INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

CONCENTRACIÓN DE Cu, Cd, Ag Y Zn Y COMPOSICIÓN ISOTÓPICA ($\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$) EN DIFERENTES TIBURONES DE LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

PRESENTA

M. C. Eduardo David Méndez Da Silveira

LA PAZ, B. C. S., MÉXICO,

JUNIO DE 2020

SIP-14
REP 2017

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S siendo las 12:00 horas del día 30 del mes de noviembre del 2020 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas para examinar la tesis titulada:

Concentración de Cu, Cd, Ag y Zn y composición isotópica ($\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$) en diferentes tiburones de la costa occidental de Baja California Sur, México

del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Méndez	Apellido Materno:	Da Silveira	Nombre (s):	Eduardo David

Número de registro: B 1 6 0 9 9 8

Aspirante del Programa Académico de Posgrado: Doctorado en Ciencias Marinas

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene __5____ % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado**.

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI** ☐ **NO** ■ **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN: *(Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)*

El documento mostró 5% de similitud al extraer la bibliografía, literatura citada y las oraciones menores de 10 palabras. En general es un grado de similitud aceptable del manuscrito de tesis de doctorado.

****Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** ■ **SUSPENDER** ☐ **NO APROBAR** ☐ la tesis por **UNANIMIDAD** ■ o **MAYORÍA** ☐ en virtud de los motivos siguientes:

Satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

COMISIÓN REVISORA DE TESIS

Dr. Felipe Galván Magaña	Dra. Ana Judith Marmolejo Rodríguez	Dr. Fernando Ricardo Elorriaga Verplancken
Director de Tesis Nombre completo y firma	Nombre completo y firma	Nombre completo y firma
Dr. Alberto Sánchez González	Dr. Arturo Tripp Valdez	Dr. Sergio Hernández Trujillo
2° Director de Tesis (en su caso) Nombre completo y firma	Nombre completo y firma	Nombre completo y firma **PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES**

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., **el día** 25 **del mes de** Noviembre **del año** 2020

El (la) que suscribe M en C. EDUARDO DAVID MÉNDEZ DA SILVEIRA **Alumno (a) del Programa**

DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

con número de registro B160998 **adscrito al** CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

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

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA Y DR. ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ

y cede los derechos del trabajo titulado:

"CONCENTRACIÓN DE Cu, Cd, Ag Y Zn Y COMPOSICIÓN ISOTÓPICA ($\delta^{13}C$ Y $\delta^{15}N$) EN DIFERENTES TIBURONES DE LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: lalo_43@hotmail.com - fgalvan@ipn.mx – alsanchezg@ipn.mx

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

M en C. EDUARDO DAVID MENDEZ DA SILVEIRA

Nombre y firma del alumno

Agradecimientos

Quiero agradecer principalmente a mi familia, especialmente a mi mamá Lucila E. Méndez Da Silveira por su paciencia y ayuda, así como su apoyo incondicional e infinito siempre. A ella le dedico este trabajo. A mis tíos Irene y Guillermo por su apoyo al ayudarme a seguir adelante. A mis fallecidos abuelos quienes me apoyaron y motivaron a seguir mis sueños hasta el final.

Al Dr. Felipe Galván Magaña por su apoyo y motivación en todos mis proyectos académicos y por ayudarme a crecer como persona y profesionista. Muchas gracias por su amistad todos estos años y sobre todo por creer en mí.

Al Dr. Alberto Sánchez por su paciencia y confianza en la elaboración de este proyecto y por creer en mí hasta el final, a pesar de los contratiempos.

A mi mamá postiza Cristina Medellín por hacerme sentir en casa y en familia. Muchas gracias por todos esos hermosos detalles y ratos que pasamos juntos. Gracias también por tu apoyo y amistad.

A los integrantes del comité Dr. Fernando Elorriaga, Dr. Arturo Tripp y Dra. Ana Judith Marmolejo por su apoyo y consejos para la elaboración y finalización de este proyecto.

Al Dr. Arturo Siqueiros por su ayuda al analizar la muestras, pero sobre todo por su apoyo moral.

Gracias al laboratorio e instalaciones del IIO en Ensenada. En especial al Dr. Miguel Huerta.

Por último, quiero agradecer a la cooperativa de Punta Lobos en Todos Santos, Baja California Sur, por aguantarme todos estos años y ayudarme en este proyecto al proporcionar las muestras de los tiburones. A ustedes muchas gracias por su paciencia y conocimiento.

INDICE

RESUMEN 6
ABSTRACT 9
INTRODUCCIÓN 10
ANTECEDENTES 14
Isótopos estables de carbono y nitrógeno 14
Concentración de elementos traza 15
JUSTIFICACIÓN 16
HIPOTESIS 16
OBJETIVO GENERAL 17
OBJETIVOS PARTICULARES 17
ZONA DE ESTUDIO 18
Trabajo en campo: 19
Trabajo de laboratorio 20
Trabajo de gabinete 22
RESULTADOS 24
Estructura de tallas, sexos y estadios 24
Composición isotópica en sangre y músculo 25
Nivel trófico 25
Concentración de Cu, Cd, Ag y Zn entre tejidos 26
Cobre 26
Cadmio 29
Plata 32
Zinc 35
Cobre 38
Cadmio 41
Plata 44
Zinc 47
Concentración de Cu, Cd, Ag y Zn entre estadios 50
Cobre 50
Cadmio 52
Plata 54
Zinc 56

Relación entre la talla y la concentración de Cu, Cd, Ag y Zn 58

Cobre ... 58

Cadmio ... 59

Plata ... 59

Zinc ... 60

Variación de Cu, Cd, Ag y Zn en tejidos entre especies ... 66

Cobre ... 66

Cadmio ... 68

Plata ... 70

Zinc ... 72

Relación entre δ^{15}N y la concentración de Cu, Cd, Ag y Zn ... 74

Cobre ... 74

Cadmio ... 74

Plata ... 75

Zinc ... 76

Relación entre δ^{13}C y la concentración de Cu, Cd, Ag y Zn ... 80

Cobre ... 80

Plata ... 81

Zinc ... 82

Relación entre la concentración de elementos y el Nivel trófico en Sangre y Músculo ... 83

Cobre ... 83

Cadmio ... 83

Plata ... 84

Zinc ... 84

Límites permisibles para consumo y la concentración de Cu, Cd, Ag y Zn ... 87

Discusión ... 88

Composición isotópica y nivel trófico de las especies de tiburones ... 88

Variación intraespecífica y concentración entre tejidos ... 89

Concentración entre sexos y estadios y la relación entre la talla ... 95

Variación y concentración entre las especies de tiburones ... 97

Relación de la concentración de elementos (Cu, Cd, Ag y Zn) entre la composición isotópica (δ^{13}C y δ^{15}N) y el nivel trófico ... 98

Concentración de elementos y los límites permisibles para su consumo ... 102

Conclusiones 104
BIBLIOGRAFÍA 106

Índice de figuras

Figura 1 .- Ubicación del campo pesquero y área de estudio en Punta Lobos, B.C.S., México. 19
Figura 2. Concentración de Cu entre tejidos de las 4 especies de tiburones. 28
Figura 3.- Concentración de Cd entre tejidos de las 4 especies de tiburones. 31
Figura 4.- Concentración de Ag entre tejidos de las 4 especies de tiburones. 34
Figura 5 .- Concentración de Zn entre tejidos de las 4 especies de tiburones. 37
Figura 6 .- Concentración de Cu entre sexos en tejidos de las 4 especies de tiburones. . 40
Figura 7 .- Concentración de Cd entre sexos en tejidos de las 4 especies de tiburones .. 43
Figura 8 .- Concentración de Ag entre sexos en tejidos de las 4 especies de tiburones. . 46
Figura 9 .- Concentración de Zn entre sexos en tejidos de las 4 especies de tiburones... 49
Figura 10 .- Concentración de Cu entre estadios en tejidos de las 4 especies de tiburones 51
Figura 11 .- Concentración de Cd entre estadios en tejidos de las 4 especies de tiburones. 53
Figura 12 .- Concentración entre estadios en tejidos de las 4 especies de tiburones. 55
Figura 13 .- Concentración de Zn entre estadios en tejidos de las 4 especies de tiburones 57
Figura 14 .- Músculo de las especies que presentaron relación significativa entre la concentración de elementos y la talla. 61
Figura 15 .- Riñón de la especies que presentaron relación significativa entre la concentración de elementos y la talla. 62
Figura 16 .- Hígado de las especies que presentaron relación significativa entre la concentración de elementos y la talla. 63
Figura 17 .- Hígado de las especies que presentaron relación significativa entre la concentración de elementos y la talla. 64
Figura 18 .- Hígado de las especies que presentaron relación significativa entre la concentración de elementos y la talla. 65
Figura 19 .- Concentración de Cu en tejidos de las diferentes especies. 67
Figura 20 .- Concentración de Cd en tejidos de las diferentes especies. 69
Figura 21 .- Concentración de Ag en tejidos de las diferentes especies. 71
Figura 22 .- Concentración de Zn en tejidos de las diferentes especies. 73
Figura 23 .- Relación entre la concentración de Cd y δ^{15}N en músculo. 77
Figura 24 .- Relación significativa entre concentración y δ^{15}N en sangre. 78
Figura 25 .- Relación entre concentración y δ^{15}N en riñón. 79
Figura 26 .- Relación entre la concentración de Cu y δ^{13}C en riñón de P. glauca. 83
Figura 27 .- Relación entre la concentración de elementos y el nivel trófico en músculo de las cuatro especies. 85
Figura 28 .- Relación entre la concentración de elementos y el nivel trófico en riñón e hígado de las cuatro especies. 86

Índice de tablas

Tabla 1. Valores certificados de los elementos en DORM-4 ± desviación estándar expresada en µg g^{-1} de peso seco. % recuperación Cu, Cd y Zn (>70%) y Ag (>90%). 21
Tabla 2. Valores certificados de los elementos en DOLT-5 ± desviación estándar expresada en µg g^{-1} de peso seco. Cu, Zn y Ag (>70%) y Cd (>90%). 21
Tabla 3.- Valores de la composición isotópica (δ^{15}N y δ^{13}C) de las cuatro especies de tiburones. 25
Tabla 4. Niveles tróficos de sangre y músculo de las cuatro especies de tiburones. 25
Tabla 5.-Concentración de Cu entre tejidos de las diferentes especies de tiburones. 26
Tabla 6.- Concentración de Cd entre tejidos de las diferentes especies de tiburones. 29
Tabla 7.- Concentración de Ag entre tejidos de las diferentes especies de tiburones. 32
Tabla 8.- Concentración de Zn entre tejidos de las diferentes especies de tiburones. 35
Tabla 9.- Límite permisible de elementos según la EPA y la NOM-242-SSA1, 2009 y la concentración de elementos tóxicos en los tejidos de las especies de tiburones. 87

RESUMEN

Los tiburones *Carcharhinus falciformis*, *Prionace glauca*, *Sphyrna zygaena* e *Isurus oxyrinchus* son recursos pesqueros importante en México, los cuales son utilizados para consumo humano. En la costa occidental de Baja California Sur, se han reportado altas concentraciones de metales pesados en tejidos de tiburones. Los elasmobranquios al ocupar posiciones superiores en las cadenas tróficas, pueden biomagnificar metales tóxicos. Además estos elementos pueden bioacumularse conforme los organismos se desarrollan. El cobre, cadmio, plata y el zinc son metales pesados que al superar la tolerancia permitida, causan toxicidad hacia el humano y otros organismos. El cobre y el zinc son necesarios para los organismos. El uso de los isótopos estables permite conocer los niveles tróficos asociados a los niveles de toxicidad más altos en los elementos. Se analizó la concentración de elementos potencialmente tóxicos para el humano. El *C. falciformis* fue en músculo (Cu=0.021, Cd=0.041, Ag=0.017, Zn= 2.183) mg kg^{-1}; riñón (Cu=0.236, Cd=1.822, Ag=0.175, Zn=5.346) mg kg^{-1}; hígado (Cu=0.388, Cd=13.214, Ag=0.064, Zn=5.367) mg kg^{-1} y sangre (Cu=0.042, Cd=0.023, Zn=0.413) mg kg^{-1}. En *I. oxyrinchus,* músculo (Cu=0.017, Cd=0.014, Ag=0.025, Zn=1.074) mg kg^{-1}; riñón (Cu=0.044, Cd=0.013, Ag=0.053, Zn=2.242) mg kg^{-1}; hígado (Cu=0.505, Cd=0.077, Ag=0.021, Zn=2.797) mg kg^{-1} y sangre (Cu=0.026, Cd=0.002, Zn=0.358) mg kg^{-1}. En *P. glauca,* músculo (Cu=0.023, Cd=0.022, Ag=0.029, Zn=3.795) mg kg^{-1}; riñón (Cu=0.14, Cd=0.167, Ag=0.068, Zn=4.044) mg kg^{-1}; hígado (Cu=0.132, Cd=3.646, Zn=1.53) mg kg^{-1} y sangre (Cu=0.007, Cd=0.126, Zn=0.367) mg kg^{-1}. En *S. zygaena,* músculo (Cu=0.016, Cd=0.025, Ag=0.042, Zn=3.075) mg kg^{-1}; riñón (Cu=0.180, Cd=3.474, Ag=0.535, Zn=5.415) mg kg^{-1}; hígado (Cu=0.201, Cd=5.784, Ag=0.14, Zn=8.542) mg kg^{-1} y sangre (Cu= 0.022, Cd= 0.020, Zn= 0.374) mg kg^{-1}. Se observó una relación entre las concentraciones de metales pesados y la talla debido a las diferencias fisiológicas y el crecimiento de las especies. La relación observada entre la concentración de elementos Cu (*P. glauca* sangre y riñón: r^2=0.669, p= 0.007; r^2=0.672, p=0.045) Cd (*P. glauca* riñón: r^2=0.491, p=0.035; *S. zygaena* músculo: r^2=0.238, p=0.029), Ag (*I. oxyrinchus* riñón: r^2=0.356, p=0.006 *P. glauca* sangre: r^2=0.559, p=0.003) y Zn (*I. oxyrinchus* riñón: r^2=0.216, p=0.045) y los valores de $\delta^{15}N$ se deben a diferencias en la dieta y áreas de alimentación, así como a procesos de asimilación y excreción. El músculo y la sangre presentaron valores por debajo de los límites permisibles para consumo humano; mientras que el riñón y el hígado los superaron, sin embargo estos no son consumidos por lo que no representan un riesgo de salud para el humano.

Palabras clave: Tiburones, metales pesados, tejidos, dieta, isótopos estables, Baja California Sur.

ABSTRACT

Sharks *Carcharhinus falciformis*, *Prionace glauca*, *Sphyrna zygaena* and *Isurus oxyrinchus* are important fishing resources in Mexico, which are used for human consumption. On the western coast of Baja California Sur, high concentrations of metals have been reported in shark tissues. By occupying higher positions in the trophic chains, elasmobranchs can biomagnify toxic metals. Furthermore, these elements can bioaccumulate as organisms develop. Copper, cadmium, silver and zinc are heavy metals that, when exceeding the permitted tolerance, cause toxicity to humans and other organisms. Copper and zinc are metals that are necessary for organisms. The use of stable isotopes allows to know the trophic levels associated with the highest levels of toxicity in the elements. The concentration of elements potentially toxic to humans was analyzed. *C. falciformis* was in muscle (Cu = 0.021, Cd=0.041, Ag=0.017, Zn=2,183) mg kg^{-1}, kidney (Cu=0.236, Cd=1,822, Ag=0.175, Zn=5,346) mg kg^{-1}, liver (Cu=0.388, Cd=13.214, Ag=0.064, Zn=5.367) mg kg^{-1}, and blood (Cu=0.042, Cd=0.023, Zn=0.413) mg kg^{-1}. For *I. oxyrinchus* muscle (Cu=0.017, Cd=0.014, Ag=0.025, Zn=1,074) mg kg^{-1}, kidney (Cu=0.044, Cd=0.013, Ag=0.053, Zn=2,242) mg kg^{-1}, liver (Cu=0.505, Cd=0.077, Ag=0.021, Zn=2.797) mg kg^{-1}, and blood (Cu=0.026, Cd=0.002, Zn=0.358) mg kg^{-1}. *P. glauca* muscle (Cu=0.023, Cd=0.022, Ag=0.029, Zn=3,795) mg kg^{-1}, kidney (Cu=0.14, Cd=0.167, Ag=0.068, Zn=4,044) mg kg^{-1}, liver (Cu=0.132, Cd=3.646, Zn=1.53) mg kg^{-1}, and blood (Cu=0.007, Cd=0.126, Zn=0.367) mg kg^{-1} and *S. zygaena* muscle (Cu=0.016, Cd=0.025, Ag=0.042, Zn=3,075) mg kg^{-1}, kidney (Cu=0.180, Cd=3,474, Ag=0.535, Zn=5,415) mg kg^{-1}, liver (Cu=0.201, Cd=5,784, Ag=0.14, Zn=8,542) mg kg^{-1}, and blood (Cu=0.022, Cd=0.020, Zn=0.374) mg kg^{-1}. A relationship between heavy metal concentrations and height was observed due to physiological differences and species growth. The observed relationship between the concentration of Cu elements (*P. glauca* blood and kidney: r^2=0.669, p=0.007; r^2=0.672, p=0.045) Cd (*P. glauca* kidney: r^2=0.491, p=0.035; *S. zygaena* muscle: r^2=0.238, p=0.029), Ag (*I. oxyrinchus* kidney: r^2=0.356, p=0.006 *P. glauca* blood: r^2=0.559, p=0.003) and Zn (*I. oxyrinchus* kidney: r^2=0.216 , p=0.045) and the $\delta^{15}N$ values are due to differences in diet and feeding areas, as well as assimilation and excretion processes. Muscle and blood presented values below the permissible limits for human consumption; while the kidney and the liver surpassed them, however these are not consumed so they do not pose a health risk to humans.

Key words: Sharks, heavy metals, tissues, diet, stable isotopes, Baja California Sur.

INTRODUCCIÓN

Los tiburones son organismos con importancia ecológica y económica, por lo que conocer el tipo de hábitat y sus hábitos alimenticios permitirá entender una parte importante del funcionamiento trófico y el flujo de energía en el ecosistema (Matich et al. 2011).

Los isótopos estables de carbono y nitrógeno son trazadores químicos de la dieta y el hábitat trófico de las especies (Kiszka et al. 2014). El análisis isotópico ($\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$) de diferentes tejidos ha sido utilizado para investigar el tipo de dieta (Domi et al. 2005; MacNeil *et al.,* 2005; Borrell et al. 2011) y el nivel trófico, en diferentes tiempos de vida, ya que cada tejido representa un tiempo determinado de tasa de recambio en los tejidos (Fisk et al. 2002; Estrada et al. 2003; MacNeil et al. 2006; Logan y Lutcavage, 2010). El $\delta^{15}N$ es un indicador del tipo de recurso trófico utilizado en la dieta asimilada y de la posición trófica (Post, 2002); mientras que, el $\delta^{13}C$ permite conocer la fuente original de carbono en la cadena trófica (DeNiro y Epstein, 1981).

Muchas especies de elasmobranquios son utilizados para el consumo humano y son importantes en la pesquería artesanal de la costa occidental de la península de Baja California y Golfo de California (Downton-Hoffmann, 2007; Cartamil, et al. 2011; Ramírez, 2013). En estas regiones, para algunas especies de elasmobranquios, se ha documentado la presencia de elementos potencialmente tóxicos (Murillo-Cisneros, 2014). Debido a que los elasmobranquios ocupan posiciones superiores o son depredadores tope en las cadenas tróficas, son susceptibles a acumular elementos que pueden resultar

tóxicos a ciertas concentraciones, i.e. Cd, Ag, Cu, Zn, entre otros (Maz et al. 2011; Murillo-Cisneros, 2014; Taylor et al. 2014; Endo et al. 2015).

El Cd y Ag son metales pesados que se encuentran en los organismos en pequeñas cantidades, una vez que superan los niveles de tolerancia causan toxicidad en los seres vivos (Murillo, 2014). La intoxicación por Cd puede causar enfermedades como neumonía o enfisemas, disfunción renal y cáncer en próstata y testicular (Mancera y Álvarez, 2006). De igual forma, este elemento afecta principalmente órganos como el hígado y riñón, donde presenta sus mayores concentraciones (Murillo, 2014). Sin embargo, también puede afectar pulmones, páncreas, testículos, músculo y sistema óseo (Mancera y Álvarez, 2006). Por esto mismo se ha establecido, a través de organizaciones como la Organización Mundial de la Salud e instituciones gubernamentales, a través de la Norma Oficial Mexicana (NOM-242-SSA1, 2009), mediciones en peces que tengan concentración > 0.5 μg g^{-1} de peso húmedo de Cd, no deben de ser consumidos por el ser humano.

En el caso de Ag, su intoxicación puede causar argiria, la cual es una coloración azul-gris de la piel u otros órganos (ATSDR, 1990). La Agencia para la Protección Ambiental de Estado Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) recomienda no ingerir más de 0.1 mg Kg^{-1} (Juárez, 2020).

Por otra parte, el Cu y Zn son elementos esenciales, los cuales son necesarios para la vida, presentándose en concentraciones muy pequeñas. Sin embargo, estos elementos traza pueden ser tóxicos cuando se encuentra en la dieta a niveles ligeramente superiores a los requeridos en la nutrición y si estos no son excretados del organismo (Murillo-Cisneros, 2014). En el caso del Zn, se

puede llegar a la intoxicación con ingestas de 10 a 15 veces más alto a lo necesario para el organismo (200 a 800 mg/día, Johnson, 2018). Esto puede ocasionar calambres digestivos, náuseas y vómitos. Las exposiciones por tiempos prolongados pueden producir anemia y problemas reproductivos. Sí este es inhalado en gases puede ocasionar la denominada fiebre de metal (Juárez, 2020). Por esto mismo la EPA, no recomienda la ingesta de alimentos que contengan > 5 mg kg^{-1} (Juárez, 2020).

El Cu es uno de los metales más utilizados en la industria, ya que tiene un sin número de usos, debido a sus propiedades físicas y químicas (Juárez, 2020). Cuando este elemento se encuentra en estado de oxidación o como catión (+2) y se utiliza en forma de sales de cobre, para plaguicidas, fungicida, rodenticidas y alguicidas (Moreno-Graw, 2003), por lo que puede llegar a ser tóxico. Una exposición aguda a las sales de cobre puede causar una intoxicación aguda que deriva en síntomas similares a la gripe y se caracteriza por fiebre, escalofríos, mialgias, vómitos y leucocitosis (Cabrera et al. 2014). Signos más graves de toxicidad aguda por Cu incluyen daño hepático severo, falla renal, coma y muerte (Cabrera et al. 2014). La Agencia de Protección Medioambiental impuso la pauta sanitaria para la máxima concentración de Cu en el agua de 1.3 mg L^{-1} y por la Organización Mundial de la Salud (OMS) la concentración de 2 mg L^{-1} (Bremner, 1998).

Por otro lado, la principal fuente de elementos traza en el humano es a través de la comida. Esta es la vía en que estos elementos se incorporan y se acumulan en los organismos (Vega, 2018). Los alimentos marinos son importantes

en la dieta humana en México y en el mundo, ya que representan una de las principales fuentes de proteína (Plessi et al. 2001).

