

## NIVELES DE As, Cd, Cu, Mn, Se Y Zn EN TEJIDO MUSCULAR Y HEPÁTICO DEL *Cheilodactylus variegatus* VALENCIENNES, 1833 “PINTADILLA” EN LA ZONA COSTERA DE LIMA, PERÚ

Sigfredo Alexander Quintana Paetán\*

### RESUMEN

La “pintadilla” (*Cheilodactylus variegatus* Valenciennes, 1833) es una especie marina que se desarrolla cerca de la costa y es capturada por la pesca artesanal para consumo humano. El objetivo de este estudio fue determinar la concentración de los elementos As, Cd, Cu, Mn, Se y Zn en esta especie (tejido muscular y tejido hepático) en la zona costera de Lima. Se recolectaron un total de 32 muestras, durante 8 meses (periodo de setiembre 2018 a marzo 2019), en los mercados pesqueros artesanales de Chorrillos y Ancón, determinándose la concentración de los elementos citados mediante la espectrofotometría de emisión óptica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES). En general, las mayores concentraciones promedio de elementos fueron encontradas en el tejido hepático en comparación con el tejido muscular para ambas zonas (cadmio y manganeso no se detectaron en el tejido muscular). Se evidenció que no hay diferencia significativa entre las medias de las concentraciones para las dos zonas de muestreo (con excepción del cobre). Se evidenció correlación positiva solo en algunos de los elementos en estudio.

**Palabras clave:** Bioacumulación, espectrofotometría de emisión óptica con plasma de acoplamiento inductivo, metales, no metales, pintadilla.

## LEVELS OF AS, CD, CU, MN, SE AND ZN IN MUSCLE AND LIVER TISSUE OF CHEILODACTYLUS VARIEGATUS VALENCIENNES, 1833 “PINTADILLA” IN THE COASTAL AREA OF LIMA, PERU

### ABSTRACT

The "pintadilla" (*Cheilodactylus variegatus* Valenciennes, 1833) is a marine species that grows near the coast and is caught by artisanal fishing for human consumption. The objective of this study was to determine the concentration of the elements As, Cd, Cu, Mn, Se and Zn in this species (muscle tissue and liver tissue) in the coastal zone of Lima. A total of 32

---

\* Unidad de Posgrado. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos UNMSM. Av. Venezuela s/n cuadra 34. Lima, Perú.  
e-mail: alexander.quintana.paetan@gmail.com

samples were collected, during 8 months (period from september 2018 to march 2019), in the Artisanal Fisheries Markets of Chorrillos and Ancon, determining the concentration of the mentioned elements by means of optical emission spectrophotometry with inductively coupled plasma (ICP-OES). In general, the highest average concentrations of elements were found in liver tissue compared to muscle tissue for both areas (cadmium and manganese were not detected in muscle tissue). It was evidenced that there is no significant difference between the means of the concentrations for the two sampling areas (with the exception of copper). Positive correlation was evidenced only in some of the elements under study.

**Keywords:** Bioaccumulation, inductively coupled plasma optical emission spectrophotometry, metals, nonmetals, pintadilla.

## INTRODUCCIÓN

*Cheilodactylus variegatus* Valenciennes, 1833; nombre científico de la “pintadilla” o “paramo”, conocidas con estos nombres en Perú<sup>1</sup>, “bilagay” o “pintacha” en Chile<sup>2</sup>, es una especie marina que se desarrolla entre Paita, Piura (Perú) y la Región de Los Lagos (Chile)<sup>2,3</sup>. La pintadilla se desarrolla cerca de la costa, en zonas rocosas que pueden estar cubiertas de algas<sup>3,4</sup>, es una especie bentónica que vive en pequeños cardúmenes, se desarrollan hasta profundidades de 40 metros<sup>3</sup>, cercanas a la costa, en aguas de color o turbias, de preferencia<sup>5</sup>. En el Perú, la extracción y pesca de la pintadilla se realiza dentro de las 5 millas marinas, con el empleo de arpones, redes cortina o atarrayas, anzuelo, entre otros, por pescadores artesanales<sup>5</sup>. La alimentación de esta especie está compuesta por una variedad de invertebrados marinos, mayormente por crustáceos y moluscos<sup>6</sup>, además de platelmintos, poliquetos y equinodermos entre otras especies<sup>3,5,6,7</sup>.

