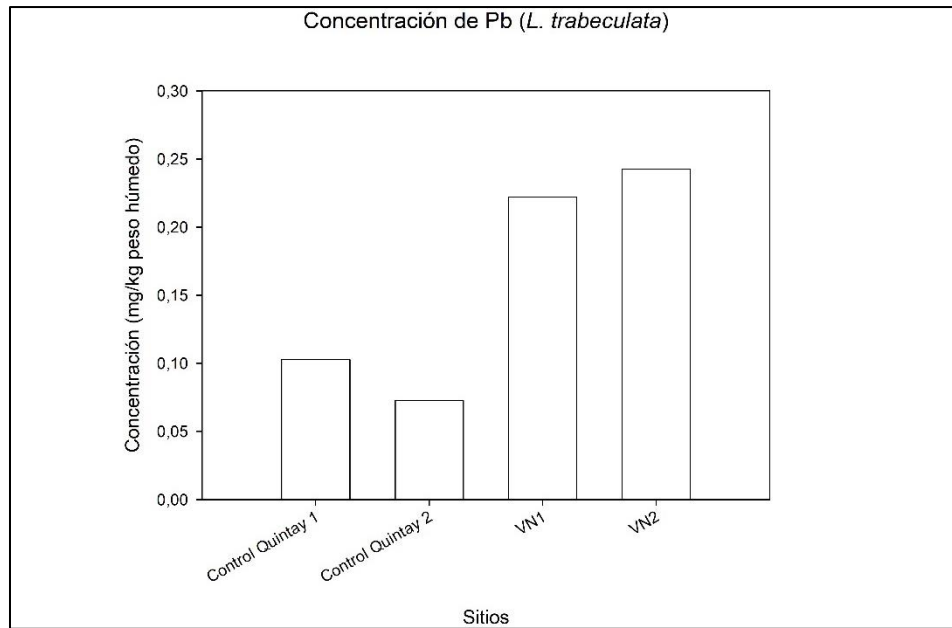


Figura 40. Gráfico de las concentraciones totales de Cd en *L. trabeculata*, expresadas en mg/kg (peso húmedo).

6) Vanadio

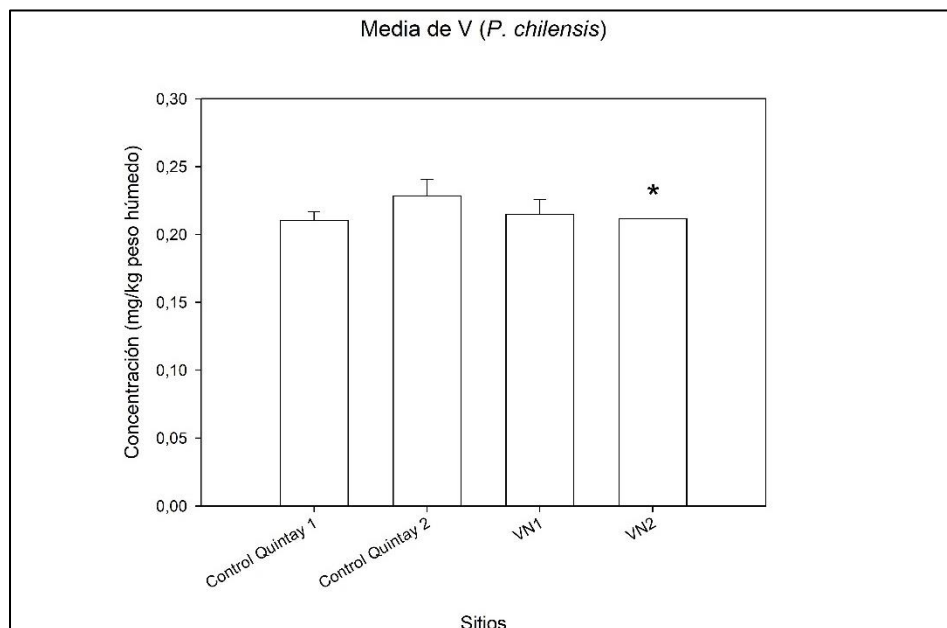


Figura 41. Gráfico de las medias de las concentraciones de V en *P. chilensis*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Control Quintay 2: n=4 / VN1: n=3. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar

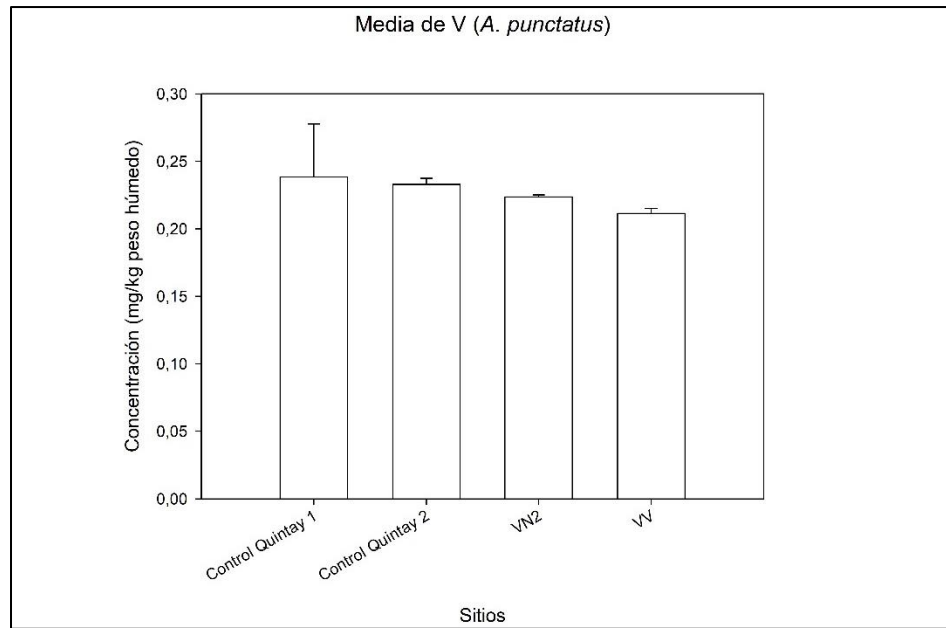


Figura 42. Gráfico de las medias de las concentraciones de V en *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=2 / VN2: n=2 / VV: n=3.

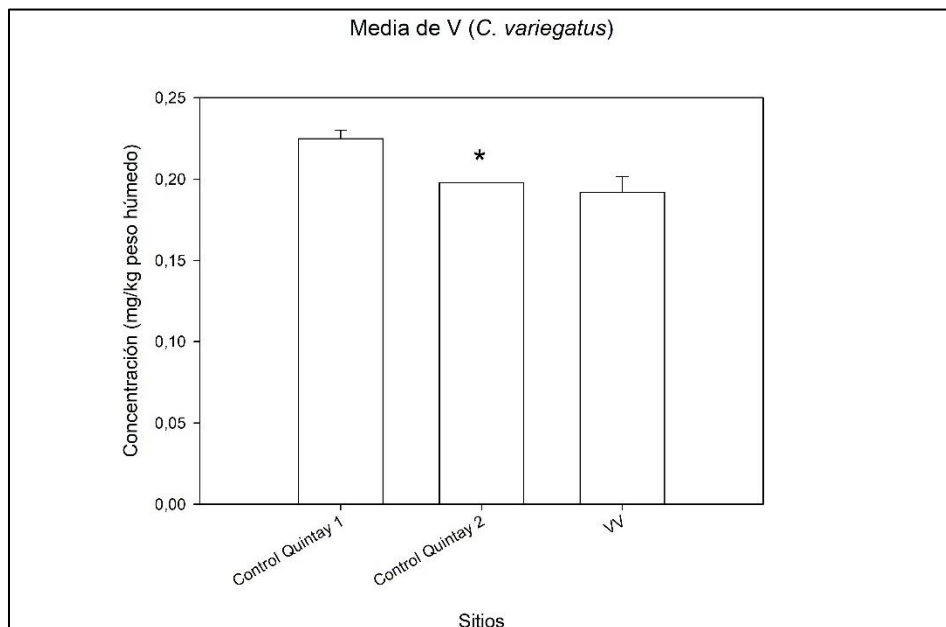


Figura 43. Gráfico de las medias de las concentraciones de V en *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / VV: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar

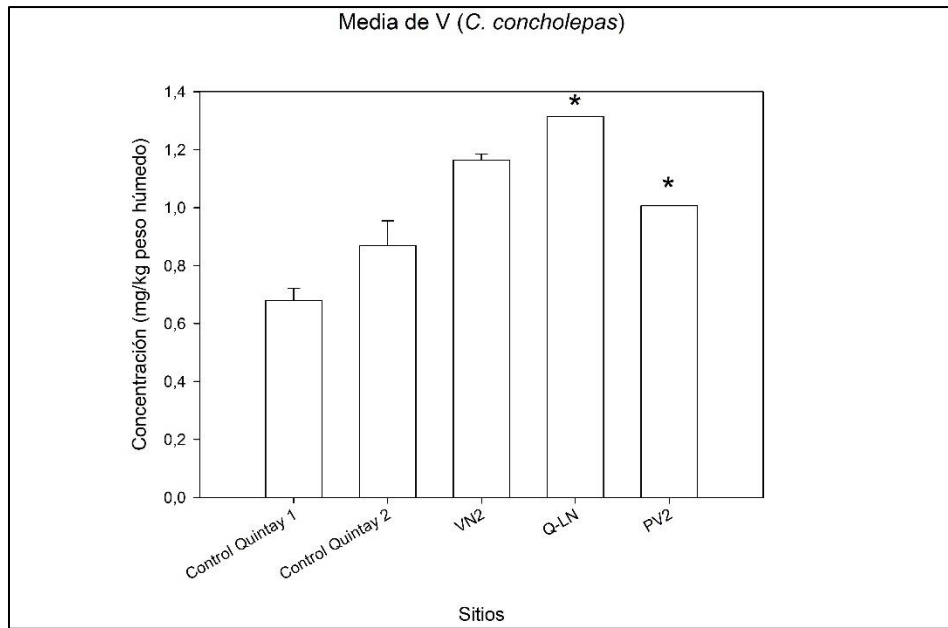


Figura 44. Gráfico de las medias de las concentraciones de V en *C. concholepas*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=7 / VN2: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

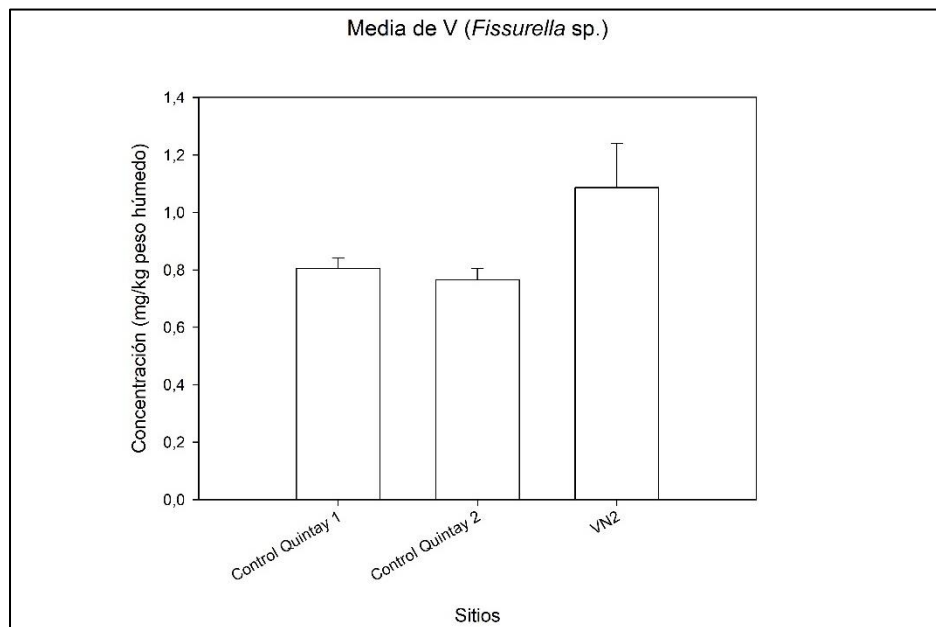


Figura 45. Gráfico de las medias de las concentraciones de V en *Fissurella* sp., expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=6 / VN2: n=3.

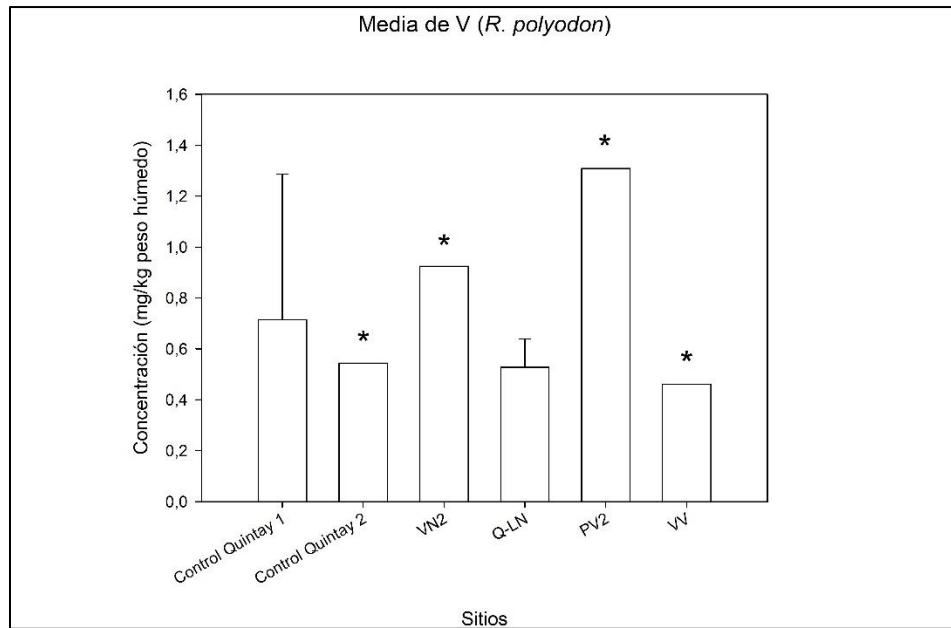


Figura 46. Gráfico de las medias de las concentraciones de V en *R. polyodon*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Q-LN: n=8. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

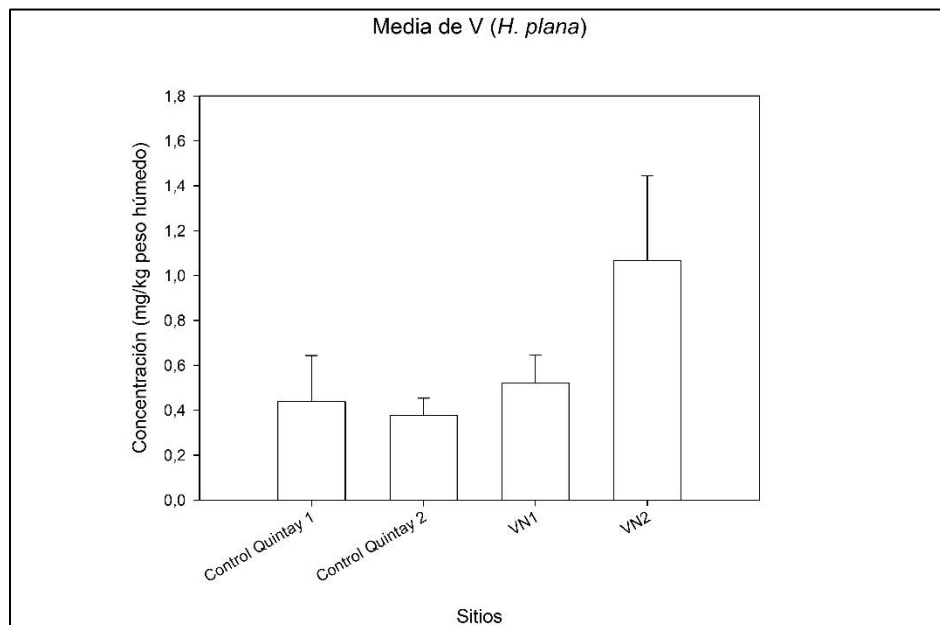


Figura 47. Gráfico de las medias de las concentraciones de V en *H.plana*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=3 / VN1: n=4 / VN2: n=4.