A diferencia de otros países el consumo de músculo de pescado es bajo (26 g persona-1 día-1) en el territorio mexicano. De igual forma el consumo de músculo de tiburón no es muy elevado, CONAPESCA (2013) menciona que es alrededor de 0.23 kg per cápita. Escobar (2014), menciona que gracias a estos bajos niveles de consumo, los riesgos a altas exposiciones de metales pesados son mínimos. Sin embargo, hay sectores susceptibles de la población como las comunidades costeras que tienen acceso limitado a otras fuentes de proteína, y en especial niños y mujeres embarazadas son el sector más expuesto (Murillo-Cisneros, 2014)

Por ello, el objetivo del presente estudio es determinar la concentración de Cu, Cd, Ag, Fe y Zn en cuatro especies de tiburones con importancia económica en la región de Baja California Sur, México, y a nivel nacional: *Carcharhinus falciformis*, *Isurus oxyrinchus*, *Prionace glauca* y *Sphyrna zygaena*, para establecer si sus concentraciones se encuentran dentro del límite permisible para consumo humano establecido por la NOM 242 y la organización mundial de la salud (OMS). Por otra parte, se analizará la relación entre la posición trófica, basado en el análisis de isótopos estables de N y la concentración de metales pesados en tejido muscular y sangre de cada especie de tiburón. Por último se buscará si existe una relación entre las zonas de alimentación, a partir de isótopos estables de C, y los tipos de dieta con los niveles de concentración de Cu, Cd, Ag, y Zn en las cuatro especies ya mencionadas.

ANTECEDENTES

Isótopos estables de carbono y nitrógeno

Se han realizado diversos estudios de ecología trófica e isótopos estables de elasmobranquios en Baja California Sur. Cabrera et al. (2010) analizaron la dieta del tiburón piloto (*Carcharhinus falciformis*), utilizando los valores de δ^{13}C y δ^{15}N y contenidos estomacales. Estos autores indicaron que esta especie consume presas oceánicas y pelágicas. Mientras que, el tiburón azul *(Prionace glauca)*, tuvo una dieta principal de crustáceo *Pleuroncodes planipes* y los cefalópodos *Gonatus californiensis* y *Ancistrocheirus lesueurii* (Hernández et al., 2016). En la costa occidental de Baja California Sur y Golfo de California, *Sphyrna zygaena* fue descrito como un depredador especialista costero y oceánico, con base en contenido estomacal e isótopos estables de carbono y nitrógeno (Ochoa-Díaz 2009).

Velasco (2005), realizó un estudio sobre *I. oxyrinchus* en la costa occidental de Baja California Sur para conocer sus hábitos alimenticios y valores de δ^{13}C y δ^{15}N. Las presas más importantes fueron *Prionotus albirostris* y *Scomber japonicus*. Para la comparación entre sexos no se encontraron diferencias; mientras que entre estadios de madurez si se encontraron. A partir de δ^{15}N se reportaron valores característicos de un depredar tope, tanto en juveniles (μ=18.10 ‰ ± 0.82) como en adultos (μ= 18.72 ‰ ±0.57). Por áreas geográficas los valores de δ^{15}N presentaron variaciones, indicando una diferencia en la alimentación y por efecto de latitud.

Maya (2016), a partir del análisis de isótopos estables de C y N en *P. glauca* (δ^{15}N= 17.21 ±0.37‰ y δ^{13}C=-17.24 ± 0.37‰ y en *I. oxyrinchus* (δ^{15}N= 18.20±0.40 y δ^{13}C= -16.68 ± 0.46‰), reportó un bajo traslapo trófico, debido al consumo de especies presas diferentes y un diferente uso de hábitat. Describe a *I. oxyrinchus* como un depredador generalista que se alimenta en zonas pelágicas costeras y a *P. glauca* como un depredador especialista que se alimenta en zonas pelágicas oceánicas.

Concentración de elementos traza

La concentración de elementos traza ha sido estudiada en diferentes organismos marinos; sin embargo, en los elasmobranquios han recibido menor atención, por lo que existen pocos trabajos de investigación en el Pacífico mexicano.

Las concentraciones de Hg, Cd y Se en el músculo de diferentes especies de rayas se encontraban por debajo del límite para consumo humano, usando la norma mexicana y la OMS (Murillo, 2014). En la costa occidental de Baja California Sur, los niveles de Cd en *C. falciformis* fueron de 529 µg g^{-1} peso húmedo en hígado y para músculo de 0.37 µg g^{-1} peso húmedo, las concentraciones fueron mayores a los permisibles para consumo humano en la costa occidental de Baja California Sur (Terrazas et al. 2016). En la costa de Jalisco, el tejido muscular y hepático de *C. falciformis* tuvieron concentraciones Hg, Cd y Cu que rebasaron los límites permisibles para consumo humano (Vega, 2018).

En las costas de Japón, el tiburón *Galeocerdo cuvier*, las concentraciones de Hg, Cd, Zn y Cu en hígado y de Hg y los valores de δ^{13}C y δ^{15}N en músculo

dorsal no reflejaron diferencias entre sexos. Las mayores concentraciones de estos elementos se encontraron en el hígado (Tetsuya-Endo, 2015).

JUSTIFICACIÓN

Diversas especies de elasmobranquios, entre ellas las especies estudiadas, son utilizadas para consumo humano a escala regional y local en la península de Baja California y México. Sin embargo, se desconocen si los niveles de Cu, Cd, Ag y Zn en estas especies se encuentren dentro de las normas recomendadas para consumo humano. El Cd y Ag son elementos tóxicos; mientras que, el Cu y Zn son elementos esenciales en bajas cantidades, pero que pueden volverse tóxicas en altas concentraciones, causando efectos en la salud humana en cualquier etapa de vida. Por ello es importante evaluar las concentraciones de estos elementos para conocer el grado de toxicidad en estas especies de consumo humano. Por otra parte, se desconoce si el ambiente pelágico en el cual se alimentan, contribuye a la incorporación de estos elementos a los tejidos de los elasmobranquios. La bioacumulación y biomagnificación se podrán observar, a partir de la relación entre la concentración de elementos con el nivel trófico y los valores isotópicos de nitrógeno y carbono, para establecer el posible origen de estos elementos.

HIPOTESIS

Considerando que las cuatro especies de tiburón comparten el mismo hábitat y hábitos alimenticios, se espera que estas especies presenten alta concentración de Cu, Cd, Ag y Zn aportados de forma natural y antropogénica al ambiente

marino. Mientras que la relación con el nivel trófico y la composición isotópica, nos indicará si la dieta y el hábitat en la que se alimenta y contribuyen a la bioacumulación y biomagnificación de estos elementos.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la concentración de Cu, Cd, Ag y Zn en sangre, músculo, hígado y riñón, y observar la contribución de estos elementos en la dieta y área de alimentación a partir de la relación entre las concentraciones de elementos y la composición isotópica de N y C en sangre y músculo en cuatro especies de tiburones de la costa occidental de Baja California Sur, México.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar la talla y la composición de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ de las cuatro especies de elasmobranquios para conocer su posición trófica y hábitat de alimentación.

- Estimar la concentración de Cu, Cd, Ag y Zn en los diferentes tejidos de las cuatro especies de tiburones para observar la variación y la vía de captación de estos elementos.

- Determinar la concentración Cu, Cd, Ag y Zn entre, sexos y estados de madurez para observar posibles variaciones; además determinar la bioacumulación mediante la relación entre la concentración de elementos y la longitud de los organismos.

- Comparar la concentración de los cuatro elementos entre las diferentes especies para observar la variación interespecífica en cada tejido.

- Observar la relación entre la concentración de Cu, Cd, Ag y Zn y la composición isotópica de los tejidos sangre y músculo para conocer el posible origen trófico de los elementos en la dieta, así como un posible efecto de bioacumulación y biomagnificación entre niveles tróficos.

- Determinar si la concentración de Cu, Cd, Ag y Zn en músculo de las cuatro especies de tiburones, se encuentran dentro de los límites permitidos por las instituciones de salud EPA, OMS y NOM-242 (2009) para consumo humano.

ZONA DE ESTUDIO

Los muestreos de los tejidos de tiburones se realizaron en la costa occidental de Baja California Sur, México, específicamente el campo pesquero Punta Lobos (PL), ubicado en 23º 24´ 27'' Latitud Norte y 110º 13´ 58'' Longitud Oeste. La localidad de Punta Lobos presenta temperaturas medias anuales de 20 a 22° C. La plataforma en el área se caracteriza por ser reducida y de relieve accidentado (Schmitter-Soto, 1992). La circulación de las aguas superficiales está en relación con el patrón de vientos, por lo que, durante el invierno, esta es dominante hacia el sureste, permitiendo el mayor desarrollo de la Corriente de California, la cual tiene su origen en los 40° N, extendiéndose hasta 1000 km de distancia de la costa. Esta corriente se presenta a profundidades de 100 y 300 m, siendo más intensa durante la primera mitad del año (Wilkinson et al. 2009). Esta

zona es caracterizada por un impacto biológico significativo en las poblaciones debido a la alta productividad por el afloramiento de plancton (Wilkinson et al. 2009).

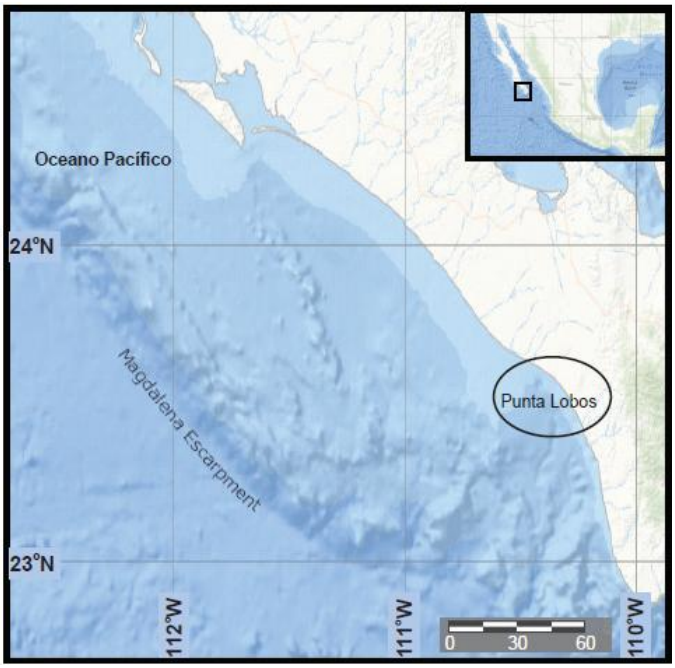


Figura 1 .- Ubicación del campo pesquero y área de estudio en Punta Lobos, B.C.S., México.

MATERIAL Y METODOS

Trabajo en campo:

Se recolectaron muestras de tejidos en el campo pesquero. Una vez en el campo se identificaron las especies (*C. falciformis*, *I. oxyrinchus*, *P. glauca y S. zygaena*) de acuerdo a las claves de Compagno et al. (1995). Asimismo se realizó un registro de datos biométricos (sexo y longitud total) de los individuos en el área de muestreo.

La recolecta de los tejidos se realizó de la siguiente manera:

Se hizo un corte en la zona dorsal de la cabeza, en donde se extrae alrededor de 5 g de tejido muscular, riñón y tejido hepático, los cuales se almacenaron en viales; 2) se extrajo la sangre con una jeringa (5ml) de la misma zona dorsal. Para análisis de elementos tóxicos se depositó la sangre en tubos con puerto de inyección y anticoagulante EDTA.

Estos tejidos se congelaron a -20°C para su análisis en el Laboratorio de Ecología de peces del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN) en La Paz, Baja California Sur, México.

Trabajo de laboratorio

Para observar la relación entre la dieta y la concentración de elementos, se utilizó la composición de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ en sangre y músculo de las cuatro especies de tiburones (*C. falciformis, I. oxyrinchus, P. glauca* y *S. zygaena*).

Para determinar la concentración de elementos total se tomó una submuestra de aproximadamente 3 g de tejido (muscular, hígado y riñón) y 3 ml de sangre en frascos de plástico previamente lavados según el protocolo de la EPA (Environmental Protection Agency) (EPA, 2000). Se etiquetaron y se liofilizaron por 72 horas. Se pesó la muestra antes y después de ser secada para obtener el porcentaje de humedad y transformar a peso húmedo.

Para el análisis de las concentraciones de Cu, Cd, Ag y Zn por Absorción atómica (AA), se tomaron 20 gramos de musculo de la cabeza del tiburón y el hígado. Estas muestras fueron enjuagadas con agua y deshidratadas a 50°C. Se homogenizaron las muestras a polvo fino y se sometieron a un proceso de

digestión utilizando 1 mL de HNO_3 + 3 mL de HCL + 5 mL H_2O_2 y analizadas con un espectrómetro de absorción atómica por flama (EAA dual Agilent Modelo 200AA) (EPA2000). Se utilizaron dos materiales de referencia certificada o estándar (DOLT-5 y DORM-4) para trazar los elementos en peces. Estas fueron utilizadas cada 40 muestras, para asegurar la precisión y exactitud. Posteriormente, se realizaron curvas de calibración en el equipo, en donde se utilizó un blanco (HNO3 al 20%) el cual se analizó después de los estándares después de cada ciclo de 40 muestras.

Tabla 1. Valores certificados de los elementos en DORM-4 ± desviación estándar expresada en µg g^{-1} de peso seco. % recuperación Cu, Cd y Zn (>70%) y Ag (>90%).

DORM-4	
Elemento	Concentración ($mg.kg^{-1}$)
Ag	0.0252 ± 0.0050
Cd	0.299 ± 0.018
Cu	15.7 ± 0.46
Zn	51.6 ± 2.8

Tabla 2. Valores certificados de los elementos en DOLT-5 ± desviación estándar expresada en µg g^{-1} de peso seco. Cu, Zn y Ag (>70%) y Cd (>90%).

DOLT-5	
Elemento	Concentración ($mg.kg^{1}$)
Ag	2.05 ± 0.08
Cd	14.5 ± 0.6
Cu	35.0 ± 2.4
Zn	105.3 ± 5.4

Trabajo de gabinete

El nivel trófico se obtuvo utilizando la ecuación propuesta por Post (2002):

$$PT = \lambda + \frac{(\delta^{15}N\ Depredador - \delta^{15}N\ Base)}{\Delta_n}$$

δ^{15}N Base = Valor de δ^{15}N promedio del "MOP" (material orgánico particulado) de la costa occidental de BCS (Hobson et al. 1995).

δ^{15}N Depredador = Valor de δ^{15}N promedio del tejido (sangre o músculo) de las diferentes especies de tiburón.

λ = Posición trófica del material orgánico partículado "MOP" (Aurioles-Gamboa et al. 2013).

Δ_n= Valor teórico de enriquecimiento en ^{15}N por nivel trófico (Valor de enriquecimiento en músculo y sangre (RBC) $\Delta 1$ = 3.7 ‰, $\Delta 2$ = 2.4 ‰ (Kim y Koch, 2011).

Para el caso de los elementos potencialmente tóxicos, se compararon las concentraciones de los elementos entre las diferentes especies, tejidos, sexos y estadios de madurez.

A los datos obtenidos se les evaluó la normalidad y homogeneidad de varianzas utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Levene (Zar, 1999), si cumple con dichos criterios se utilizaron pruebas paramétricas y si no las cumple se utilizaron pruebas no paramétricas.

Para evaluar la relación entre las longitudes de los ejemplares y la concentración de elementos (Cu, Cd, Ag y Zn) en las muestras, se realizó un análisis de correlación lineal. Asimismo, se aplicó la prueba U de Mann-Whitney

para evaluar las diferencias entre sexos y estadios por cada especie y para comparar las concentraciones por especie se utilizó la prueba de Kruskall-Wallis.

Para los datos de los diferentes elementos se utilizó una correlación utilizando Statistica (Versión 8.0), con la finalidad de observar la tendencia de acumulación basada en la longitud total del cuerpo del tiburón, además de la relación con la composición isotópica de carbono y nitrógeno y el nivel trófico.

RESULTADOS

Estructura de tallas, sexos y estadios

Se analizó la concentración de elementos potencialmente tóxicos en sangre, músculo, hígado y riñón de 19 *C. falciformis*, 33 *I. oxyrinchus*, 8 *P. glauca* y 21 *S. zygaena*. La distribución de hembras y machos fue 9 y 10 respectivamente para *C. falciformis*. *I. oxyrinchus* fue representada por 15 machos y 18 hembras, mientras que *P. glauca* por 4 hembras y 4 machos y *S. zygaena* por 10 machos y 11 hembras. El intervalo de tallas de *C. falciformis* fue de 130 cm a 237 cm y de 5 embriones fue 40 cm a 43 cm. *I. oxyrinchus* presentó tallas entre 92 cm a 224 cm; mientras que la talla de *P. glauca* fluctuó entre 108 cm a 229 cm. Por último, *S. zygaena* varió entre 119 cm y 370 cm.

En cuanto a los estadios de madurez, *C. falciformis* estuvo representado por 9 adultos, 5 juveniles y 5 embriones. Para *I. oxyrinchus* se presentaron 32 juveniles y un adulto. *P. glauca* se representó con 2 adultos y 6 juveniles. Por último, *S. zygaena* se caracterizó por presentar 10 adultos y 11 juveniles.

Composición isotópica en sangre y músculo

Tabla 3.- Valores de la composición isotópica ($\delta^{15}N$ y $\delta^{13}C$) de las cuatro especies de tiburones.

Especie	$\delta^{15}N$ (‰) sangre	$\delta^{15}N$ (‰) músculo	$\delta^{13}C$ (‰) sangre	$\delta^{13}C$ (‰) músculo
C. falciformis				
Intervalo	17.87 a 14.82	17.78 a 15.28	-18.68 a -14.60	-17.82 a -15.6
Promedio y DS	16.45 ± 0.68	16.66 ± 0.69	-17.03 ± 0.85	-16.93 ± 0.54
I.oxyrinchus				
Intervalo	19.39 a 17.06	21.33 a 16.96	-18.73 a -16.14	-18.36 a -16.04
Promedio y DS	18.34 ± 0.61	19.40 ± 1.16	-17.47 ± 0.43	-17.17 ±0.52
P. glauca				
Intervalo	20.66 a 16.46	19.36 a 16.78	-19.30 a -15.89	-19.05 a -16.37
Promedio y DS	18.17 ± 0.78	17.82 ± 0.66	-17.22 ± 0.83	- 17.76 ± 0.59
S. zygaena				
Intervalo	20.75 a 16.38	20.98 a 15.23	-18.83 a -15.61	-17.55 a -15.65
Promedio y DS	19.28 ± 1.14	19.66 ± 1.10	-16.94 ± 0.63	-16.68 ± 0.37

Nivel trófico

Se obtuvieron los niveles tróficos con sangre y músculo (Tabla 3), en donde el mayor nivel trófico en ambos tejidos lo presentó *S. zygaena* y el menor nivel trófico lo presentó *C. falciformis*.

Tabla 4. Niveles tróficos de sangre y músculo de las cuatro especies de tiburones.

Tejido	Especie			
	C. falciformis	*I. oxyrinchus*	*P. glauca*	*S. zygaena*
Sangre	3.7	4.4	4.3	4.8
Músculo	2.8	3.5	3.1	3.6

Concentración de Cu, Cd, Ag y Zn entre tejidos

Cobre

Tabla 5.-Concentración de Cu entre tejidos de las diferentes especies de tiburones.

Especie	Músculo Cu mg kg^{-1} p. s.	Riñón Cu mg kg^{-1} p. s.	Hígado Cu mg kg^{-1} p. s.	Sangre Cu mg kg^{-1} p. s.
C. falciformis				
Intervalo	0.013 - 0.033	0.011 - 0.55	0.07 - 1.05	0 - 0.20
Promedio y DS	0.021 ± 0.01	0.24 ± 0.15	0.39 ± 0.31	0.040 ± 0.05
I. oxyrinchus				
Intervalo	0.01 - 0.03	0.01 - 0.15	0.15 - 1.6	0- 0.10
Promedio y DS	0.02 ± 0.01	0.04 ± 0.03	0.51 ± 0.28	0.03 ± 0.02
P. glauca				
Intervalo	0.01 - 0.03	0.06 - 0.20	0.08 - 0.18	0 - 0.02
Promedio y DS	0.02 ± 0.01	0.14 ± 0.07	0.13 ± 0.04	0.01 ± 0.01
S. zygaena				
Intervalo	0.01 - 0.03	0.07 - 0.31	0.10 - 0.43	0 - 0.07
Promedio y DS	0.02 ± 0.00	0.18 ± 0.06	0.20 ± 0.11	0.022 ± 0.02

Para las concentraciones dentro de las mismas especies, tenemos que *C. falciformis* presentó las concentraciones más altas en hígado 0.39 ± 0.31 mg kg^{-1} p. s. y las menores en el tejido muscular 0.02 ±0.01 mg kg^{-1} p. s. Se encontraron diferencias significativas en la comparación entre tejidos para esta especie ($H_{3,\ N=71}$ = 44.09384, P < 0.05) (Fig. 2).

Para *I. oxyrinchus*, la mayor parte de la concentración de cobre se presentó en hígado 0.51 ±0.28 mg kg^{-1} p. s. y la menor en músculo 0.02 ± 0.01 mg kg^{-1} p. s. Se encontraron diferencias significativas en la concentración de este elemento entre tejidos ($H_{3,\ N=122}$ = 84.57257, P < 0.05) (Fig. 2).

Por otro lado, las concentraciones de *P. glauca* se presentaron de mayor forma en el tejido renal 0.14 ± 0.07 mg kg^{-1} p. s. y de menor forma en tejido sanguíneo 0.01 ±0.01 mg kg^{-1} p. s. Se detectaron variaciones estadísticas entre tejidos para esta especie ($H_{3, N= 31}$ = 25.36903, P < 0.05) (Fig. 2).

Por último, los tejidos de *S. zygaena* presentaron mayor concentración 0.20 ± 0.11 mg kg^{-1} p. s. en hígado y menor en músculo 0.02 ± 0.00 mg kg^{-1} p. s. Se detectaron variaciones estadísticas en la concentración de este elemento entre tejidos de esta especie ($H_{3, N= 52}$ = 36.26676, P < 0.05) (Fig. 2).

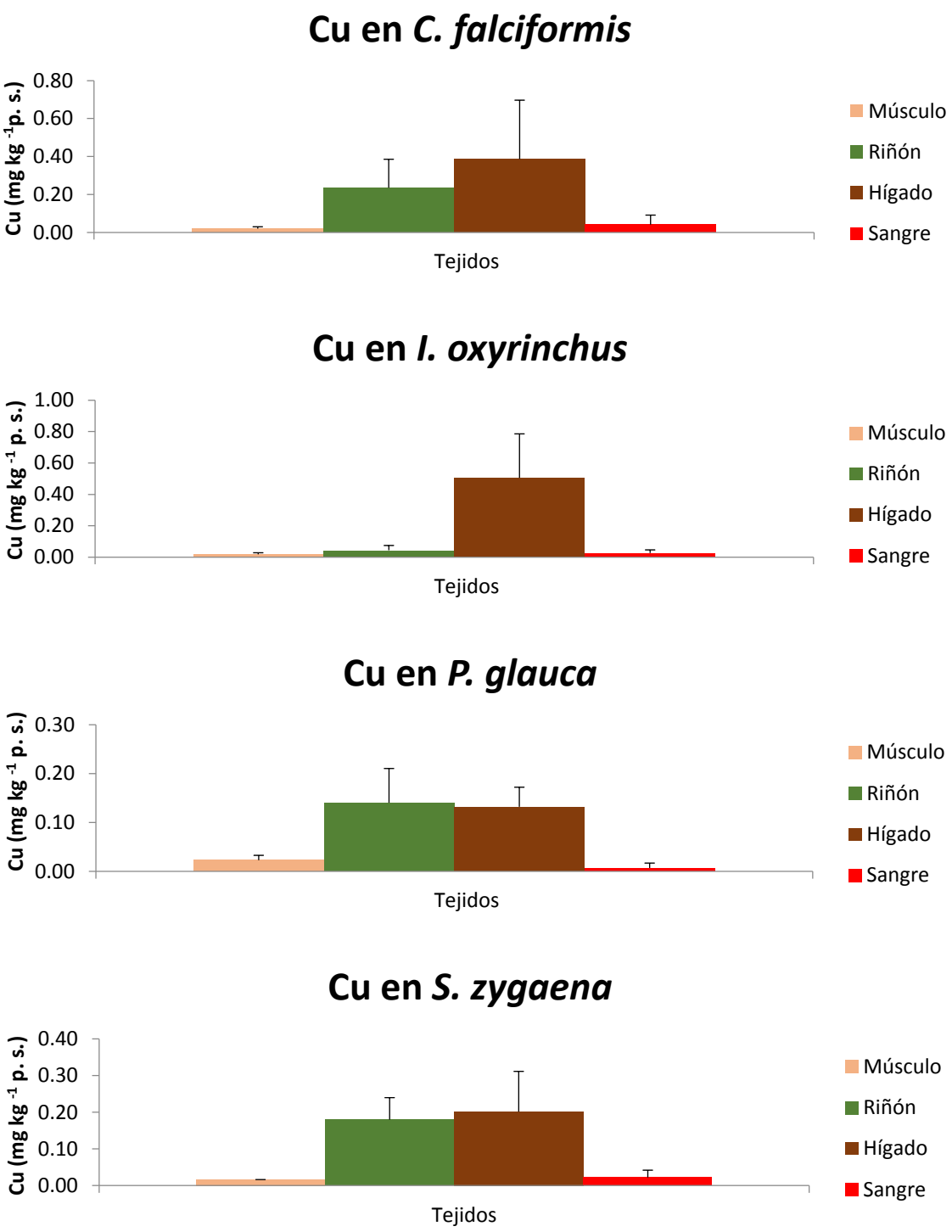


Figura 2. Concentración de Cu entre tejidos de las 4 especies de tiburones.