El mar es una fuente de alimentos con alto contenido de proteínas (fauna marina); sin embargo, debido a los altos niveles de contaminación cada vez más crecientes, para algunos investigadores el mar se considera como el basurero sin fronteras que es el destino final de residuos, básicamente antropogénicos<sup>8</sup>. La mayor parte de la destrucción del hábitat marino se produce en la franja costera<sup>9</sup>, producto de la contaminación, lo que provoca modificaciones ecológicas susceptibles de amenazar el equilibrio natural<sup>8</sup>, siendo mayor esta problemática en los países en vías de desarrollo donde el crecimiento de la población, la pobreza y la falta de una gestión gubernamental adecuada agudizan esta situación<sup>9</sup>.

Entre los contaminantes químicos vertidos a los cuerpos de agua marinos tenemos a los metales. Aunque la mayoría de los organismos necesitan pequeñas cantidades de ciertos metales, los cuales son nutrientes esenciales (desempeñan funciones esenciales)<sup>8,10</sup>, sus ingresos inadecuados deterioran las funciones tisulares, por esto debe coexistir un equilibrio entre exceso y defecto en lo que se refiere a estos metales esenciales<sup>9,10,11</sup>. Entre los metales encontramos aquellos que tienen mayores efectos toxicológicos y ecotoxicológicos en ambientes acuáticos; estos son los contaminantes ambientales más peligrosos, debido a que no son biodegradables y tiene capacidad de bioacumulación en los organismos vivos<sup>11</sup>. Entre estos podemos citar al Hg, As, Cr, Pb y Cd; además, la sensibilidad de los organismos marinos a los metales pesados varía de una especie a otra<sup>8</sup>. Los factores que pueden influenciar en la

mayor o menor captación de los metales en las especies marinas son la disponibilidad del metal en solución, relacionado directamente al pH del medio, la concentración del oxígeno disuelto, la dieta de la especie, entre otros factores.

El estudio sobre la concentración de metales pesados en especies marinas del mar peruano es aún insuficiente. Si bien es cierto, hay algunos estudios que evalúan las concentraciones de determinados metales en especies ampliamente consumidas por la población (por lo general, especies que no se desarrollan cerca a la costa); sin embargo, hay pocos estudios sobre especies marinas que se desarrollan cerca a la costa, siendo la zona costera la que sufre mayor impacto por las descargas antropogénicas.

Este trabajo evalúa las concentraciones de los elementos arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), manganeso (Mn), selenio (Se) y zinc (Zn) presentes en el tejido muscular y hepático de la especie marina pintadilla (*Cheilodactylus variegatus Valenciennes, 1833*), especie de la que no se dispone de datos o evaluaciones de las concentraciones de estos elementos presentes en sus tejidos. El interés de evaluar esta especie se centra en que, al desarrollarse en la zona costera, es susceptible de ser afectada por las descargas antropogénicas y la contaminación, las que pueden impactar a la especie y al hábitat donde se desarrolla. Se evaluó los niveles de estos elementos presentes en el tejido muscular y tejido hepático para evaluar las diferencias en concentración presentes en estos tejidos por zona y; además, para evaluar la capacidad de bioacumulación que tiene el hígado en esta especie. Asimismo, se evaluó la correlación que existe en las concentraciones presentes entre ambos tipos de tejido.

## PARTE EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de este estudio, se utilizó como especie marina a investigar la pintadilla (*Cheilodactylus variegatus Valenciennes, 1833*). Este estudio comprendió la zona costera de Lima, para lo cual se seleccionaron dos puntos de recolección de muestras: el Mercado Pesquero Artesanal de Chorrillos y el Mercado Pesquero Artesanal de Ancón, en el periodo comprendido entre setiembre 2018 a marzo 2019. Se recolectaron y analizaron un total de 32 muestras de la especie marina, con una medida de 23 +/- 2 cm (medida que comprende desde la boca del pez hasta el final de la aleta caudal), en cada una de las cuales se separó el tejido muscular (zona dorsal y ventral) y el tejido hepático, los que fueron debidamente lavados, enjuagados con agua ultrapura y seccionados adecuadamente. El método de digestión está basado en el método 200.3 de la US EPA, edición 1991<sup>12</sup>, "Preparación de muestras para la determinación espectroquímica de elementos recuperables totales en tejidos biológicos", sometiendo la muestra a digestión ácida, pesándose aproximadamente 5 g para el tejido muscular y 1 g para el tejido hepático (ambos tejidos frescos, en base húmeda) con ácido nítrico concentrado p.a. y peróxido de hidrógeno al 30 % p.a., en sucesivas adiciones, en caliente (entre 92 a 95 °C) de manera controlada (mediante un lento reflujo), consiguiéndose la eliminación de toda la materia orgánica y la disolución de los metales presentes en el tejido. Una vez frío, el digestado se trasladó a fiola de 50 ml, se enrasó con agua ultrapura y agitó, dejándose reposar para la separación de algún material insoluble que pudiese quedar.