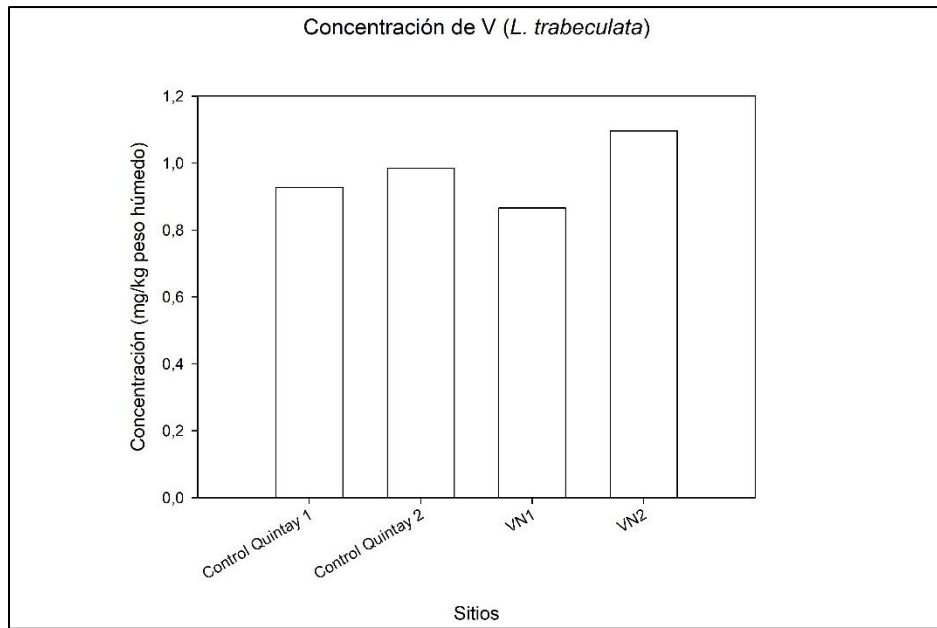


Figura 48. Gráfico de las concentraciones totales de V en *L. trabeculata*, expresadas en mg/kg (peso húmedo).

7) Zinc

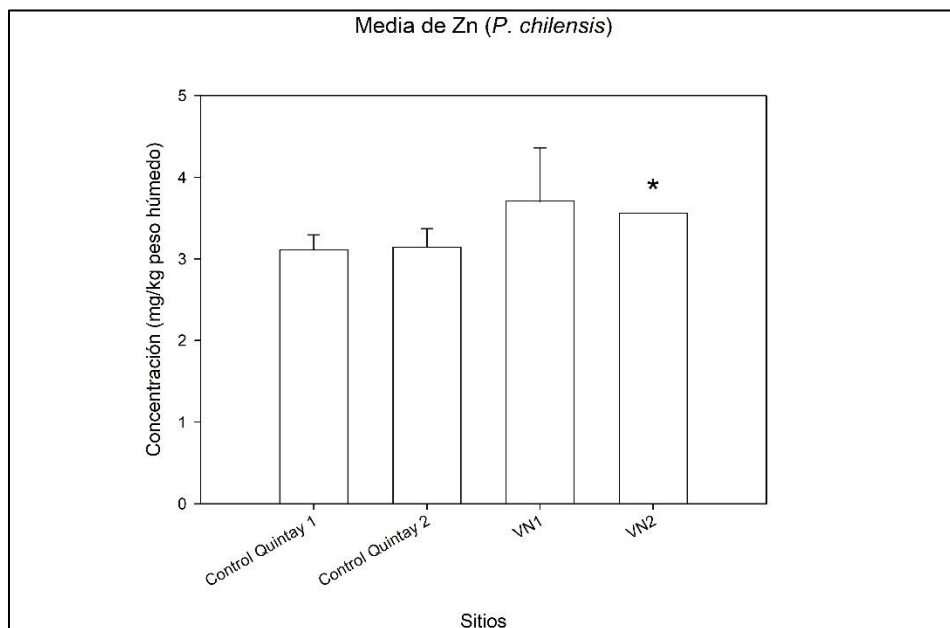


Figura 49. Gráfico de las medias de las concentraciones de Zn en *P. chilensis*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Control Quintay 2: n=4 / VN1: n=3. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar

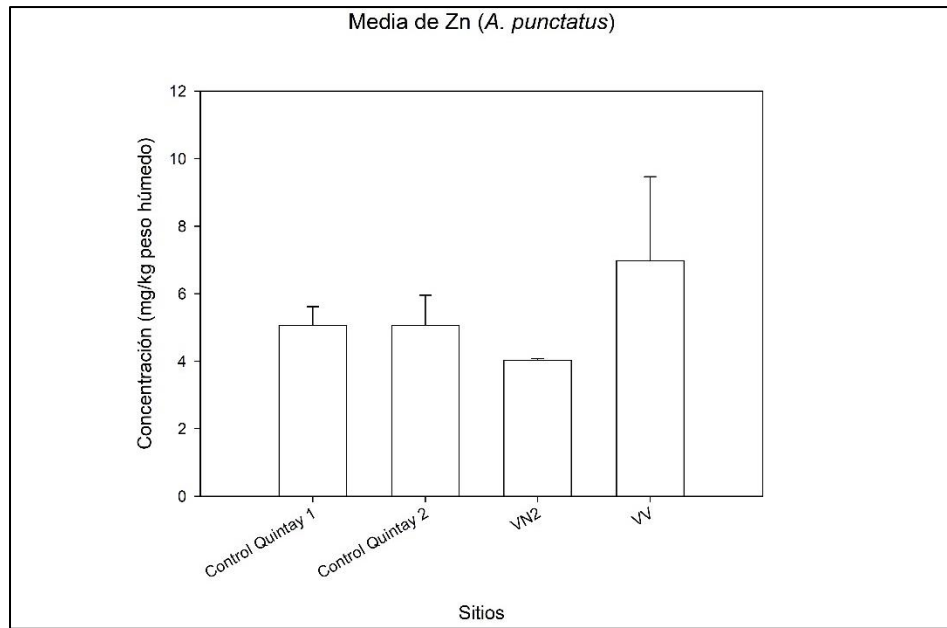


Figura 50. Gráfico de las medias de las concentraciones de Zn en *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=2 / VN2: n=2 / VV: n=3.