Cadmio

Tabla 6.- Concentración de Cd entre tejidos de las diferentes especies de tiburones.

Especie	Músculo Cd mg kg^{-1} p. s.	Riñón Cd mg kg^{-1} p. s.	Hígado Cd mg kg^{-1} p. s.	Sangre Cd mg kg^{-1} p. s.
C. falciformis				
Intervalo	0.02 - 0.17	0.01 - 19.24	0.01 - 48.40	0.001 - 0.08
Promedio y DS	0.04 ± 0.04	1.82 ± 4.28	13.21 ± 15.41	0.02 ± 0.03
I. oxyrinchus				
Intervalo	0.01 - 0.03	0.01 - 0.09	0.01 - 0.47	0 - 0.01
Promedio y DS	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.02	0.08 ± 0.11	0.002 ± 0.00
P. glauca				
Intervalo	0.02 - 0.03	0.03 - 0.29	0.22 - 11	0.03 - 0.24
Promedio y DS	0.02 ± 0.00	0.18 ± 0.12	3.64 ± 4.20	0.12 ± 0.07
S. zygaena				
Intervalo	0.01 - 0.06	0.01 - 16.08	0.03 - 17.8	0 - 0.11
Promedio y DS	0.03 ± 0.01	3.47 ± 5.17	5.78 ± 6.30	0.02 ± 0.03

Para cadmio en *C. falciformis,* las concentraciones más altas se presentaron en el tejido hepático 13.21 ± 15.41 mg kg^{-1} p. s. y las menores en el muscular 0.04 ± 0.04 mg kg^{-1} p. s. Se encontraron diferencias significativas en la concentración de cadmio entre los diferentes tejidos de esta especie ($H_{3,\ N=\ 71}$ = 31.97223, P < 0.05) (Fig. 3).

I. oxyrinchus estuvo representada por hígado 0.08 ± 0.11 mg kg^{-1} p. s. siendo esta la mayor concentración y la sangre la menor 0.002 ± 0.00 mg kg^{-1} p. s. Se encontraron diferencias significativas en la concentración de este elemento tóxico entre tejidos ($H_{3,\ N\ =\ 122}$ = 99.38233, P < 0.05) (Fig. 3).

Para *P. glauca* sus tejidos presentaron mayor concentración en hígado 3.64 ± 4.20 mg kg^{-1} p. s. y la menor en músculo 0.02 ±0.00 mg kg^{-1} p. s. Se

encontraron diferencias significativas entre tejidos ($H_{3, N = 31}$ = 24.52122, $P < 0.05$) (Fig. 3).

S. zygaena presentó una mayor acumulación de este elemento en hígado 5.78 ± 6.30 mg kg^{-1} p. s. y menor en músculo 0.03 ± 0.01 mg kg^{-1} p. s. Se encontraron diferencias entre tejidos de esta especie ($H_{3, N = 52}$ =2 4.21319, $P < 0.05$) (Fig. 3).

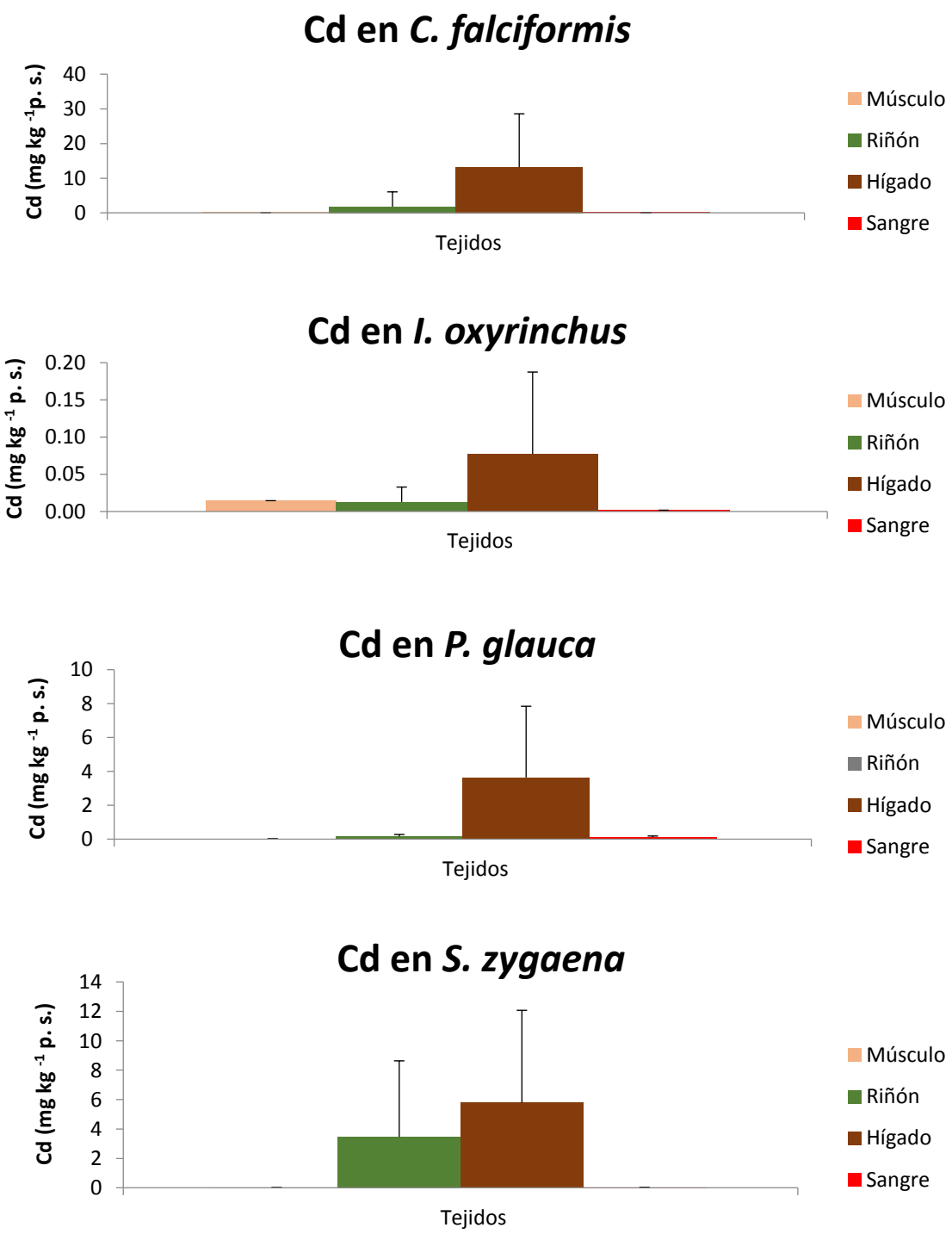


Figura 3.- Concentración de Cd entre tejidos de las 4 especies de tiburones.

Plata

Tabla 7.- Concentración de Ag entre tejidos de las diferentes especies de tiburones.

Especie	Músculo Ag mg kg^{-1} p. s.	Riñón Ag mg kg^{-1} p. s.	Hígado Ag mg kg^{-1} p. s.	Sangre Ag mg kg^{-1} p. s.
C. falciformis				
Intervalo	0.0 - 0.06	0.0 - 2.14	0.0 - 0.23	<LD
Promedio y DS	0.02 ± 0.02	0.18 ± 0.49	0.06 ± 0.07	<LD
I. oxyrinchus				
Intervalo	0.003 - 0.06	0.03 - 0.1	0.0 - 0.27	<LD
Promedio y DS	0.03 ± 0.02	0.05 ± 0.01	0.02 ± 0.05	<LD
P. glauca				
Intervalo	0.02 - 0.05	0.06 - 0.08	0.0 - 0.04	<LD
Promedio y DS	0.03 ±0.01	0.68 ± 0.01	0.0 ± 0.03	<LD
S. zygaena				
Intervalo	0.03 - 0.07	0.05 - 2.83	0.0 - 0.59	<LD
Promedio y DS	0.04 ± 0.01	0.54 ± 0.90	0.14 ± 0.23	<LD

Para este elemento la estructura de tejidos estuvo conformada para *C. falciformis* con una mayor concentración en riñón 0.18 ± 0.49 mg kg^{-1} p. s. La sangre por debajo de límite de detección. Se encontraron diferencias significativas en la concentración de este metal potencialmente tóxico entre los tejidos de esta especie ($H_{3, N = 71}$ = 33.88328, P < 0.05) (Fig. 4).

La sangre de *I. oxyrinchus* presentó concentraciones por debajo de límite de detección, mientras que la concentración fue mayor en riñón 0.05 ±0.01 mg kg^{-1} p. s. Se detectó variación en la concentración de este elemento entre tejidos ($H_{3, N = 122}$ = 87.22903, P < 0.05) (Fig. 4).

Prionace. glauca presentó en sangre concentraciones por debajo de límite de detección, mientras que la mayor concentración en *P. glauca* estuvo representado por riñón 0.07 ±0.01 mg kg^{-1} p. s. Se encontraron diferencias entre tejidos ($H_{3, N = 31}$ = 26.16455, P < 0.05) (Fig. 4).

S. zygaena presentó su mayor concentración de igual forma que algunas de las otras especies en riñón 0.54 ± 0.90 mg kg^{-1} p. s. y la sangre por debajo de límite de detección. Se observó variación estadística en la concentración de este elemento potencialmente tóxico entre los tejidos de esta especie de tiburón ($H_{3, N = 52}$ = 34.72264, $P < 0.05$) (Fig. 4).

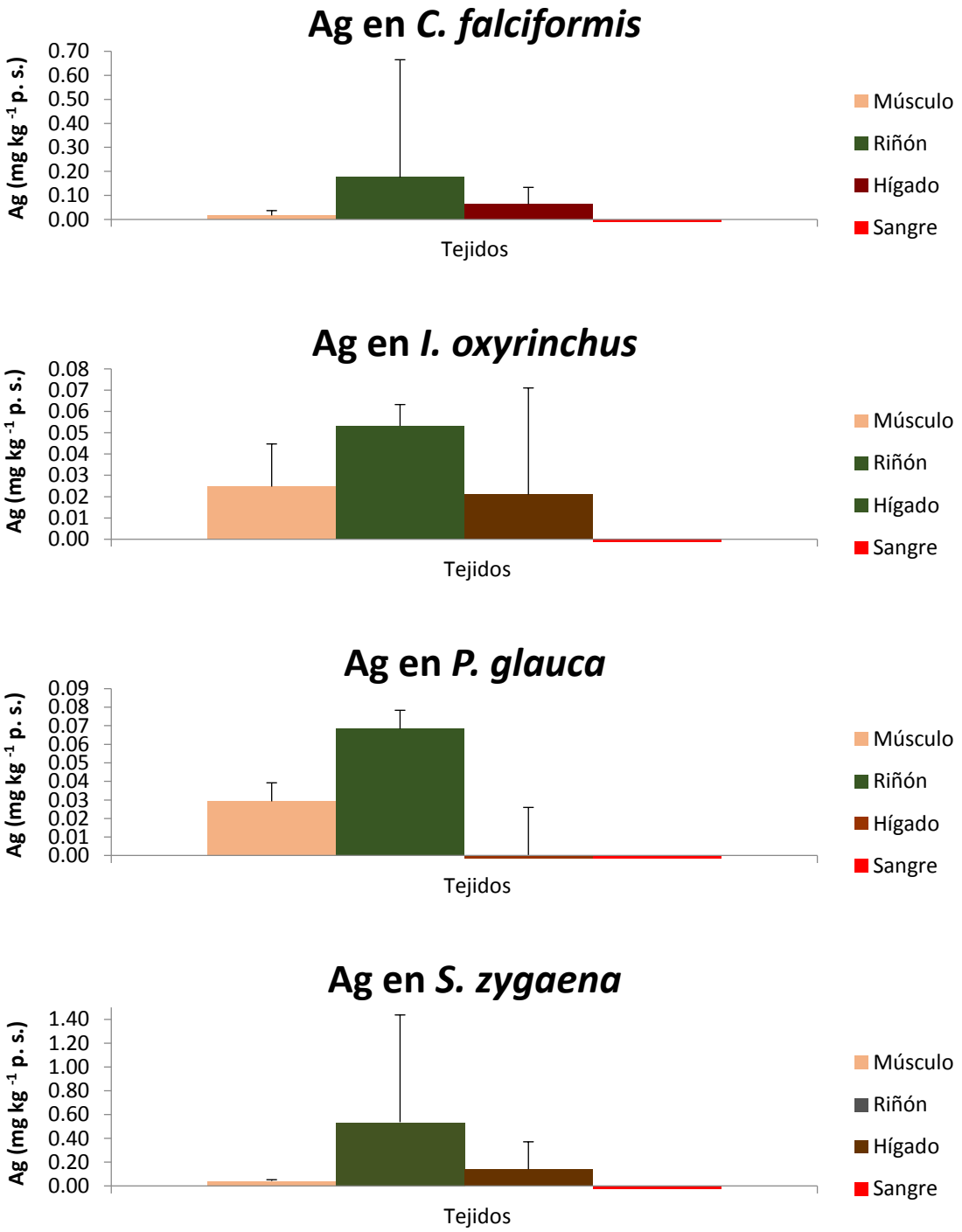


Figura 4.- Concentración de Ag entre tejidos de las 4 especies de tiburones.

Zinc

Tabla 8.- Concentración de Zn entre tejidos de las diferentes especies de tiburones.

Especie	Músculo Zn mg kg^{-1} p. s.	Riñón Zn mg kg^{-1} p. s.	Hígado Zn mg kg^{-1} p .s.	Sangre Zn mg kg^{-1} p. s.
C. falciformis				
Intervalo	0.05 - 14.11	0.39 - 15.35	0.45 - 18.88	0.11 - 0.64
Promedio y DS	2.18 ± 3.01	5.35 ± 4.27	5.37 ± 6.11	0.41 ± 0.17
I. oxyrinchus				
Intervalo	0.40 - 7.53	0.58 - 3.81	0.66 - 8.50	0.15 - 0.67
Promedio y DS	1.07 ± 1.32	2.24 ± 0.97	2.78 ± 1.88	0.35 ± 0.14
P. glauca				
Intervalo	0.7 - 9.13	2.84 - 6.60	0.70 - 2.49	0.16 - 0.68
Promedio y DS	3.79 ± 3.28	4.04 ± 1.36	1.53 ± 0.75	0.36 ± 0.16
S. zygaena				
Intervalo	1.95 - 4.78	2.84 - 11.26	0.8 - 17.99	0.16 - 0.57
Promedio y DS	3.07 ± 0.87	5.4 ± 3.00	8.54 ± 5.52	0.37 ± 0.13

En cuanto a las concentraciones de este elemento esencial dentro de los tejidos en las mismas especies *C. falciformis* estuvo representada de forma muy similar por hígado 5.367 ± 6.11 mg kg^{-1} p. s. y riñón 5.346 ±4.27 mg kg^{-1} p. s., sin embargo, la menor concentración estuvo presente en sangre 0.41 ± 0.17 mg kg^{-1} p. s. Se encontraron diferencias significativas de este elemento entre tejidos ($H_{3, N= 71} = 27.64325$, $P < 0.05$) (Fig. 5).

Para el *I. oxyrinchus* la mayor concentración fue observada en hígado 2.78 ±1.88 mg kg^{-1} p. s. y la menor en sangre 0.36 ± 0.14 mg kg^{-1} p. s. Se encontraron diferencias significativas en la concentración de este elemento entre tejidos ($H_{3, N = 122} = 80.50572$, $P < 0.05$) (Fig. 5).

Para *P. glauca* se observó mayor concentración de Zn en riñón 4.04 ±1.36 mg kg^{-1} p. s. y menor en sangre 0.38 ± 0.16 mg kg^{-1} p. s. También se observaron diferencias estadísticas entre estos tejidos ($H_{3, N = 31} = 21.85433$, $P < 0.05$) (Fig. 5).

Por último *S. zygaena* presento una mayor concentración de igual forma que algunas de las otras especies en hígado 8.54 ±5.52 mg kg^{-1} p. s. y menor concentración en sangre 0.37 ±0.13 mg kg^{-1} p. s. También se observó variación estadística en la concentración de este elemento entre tejidos de esta especie de tiburón ($H_{3, N = 31}$ = 31.99234, $P < 0.05$) (Fig. 5).

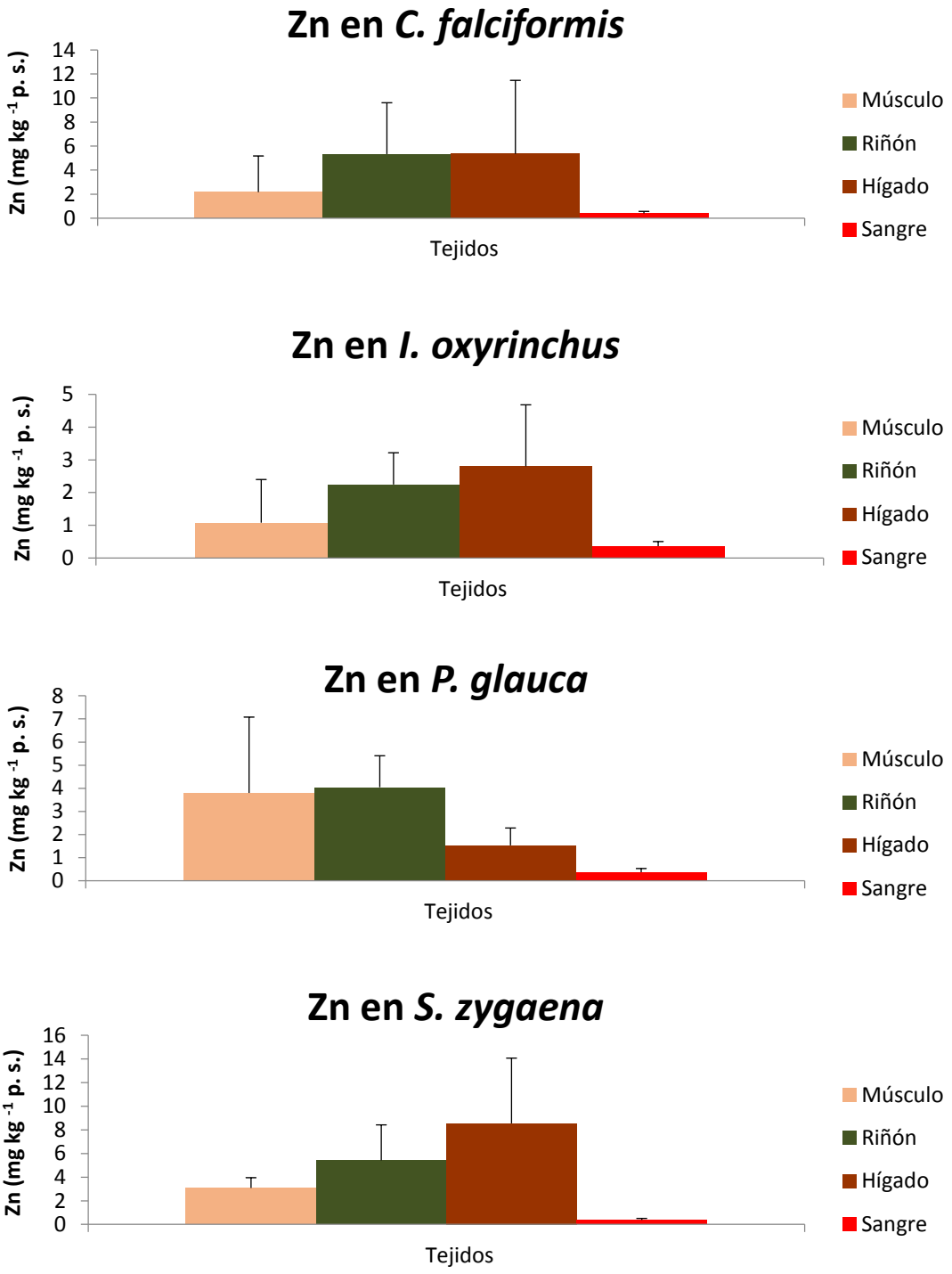


Figura 5 .- Concentración de Zn entre tejidos de las 4 especies de tiburones.

Concentración de Cu, Cd, Ag y Zn entre sexos

Cobre

Para los diferentes sexos de *C. falciformis*, el tejido muscular de las hembras tuvo promedio de 0.02 ± 0.01 mg kg^{-1} p. s. y machos de 0.02 ± 0.00 mg kg^{-1} p. s. No se encontraron diferencias significativas en la concentración de Cu entre sexos (U= 40, P = 0.683). Para el tejido renal, los machos tuvieron promedio de 0.25 ± 0.15 mg kg^{-1} p .s. y las hembras de 0.21 ± 0.17 mg kg^{-1} p. s. No se encontraron diferencias significativas (U = 45, P = 0.732). En el hígado, los machos con promedio de 0.45 ± 0.34 mg kg^{-1} p. s. y las hembras con 0.31 ± 0.28 mg kg^{-1} p. s. No se encontraron diferencias significativas (U = 28, P = 0.186). Para sangre, los valores de ambos sexos fueron muy similares (machos: 0.46 ± 0.07 mg kg^{-1} p. s. y hembras: 0.044 ± 0.03 mg kg^{-1} p. s.) sin diferencias significativas (U = 11, P = 0.395) (Fig. 6).

El tiburón *I.oxyrinchus* también fue comparado entre sexos y la concentración de Cu, donde a pesar de los bajos valores de ambos sexos en el tejido muscular, las hembras (0.02 ± 0.01 mg kg^{-1} p. s.) presentaron los valores ligeramente más altos que los machos (0.02 ±0.00 mg kg^{-1} p. s.). No se encontraron diferencias significativas entre sexos dentro de este tejido (U = 98.5000, P = 0.186). Los órganos renales de hembras (0.04 ±0.04 mg kg^{-1} p. s.) y machos (0.04 ±0.02 mg kg^{-1} p. s.) presentaron valores similares, sin diferencias significativas entre sexos (U = 82.5, P = 0.489). En el hígado, las hembras (0.52 ± 0.34 mg kg^{-1} p. s.) y machos (0.49 ± 0.21 mg kg^{-1} p. s.), no se encontraron diferencias significativas (U = 120, P = 0.777). La sangre reflejó valores similares

entre hembras (0.03 ± 0.01 mg kg^{-1} p. s.) y machos (0.03 ± 0.03 mg kg^{-1} p. s.), sin diferencias significativas entre sexos (U = 77.5, P = 0.245) (Fig. 6).