Con esta solución obtenida, se determinó la concentración de los elementos siguientes: arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), manganeso (Mn), selenio (Se) y zinc (Zn) por el espectrofotómetro de emisión óptica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES: Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometry), siendo el equipo empleado de la marca Varian (hoy Agilent), modelo Varian 725-ES. Mediante esta técnica, la solución acuosa se convierte en aerosol mediante un nebulizador y se transporta al plasma (de gas argón ionizado) el que se mantiene mediante un campo de radiofrecuencia. Aquí, en el plasma (que produce temperaturas de 7000 K a 10 000 K), la muestra es secada, atomizada e ionizada, emitiendo los átomos e iones sus longitudes de onda características, las que son monitoreadas por un policromador computarizado y con su correspondiente detector. La intensidad de esta emisión se correlaciona directamente con la concentración de analito presente. Para la cuantificación de los metales se prepararon soluciones de calibración a partir de un estándar certificado multielemental de la marca Inorganic Ventures (1 ppm, 2 ppm y 5 ppm) con su respectivo blanco de calibración (0 ppm) en medio nítrico, elaborando el equipo de manera interna, mediante el software respectivo, la curva de calibración espectrofotométrica de emisión (cuentas) vs. concentración del metal (en ppm). Para la lectura y operación del equipo se toma como referencia el Método 6010D de la US EPA, revisión 5<sup>13</sup>, “Espectroscopia de Emisión Óptica-Plasma Acoplado Inductivamente”, en donde se indican las pautas a considerar para la medición de las concentraciones de los elementos ya indicados.

Junto con las muestras de tejido de pescado, los controles de calidad analítico, propio de una determinación química, contempló el uso de dos blancos de análisis, un duplicado por cada 5 muestras y patrón certificado: material de referencia DORM 4 Fish Protein Certified Reference Material for Trace Metals and other Constituents de la National Research Council de Canadá, por cada corrida analítica. Todos estos controles de calidad son sometidos al mismo proceso analítico al igual que las muestras.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluó la especie marina pintadilla (*Cheilodactylus variegatus* Valenciennes, 1833) por ser un pescado consumido por la población (aunque su consumo no es tan difundido como el jurel o el bonito), requerido por restaurantes (cevicherías, comida criolla entre otros) para la preparación de platos marinos. Las muestras de pintadilla se adquirieron del Mercado Pesquero Artesanal de Chorrillos y del Mercado Pesquero Artesanal de Ancón (periodo de setiembre 2018 a marzo 2019), donde la especie es capturada por pescadores artesanales de la zona.

Se analizaron 32 muestras de tejido muscular y 32 muestras de tejido hepático (18 muestras por cada punto de muestreo). El muestreo fue cada dos meses y en cada uno de estos se recolectaron y analizaron cuatro muestras de la especie pintadilla. En la tabla 1, en el total de muestras, se reportan las medias más la desviación estándar de los elementos analizados en las muestras recolectadas en el Mercado Pesquero Artesanal de Chorrillos y el Mercado Pesquero Artesanal de Ancón.

**Tabla 1.** Concentración de elementos (mg/kg) en el tejido muscular y hepático de la pintadilla (*Cheilodactylus variegatus Valenciennes, 1833*).

Elemento	Tejido muscular (mg/kg)		Tejido hepático (mg/Kg)		LOD (mg/Kg)	LOQ (mg/Kg)
	Ancón	Chorrillos	Ancón	Chorrillos		
As	0,87+/-0,33	0,79+/-0,39	2,94+/-1,13	2,57+/-0,97	0,20	0,67
Cd	<0,05	<0,05	4,82+/-2,31	3,75+/-1,76	0,05	0,17
Cu	0,264+/-0,060	0,234+/-0,098	5,646+/-2,218	7,755+/-3,049	0,040	0,133
Mn	<0,08	<0,08	0,97+/-0,28	1,05+/-0,20	0,08	0,27
Se	0,75+/-0,25	0,78+/-0,24	3,81+/-0,81	4,55+/-1,24	0,20	0,67
Zn	3,804+/-0,696	3,453+/-0,910	50,750+/-16,122	49,823+/-9,839	0,100	0,333

Nota: Periodo comprendido entre setiembre 2018 a marzo 2019. **LOD:** Límite de detección del método, **LOQ:** Límite de cuantificación del método.