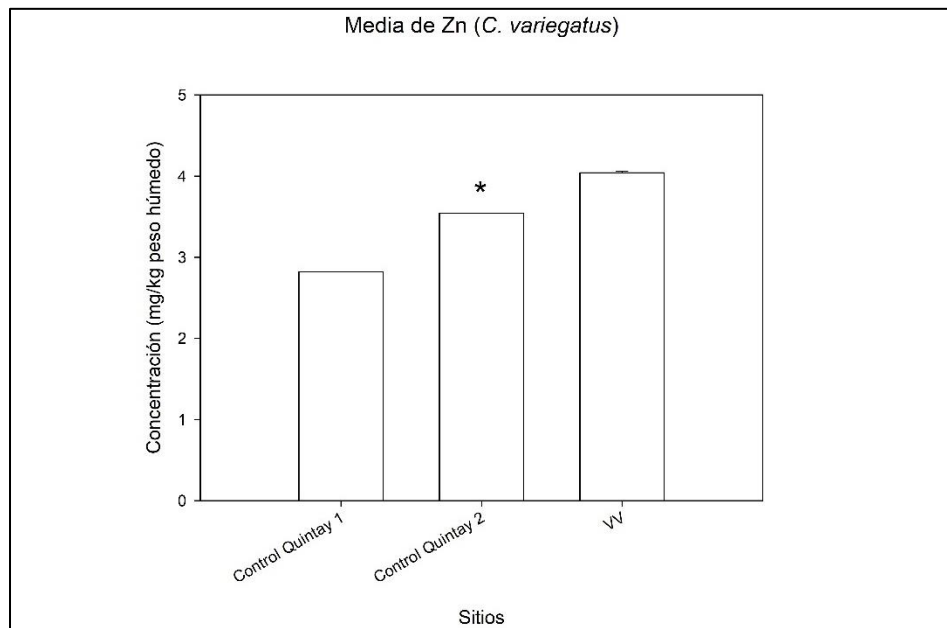


Figura 51. Gráfico de las medias de las concentraciones de Zn en *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / VV: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar

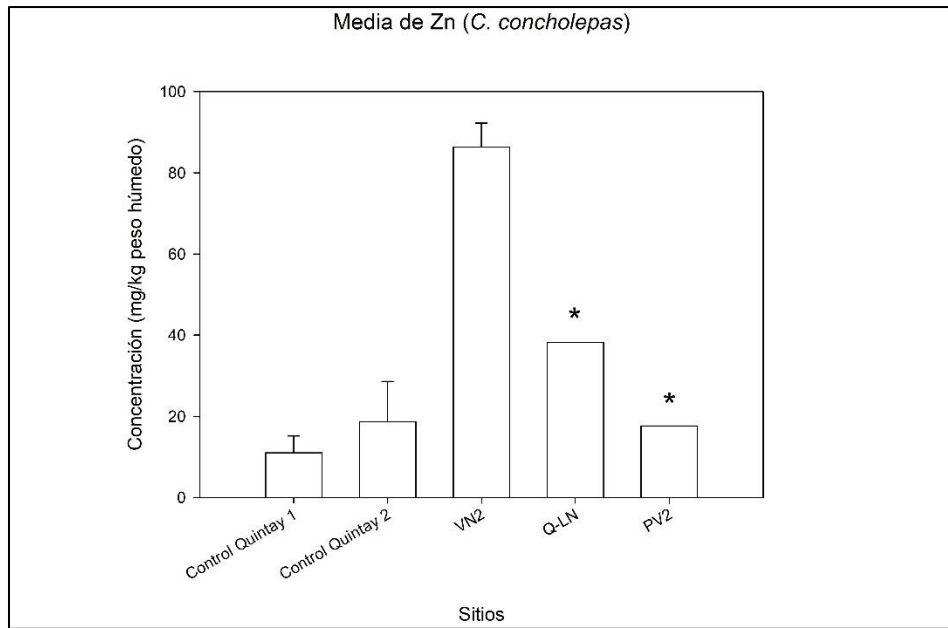


Figura 52. Gráfico de las medias de las concentraciones de Zn en *C. concholepas*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=7 / VN2: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

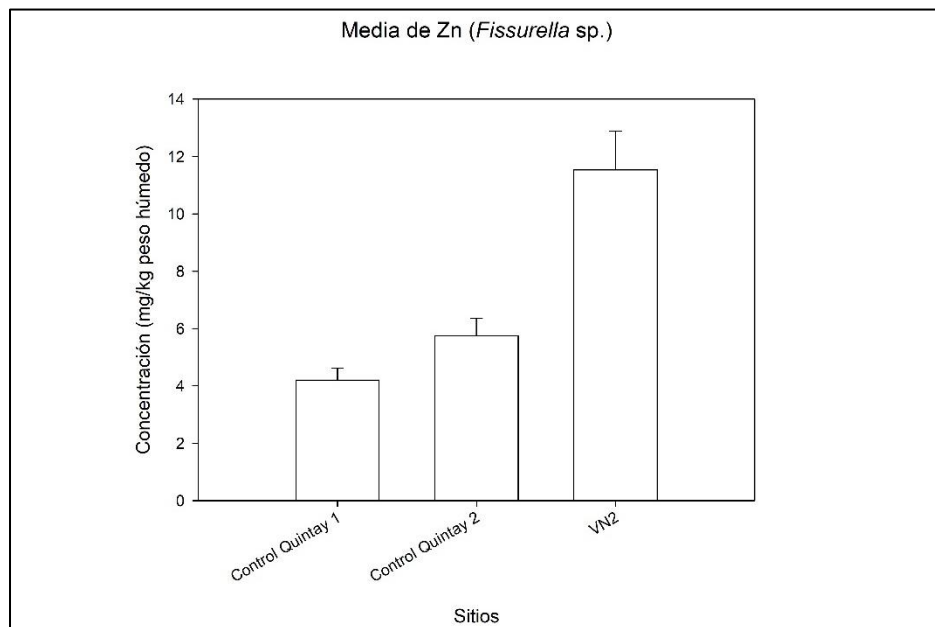


Figura 53. Gráfico de las medias de las concentraciones de Zn en *Fissurella* sp., expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=6 / VN2: n=3.

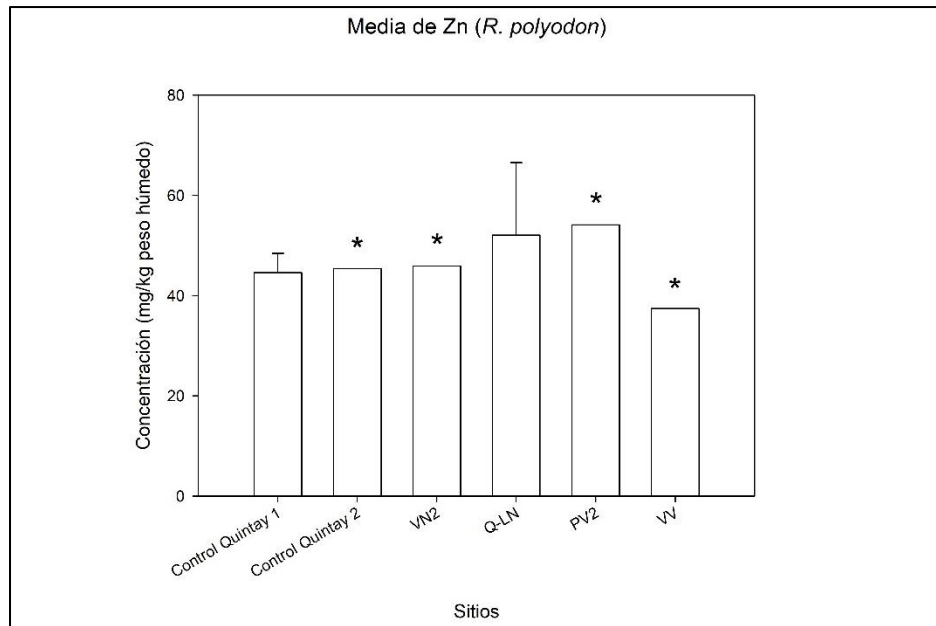


Figura 54. Gráfico de las medias de las concentraciones de Zn en *R. polyodon*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Q-LN: n=8. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