En *P. glauca*, las concentraciones de Cu en machos (0.03 ±0.00 mg kg^{-1} p. s.) y hembras (0.02 ±0.02 mg kg^{-1} p. s.). No se encontraron diferencias significativas (U = 3.0, P = 0.148). En el riñón presentó valor un poco mayor en las hembras (0.15 ±0.06 mg kg^{-1} p. s.) que en machos (0.13 ±0.10 mg kg^{-1} p. s.), sin diferencias estadísticas (U = 4.0, P = 1.0). El hígado presentó mayor concentración en las hembras (0.14 ± 0.04 mg kg^{-1} p. s.) con respecto a los machos (0.13 ± 0.04 mg kg^{-1} p. s.), sin llegar a presentar diferencias significativas (U = 7.0, P = 0.772). La sangre en hembras (0.01 ± 0.01 mg kg^{-1} p. s.) y machos (0.004 ±0.01 mg kg^{-1} p. s.), no presentaron diferencias significativas (U = 3.0, P = 0.086) (Fig. 6).

El tejido muscular de *S. zygaena* presentó concentraciones similares en hembras (0.02 ± 0.00 mg kg^{-1} p. s.) y machos (0.02 ± 0.00 mg kg^{-1} p. s.), sin diferencias estadísticas (U = 52.5, P = 0.860). Para riñón, los machos (0.19 ± 0.08 mg kg^{-1} p. s.) y hembras (0.16 ± 0.01 mg kg^{-1} p. s.), no se encontraron diferencias significativas (U = 10.5, P = 0.759), mientras que el hígado de los machos (0.23 ± 0.10 mg kg^{-1} p. s.) mostró mayor concentración con respecto a hembras (0.10 ± 0.01 mg kg^{-1} p. s.), con diferencias significativas (U = 0.0, P = 0.040). La concentración en sangre fue mayor en hembras (0.04 ±0.03 mg kg^{-1} p. s.) que en machos (0.02 ±0.01 mg kg^{-1} p. s.), sin diferencias significativas (U = 7.0, P = 0.185) (Fig. 6).

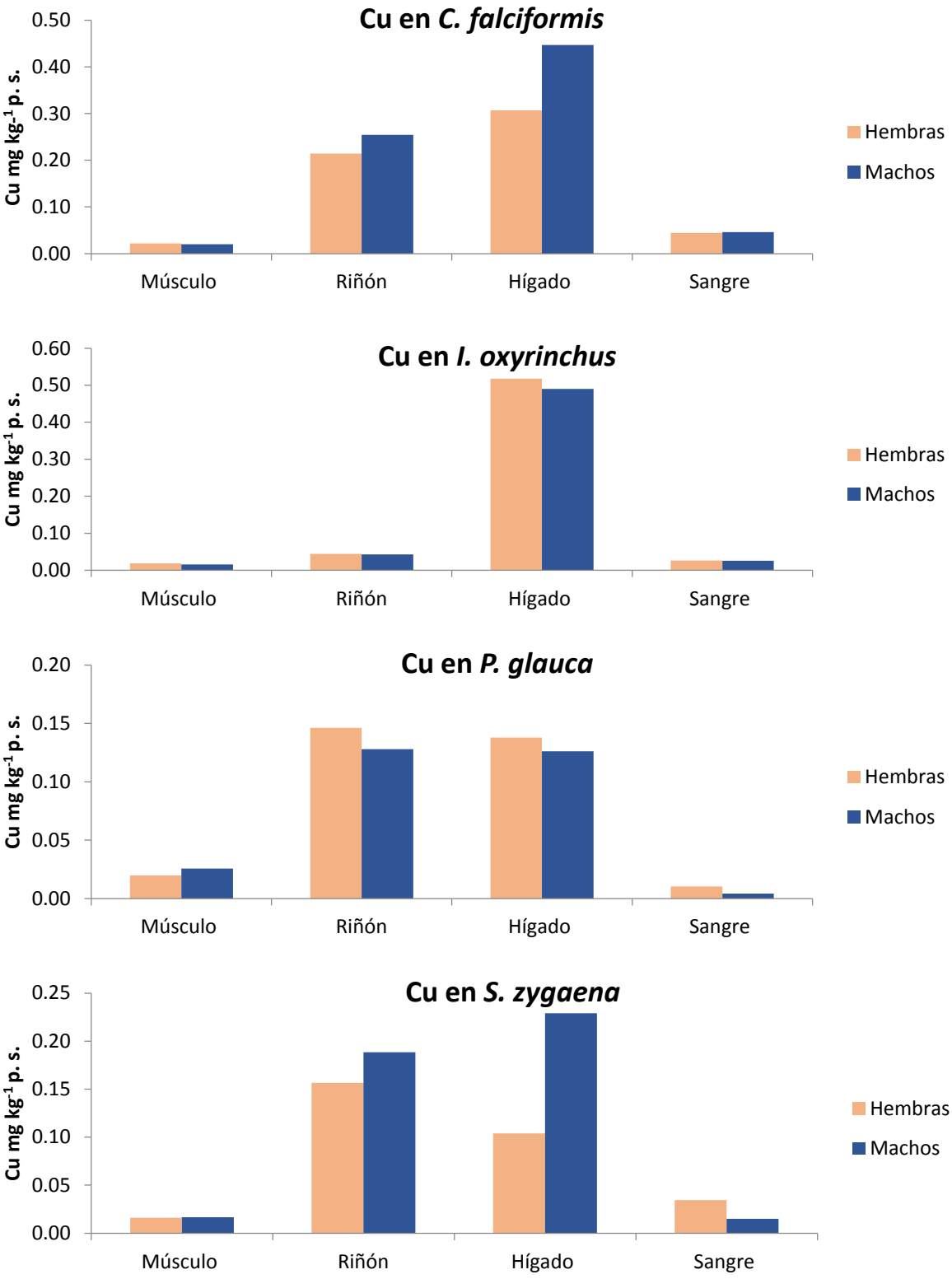


Figura 6 .- Concentración de Cu entre sexos en tejidos de las 4 especies de tiburones.

Cadmio

En el tejido muscular de *C. falciformis*, los machos (0.06 ± 0.00 mg kg^{-1} p. s.) presentó mayor concentración que las hembras (0.03 ± 0.01 mg kg^{-1} p. s.), sin diferencias significativas (U = 23.0, U = 0.072). Para el riñón, los machos destacaron en su concentración (2.50 ± 5.67 mg kg^{-1} p. s.), con respecto a las hembras (0.99 ± 1.33 mg kg^{-1} p. s.), no hubo diferencias significativas (U = 42.5, U = 0.594). En el tejido hepático, los machos (15.08 ± 16.31 mg kg^{-1} p. s.) presentaron la mayor concentración con respecto a hembras (10.65 ± 14.74 mg kg^{-1} p. s.), no se encontraron diferencias significativas entre sexos (U = 29.0, P = 0.215). Por último, los valores en sangre entre hembras (0.03 ± 0. 03 mg kg^{-1} p. s.) y machos (0.02 ± 0.03 mg kg^{-1} p. s.) no mostraron diferencias significativas (U = 13.5, P = 0.671) (Fig. 7).

En el tejido muscular de *I. oxyrinchus*, las hembras (0.02 ±0.00 mg kg^{-1} p. s.) presentaron concentración similar a los machos (0.01 ± 0.00mg kg^{-1} p. s.), sin diferencias significativas (U = 12.5, P = 0.600). Para riñón, las hembras (0.02 ± 0.02 mg kg^{-1} p. s.) y los machos (0.01 ± 0.00 mg kg^{-1} p. s.), no se encontraron diferencias significativas (U = 82.0, P = 0.475). Para el tejido hepático, las hembras (0.01 ± 0.13 mg kg^{-1} p. s.) y los machos (0.07 ± 0.09 mg kg^{-1} p. s.) no tuvieron diferencias significativas entre sexos (U = 113.0, P = 0.583). La sangre presentó valores similares entre hembras (0.002 ± 0.00 mg kg^{-1} p. s.) y machos (0.001 ± 0.00 mg kg^{-1} p. s.), sin diferencias significativas (U = 79.0, P = 0.272) (Fig. 7).

El musculo de *P. glauca* de las hembras (0.02 ± 0.02 mg kg^{-1} p. s.) y los machos (0.02 ± 0.01 mg kg^{-1} p. s.) no mostraron diferencias significativas (U = 4.5, P = 0.312). El riñón en machos presentó una concentración de 0.17 ± 0.16 mg g^{-1} p. s. y en hembras de 0.16 ± 0.12 mg kg^{-1} p. s, sin diferencias (U = 3.0, P = 0.643). En el hígado, la concentración de las hembras (3.712 ± 3.93 mg kg^{-1} p. s.) y los machos (3.58 ± 5.08 mg kg^{-1} p. s.), no se encontraron diferencias significativas (U = 8.0, P = 1.0). En cuanto a la sangre, las hembras (0.13 ± 0.08 mg kg^{-1} p. s.) y los machos (0.12 ± 0.07 mg kg^{-1} p. s.), no se encontraron diferencias significativas (U = 9.50, P = 0.902) (Fig. 7).

En el tiburón, *S. zygaena* presentó concentraciones mayores en los organismos machos para el músculo (0.030 ±0.02 mg kg^{-1} p. s.), riñón (4.76 ± 5.58 mg kg^{-1} p. s.), hígado (7.42 ± 6.24 mg kg^{-1} p. s.) y sangre (0.03 ±0.04 mg.kg-1 p. s.) con respecto a las hembras (músculo = 0.02 ± 0.01 mg kg^{-1}, riñón = 0.04 ±0.01 mg kg^{-1}, hígado = 0.06 ± 0.04 mg kg^{-1} y sangre = 0.002 ± 0.00). No se encontraron diferencias significativas entre los tejidos muscular (U = 35.5, P = 0.169), riñón (U = 6.0, P = 0.220), hígado (U = 1.0, P = 0.078) y sangre (U = 5.0, P = 0.088) (Fig. 7).

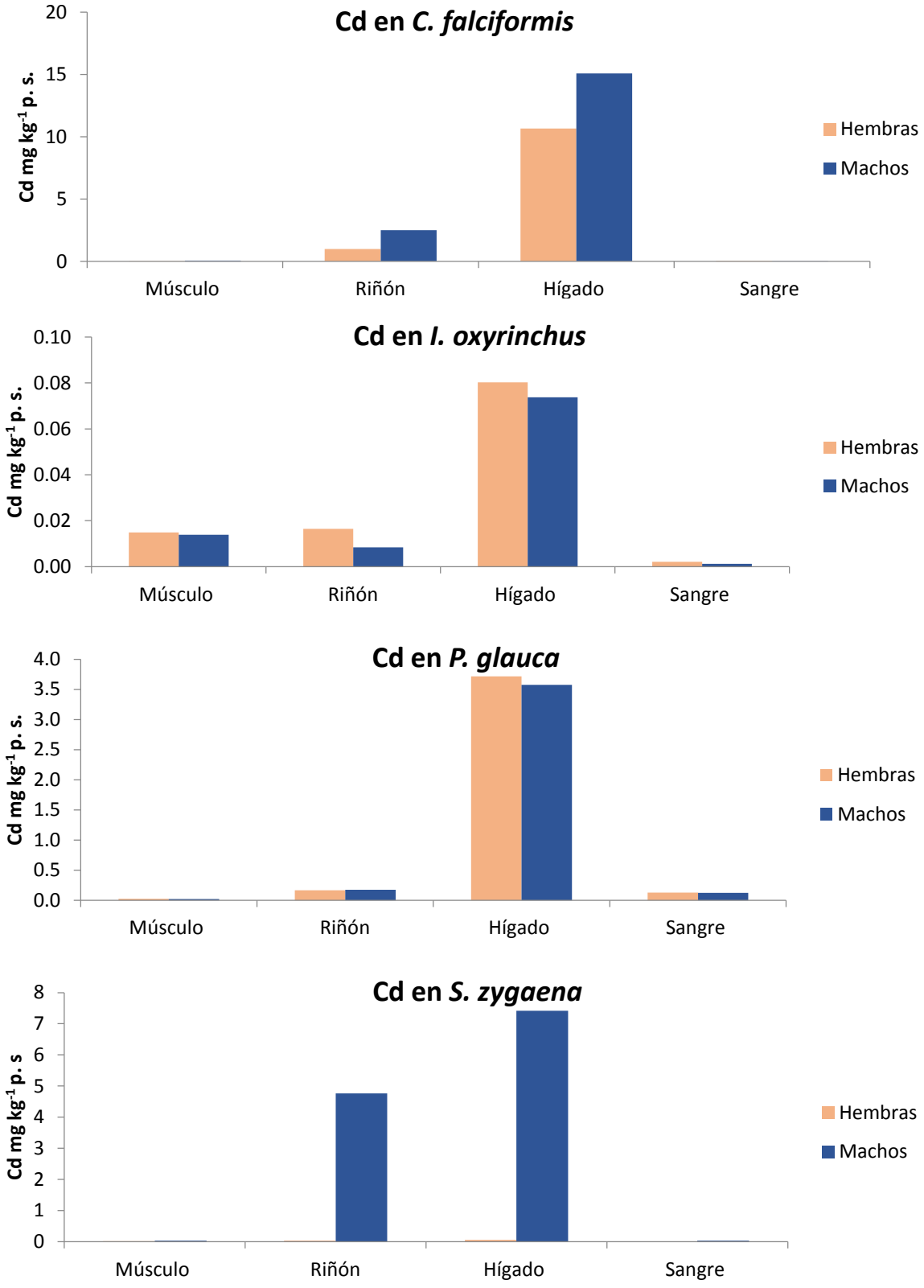


Figura 7 .- Concentración de Cd entre sexos en tejidos de las 4 especies de tiburones

Plata

En el músculo de *C. falciformis,* la mayor concentración se presentó en machos (0.02 ±0.03 mg kg^{-1} p. s.) con respecto a las hembras (0.01 ±0.01 mg kg^{-1} p. s.). No se encontraron diferencias significativas (U = 33.0, P = 0.327). Para riñón, los machos (0.30 ±0.64 mg kg^{-1} p. s.) presentaron mayor concentración que en las hembras (0.03 ±0.07 mg kg^{-1} p. s.). No hubo diferencias significativas (U = 30.0, P = 0.138). Mientras que, el hígado de los machos (0.08 ± 0.08 mg kg^{-1} p. s.) fue mayor que en las hembras (0.04 ± 0.06 mg kg^{-1} p. s.), sin diferencias significativas (U = 27.0, P = 0.160). Por último, en la sangre de los machos y las hembras estuvieron por debajo de límite de detección (Fig. 8).

Para *I. oxyrinchus*, el tejido muscular de las hembras (0.03 ± 0.02 mg kg^{-1} p. s) y los machos (0.02 ± 0.02 mg kg^{-1} p. s.), no se encontraron diferencias significativas (U = 124.0, P = 0.690). El riñón presentó para hembras 0.05 ± 0.01 mg kg^{-1} p. s. y machos 0.05 ± 0.02 mg kg^{-1} p. s. presentaron concentraciones similares y no se encontraron diferencias significativas (U = 76.5, P = 0.333). En el hígado presentó en hembras (0.03 ±0.07 mg kg^{-1} p. s.) y en machos (0.01 ± 0.03 mg kg^{-1} p. s.) valores similares y no se encontró diferencias significativas (U = 123.5, P = 0.879). Por último, en la sangre de los machos y las hembras, la concentración estuvo por debajo de límite de detección (Fig. 8).

El tejido muscular de *P. glauca* presentó la misma concentración en hembras (0.03 ± 0.03 mg kg^{-1} p. s.) y machos (0.03 ± 0.01 mg kg^{-1} p. s.). No se encontró diferencias significativas (U = 7.0, P = 0.772). El riñón reflejó una concentración en los machos (0.07 ± 0.00 mg kg^{-1} p. s.) similar a las hembras

(0.07 ± 0.01 mg kg^{-1} p. s.). No se encontraron diferencias significativas (U = 4.0, P = 1.0). La concentración en el hígado de las hembras fue 0.01 ± 0.03 mg kg^{-1} p. s. y en machos estuvo por debajo del límite de detección. Mientras que, la sangre de los machos y las hembras, la concentración estuvo por debajo de límite de detección (Fig. 8).

La concentración de la plata en *S. zygaena* fue similar en hembras (0.05 ± 0.01 mg kg^{-1} p. s.) y machos (0.04 ±0.01 mg kg^{-1} p. s.). No se encontraron diferencias significativas (U = 3.0, P = 0.078). Para riñón, los machos (0.71 ± 1.01 mg kg^{-1} p. s.) estuvieron concentrados en comparación con las hembras (0.06 ± 0.00 mg kg^{-1} p. s). No se encontraron diferencias significativas entre sexos (U = 5.0, P = 0.153). Mientras que, el hígado de los machos fue de 0.18 ± 0.24 mg kg^{-1} p. s. y en las hembras estuvo por debajo de límite de detección. Mientras que, la sangre de los machos y las hembras, la concentración estuvo por debajo de límite de detección (Fig. 8).

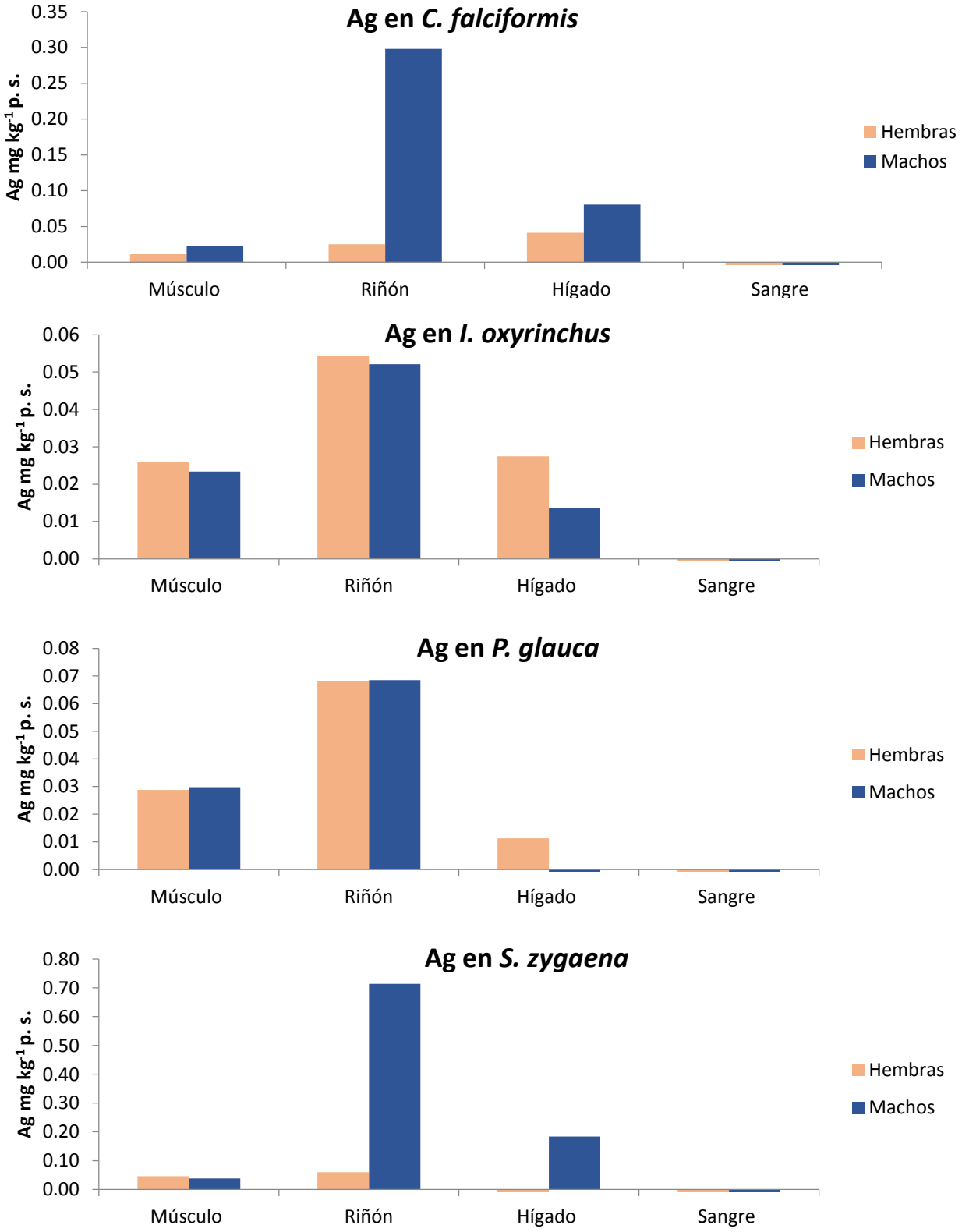


Figura 8 .- Concentración de Ag entre sexos en tejidos de las 4 especies de tiburones.

Zinc

Las concentraciones de *C. falciformis* para el músculo de los machos (3.05 ± 3.94 mg kg^{-1} p. s.) fueron mayores a las hembras (1.22 ± 0.77 mg kg^{-1} p. s.) con diferencias significativas (U = 16.0, P = 0.017). En el riñón, los machos (6.27 ± 4.63 mg kg^{-1} p. s.) presentaron mayor concentración con respecto a las hembras (4.22 ± 3.73 mg kg^{-1} p. s.). No se encontraron diferencias significativas (U = 41.0, P = 0.518). Mientras que, la concentración en el hígado de los machos (7.18 ± 7.18 mg kg^{-1} p. s.) fue mayor que las hembras (2.87 ± 3.16 mg kg^{-1} p. s.). No se observó diferencias significativas (U = 24.0, P = 0.986). Por último la sangre fue muy similar en hembras (0.50 ± 0.13 mg kg^{-1} p. s.) que machos (0.40 ± 0.018 mg kg^{-1} p. s.). No se encontraron diferencias significativas entre sexos en este tejido (11.0, P=0.395) (Fig. 9).

Las concentraciones en el tejido muscular de *I. oxyrinchus* fueron similares en machos (1.15 ± 1.77 mg kg^{-1} p. s.) y hembras (1.01 ± 0.81 mg kg^{-1} p. s.). No se encontraron diferencias significativas (U = 128.0, P = 0.8). Para el tejido renal, los machos (2.27 ± 1.05 mg kg^{-1}) y hembras (2.22 ± 0.93 mg kg^{-1} p. s.) fueron similares y sin diferencias significativas (U = 91.0, P = 0.764). Mientras que, el hígado presentó concentración similar entre hembras (2.92 ± 2.15 mg kg^{-1} p. s.) y machos (2.66 ± 1.58 mg kg^{-1} p. s.). No se encontraron diferencias significativas entre sexos (U = 127.0, P = 0.984). La sangre presentó concentración de 0.41 ± 0.15 mg kg^{-1} p. s. para hembras y de 0.29 ± 0.10 mg kg^{-1} p. s. para los machos, con diferencias significativas (U = 49.0, P = 0.015) (Fig. 9).

Para los *P. glauca*, el músculo presentó mayor concentración en los machos (6.10 ± 3.01 mg kg^{-1} p. s.) que en las hembras (1.49 ± 1.49 mg kg^{-1} p. s.). No se encontraron diferencias significativas (U = 1.0, P = 0.433). De igual forma, el riñón reflejó similar concentración de los machos (4.95 ± 2.34 mg kg^{-1} p. s.) y las hembras (3.59 ± 0.67 mg kg^{-1} p. s.). No se encontraron diferencias significativas (U = 3.0, P = 0.643). Mientras que, el hígado de las hembras (1.58 ± 0.87 mg kg^{-1} p. s.) fue ligeramente mayor que machos (1.48 ± 0.74 mg kg^{-1} p. s.). No se encontraron diferencias significativas entre sexos (U = 7.0, P = 0.772). La concentración en la sangre fue mayor en hembras (0.47 ± 0.17 mg kg^{-1} p. s.) que machos (0.29 ± 0.11 mg kg^{-1} p. s). No se encontraron diferencias significativas (U = 4.0, P = 0.141) (Fig. 9).