De los datos observados en la tabla 1, los valores reportados para el cadmio y el manganeso en el tejido muscular son menores al límite de detección del método (en el caso del cadmio es 0,05 mg/kg y en el caso del manganeso 0,08 mg/kg).

En la tabla 2 se presenta un resumen de los estadísticos descriptivos para los elementos involucrados en este estudio tanto para el músculo (tejido muscular) y el hígado (tejido hepático).

**Tabla 2.** Estadísticos descriptivos de la concentración de metales (mg/kg) en el tejido muscular y hepático de la pintadilla (*Cheilodactylus variegatus Valenciennes, 1833*)

	Cd		Cu		Mn		Zn					
	Hígado		Hígado		Músculo		Hígado		Músculo			
	Ancón	Chorrillos	Ancón	Chorrillos	Ancón	Chorrillos	Ancón	Chorrillos	Ancón	Chorrillos		
n	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
Media	4,82	3,75	5,646	7,755	0,264	0,234	0,97	1,05	50,750	49,823	3,804	3,453
95 % Lim. de IC	3,59	2,81	4,464	6,130	0,232	0,182	0,82	0,94	42,160	44,580	3,434	2,968
Lim. de la media Sup.	6,05	4,69	6,828	9,380	0,296	0,286	1,12	1,15	59,341	55,066	4,175	3,938
Mediana	5,15	3,28	6,054	7,581	0,259	0,201	0,92	1,03	46,763	47,278	3,700	3,104
Desv. Est.	2,31	1,76	2,218	3,049	0,060	0,098	0,28	0,20	16,122	9,839	0,696	0,910
Mínimo	1,44	1,56	2,094	2,322	0,174	0,133	0,57	0,70	31,260	36,688	2,770	2,653
Máximo	8,17	7,21	8,861	14,416	0,387	0,512	1,59	1,39	84,767	69,608	4,843	5,717

En el caso del cadmio y el manganeso en el tejido muscular, no se presentan estadísticos descriptivos porque todos los valores reportados en las muestras son menores al límite de detección del método. Por esto, para el caso del cadmio se reportaría como media de los resultados  $<0,05$  mg/kg y para el manganeso  $<0,08$  mg/kg (Véase tabla 1).

En la tabla 3 se presenta un resumen de los estadísticos descriptivos para los elementos no comprendidos en la tabla 2 (en esta tabla arsénico y selenio) involucrados en este estudio tanto para el músculo (tejido muscular) y el hígado (tejido hepático).

**Tabla 3.** Estadísticos descriptivos de la concentración de arsénico y selenio (mg/kg) en el tejido muscular y hepático de la pintadilla (*Cheilodactylus variegatus* Valenciennes, 1833).

	As				Se				
	Hígado		Músculo		Hígado		Músculo		
	Ancón	Chorrillos	Ancón	Chorrillos	Ancón	Chorrillos	Ancón	Chorrillos	
n	16	16	16	16	16	16	16	16	
Media	2,94	2,57	0,87	0,79	3,81	4,55	0,75	0,78	
95 % de IC de la media	Lim. Inf.	2,33	2,05	0,69	0,58	3,38	3,89	0,61	0,65
	Lím. Sup.	3,54	3,08	1,05	1,00	4,24	5,21	0,88	0,91
Mediana		2,63	2,56	0,91	0,70	3,78	4,28	0,72	0,78
Desv. Est.		1,13	0,97	0,33	0,39	0,81	1,24	0,25	0,24
Mínimo		1,69	1,02	0,39	0,38	2,09	3,13	0,46	0,47
Máximo		5,43	4,19	1,76	1,68	4,82	7,26	1,41	1,25

Todos los resultados fueron sometidos a una evaluación estadística para determinar si los resultados describen una distribución normal en el tejido muscular y hepático de la especie marina *Cheilodactylus variegatus* Valenciennes, 1833, “pintadilla”. Se emplea la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, que aplica para muestras menores a 50 resultados, obteniéndose que, para la mayor parte de los resultados, estos describen una distribución normal ( $p > 0,05$ ). En la tabla 4 se muestra, de manera resumida, la distribución de los resultados para cada tipo de elemento de acuerdo al tipo de tejido analizado.

**Tabla 4.** Tipos de distribución estadística de los diferentes elementos en el tejido muscular y hepático de la pintadilla (*Cheilodactylus variegatus* Valenciennes, 1833).