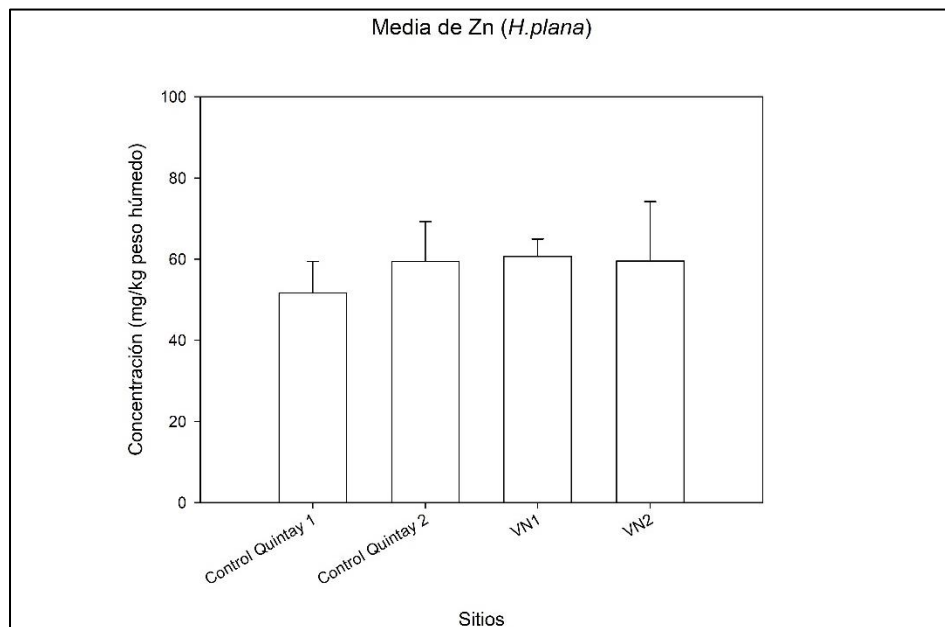


Figura 55. Gráfico de las medias de las concentraciones de Zn en *H.plana*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=3 / VN1: n=4 / VN2: n=4.

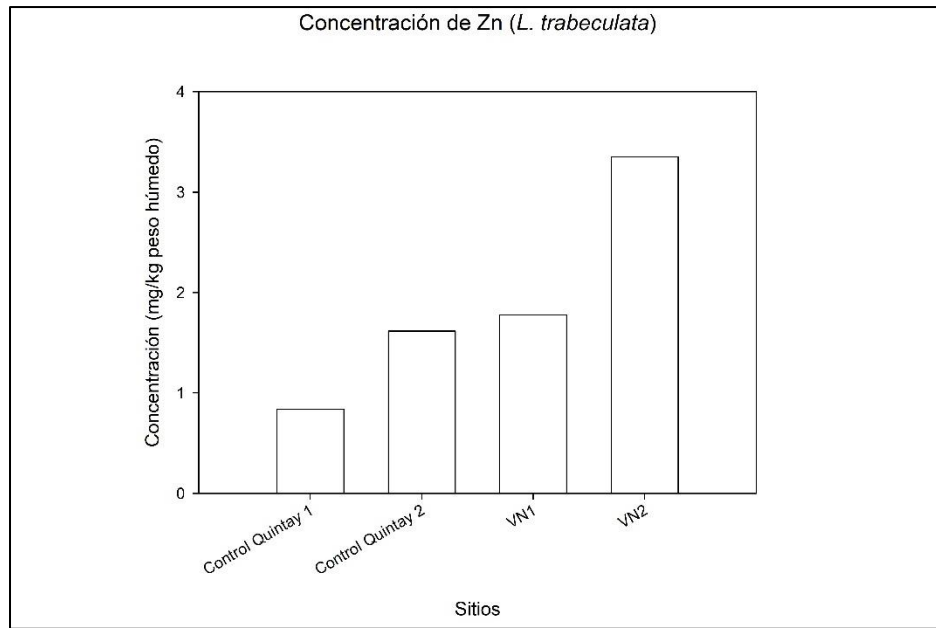


Figura 56. Gráfico de las concentraciones totales de Zn en *L. trabeculata*, expresadas en mg/kg (peso húmedo).

8) Mercurio

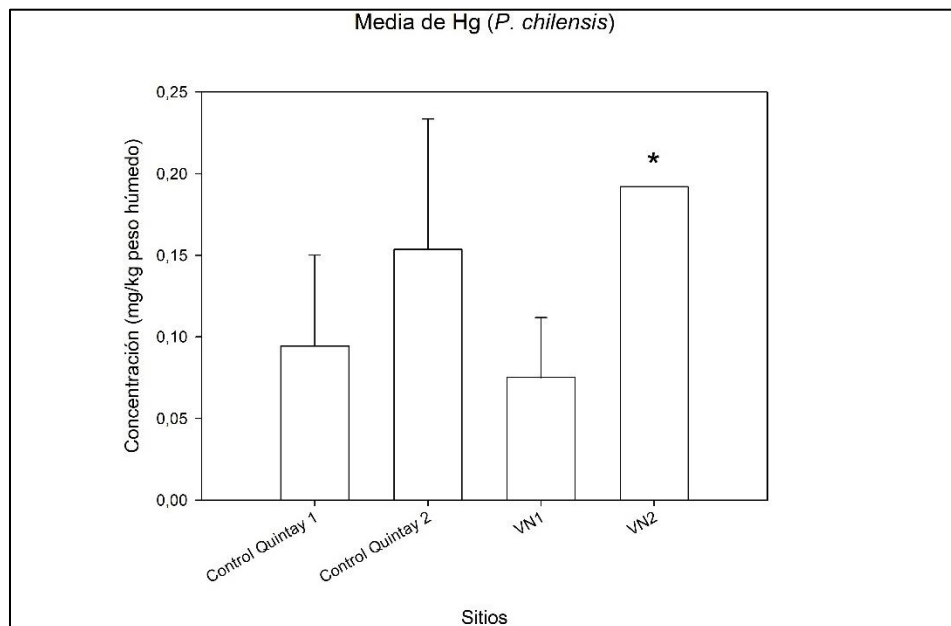


Figura 57. Gráfico de las medias de las concentraciones de Hg en *P. chilensis*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Control Quintay 2: n=4 / VN1: n=3. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar

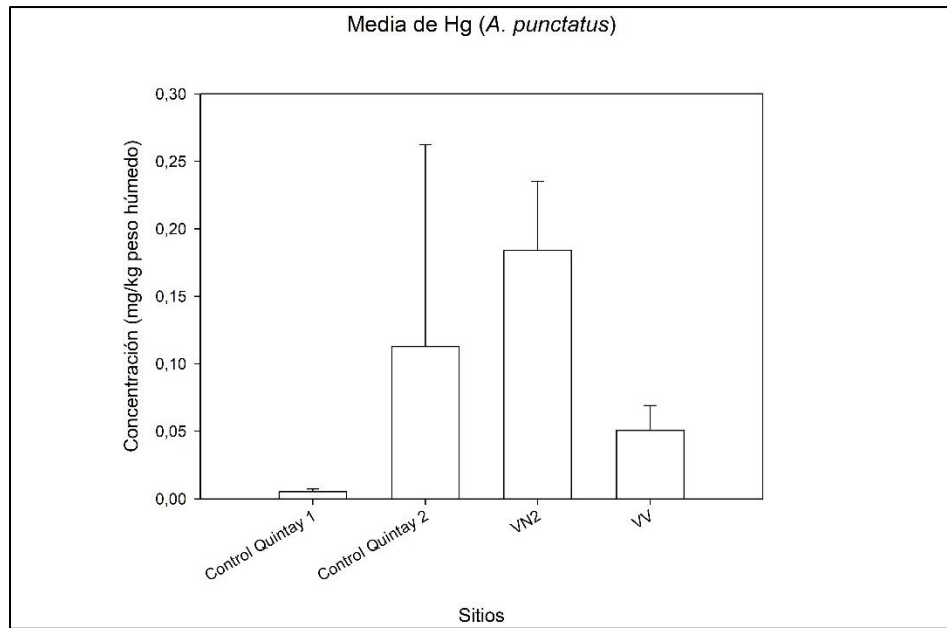


Figura 58. Gráfico de las medias de las concentraciones de Hg en *A. punctatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=2 / VN2: n=2 / VV: n=3.