Para *S. zygaena*, las concentraciones de zinc fueron ligeramente mayores en el músculo de los machos (3.41 ± 1.04 mg kg^{-1} p. s.) que las hembras (2.77 ±0.59 mg kg^{-1} p. s.); no se encontraron diferencias significativas entre sexos (U = 35.0, P=0.159). El riñón se presentó en mayor concentración en machos (6.07 ± 3.32 mg kg^{-1} p. s.) que hembras (3.67 ± 0.06 mg kg^{-1} p. s.). No se encontraron diferencias significativas entre sexos (U = 12.0, P = 1.0). Mientras tanto, el hígado de los machos (10.58 ± 4.34 mg kg^{-1} p. s.) tuvieron mayor concentración que las hembras (1.43 ± 0.85 mg kg^{-1} p. s.). Se encontró variación significativa (U = 0.0, P = 0.040). Por último, la sangre presentó valores similares en hembras (0.38 ± 0.13 mg kg^{-1} p. s.) y machos (0.37 ± 0.15 mg kg^{-1} p. s.). No se encontraron diferencias significativas (U = 13.0, P = 0.850) (Fig. 9).

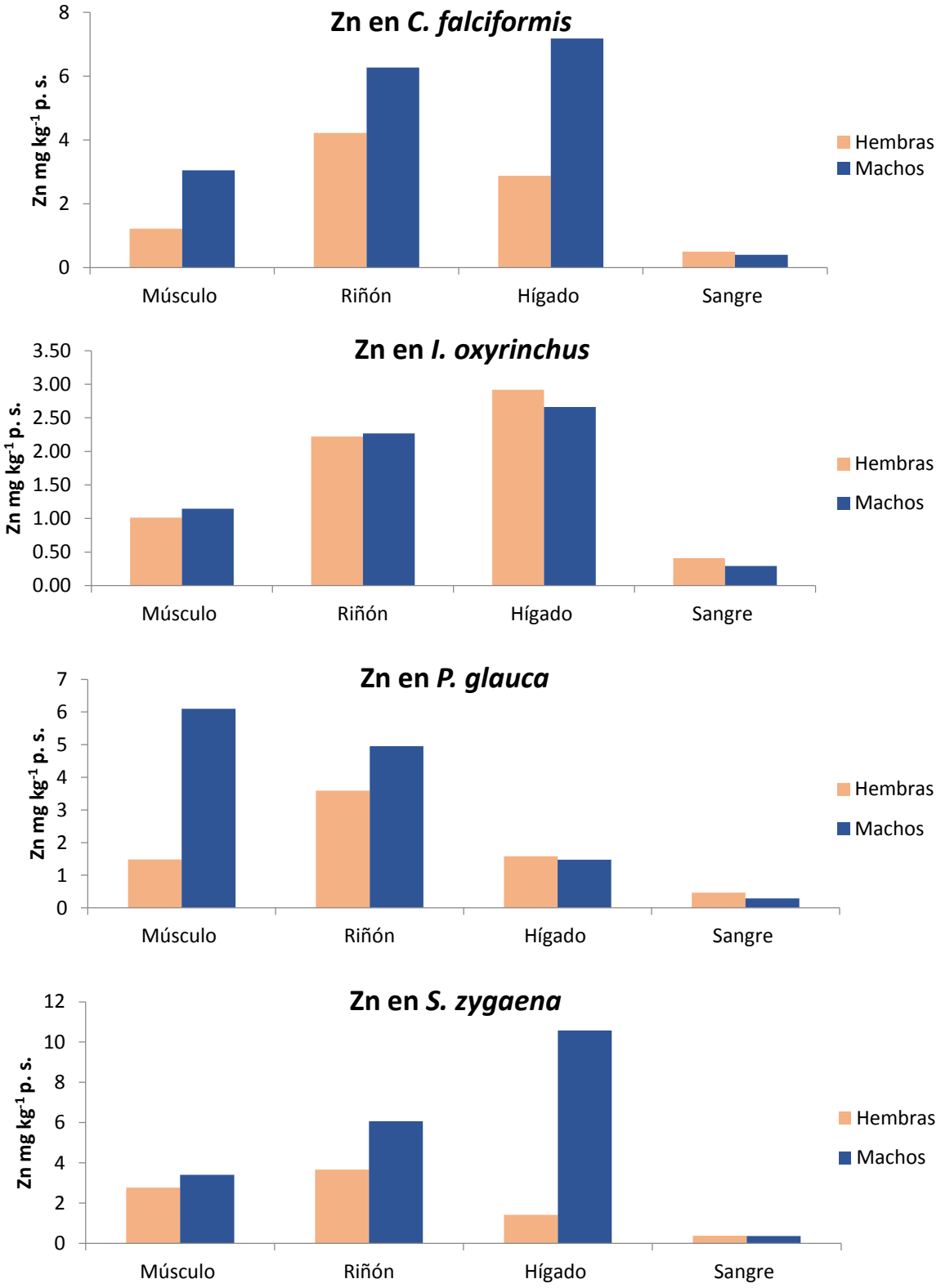


Figura 9 .- Concentración de Zn entre sexos en tejidos de las 4 especies de tiburones.

Concentración de Cu, Cd, Ag y Zn entre estadios

Cobre

En *C. falciformis* se encontraron diferencias significativas en riñón (U = 15.0, P=0.008), hígado (U = 6.0, P = 0.001), sangre (U = 2.5, P=0.021). Pero no en músculo (U = 38.0, P = 0.567) (Fig. 10). Ya que solo se pudo obtener un espécimen adulto de *I. oxyrinchus* con respecto a los juveniles, no se pudo realizar ningún tipo de estadístico (Fig. 10). *P. glauca* no reflejó diferencias significativas entre estadios en músculo (U = 5.0, P = 0.738), riñón (U = 0.0, P = 0.064), hígado (U = 4.0, P = 0.504) y sangre (U = 4.0, P= 0.379) (Fig. 10). *S. zygaena* no presentó diferencias significativas entre estadios en músculo (U = 31.5, P = 0.097), riñón (U = 12.5, P = 0.776), hígado (U = 10.0, P = 1.0), ni en sangre (U = 14.0, P = 1.0) (Fig. 10).

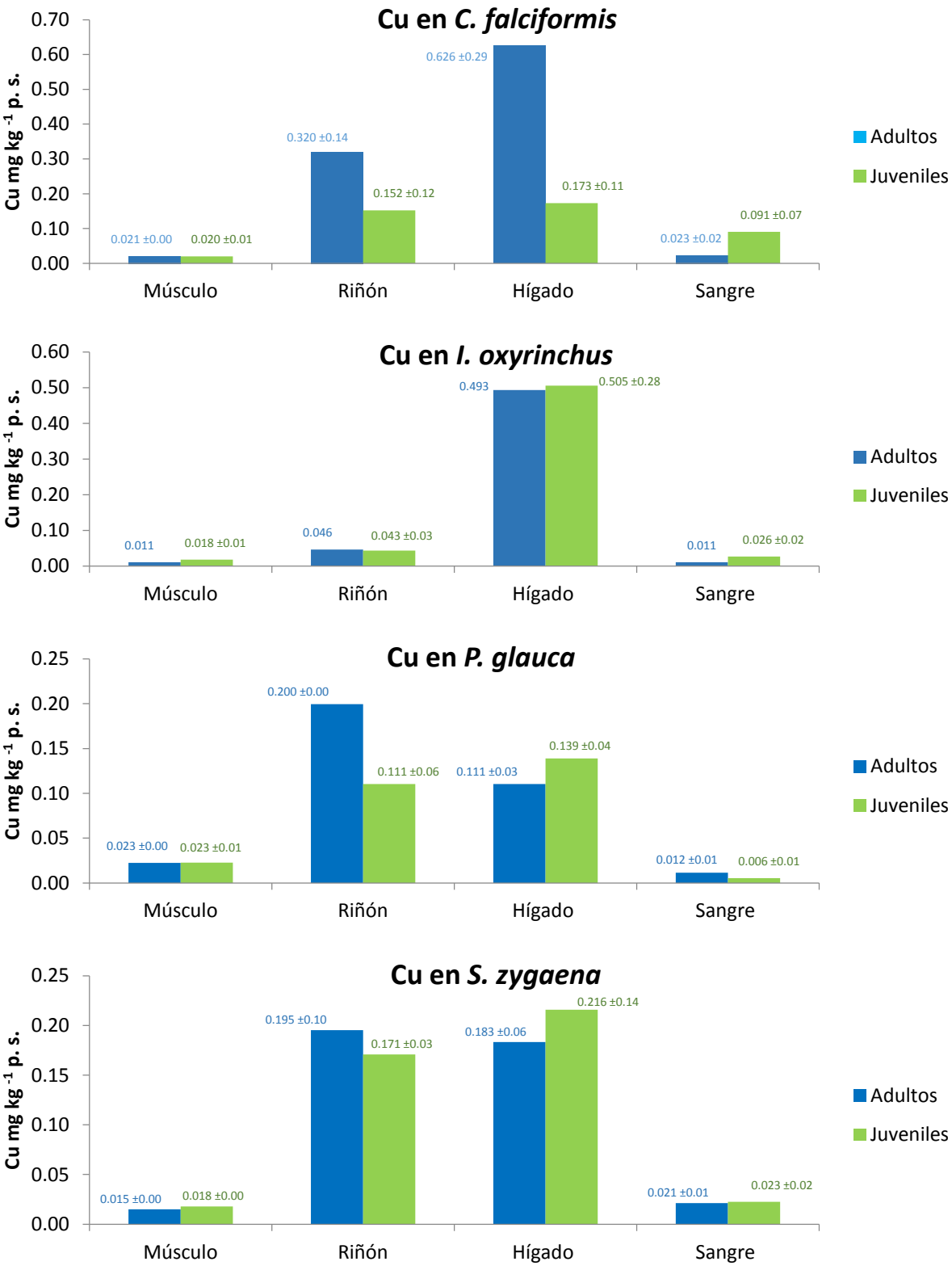


Figura 10 .- Concentración de Cu entre estadios en tejidos de las 4 especies de tiburones.

Cadmio

En *C. falciformis* se encontraron diferencias significativas en músculo (U = 4.0, P = 0.0), riñón (U = 8.0, P = 0.001), hígado (U = 6.0, P = 0.001) y sangre (U = 3.0, P = 0.027) (Fig. 11). *P. glauca* no tuvo diferencias significativas en músculo (U = 5.0, P = 0.738), riñón (U = 1.0, P = 0.164), hígado (U = 3.0, P = 0.317), ni en sangre (U = 5.5, P = 0.660) (Fig. 11). El tiburón *S. zygaena* tuvo diferencias significativas entre estadios y la concentración de este elemento en músculo (U = 8.0, P = 0.0) y riñón (U = 2.0, P = 0.023), pero no en hígado (U = 5.0, P = 0.220) ni en sangre (U = 11.0, P = 0.570) (Fig. 11).

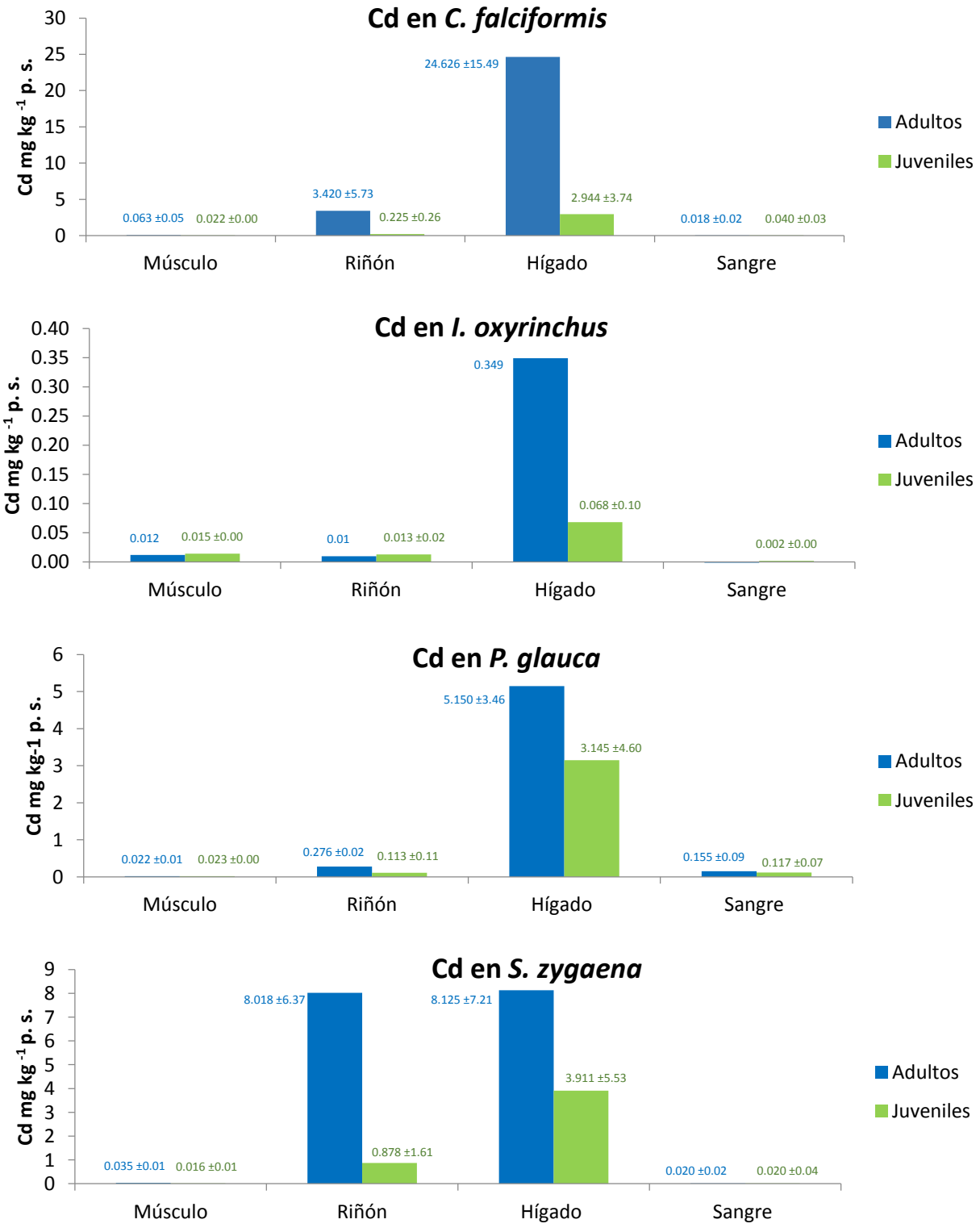


Figura 11 .- Concentración de Cd entre estadios en tejidos de las 4 especies de tiburones.

Plata

El *C. falciformis* presentó diferencias significativas en riñón (U = 3.0, P = 0.0) e hígado (U = 5.0, P = 0.001), pero no en músculo (U = 33.0, P = 0.327) ni en sangre (U = 6.5, P = 0.106) (Fig. 12). No se observó diferencias significativas para los estadios de *P. glauca* en músculo (U = 2.0, P = 0.182), riñón (U = 0.0, P = 0.064), hígado (U = 2.5, P = 0.243), ni sangre (U = 4.0, P = 0.379) (Fig. 12). *S. zygaena* presentó diferencias significativas entre estadios y su concentración en riñón (U = 1.0, P = 0.014), pero no lo presentó en músculo (U = 45.0, P = 0.481), hígado (U = 4.0, P = 0.141) y sangre (U = 9.0, P = 0.344) (Fig. 12).

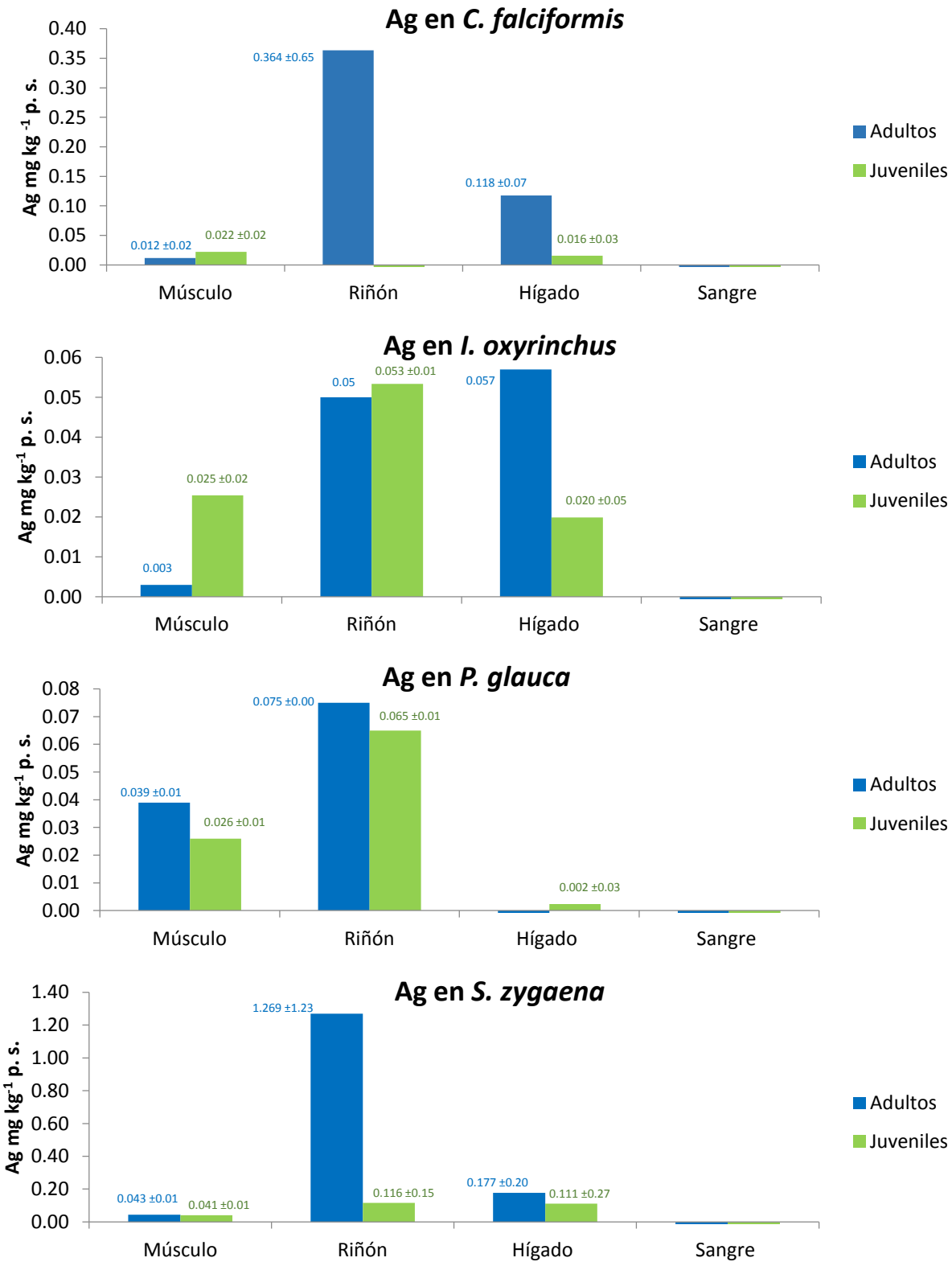


Figura 12 .- Concentración entre estadios en tejidos de las 4 especies de tiburones.

Zinc

En *C. falciformis* se observó variación entre estadios en riñón (U = 11.5, P = 0.003) e hígado (U = 0.0, P=0.0), pero no en sangre (U = 7.0, P = 0.126) ni músculo (U = 33.0, P = 0.327) (Fig. 13).. *P. glauca* tampoco presentó variación significativa entre estadios en la concentración en músculo (U = 2.0, P = 0.182), riñón (U = 0.0, P = 0.064), hígado (U = 5.0, P = 0.738) ni en sangre (U = 1.0, P = 0.078) (Fig. 13). No se encontraron diferencias significativas en *S. zygaena* en músculo (U = 36.0, P = 0.180), riñón (U = 13.0, P = 0.850), hígado (U = 7.0, P = 0.462) ni sangre (U = 11.0, P = 0.570) (Fig. 13).

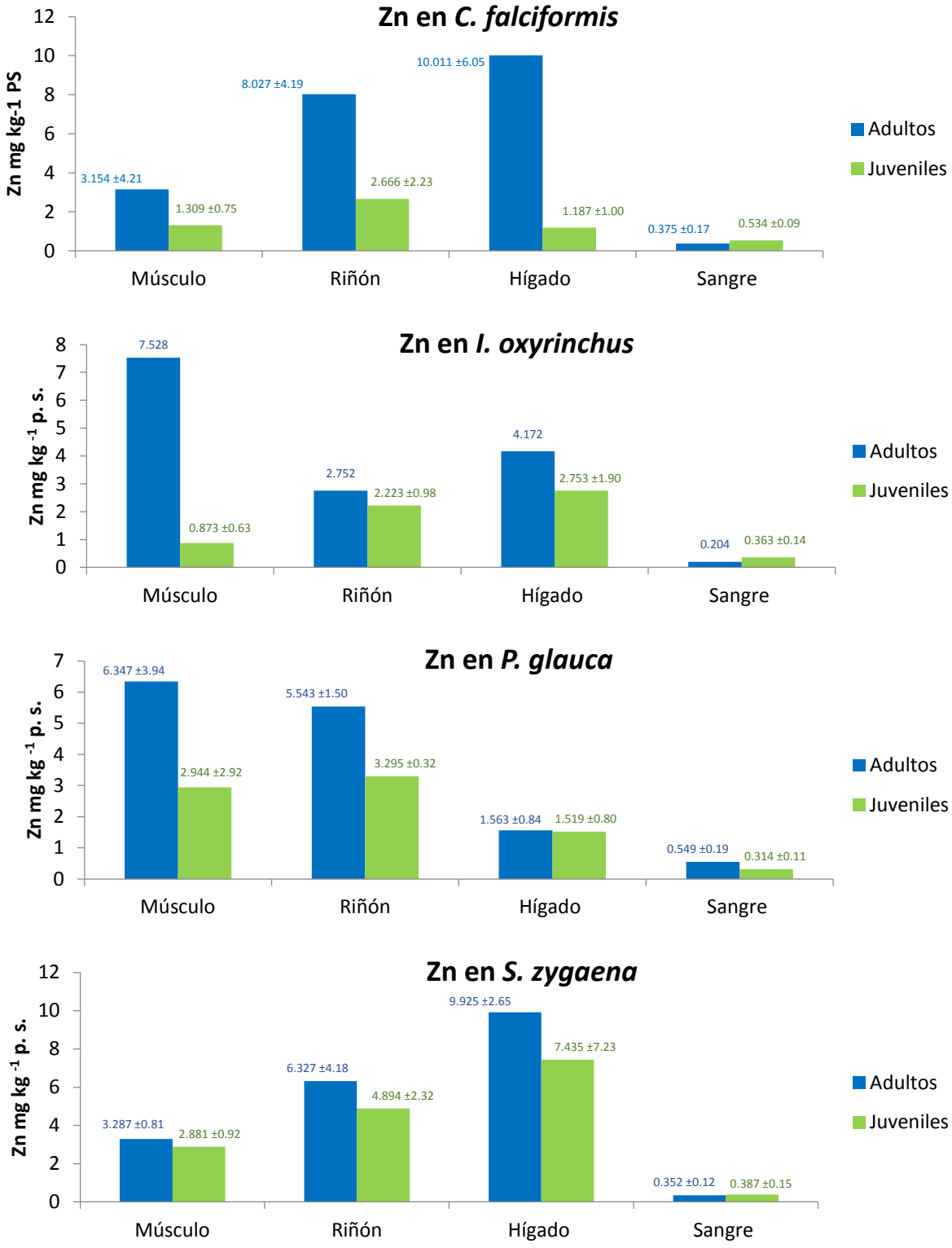


Figura 13 .- Concentración de Zn entre estadios en tejidos de las 4 especies de tiburones.