	As		Cd		Cu		Mn		Se		Zn	
	A	Ch	A	Ch	A	Ch	A	Ch	A	Ch	A	Ch
Tejido Hepático	L	N	N	N	N	N	N	N	N	N	L	N
Tejido Muscular	N	L	--	--	N	L	--	--	N	L	N	L

Nota: Puntos de muestreo **A:** Ancón, **Ch:** Chorrillos. Tipos de distribución estadística **N:**

Distribución normal, **L:** Distribución no normal o libre.

En base a estos resultados, se evaluó si existen diferencias significativas en las medias de la concentración de los diferentes elementos, tanto en el tejido muscular como en el tejido hepático, de la especie en estudio en las zonas de Chorrillos y Ancón.

Para esto, en los datos paramétricos (por cumplir los criterios de normalidad de resultados y homogeneidad de varianzas) se emplea la prueba de la *t* de student (aplicado a los resultados del cadmio: hígado, cobre: hígado, manganeso: hígado y selenio: músculo) mientras que a los datos no paramétricos se emplea la prueba *U* de Mann-Whitney (aplicado a arsénico: hígado y músculo, cobre: músculo, selenio: hígado y zinc: hígado y músculo) obteniéndose que, para todas las muestras (con excepción de Cu: hígado) no existe una diferencia significativa entre las medias de las concentraciones de los elementos en estudio de las muestras provenientes de las zonas de Chorrillos (Mercado Pesquero Artesanal de Chorrillos) y Ancón (Mercado Pesquero Artesanal de Ancón), al obtenerse un  $p > 0,05$  (descartándose la hipótesis nula ( $H_0$ )). En el caso de las muestras de hígado, para el elemento cobre, se evidenció estadísticamente mediante la prueba de la *t* de student que, sí existen diferencias significativas en las medias de la concentración de este elemento entre las zonas de Chorrillos y Ancón, donde las concentraciones promedio de cobre en la zona de muestreo de Chorrillos es de 7,755 mg/kg de Cu mientras que en la zona de Ancón es de 5,646 mg/kg de Cu, mostrándose que en Chorrillos la concentración de cobre en el tejido hepático es mayor que en la zona de Ancón.

Comparando la concentración de cadmio (Cd) en los tejidos de la pintadilla con el contenido máximo establecido por el Organismo Nacional de Sanidad Pesquera- SANIPES (basado en el establecido por la Unión Europea), que es de 0,05 mg/kg en peso fresco o húmedo sobre la carne de pescado (tejido muscular), se observa que en ninguna de las muestras analizadas se excede dicho nivel, con lo cual se infiere que su consumo por la población es aceptable para este elemento y que no afecta a la salud. Para los demás elementos, este reglamento no tiene contenidos máximos establecidos para el pescado de consumo humano. En el caso del tejido hepático, se observa que este sí excede con creces el contenido máximo permitido, pero la norma se centra en la parte consumible del pez (extrayéndose el tracto digestivo), por lo que, estos valores, que en promedio reportan para la zona de Chorrillos 3,75 mg/kg y para la zona de Ancón 4,82 mg/kg (muy superiores al valor no detectable de  $< 0,05$  mg/kg del tejido muscular) representa la capacidad bioacumuladora que presenta este órgano en la especie marina. No solo se evidencia esta tendencia en el cadmio, sino en todos los demás elementos que están siendo evaluados en el presente estudio (véase la tabla 1), poniendo como ejemplo el arsénico que, para la zona de Ancón, en el tejido muscular la concentración promedio es de 0,87 mg/kg mientras que en el tejido hepático esta concentración es de 2,94 mg/kg (la razón hígado/músculo es aproximadamente 3) mientras que para la zona de Chorrillos, en el tejido muscular la concentración promedio es de 0,79 mg/kg mientras que en el tejido hepático esta concentración es de 2,57 mg/kg (también la razón hígado/músculo es aproximadamente 3). Esta relación de concentraciones hígado/músculo, en el caso del cobre oscila entre 25 a 30 aproximadamente, selenio oscila entre 5 a 6 y en el zinc oscila entre 14 a 15 aproximadamente, lo que evidencia experimentalmente la capacidad del hígado de acumular estos elementos.