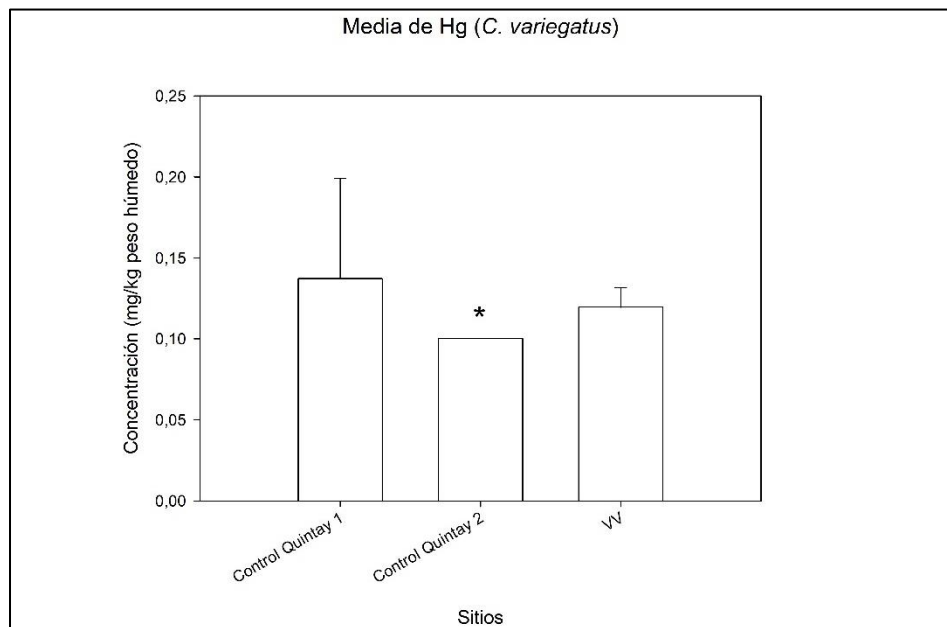


Figura 59. Gráfico de las medias de las concentraciones de Hg en *C. variegatus*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / VV: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar

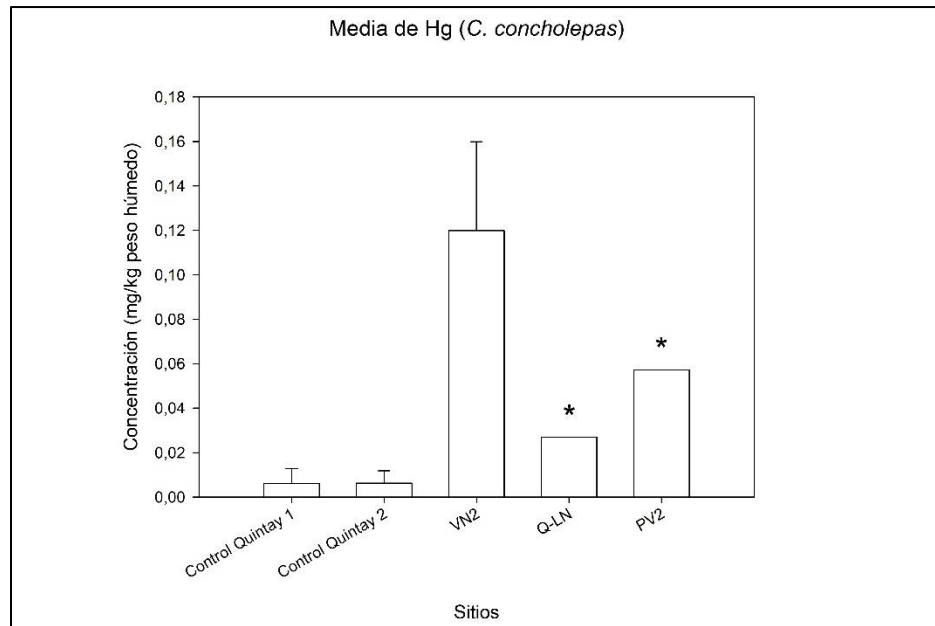


Figura 60. Gráfico de las medias de las concentraciones de Hg en *C. concholepas*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=7 / VN2: n=2. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

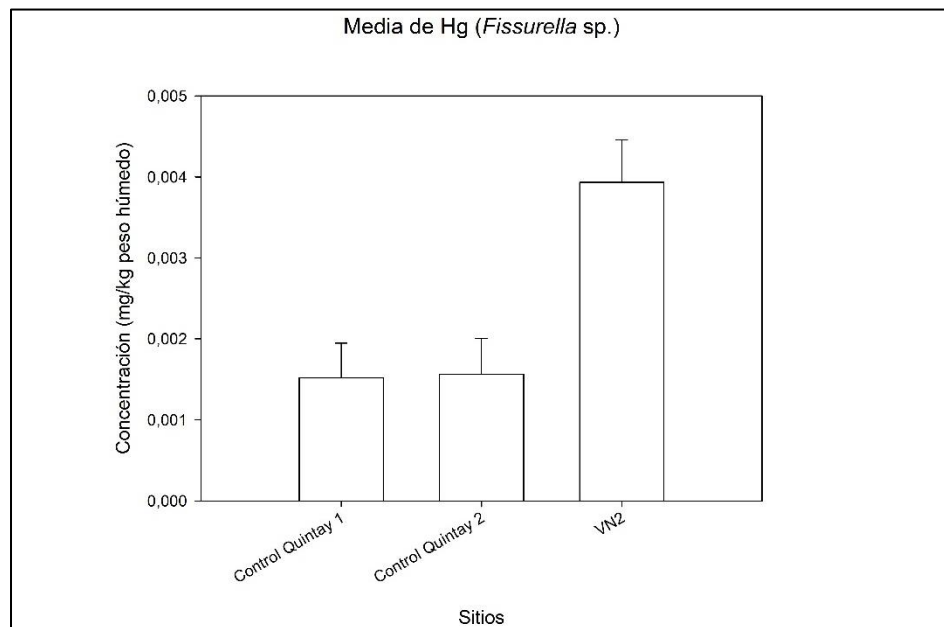


Figura 61. Gráfico de las medias de las concentraciones de Hg en *Fissurella* sp., expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=6 / Control Quintay 2: n=6 / VN2: n=3.

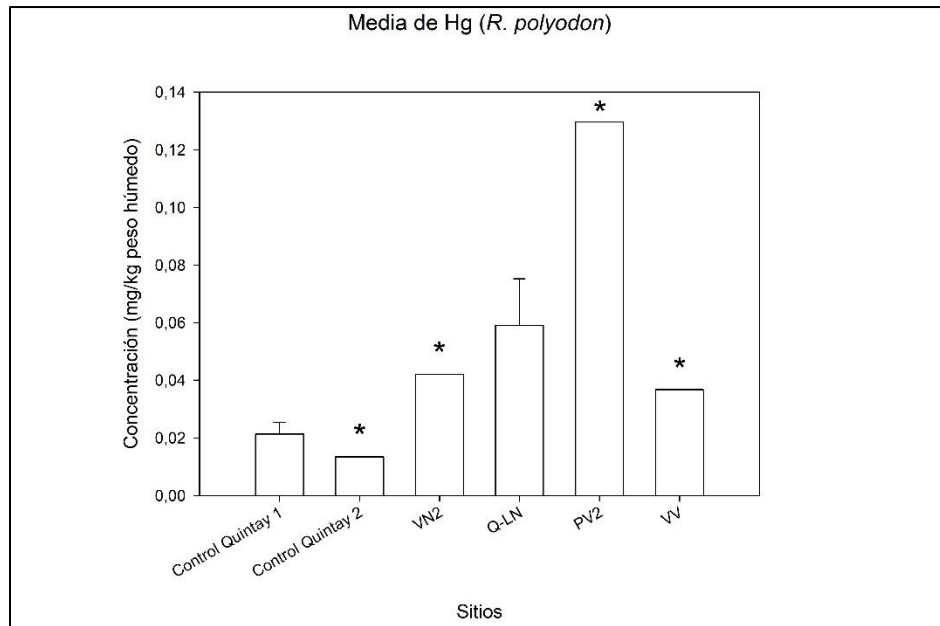


Figura 62. Gráfico de las medias de las concentraciones de Hg en *R. polyodon*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=3 / Q-LN: n=8. Asterisco (*) indica que solo se encontró un ejemplar.