Relación entre la talla y la concentración de Cu, Cd, Ag y Zn

Cobre

La talla de *C. falciformis* con respecto a la concentración de Cu en músculo no fue significativa (r = -0.021, p = 0.930). En el riñón e hígado su relación fue positiva y significativa (r = 0.726, p = 0.000 y r = 0.687, p = 0.001), respectivamente. En la sangre, la tendencia fue negativa y no significativa (r = -0.368, p = 0.215) (Fig. 15) (Fig. 16).

La talla de *I. oxyrinchus* presentó tendencia negativa y significativa (r = -0.517, p = 0.002) en músculo (Fig. 14). El riñón, el hígado y la sangre tuvieron tendencia positiva pero no significativa (r = 0.105, P = 0.594, r = 0.201, P = 0.269 y r = 0.237, P = 0.214).

El músculo de *P. glauca* tuvo tendencia negativa pero no significativa (r = -0.343, p = 0.404). El riñón mostró tendencia positiva, no significativa (r = 0.457, p = 0.361), el hígado fue negativa pero no significativa (r = -0.477, p = 0.231) y la sangre una relación positiva pero no significativa (r = 0.282, p = 0.461).

El músculo de tiburón *S. zygaena* mostró una tendencia negativa pero no significativa (r = -0.410, p = 0.064), En el riñón fue positiva pero no significativa (r=0.525, p = 0.096), En el hígado no hubo una tendencia significativa (r = -0.052, p = 0.894) y para la sangre esta fue positiva pero no significativa (r = 0.069, p = 0.838).

Cadmio

El tiburón *C. falciformis* se presentó con tendencias positivas pero no significativa en músculo (r = 0.441, p = 0.058) y en riñón (r = 0.303, p = 0.193). En el hígado, la tendencia fue positiva y significativa (r = 0.589, p = 0.007) (Fig. 16). La sangre no mostró tendencia.

Para *I. oxyrinchus*, el músculo no mostró tendencia, mientras que, el riñón fue positiva pero no significativa (r = 0.224, p = 0.250). El hígado tuvo tendencia positiva y significativa (r = 0.786, p = 0.000) (Fig. 17). La sangre presentó una tendencia positiva, aunque no significativa (r = 0.175, p = 0.362).

La talla de *P. glauca* tuvo relación negativa pero no significativa (r=0.568, p=0.141) en el músculo. En el riñón, hígado y sangre la tendencia fue positiva pero no significativa (r=0.298, p=0.566, r= -0.047, p=0.911 y r=0.382, p=0.309, respectivamente).

En el caso de la talla de *S. zygaena*, el músculo, riñón e hígado mostraron una tendencia positiva y significativa (r = 0.772, p = 0.000, r=0.742, p=0.008 y r=0.741, p=0.022. respectivamente) (Fig.14) (Fig.15) (Fig.18). La sangre no mostró tendencia ni relación entre la concentración de elementos y la talla.

Plata

La talla de *C. falciformis* en músculo no tuvo tendencia. El riñón tuvo relación positiva pero no significativa (r=0.295, p=0.205). La tendencia el hígado fue positiva con significancia (r=0.627, p=0.004) (Fig.16) y la sangre fue positiva pero no significativa (r=0.493, p=0.086).

En músculo de tiburón *I.oxyrinchus* se observó una relación negativa pero no significativa (r= -0.081, p=0.652). En el riñón, la tendencia fue negativa pero no significativa (r= -0.272, p=0.160), mientras que, el hígado fue positiva y significativa (r=0.472, p=0.006) (Fig.17). En la sangre fue positiva pero no significativa (r=0.157, p=0.414).

El tiburón *P. glauca* tuvo en el músculo tendencia negativa pero no significativa (r = -0.160, p=0.704). En el riñón fue positiva y no significativa (r=0.346, p=0.501). En el hígado y la sangre fueron negativa y positiva pero no significativa (r= -0.490, p=0.217 y r=0.299, p=0.433, respectivamente).

En la talla de *S. zygaena*, el músculo, riñón, hígado y sangre fueron relacionados positivamente pero no de modo significativo (r=0.055, p=0.812, r=0.489, p=0.126, r=0.131, p=0.736 y r=0.202, p=0.549, respectivamente).

Zinc

El tiburón *C. falciformis* presentó tendencia positiva, pero no significativa (r=0.333, p=0.163). Sin embargo, el riñón e hígado fueron positivas y significativas (r=0.690, p=0.000 y r=0.611, p=0.005, respectivamente) (Fig.15) (Fig.17). La sangre presentó una tendencia negativa pero no significativa (r=-0.519, p=0.068).

La correlación de la talla en *I.oxyrinchus* para músculo y riñón fue positiva pero no significativa (r=0.330, p=0.060 y r=0.212, p=0.278, respectivamente). La tendencia en hígado fue positiva y significativa (r=0.360, p=0.042) (Fig.18). La sangre no mostró ninguna tendencia (r=0.088, p=0.646).

La talla de *P. glauca* en músculo y riñón mostró una relación positiva pero no significancia (r=0.587, p=0.126 y r=0.717, p=0.108, respectivamente). El hígado fue negativa pero no significativa (r= -0.275, p=509) y en la sangre positiva pero no significativa (r=0.642, p=0.062).

En el tiburón *S. zygaena*, el musculo, riñón, hígado y sangre tuvieron relación positiva pero no significativa (r=0.200, p=0.384, r=,0.529 p=0.093, r=0.464, p=0.208 y r=0.123, p=0.717, respectivamente).

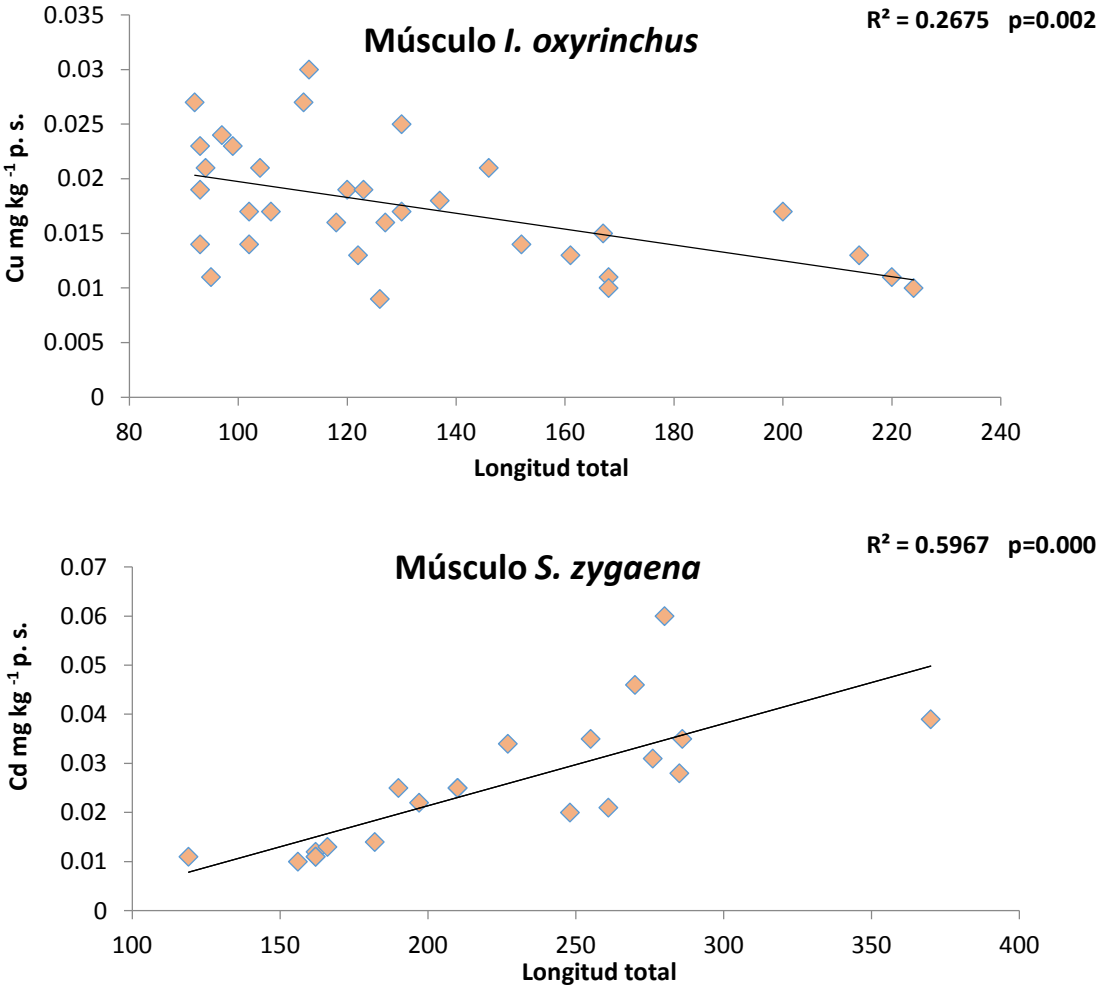


Figura 14 .- Músculo de las especies que presentaron relación significativa entre la concentración de elementos y la talla.

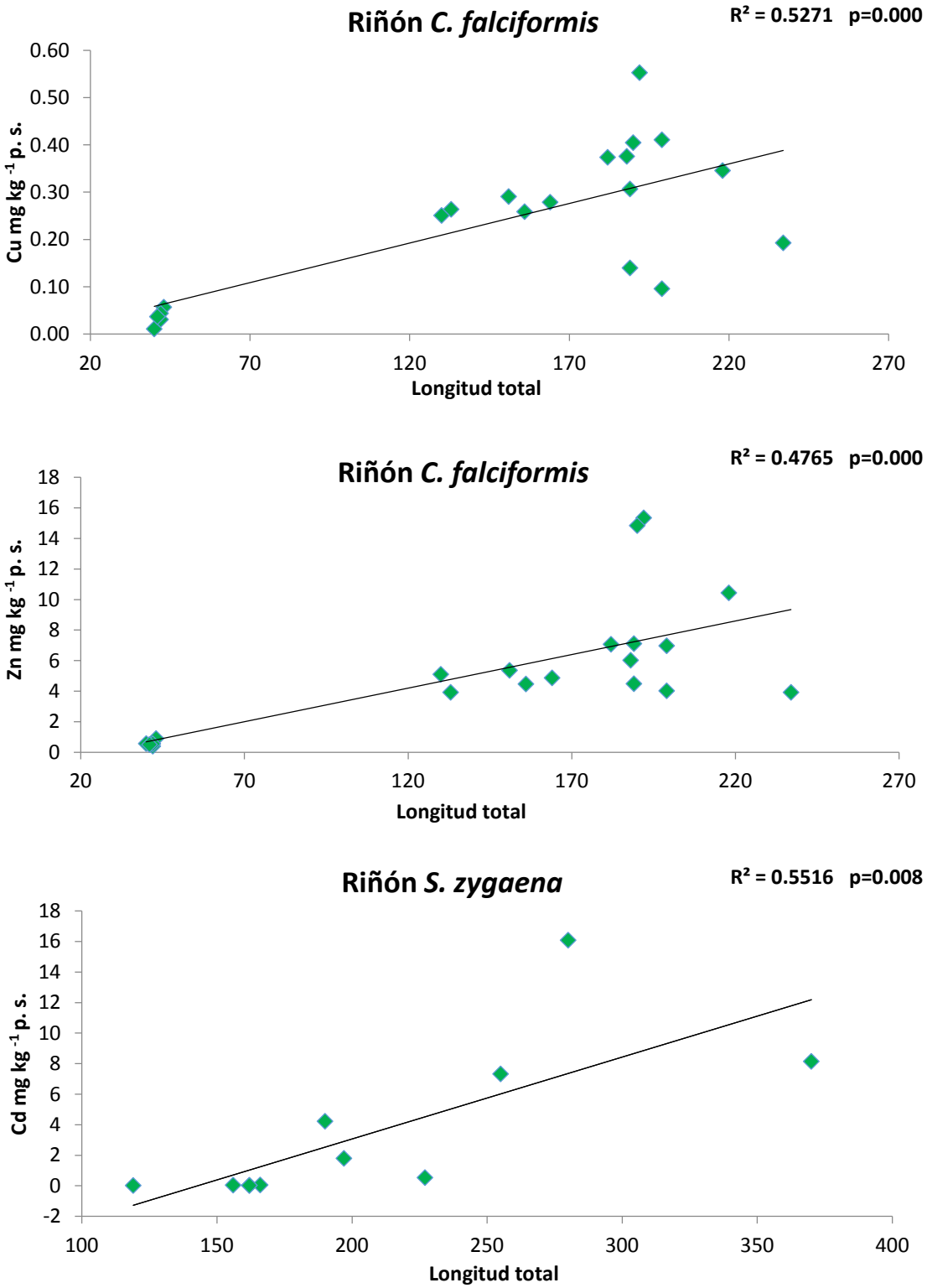


Figura 15 .- Riñón de la especies que presentaron relación significativa entre la concentración de elementos y la talla.

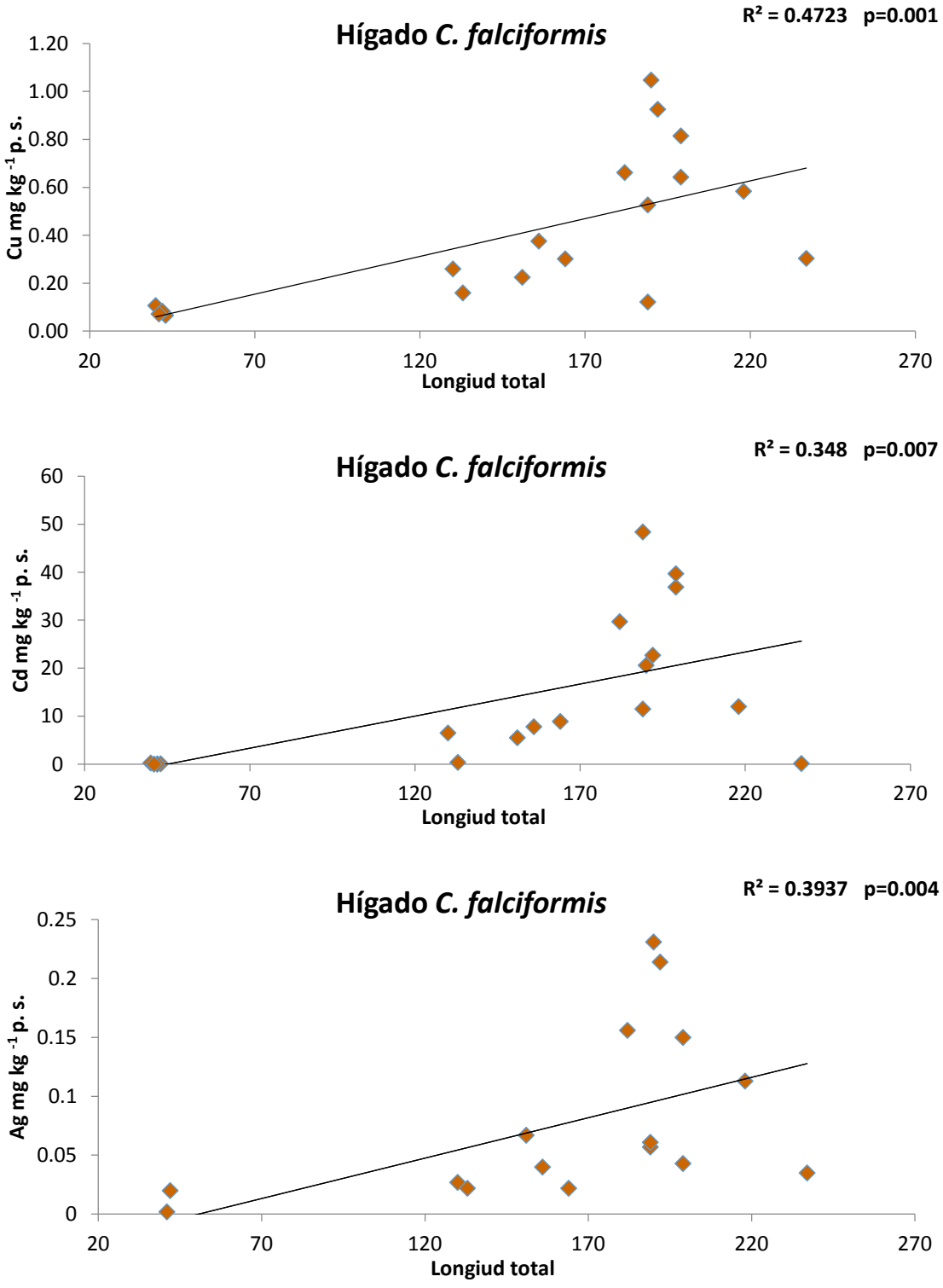


Figura 16 .- Hígado de las especies que presentaron relación significativa entre la concentración de elementos y la talla.

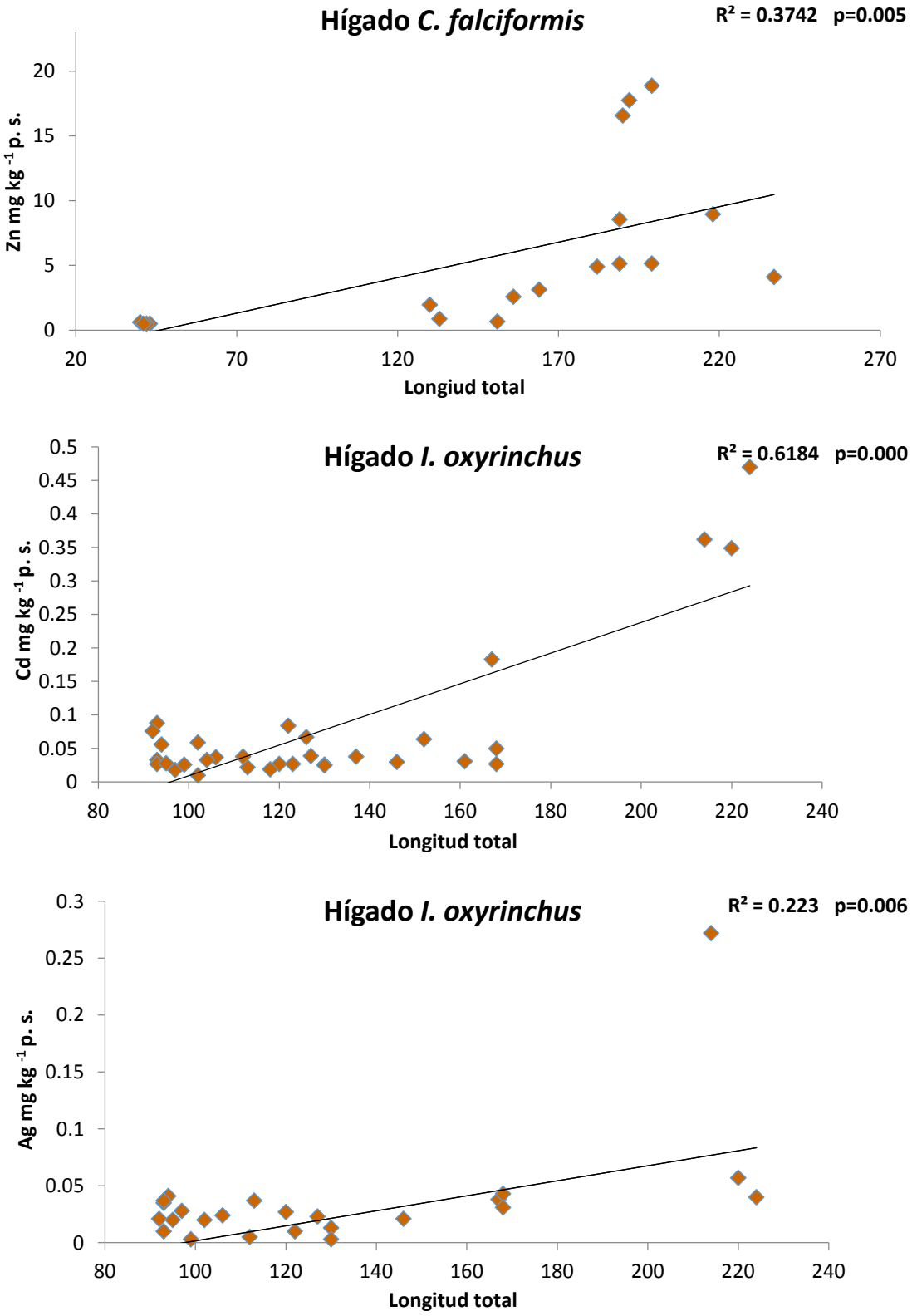


Figura 17 .- Hígado de las especies que presentaron relación significativa entre la concentración de elementos y la talla.

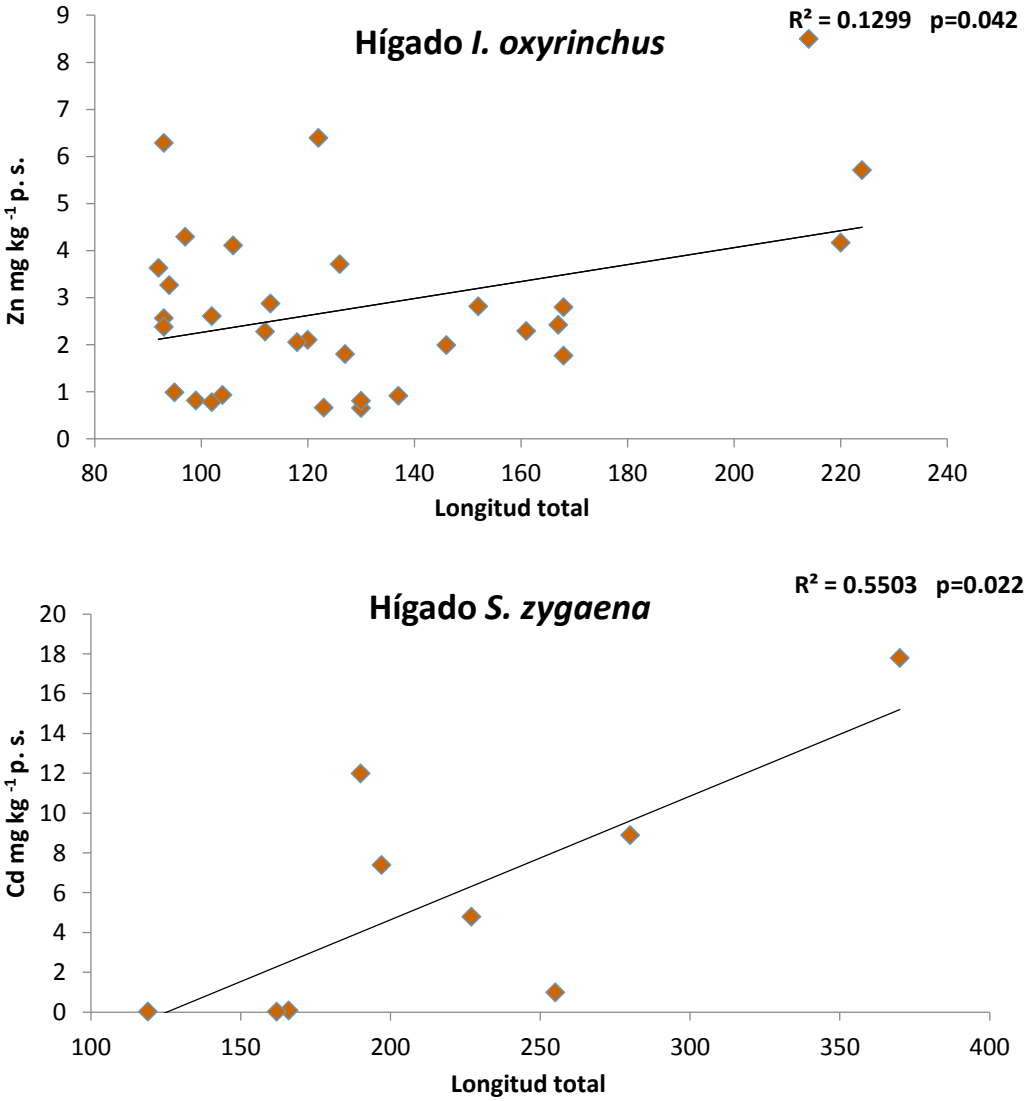


Figura 18 .- Hígado de las especies que presentaron relación significativa entre la concentración de elementos y la talla.