La pintadilla, una especie bentónica que se desarrolla en las cercanías de la costa y se alimenta de una gama de pequeños invertebrados marinos, siendo la dieta de esta especie compuesta mayormente por crustáceos y moluscos. De acuerdo con esto, la pintadilla se encuentra en un punto intermedio de la red trófica, lo que le permite bioacumular metales y elementos tóxicos (como arsénico y selenio), los que son captados de las especies que depreda. El tejido hepático es un buen indicador de la contaminación ambiental, teniendo el hígado la capacidad de acumular contaminantes del entorno donde se desarrolla la especie. El hígado cumple un papel importante en el almacenamiento, redistribución, desintoxicación y transformación de contaminantes consumidos por el pez<sup>14</sup>, siendo las formas liposolubles almacenadas en este órgano, a diferencia del tejido muscular (que representa la parte “comestible” de la especie, de ahí que la concentración de elementos metálicos y no metálicos influyen directamente sobre la salud de la población). Asimismo, se sugiere la posibilidad de que el hígado de los animales acuáticos puede actuar como un órgano para la desmetilación del mercurio y de secuestro de formas orgánicas e inorgánicas de este elemento y otros elementos metálicos del cuerpo del pez<sup>15</sup>. De esta manera, se produce la acumulación en el hígado de elementos metálicos y no metálicos, en cantidades superiores al tejido muscular.

Las especies que se desarrollan en las cercanías de la costa, que es el hábitat de la pintadilla, son directamente afectadas por la contaminación por fuentes antropogénicas, básicamente producto de las descargas domésticas e industriales que son vertidas al mar (en algunos casos descargas clandestinas y sin tratamiento previo) en la zona de nuestro estudio, comprendida entre Chorrillos y Ancón, en la costa de Lima.

Líneas arriba, se indicó que, haciendo una comparación entre los puntos de recolección de la especie marina, se observa que las concentraciones de elementos totales en el punto de recolección de Chorrillos (Mercado Pesquero Artesanal de Chorrillos) no presentan diferencias significativas con respecto a las concentraciones reportadas en el punto de muestreo de Ancón, en ambos tipos de tejidos (muscular y hepático), con excepción del cobre en el tejido hepático, pudiéndose inferir que en la zona de nuestro estudio, los niveles de los elementos evaluados son constantes. Se hacen necesarios estudios adicionales para corroborar lo indicado en este artículo, así como también ampliar el alcance de este, evaluando los niveles de concentración de los elementos estudiados, tanto en las especies que consume la pintadilla como en el agua de mar y el sedimento marino. Cabe recalcar, que este es el primer estudio de evaluación de la presencia de elementos metálicos y no metálicos en los tejidos muscular y hepático de la pintadilla.

Estadísticamente, se buscó si hay correlación entre las concentraciones de los elementos en estudio presente en el tejido muscular y el tejido hepático, tanto en la zona de Chorrillos como en la zona de Ancón. Se aplicaron las pruebas de Pearson (prueba paramétrica) y la rho de Spearman (prueba no paramétrica). Para el caso del arsénico, para ambos puntos de muestreo se evidencia la correlación positiva entre la concentración de este metaloide en el tejido muscular y el tejido hepático, siendo el coeficiente de correlación de Spearman de 0,588 (Ancón) y 0,771 (Chorrillos) mostrándose una correlación fuerte. Para el cobre no se evidencia correlación. En el caso del selenio se evidenció la correlación positiva solo en la



zona de Ancón, con un coeficiente de correlación de Pearson de 0,525 (correlación fuerte), y en el caso del zinc se evidenció la correlación positiva solo en la zona de Chorrillos, con un coeficiente de correlación de Spearman de 0,541 (correlación fuerte). Para los casos del manganeso y cadmio no se pudo desarrollar esta correlación, ya que las concentraciones de estos elementos en el tejido muscular son menores al límite de detección del método (véase la tabla 1). Estas diferencias en la correlación pueden ser debido a las diferencias en el metabolismo de la especie, las cuales pueden ser afectadas por factores externos como el pH, la concentración de oxígeno disuelto, materia orgánica disponible, madurez sexual, sensibilidad a la estación, la calidad del agua y la contaminación ambiental, entre otros<sup>14</sup>; siendo necesarios estudios complementarios que corroboren la tendencia de que, a mayor concentración del elemento en el tejido muscular, habría mayor concentración en el tejido hepático. En el estudio desarrollado en la Bahía de Guanabara (Brasil), se encontró una correlación positiva alta entre la concentración del metal mercurio encontrado en el tejido muscular y el tejido hepático de especies carnívoras ( $r = 0,91$ )<sup>15</sup>, lo cual, comparado con la pintadilla, que es una especie básicamente carnívora (carcinófaga, preferentemente) confirmaría la correlación positiva fuerte que se presentó en los elementos arsénico, selenio (zona Ancón) y zinc (zona Chorrillos).