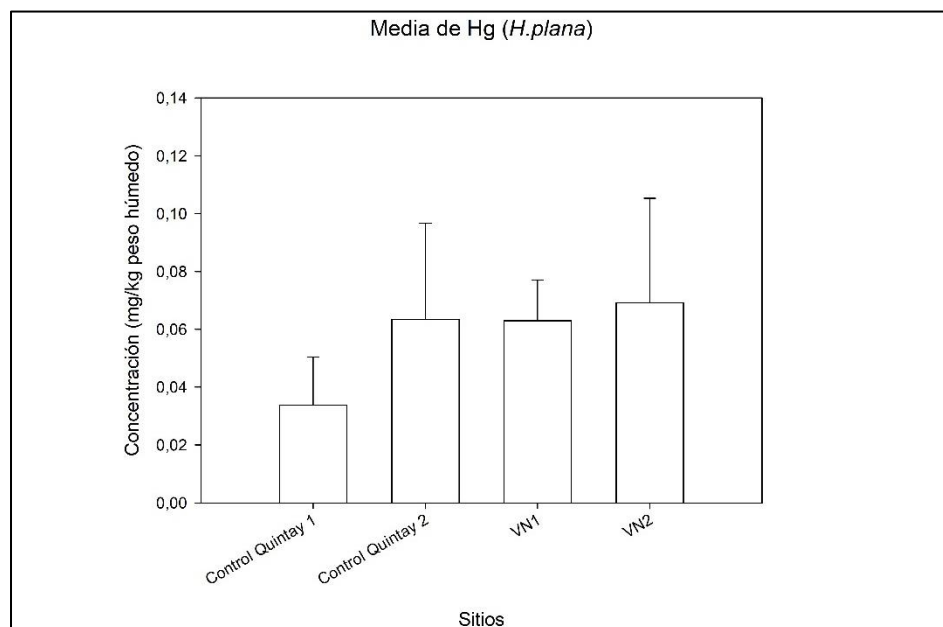


Figura 63. Gráfico de las medias de las concentraciones de Hg en *H.plana*, expresadas en mg/kg (peso húmedo). Barras de error representan desviación estándar. Control Quintay 1: n=2 / Control Quintay 2: n=3 / VN1: n=4 / VN2: n=4.

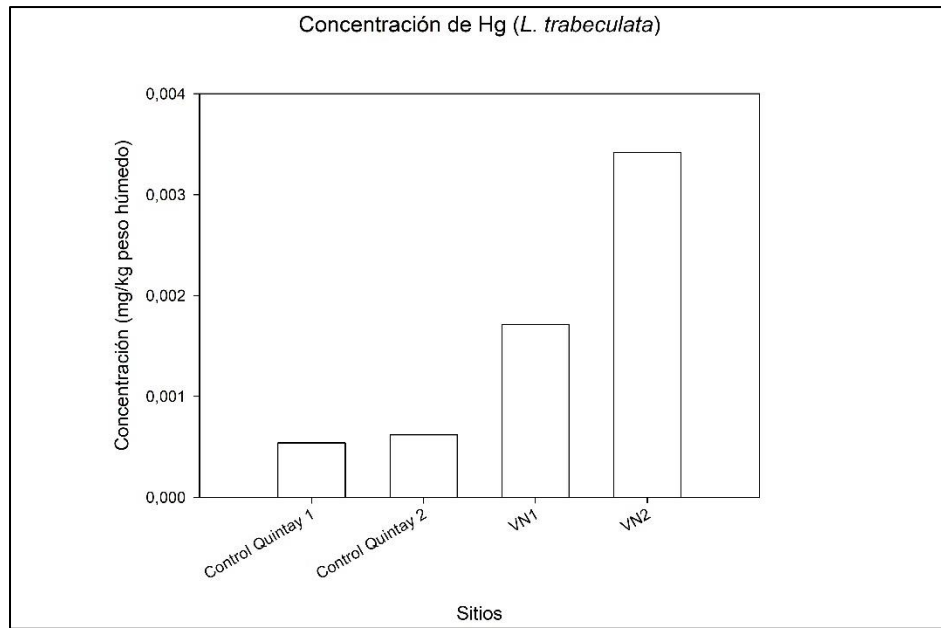


Figura 64. Gráfico de las concentraciones totales de Hg en *L. trabeculata*, expresadas en mg/kg (peso húmedo).

B) Estrategia de análisis estadísticos

1) Cadmio

Tabla 1. Promedio de las concentraciones y análisis estadísticos de C2, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Promedio sitio control (mg/kg peso húmedo)	Promedio sitio impactado (mg/kg peso húmedo)	T	P
Peces				
<i>P. chilensis</i>	0,011	0,046	-4,597	0,001
<i>A.punctatus</i>	0,011	0,040	-3,787	0,007
<i>C. variegatus</i>	0,012	0,046	<i>Falta replicabilidad</i>	
Moluscos				
<i>C. concholepas</i>	1,896	1,426	41,00	0,571
<i>Fissurella sp.</i>	0,242	0,492	-5,679	<0,001
<i>A.purpuratus</i>	<i>ne</i>	2,772	<i>Falta replicabilidad</i>	
Crustáceos				
<i>O. trimaculatus</i>	<i>ne</i>	0,911	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>R.polyodon</i>	0,698	2,483	28,00	0,602
<i>H. plana</i>	0,140	0,192	-0,984	0,346
<i>A.punctatus</i>	<i>ne</i>	0,386	<i>Falta replicabilidad</i>	
Algas				
<i>Rhodymenia sp.</i>	<i>ne</i>	0,228	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>Ulva sp.</i>	<i>ne</i>	0,092	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>L. trabeculata</i>	0,468	0,198	<i>Falta replicabilidad</i>	

2) Cromo

Tabla 2. Promedio de las concentraciones y análisis estadísticos de Cr, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Promedio sitio control (mg/kg peso húmedo)	Promedio sitio impactado (mg/kg peso húmedo)	T	P
Peces				
<i>P. chilensis</i>	0,161	0,173	34,00	0,073
<i>A.punctatus</i>	0,094	0,164	-1,984	0,088
<i>C. variegatus</i>	0,049	0,150	<i>Falta replicabilidad</i>	
Moluscos				
<i>C. concholepas</i>	0,043	0,160	62,00	0,003
<i>Fissurella sp.</i>	0,118	0,702	42,00	0,009
<i>A.purpuratus</i>	<i>ne</i>	0,321	<i>Falta replicabilidad</i>	
Crustáceos				
<i>O. trimaculatus</i>	<i>ne</i>	1,294	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>R.polyodon</i>	0,097	0,196	17,00	0,050
<i>H. plana</i>	0,062	0,321	15,00	0,002
<i>A.punctatus</i>	<i>ne</i>	0,187	<i>Falta replicabilidad</i>	
Algas				
<i>Rhodymenia sp.</i>	<i>ne</i>	0,687	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>Ulva sp.</i>	<i>ne</i>	0,061	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>L. trabeculata</i>	0,062	0,530	<i>Falta replicabilidad</i>	