Variación de Cu, Cd, Ag y Zn en tejidos entre especies

Cobre

En el caso del Cu, se observaron diferencias significativas entre la concentración de las diferentes especies en músculo ($H_{(3, N = 81)} = 12.61248$, $P = 0.0056$), riñón ($H_{(3, N= 65)} = 32.26672$ $p = .0000$), hígado ($H_{(3, N= 68)} = 22.54028$ $p = .0001$) y por último, en sangre ($H_{(3, N= 62)} = 8.895069$ $p = .0307$) (Fig. 19).

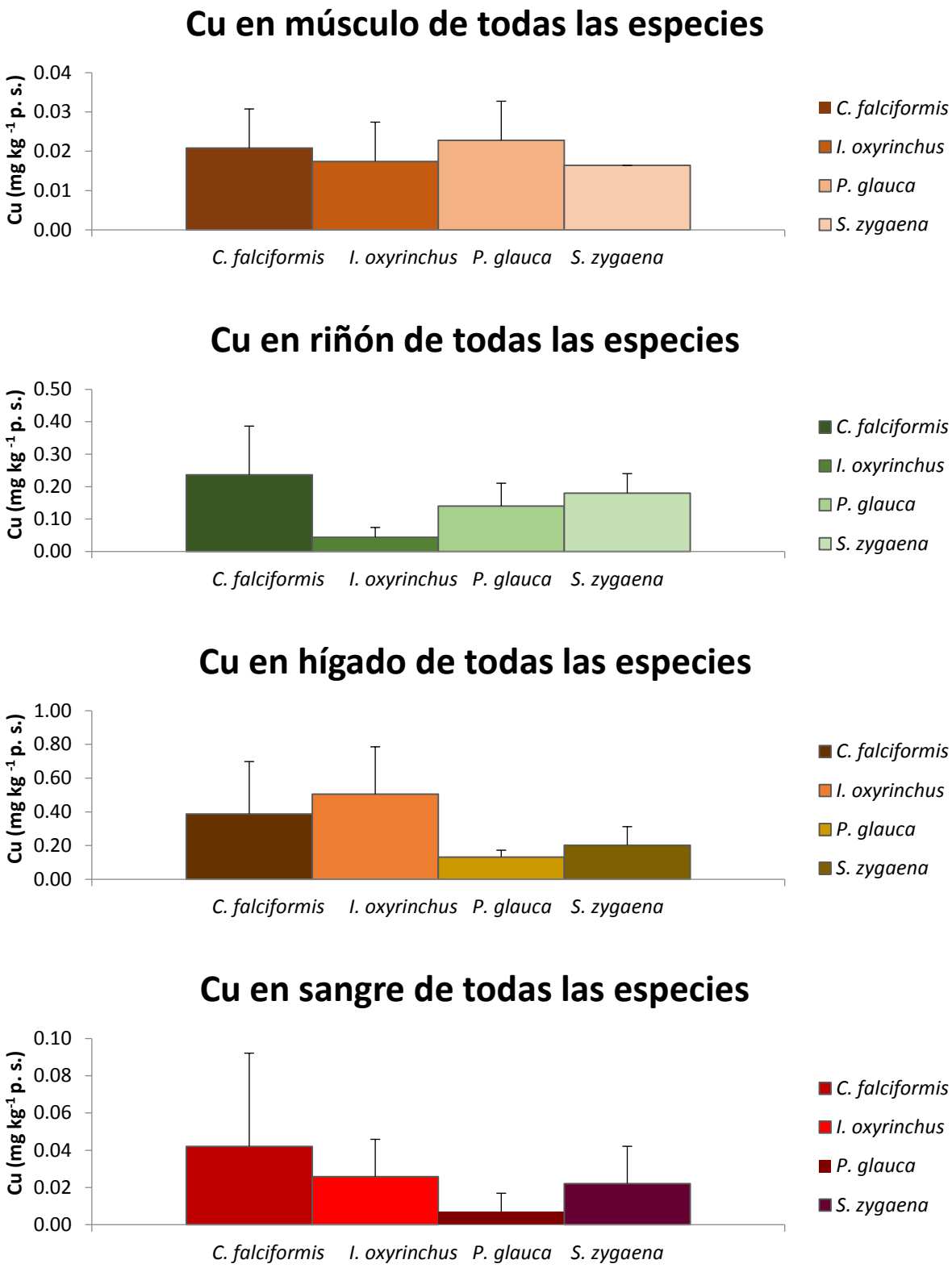
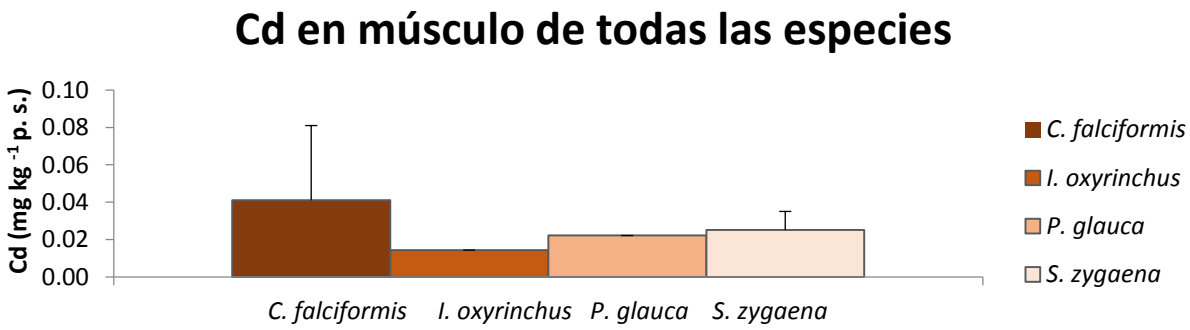
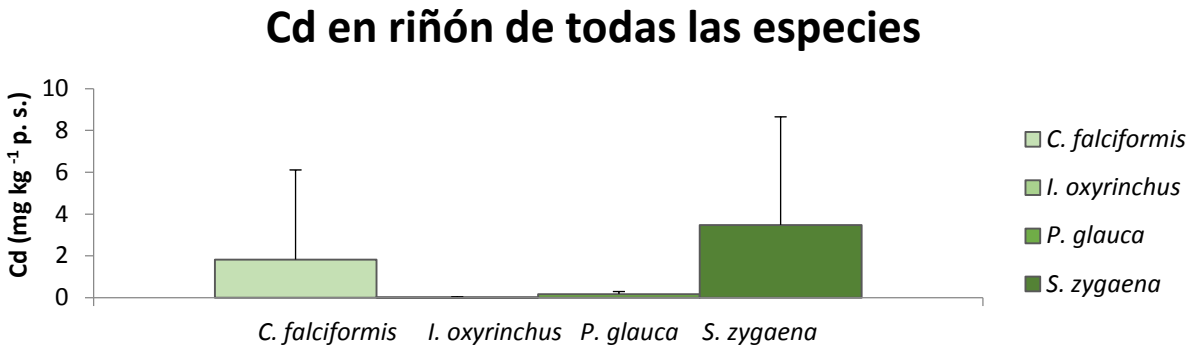


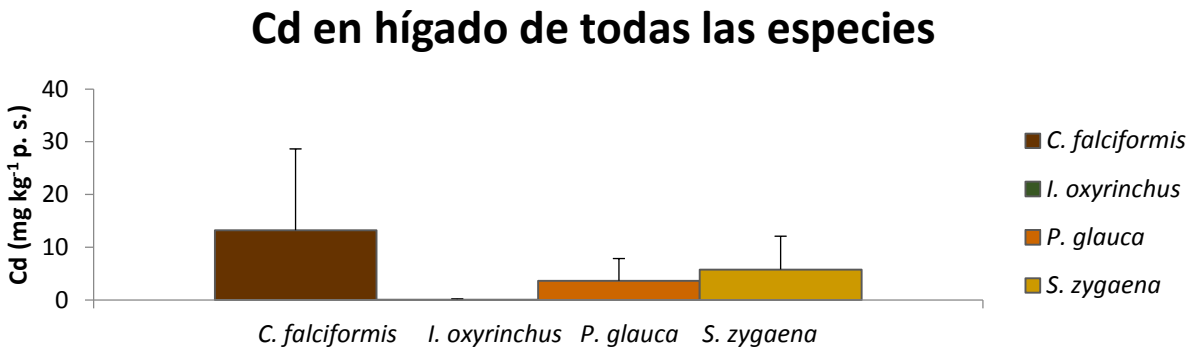
Figura 19 .- Concentración de Cu en tejidos de las diferentes especies.

Cadmio

Para el caso del Cd se encontraron diferencias significativas en la concentración entre especies en músculo ($H_{(3,\ N=\ 81)}$ =32.59281 p = 0.0000), riñón ($H_{(3,\ N=\ 65)}$ =37.39969 p =.0000), hígado ($H_{(3,\ N=\ 68)}$ =28.10793 p =.0000) y por último, en la sangre ($H_{(3,\ N=\ 62)}$ =34.60883 p =.0000) (Fig. 20).







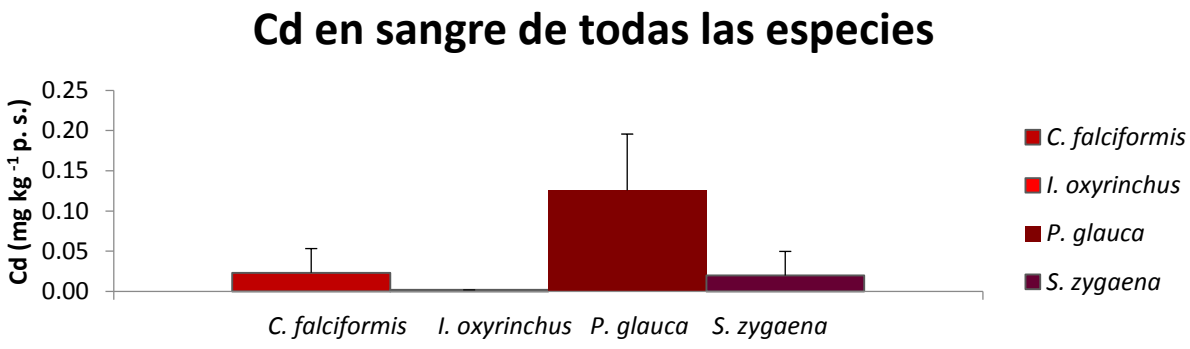


Figura 20 .- Concentración de Cd en tejidos de las diferentes especies.

Plata

En la concentración de Ag entre los tejidos de las diferentes especies se encontraron diferencias significativa en músculo ($H_{(3,\ N=\ 81)}$ =20.03462 p =.0002), en riñón ($H_{(3,\ N=\ 65)}$ =16.51588 p =.0009), en hígado ($H_{(3,\ N=\ 68)}$ =11.45645 p =.0095) y por último, en la sangre ($H_{(3,\ N=\ 62)}$ =14.53091 p =.0023) (Fig. 21).

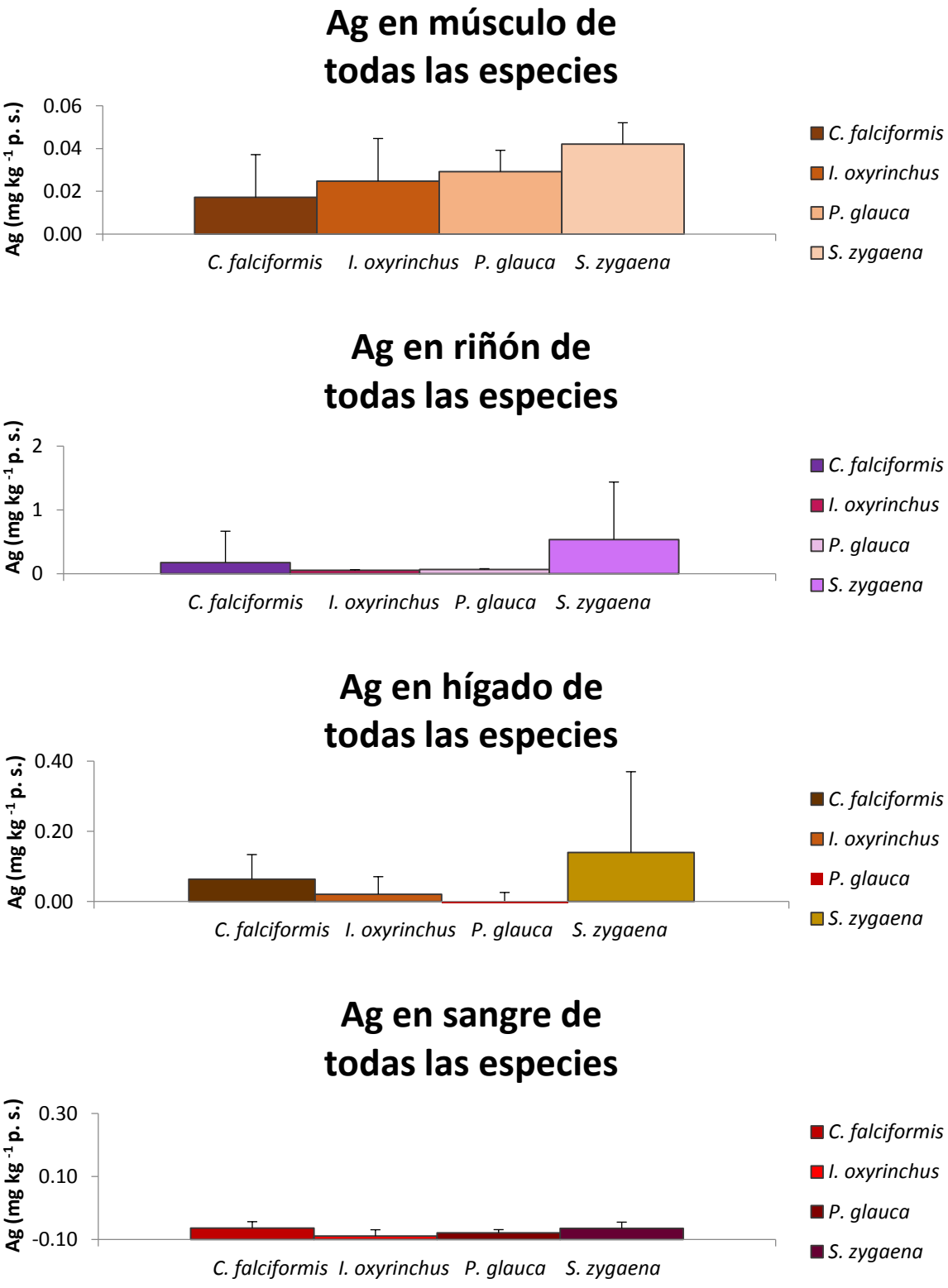


Figura 21 .- Concentración de Ag en tejidos de las diferentes especies.

Zinc

Se observaron diferencias significativas entre la concentración de zinc en los tejidos de las especies en músculo ($H_{(3, N= 81)}$ =35.48317 p =.0000), riñón ($H_{(3, N= 65)}$ =20.17568 p =.0002), en el tejido hepático ($H_{(3, N= 68)}$ =10.02436 p =.0184) y por último, en sangre ($H_{(3, N= 62)}$ =1.427255 p =.6992) (Fig. 22).

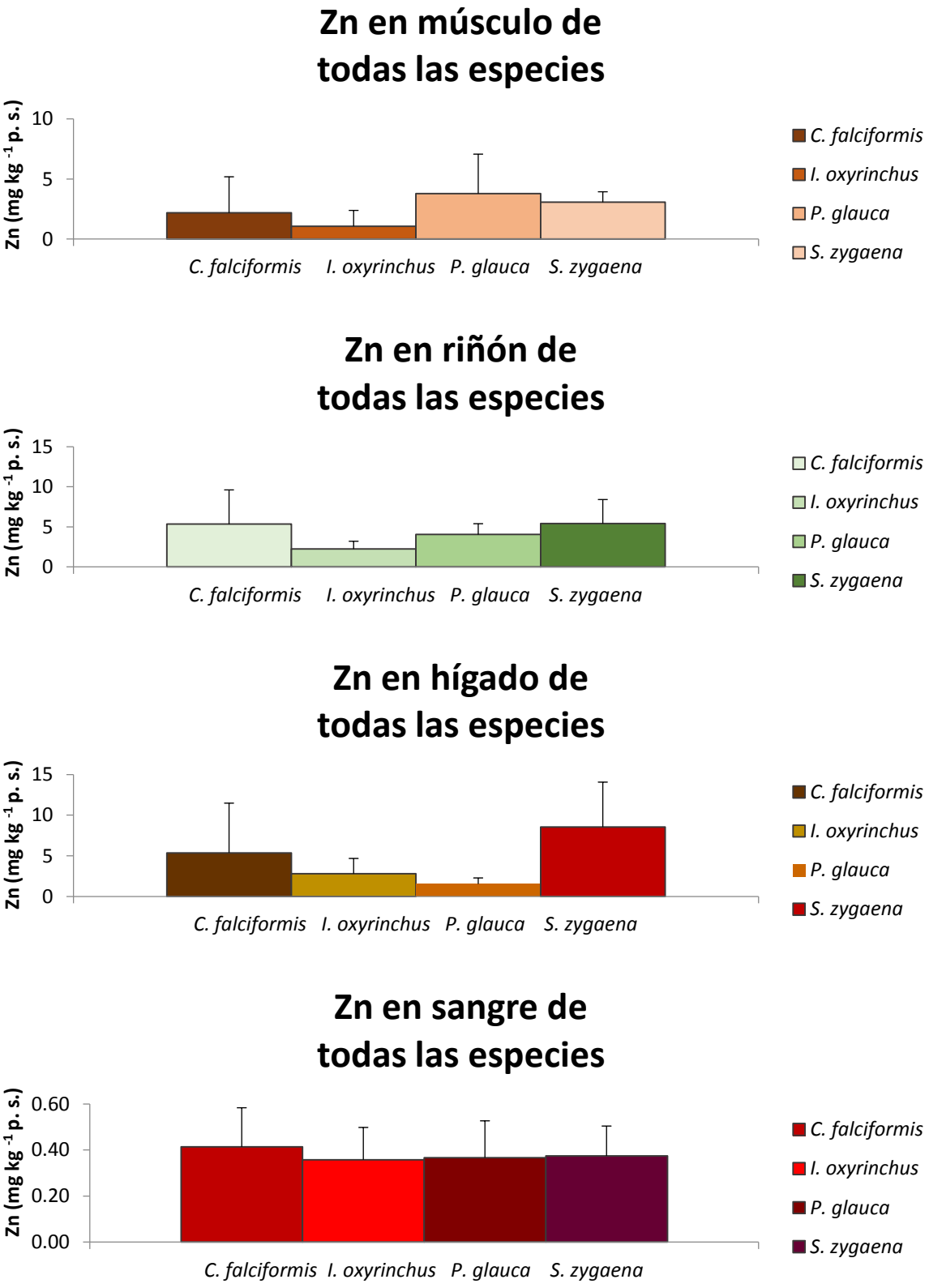


Figura 22 .- Concentración de Zn en tejidos de las diferentes especies.

Relación entre δ^{15}N y la concentración de Cu, Cd, Ag y Zn

Cobre

El músculo de *C. falciformis* presentó correlación positiva entre el δ^{15}N y la concentración de Cu pero no significativa (r=0.135, p=0.580). Al igual que riñón (r=0.048, p=0.839), hígado (r=0.047, p=0.847) y sangre (r=0.289, p=0.338).

En músculo de *I. oxyrinchus*, presentó una tendencia negativa pero no significativa (r=-350, p=0.141), al igual que riñón (r= -0.067, p=0.785), hígado (r= -0.203, p=0.402) y sangre (r= -0.057, p=0.814).

Para el músculo de *P. glauca* no presentó tendencia ni fue significativa (r=0.000, p=0.999). En riñón la correlación fue positiva pero no significativa (r=0.289, p=0.577), igual para hígado (r=0.157, p=0.710). La sangre en cambio presentó una tendencia positiva y con significancia (r=0.818, p=0.007) (Fig. 24).

En músculo de *S. zygaena* la correlación fue negativa y no significativa (r= -0.019, p=0.934). Mientras en riñón la correlación fue positiva pero no significativa (r=0.550, p=0.079), al igual que en hígado (r=0.235, p=0.541) y en sangre (r=0.095, p=0.780).

Cadmio

Para este elemento, el músculo de *C. falciformis* no presentó tendencia negativa, pero no correlación (r= -0.036, p=0.882). De igual forma el riñón (r=0.062, p=0.794). Para hígado fue negativa pero no significativa (r= -0.032, p=0.896) y en sangre fue positiva pero no significativa (r=0.424, p=0.148).

Para *I. oxyrinchus*, el músculo presentó tendencia negativa pero no significativa (r= -0.019, p=0.936), mientras que en el riñón fue positiva pero no significativa

(r=0.009, p=0.970). Sin embargo en hígado fue positiva pero no significativa (r=0.088, p=0.718), al igual que sangre (r=0.171, p=0.482).

El músculo de *P. glauca* presentó correlación negativa pero no presentó significancia (r= -0.599, p=0.116), mientras que riñón fue positiva pero sin significancia (r=0.621, p=0.187) e hígado presentó tendencia positiva pero no significativa (r= -0.596, p=0.118). La sangre de este tiburón presentó tendencia positiva y significativa (r=0.701, p=0.035) (Fig. 24).

Para *S. zygaena* presentó tendencia positiva y significativa en músculo (r=0.487, p=0.029) (Fig. 23). El riñón presentó una correlación positiva pero no fue significativa (r=0.566, p=0.069), de la misma forma para hígado (r=0.441, p=0.233). La sangre presentó correlación negativa pero no significativa (r= -0.008, p=0.979)

Plata

El *C. falciformis* presentó en músculo tendencia negativa pero no significativa (r= -0.294, p=0.221). Sin embargo para riñón la correlación fue positiva pero no significativa (r=0.056, p=0.813), al igual que hígado (r=0.036, p=0.883). En cuanto a sangre, presentó correlación positiva y significativa (r=0.747, p=0.003) (Fig. 24).

En los tejidos de *I. oxyrinchus*, músculo presentó tendencia positiva pero no significativa (r=0.024, p=0.919). Sin embargo riñón presentó tendencia negativa y fue significativa (r= -0.597, p=0.006) (Fig. 25). En hígado presentó correlación positiva y no significativa (r=0.160, p=0.513). Y en sangre la correlación fue negativa pero no significativa (r= -0.418, p=0.075).