Para la evaluación de la calidad analítica de los resultados, las muestras de tejido de la especie marina fueron analizadas junto con un estándar certificado cuya denominación es Material de referencia DORM 4 Fish Protein Certified Reference Material for Trace Metals and other Constituents de la National Research Council de Canadá para la evaluación de la exactitud y reproducibilidad del análisis instrumental. La tabla 5 reporta un resumen de los porcentajes de recuperación individuales y promedio para los elementos en estudio.

**Tabla 5.** Porcentaje de recuperación del material certificado de referencia DORM-4 en los diversos análisis realizados.

Elemento	Valor certificado (mg/kg)	Ensayo 1 (%)	Ensayo 2 (%)	Ensayo 3 (%)	Ensayo 4 (%)	Recuperación promedio (%)
As	6,87	85,75	88,96	101,85	95,67	93,06
Cd	0,299	91,47	84,84	93,42	87,12	89,21
Cu	15,7	89,10	90,78	99,43	95,50	93,70
Mn	3,17	99,80	86,09	95,13	96,78	94,45
Se	3,45	89,87	108,27	96,29	83,44	94,47
Zn	51,6	90,33	92,36	99,84	94,19	94,18

Este material certificado de referencia nos permite asegurar la calidad de los resultados instrumentales, tanto la repetibilidad como la reproducibilidad de los resultados analíticos. El DORM-4 es proteína de pescado seca y es utilizado para el desarrollo y verificación de métodos analíticos en los cuales se determine elementos traza en tejidos de fauna marina y

matrices similares. Para materiales de referencia sólidos, como el DORM-4, es posible que no se pueda lograr una recuperación de +/- 20 % debido a la complejidad de la matriz, por esto, en ausencia de datos históricos, los límites de aceptación deben establecerse en +/- 20 %<sup>13</sup>. En la tabla 5 se observa que los resultados están dentro de los límites de aceptación indicados, pues las recuperaciones promedio son superiores al 89 % y de manera individual en los ensayos el mínimo valor de recuperación es del 84,84 % para el cadmio y el máximo valor es de 108,27 % para el caso del selenio.

## CONCLUSIONES

La especie marina pintadilla (*Cheilodactylus variegatus* Valenciennes, 1833) recolectada en los mercados pesqueros artesanales de Chorrillos y Ancón, durante el periodo comprendido entre setiembre 2018 a marzo 2019, presentó concentraciones de As, Cd, Cu, Mn, Se y Zn mayores en el tejido hepático, en comparación al tejido muscular, lo que evidencia la capacidad bioacumuladora de este órgano en la especie marina.

La concentración de Cd y Mn en el tejido muscular es menor al límite de detección, reportándose para el cadmio <0,05 mg/kg y para el manganeso <0,08 mg/kg, reportándose para los demás elementos concentraciones por encima del límite de detección del método. En el caso del tejido hepático, todos los elementos mostraron concentraciones cuantificables. Las concentraciones medias reportadas para los elementos en estudio no muestran diferencias significativas entre los puntos de muestreo de Ancón y Chorrillos, con excepción del elemento cobre, el cual sí mostró una diferencia significativa de la concentración media para el tejido muscular, presentando la zona de Chorrillos (7,755 mg/kg) una concentración mayor en comparación a la zona de Ancón (5,646 mg/kg).

Se evidenció que existe una correlación positiva fuerte entre la concentración de arsénico en el tejido muscular y la concentración de arsénico en el tejido hepático para ambos puntos de recolección de muestra. Para el caso de selenio se encontró correlación en la zona de Ancón y el caso del zinc en la zona de Chorrillos. En el caso del cobre no se encontró alguna correlación entre la concentración de este metal en el tejido muscular y el tejido hepático. En comparación con los contenidos máximos permitidos por el SANIPES, el cadmio (0,05 mg/kg) presente en el tejido muscular no excede dicho límite, por tanto, su consumo por la población es aceptable y que no afecta a la salud. En esta normativa no está contemplada la concentración en el tejido hepático.

## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Jefa del Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la UCV, Ing. Amelia Mudarra, por las facilidades brindadas para la realización de los ensayos químicos, a la Ingeniero Químico Erika Bustamante por el apoyo profesional en el desarrollo del trabajo de investigación, al Químico David Huaranga y al Químico Julio

Trauco por el apoyo técnico y profesional brindado al desarrollo de esta investigación, a los ingenieros ambientales Romario Velásquez, Laydy Cruz y Gino Mora por el apoyo técnico en el desarrollo de los análisis.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chirichigno N, Vélez J. Clave para Identificar los Peces Marinos del Perú [Internet]. 2da. Ed. Callao: Instituto del Mar del Perú; 1998. [Citado 12 jul 2021]. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3327>
2. Vargas L, Pequeño G. Hallazgo de bilagai (*Cheilodactylus variegatus* Valenciennes, 1833), en la Bahía Metri en Chile: (Osteichthyes: Cheilodactylidae). *Investig Mar.* 2001; 29(2): 35-37. doi: 10.4067/S0717-71782001000200004
3. Reyes P, Hüne M. Peces del Sur de Chile [Internet]. Santiago: Ocho Libros; 2012. [Citado 10 jul 2021]. Disponible en [https://www.ocholibros.cl/libro/peces-del-sur-de-chile\\_419](https://www.ocholibros.cl/libro/peces-del-sur-de-chile_419)
4. Kong I, Castro H. Guía de biodiversidad N° 3: Volumen 1 Macro fauna y Algas Marinas: Peces [Internet]. Antofagasta: Centro Regional de Estudios y Educación Ambiental; 2002 [Citado 10 jul 2021]. Disponible en <http://intranetua.uantof.cl/crea/guia%20peces.pdf>
5. Chang V. La Pintadilla: El ABC de su pesca. *Revista Pesca* [Internet]. 2010. [Citado 12 jul 2021]; 113(10-10): 74- 85. Disponible en: [http://files.capturaylibera.webnode.mx/200000231-b582db67ca/revista\\_pesca\\_noviembre\\_2010.pdf](http://files.capturaylibera.webnode.mx/200000231-b582db67ca/revista_pesca_noviembre_2010.pdf)
6. Medina M, Araya M, Vega C. Alimentación y relaciones tróficas de peces costeros de la zona norte de Chile: Feeding and trophics relation ships of coastal fish off northern Chile. *Investig Mar.* 2004; 32(1): 33-47. doi: 10.4067/S0717-71782004000100004
7. Palma A, Ojeda P. Abundance, distribution and feeding patterns of a temperate reef fish in subtidal environments of the Chilean coast: the importance of understory algal turf. *Rev Chil Hist Nat.* 2002; 75(1): 189-200. doi: 10.4067/S0716-078X2002000100018
8. Gutiérrez-Galindo E. Comentario Sobre El Metabolismo De Metales Pesados En Organismos Marinos. *Ciencias Marinas.* 1982; 8(1): 134–138. doi: 10.7773/cm.v8i1.364
9. Castro P, Huber M. *Biología Marina.* 6ta Ed. Madrid: Mc Graw Hill/ Interamericana de España S.A.U.; 2007.
10. Alarcón-Corredor O. Los elementos traza. *Revista Médica de la Extensión Portuguesa - ULA* [Internet]. 2009. [Citado: 2021 Jul 19]; 4(3): 107-124. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/31376/articulo3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
11. Orozco C, Pérez A, Gonzales M, Rodríguez F, Alfayate J. *Contaminación Ambiental: Una visión desde la Química.* Madrid: Paraninfo; 2011.
12. United States Environmental Protection Agency. Method EPA 200.3 “Sample Preparation Procedure for Spectrochemical Determination of Total Recoverable Elements in Biological Tissues. Revision 1 [Internet]. Washington DC: Headquarters Library Environmental Protection Agency; 1991[Citado 5 jul 2021]. Disponible en: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/20017TYT.PDF?Dockey=20017TYT.PDF>

13. United States Environmental Protection Agency. Method 6010D (SW-846): Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry," Revision 5. [Internet]. Washington DC: 2018 [Citado 5 jul 2021]. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/6010d.pdf>
14. Havelková M, Dušek L, Némethová D, Poleszczuk G, Svobodová Z. Comparison of Mercury Distribution Between Liver and Muscle – A Biomonitoring of Fish from Lightly and Heavily Contaminated Localities. *Sensors*. 2008; 8(7): 4095-4109. doi: 10.3390/s8074095
15. Baêta P, Kehrig H, Malm O, Moreira I. Total mercury and methylmercury in fish from a tropical estuary. *Environmental Toxicology*. En: Kungolos A, Brebbia C, Samaras C, Popov V. (Eds.). *First International Conference on Environmental Toxicology*; 11-13 Setiembre 2006; Mykonos, Grecia. Southampton: WIT Press; 2006. P. 183-192. doi: 10.2495/ETOX060181