3) Cobre

Tabla 3. Promedio de las concentraciones y análisis estadísticos de Cu, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Promedio sitio control (mg/kg peso húmedo)	Promedio sitio impactado (mg/kg peso húmedo)	T	P
Peces				
<i>P. chilensis</i>	0,291	0,471	38,00	0,006
<i>A.punctatus</i>	0,279	0,420	-3,557	0,009
<i>C. variegatus</i>	0,344	0,402	<i>Falta replicabilidad</i>	
Moluscos				
<i>C. concholepas</i>	3,960	14,652	-6,738	<0,001
<i>Fissurella sp.</i>	2,979	15,468	42,00	0,009
<i>A.purpuratus</i>	<i>ne</i>	7,712	<i>Falta replicabilidad</i>	
Crustáceos				
<i>O. trimaculatus</i>	<i>ne</i>	27,182	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>R.polyodon</i>	24,970	20,274	0,765	0,458
<i>H. plana</i>	14,121	14,857	26,00	0,222
<i>A.punctatus</i>	<i>ne</i>	14,862	<i>Falta replicabilidad</i>	
Algas				
<i>Rhodymenia sp.</i>	<i>ne</i>	2,454	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>Ulva sp.</i>	<i>ne</i>	1,536	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>L. trabeculata</i>	0,192	1,164	<i>Falta replicabilidad</i>	

4) Manganeso

Tabla 4. Promedio de las concentraciones y análisis estadísticos de Mn, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Promedio sitio control (mg/kg peso húmedo)	Promedio sitio impactado (mg/kg peso húmedo)	T	P
Peces				
<i>P. chilensis</i>	0,153	0,179	28,00	0,527
<i>A.punctatus</i>	0,114	0,152	-1,347	0,220
<i>C. variegatus</i>	0,089	0,091	<i>Falta replicabilidad</i>	
Moluscos				
<i>C. concholepas</i>	0,368	0,537	-3,618	0,003
<i>Fissurella sp.</i>	0,407	1,197	-10,053	<0,001
<i>A.purpuratus</i>	<i>ne</i>	5,047	<i>Falta replicabilidad</i>	
Crustáceos				
<i>O. trimaculatus</i>	<i>ne</i>	3,684	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>R.polyodon</i>	0,481	0,325	42,00	0,192
<i>H. plana</i>	0,242	0,228	0,432	0,674
<i>A.punctatus</i>	<i>ne</i>	1,297	<i>Falta replicabilidad</i>	
Algas				
<i>Rhodymenia sp.</i>	<i>ne</i>	2,476	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>Ulva sp.</i>	<i>ne</i>	0,738	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>L. trabeculata</i>	0,303	1,080	<i>Falta replicabilidad</i>	

5) Plomo

Tabla 5. Promedio de las concentraciones y análisis estadísticos de Pb, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Promedio sitio control (mg/kg peso húmedo)	Promedio sitio impactado (mg/kg peso húmedo)	T	P
Peces				
<i>P. chilensis</i>	0,072	0,218	35,00	0,042
<i>A.punctatus</i>	0,090	0,283	16,00	0,413
<i>C. variegatus</i>	0,126	0,171	<i>Falta replicabilidad</i>	
Moluscos				
<i>C. concholepas</i>	0,087	0,151	-4,664	<0,001
<i>Fissurella sp.</i>	0,214	0,012	24,00	1,000
<i>A.purpuratus</i>	<i>ne</i>	0,498	<i>Falta replicabilidad</i>	
Crustáceos				
<i>O. trimaculatus</i>	<i>ne</i>	0,262	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>R.polyodon</i>	0,129	0,117	0,587	0,567
<i>H. plana</i>	0,094	0,193	-1,293	0,222
<i>A.punctatus</i>	<i>ne</i>	0,156	<i>Falta replicabilidad</i>	
Algas				
<i>Rhodymenia sp.</i>	<i>ne</i>	0,176	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>Ulva sp.</i>	<i>ne</i>	0,222	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>L. trabeculata</i>	0,087	0,232	<i>Falta replicabilidad</i>	

6) Vanadio

Tabla 6. Promedio de las concentraciones y análisis estadísticos de V, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Promedio sitio control (mg/kg peso húmedo)	Promedio sitio impactado (mg/kg peso húmedo)	T	P
Peces				
<i>P. chilensis</i>	0,221	0,214	0,865	0,410
<i>A.punctatus</i>	0,236	0,216	1,792	0,116
<i>C. variegatus</i>	0,216	0,192	<i>Falta replicabilidad</i>	
Moluscos				
<i>C. concholepas</i>	0,782	1,162	-5,534	<0,001
<i>Fissurella sp.</i>	0,785	1,086	-6,460	<0,001
<i>A.purpuratus</i>	<i>ne</i>	0,860	<i>Falta replicabilidad</i>	
Crustáceos				
<i>O. trimaculatus</i>	<i>ne</i>	1,698	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>R.polyodon</i>	0,671	0,628	29,00	0,695
<i>H. plana</i>	0,402	0,794	-2,150	0,055
<i>A.punctatus</i>	<i>ne</i>	0,807	<i>Falta replicabilidad</i>	
Algas				
<i>Rhodymenia sp.</i>	<i>ne</i>	1,825	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>Ulva sp.</i>	<i>ne</i>	0,850	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>L. trabeculata</i>	0,956	0,981	<i>Falta replicabilidad</i>	

7) Zinc

Tabla 7. Promedio de las concentraciones y análisis estadísticos de Zn, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Promedio sitio control (mg/kg peso húmedo)	Promedio sitio impactado (mg/kg peso húmedo)	T	P
Peces				
<i>P. chilensis</i>	3,130	3,671	-2,478	0,035
<i>A. punctatus</i>	5,062	5,795	20,00	1,000
<i>C. variegatus</i>	3,060	4,042	<i>Falta replicabilidad</i>	
Moluscos				
<i>C. concholepas</i>	15,092	57,150	-4,229	<0,001
<i>Fissurella sp.</i>	4,970	11,532	-9,964	<0,001
<i>A. purpuratus</i>	<i>ne</i>	28,024	<i>Falta replicabilidad</i>	
Crustáceos				
<i>O. trimaculatus</i>	<i>ne</i>	47,497	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>R. polyodon</i>	44,809	50,385	-0,830	0,422
<i>H. plana</i>	56,300	60,101	-0,689	0,505
<i>A. punctatus</i>	<i>ne</i>	34,425	<i>Falta replicabilidad</i>	
Algas				
<i>Rhodomenia sp.</i>	<i>ne</i>	8,325	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>Ulva sp.</i>	<i>ne</i>	2,514	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>L. trabeculata</i>	1,226	2,565	<i>Falta replicabilidad</i>	

8) Mercurio

Tabla 8. Promedio de las concentraciones y análisis estadísticos de Hg, expresadas en mg/kg (peso húmedo)

Especie	Promedio sitio control (mg/kg peso húmedo)	Promedio sitio impactado (mg/kg peso húmedo)	T	P
Peces				
<i>P. chilensis</i>	0,128	0,104	0,543	0,601
<i>A.punctatus</i>	0,058	0,104	14,00	0,190
<i>C. variegatus</i>	0,125	0,120	<i>Falta replicabilidad</i>	
Moluscos				
<i>C. concholepas</i>	0,006	0,081	62,00	0,003
<i>Fissurella sp.</i>	0,001	0,003	-8,516	<0,001
<i>A.purpuratus</i>	<i>ne</i>	0,014	<i>Falta replicabilidad</i>	
Crustáceos				
<i>O. trimaculatus</i>	<i>ne</i>	0,135	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>R.polyodon</i>	0,019	0,061	10,00	0,004
<i>H. plana</i>	0,051	0,066	-0,939	0,368
<i>A.punctatus</i>	<i>ne</i>	0,006	<i>Falta replicabilidad</i>	
Algas				
<i>Rhodymenia sp.</i>	<i>ne</i>	0,002	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>Ulva sp.</i>	<i>ne</i>	0,002	<i>Falta replicabilidad</i>	
<i>L. trabeculata</i>	0,0005	0,002	<i>Falta replicabilidad</i>	