Para el tiburón *P, glauca* el músculo presentó tendencia negativa pero no significativa (r= -0.380, p=0.352). En riñón la correlación fue positivo pero no significativa (r=0.771, p=0.072), también para el hígado (r=0.136, p=0.747) y sangre (r=0.239, p=0.534).

El tiburón *S. zygaena* presentó correlación negativa y no presentó significancia en músculo (r= -0.121 p=0.610), pero su correlación fue positiva y no significativa en riñón (r=0.408, p=0.212) e hígado (r=0.230, p=0.551). La sangre presentó una correlación negativa y no presentó significancia (r= -0.110, p=0.745).

Zinc

El zinc presentó correlación positiva pero no significativa (r=0.081, p=0.739) en el músculo de *C. falciformis* (r=0.81, p=0.739). De igual forma para riñón (r=0.143, p=0.547), hígado (r=0.009, p=0.968) y sangre (r=0.365, p=0.219).

En *I. oxyrinchus*, el músculo presentó correlación negativa pero no significativa (r= -0.035, p=0.884). Pero la correlación en riñón fue negativa y con significancia (r= -0.464, p=0.045) (Fig. 25), mientras en hígado la correlación fue positiva pero sin significancia (r=0.310, p=0.196), al igual que en sangre (r=0.063, p=0.797).

Para el músculo de *P. glauca* la correlación fue positiva pero sin significancia (r=0.466, p=0.243), al igual para riñón (r=0.708, p=0.114), hígado (r=0.305, p=0.462) y sangre (r=0.258, p=0.501).

Por último, la correlación en *S. zygaena* fue positiva pero no significativa en músculo (r=0.255, p=0.277), riñón (r=0.514, p=0.105) e hígado (r=0.365, p=0.333). Sin embargo en la sangre la tendencia fue negativa y sin significancia (r=-0.016, p=0.962).

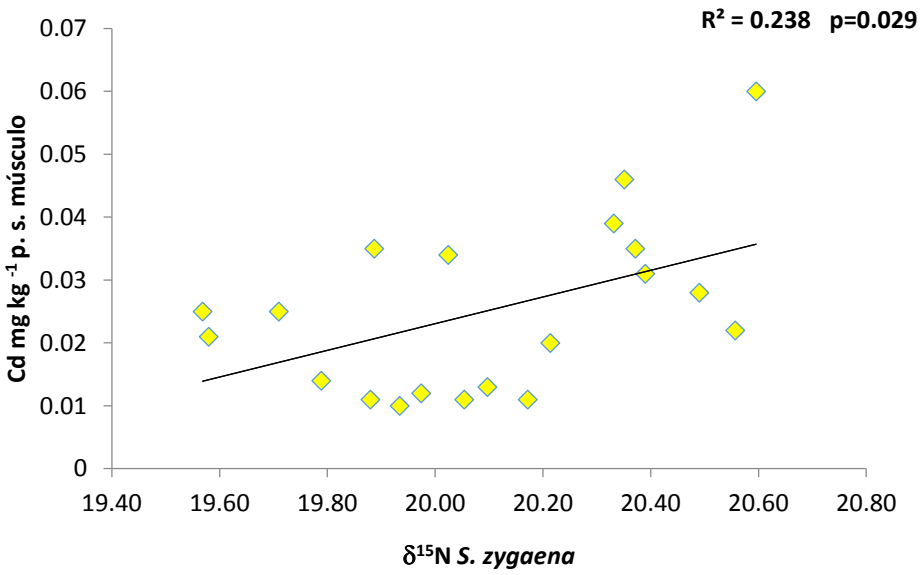
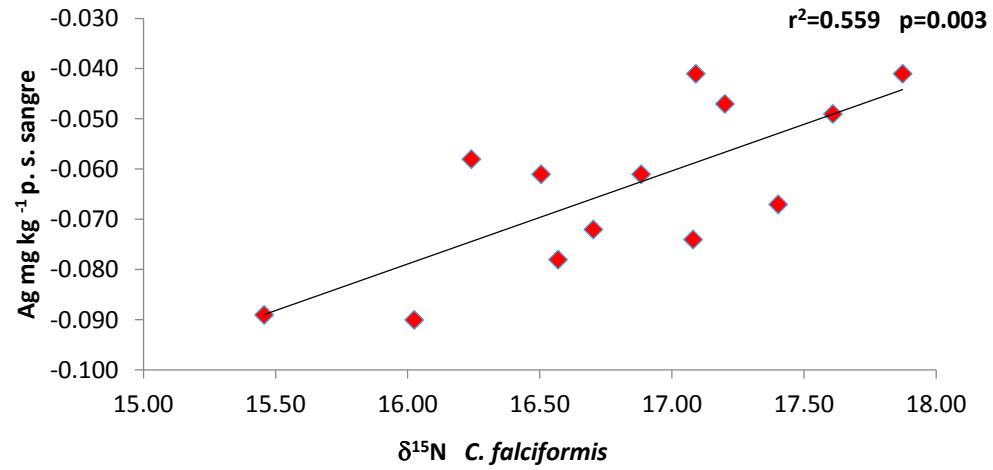
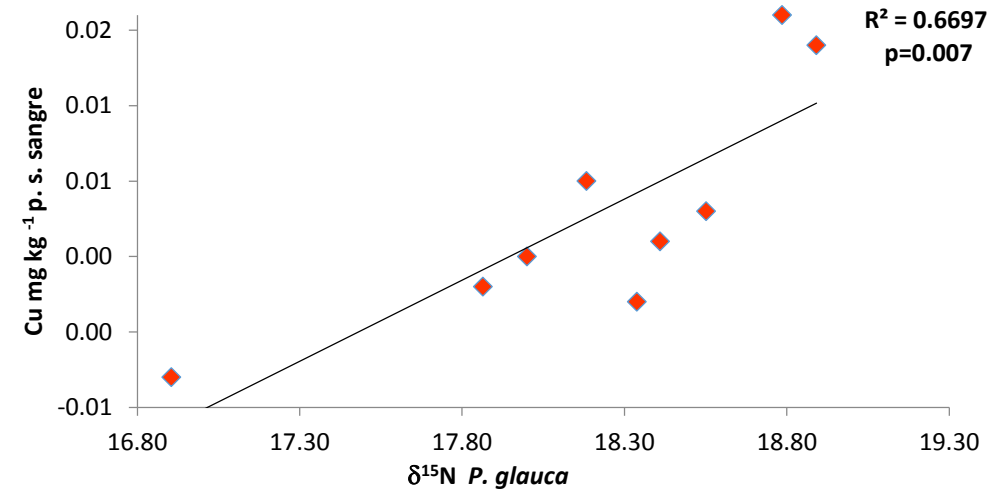


Figura 23 .- Relación entre la concentración de Cd y δ^{15}N en músculo.





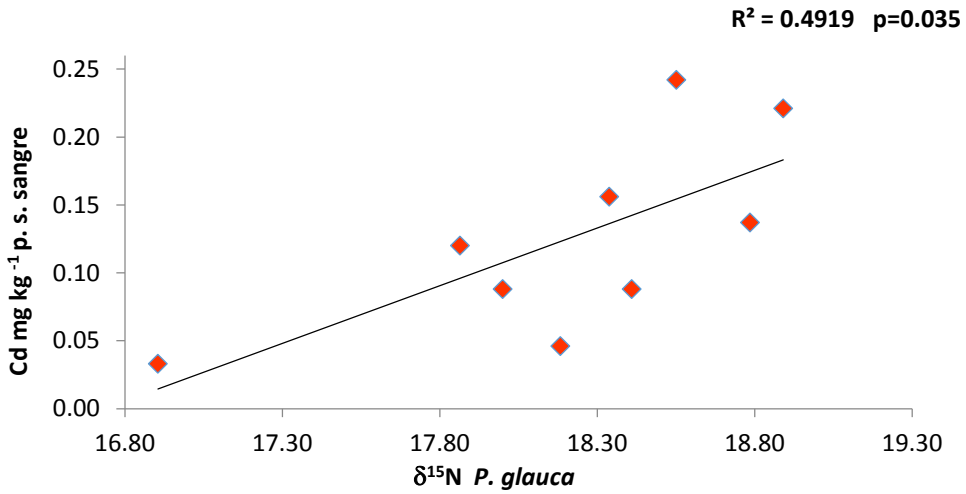


Figura 24 .- Relación significativa entre concentración y $\delta^{15}N$ en sangre.

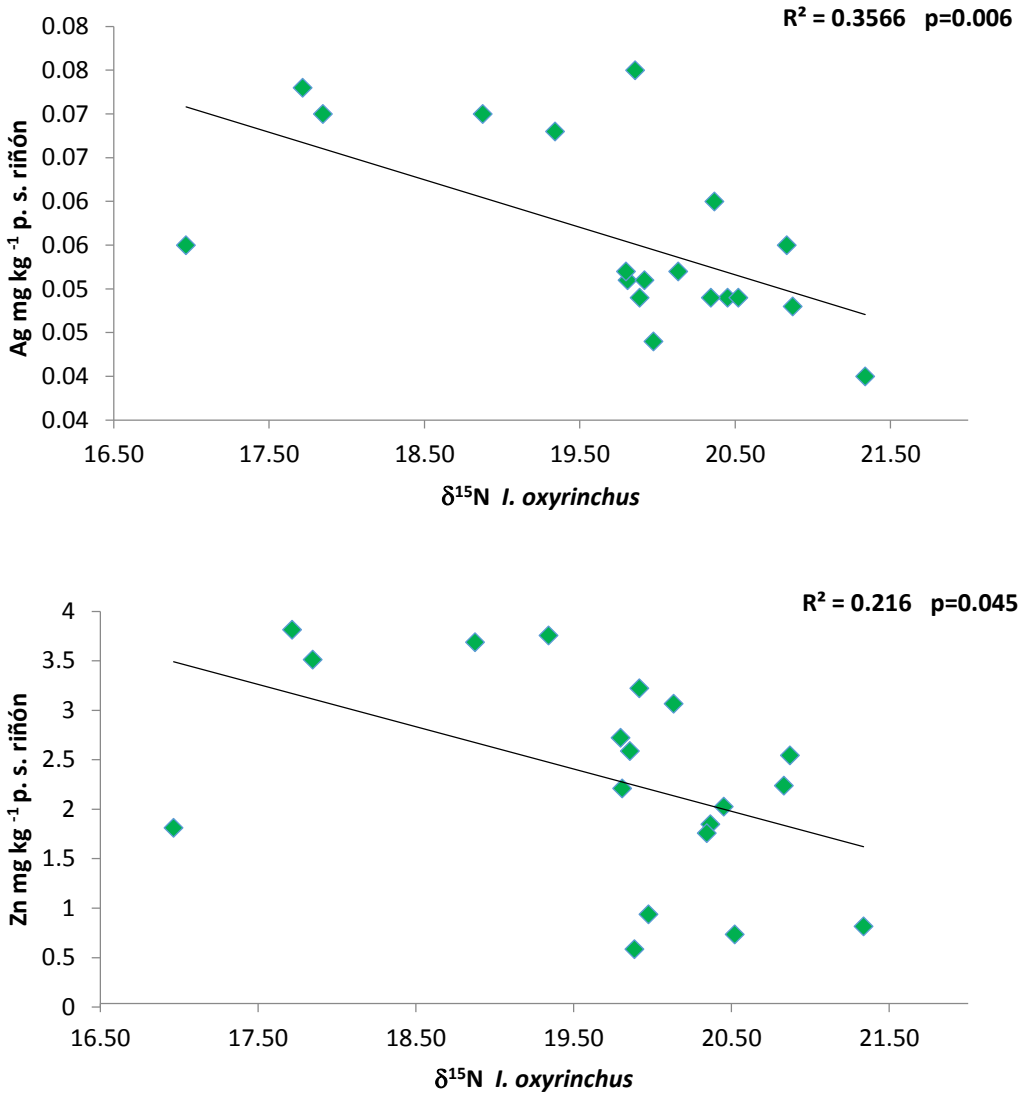


Figura 25 .- Relación entre concentración y $\delta^{15}N$ en riñón.

Relación entre $\delta^{13}C$ y la concentración de Cu, Cd, Ag y Zn

Cobre

El músculo de *C, falciformis* presentó una correlación negativa pero no fue significativa (r= -0.218, p=0.368), así como en riñón (r= -0.172, p=0.466), hígado (r= -0.121, p=0.620) y sangre (r= -0.429, p=0.143).

En el tiburón *I. oxyrinchus,* la correlación fue positiva pero no significativa en músculo (r=0.080, p=0.744), pero se presentó negativa y no significativa en riñón (r= -0.255, p=0.290) e hígado (r= -0.232, p=0.337). La correlación en sangre fue positiva pero no significativa (r=0.051, p=0.834)

La correlación en músculo de *P. glauca* fue positiva pero no significativa (r=0.629, p=0.094). Mientras que en riñón la correlación fue negativa pero significativa (r= -0.820, p=0.045) (Fig. 26), al igual que hígado (r=,-0.082, p=0.847). Sin embargo la correlación en la sangre fue positiva pero no significativa (r=0.391, p=0.297).

Para el caso de la correlación en *S. zygaena*, en músculo se presentó positiva pero no significativa (r=0.012, p=0.959), al igual que en riñón (r=0.423, p=0.194), hígado (r=0.163, p=0.675) y en sangre (r=0.288, p=0.389).

Cadmio

Para *C. falciformis* la correlación fue negativa y no significativa en músculo (r= -0.197, p=0.418), riñón (r=-0.225, p=0.339), hígado (r= -0.013, p=0.955) y en sangre (r= -0.522, p=0.067).

Se presentó correlación positiva pero no significativa para el músculo de *I. oxyrinchus* (r=0.124, p=0.610) e hígado (r=0.191, p=0.433), mientras que la

correlación fue negativa pero no significativa en riñón (r= -0.178, p=465) y sangre (r= -0.222, p=0.360).

Para *P. glauca* se presentó una correlación positiva pero no significativa en músculo (r=0.425, p=0.293) y sangre (r=0.561, p=0.115). Mientras en riñón la correlación fue negativa y no significativa (r= -0.733, p=0.097), al igual que en hígado (r= -0.012, p=0.976).

La correlación en el músculo de *S. zygaena* fue positiva pero no significativa (r=0.008, p=0.971), al igual que para riñón (r=0.503, p=0.114), hígado (r=0.214, p=0.578) y sangre (r=0.309, p=0.354).

Plata

La correlación se presentó positiva y no significativa para músculo e hígado de *C. falciformis* (r=0.407, p=0.083) y (r=0.004, p=0.984). Pero la tendencia fue negativa pero no significativa para riñón(r= -0.302, p=0.195) y sangre (r= -0.413, p=0.160).

El *I. oxyrinchus* presentó una correlación negativa pero no significativa en músculo (r= -0.122, p=0.617) y riñón (r= -0.145, p=0.551). Hígado presentó correlación positiva y no significativa (r=0.176, p=0.468), al igual que sangre (r=0.059, p=0.807).

La correlación en el músculo de *P. glauca* fue positiva pero no significativa (r=0.474, p=0.234). Mientras en riñón la tendencia fue negativa y no significativa (r= -0.746, p=0.088). En el hígado la correlación fue positiva pero no significativa (r=0.157, p=0.709), al igual que la en la sangre (r=0.127, p=0.742).

La correlación de *S. zygaena* fue negativa pero no significativa en músculo (r= -0.027, p=0.909), pero su correlación fue positiva y no significativa en riñón (r=0.439, p=0.176), hígado (r=0.316, p=0.406) y en sangre (r=0.018, p=0.957).

Zinc

La correlación se presentó negativa y no significativa para músculo de *C. falciformis* (r= -0.177, p=0.468), al igual que en riñón (r= -0.325, p=0.161), hígado (r= -0.093, p=0.703) y en sangre (r= -0.325, p=0.277)

Se presentó una correlación positiva y no significativa para músculo de *I. oxyrinchus* (r=0.351, p=0.140) e hígado (r=0.154, p=0.527), pero la tendencia fue negativa y no significativa para riñón (r= -0.171, p=0.481). La tendencia de la correlación en sangre fue positiva y no significativa (r=0. 108, p=0.657).

El músculo de *P. glauca* presentó una correlación que fue negativa pero no significativa (r= -0.113, p=0.788), al igual que riñón (r= -0.529, p=0.279). Las correlaciones de hígado y sangre fueron positivas pero no significativas (r=0.112, p=0.791) y (r=0.457, p=0.215).

Por último *S. zygaena* presentó una correlación positiva pero no significativa en músculo (r=0.055, p=0.817), riñón (r=0.357, p=0.279), hígado (r=0.174, p=0.654) y en sangre (r=0.197, p=0.559).

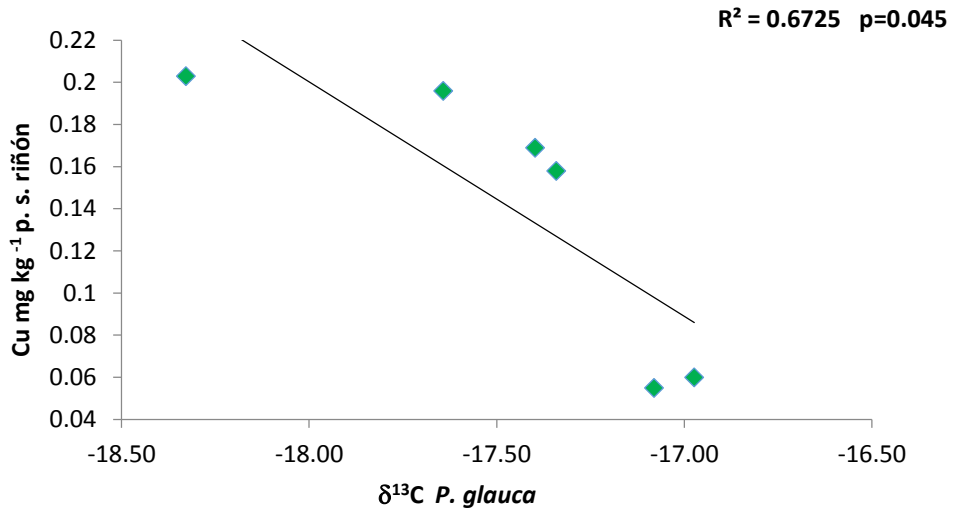


Figura 26 .- Relación entre la concentración de Cu y $\delta^{13}C$ en riñón de *P. glauca*.

Relación entre la concentración de elementos y el Nivel trófico en Sangre y Músculo

Cobre

La sangre tuvo una tendencia negativa pero sin correlación significativa (r= -0.229, p=0.07) con el nivel trófico. El músculo también se presentó con tendencia negativa pero fue significativa (r= -0.353, p=0.001) (Fig. 27), al igual que riñón (r= -0.527, p=0.000) (Fig. 28). El hígado presentó una correlación que fue positiva pero no significativa (r=0.117, p=0.339).

Cadmio

No se observó ninguna correlación significativa (r= -0.050, p=0.69) con el nivel trófico en sangre. El tejido muscular en cambio mostró tendencia negativa con una correlación significativa (r= -0.398, p=0.000) (Fig. 27). La correlación en

riñón fue negativa pero no significativa(r= -0.070, p=0.578). Mientras que en hígado la correlación fue negativa y significativa (r= -0.486, p=0.000) (Fig. 28).

Plata

No se observó correlación significativa en sangre y el nivel trófico (r= -0.150, p=0.242). La plata presentó una tendencia positiva y una correlación significativa en músculo (r=0.335, p=0.002) (Fig. 27). En riñón la correlación fue positiva pero no significativa (r=0.049, p=0.696), mientras que en hígado fue negativa pero no significativa (r= -0.010, p=0.931).

Zinc

La sangre no presentó ninguna correlación con el nivel trófico (r= -0.112, p=0.382). Por último el zinc no tuvo correlación significativa ni tendencia en músculo (r= -0.089, p=0.427). Sin embargo esta correlación fue negativa y significativa en riñón (r= -0.296, p=0.016) (Fig. 28) y negativa pero no significativa para el hígado (r= -0-056, p=0.649).

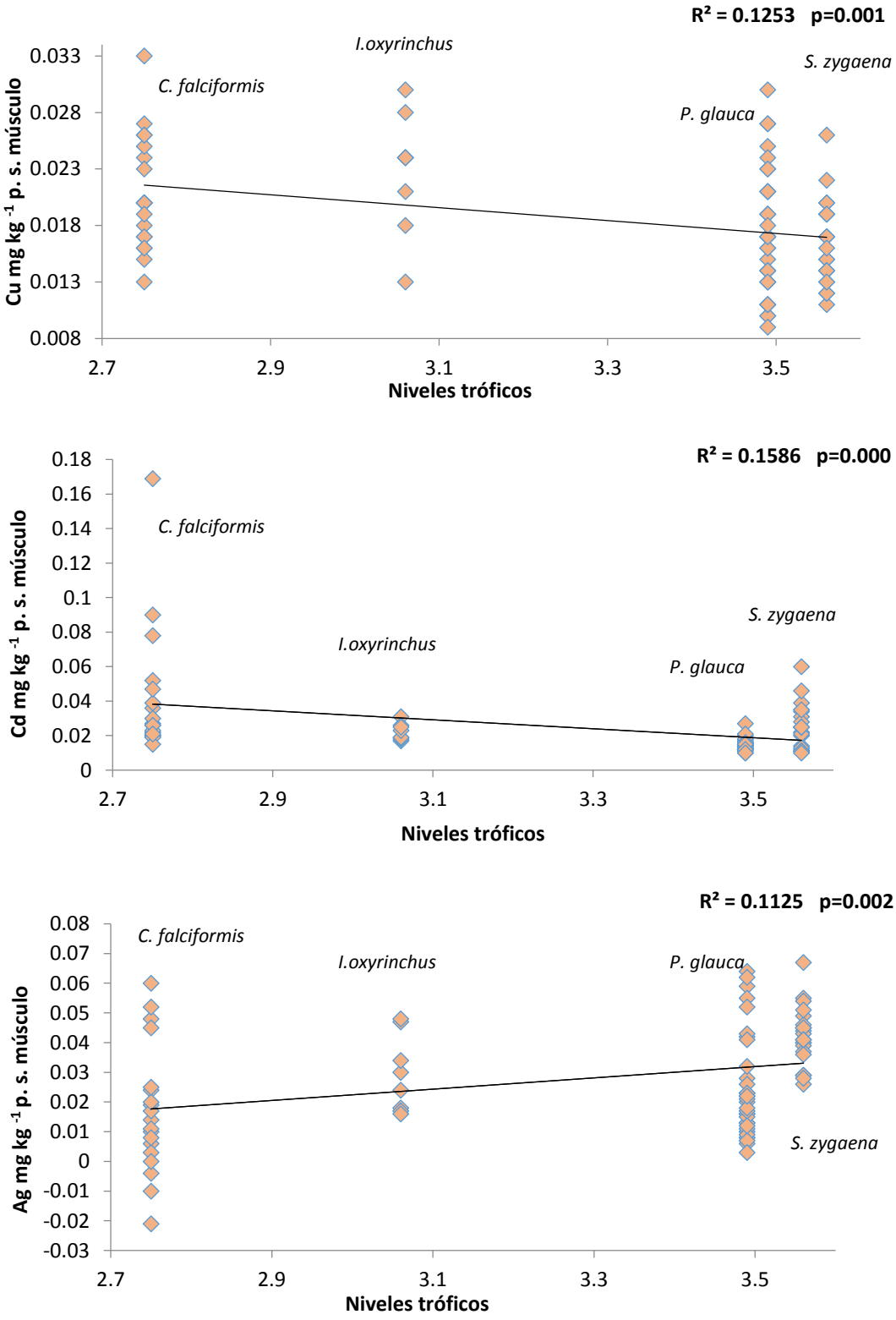


Figura 27 .- Relación entre la concentración de elementos y el nivel trófico en músculo de las cuatro especies.

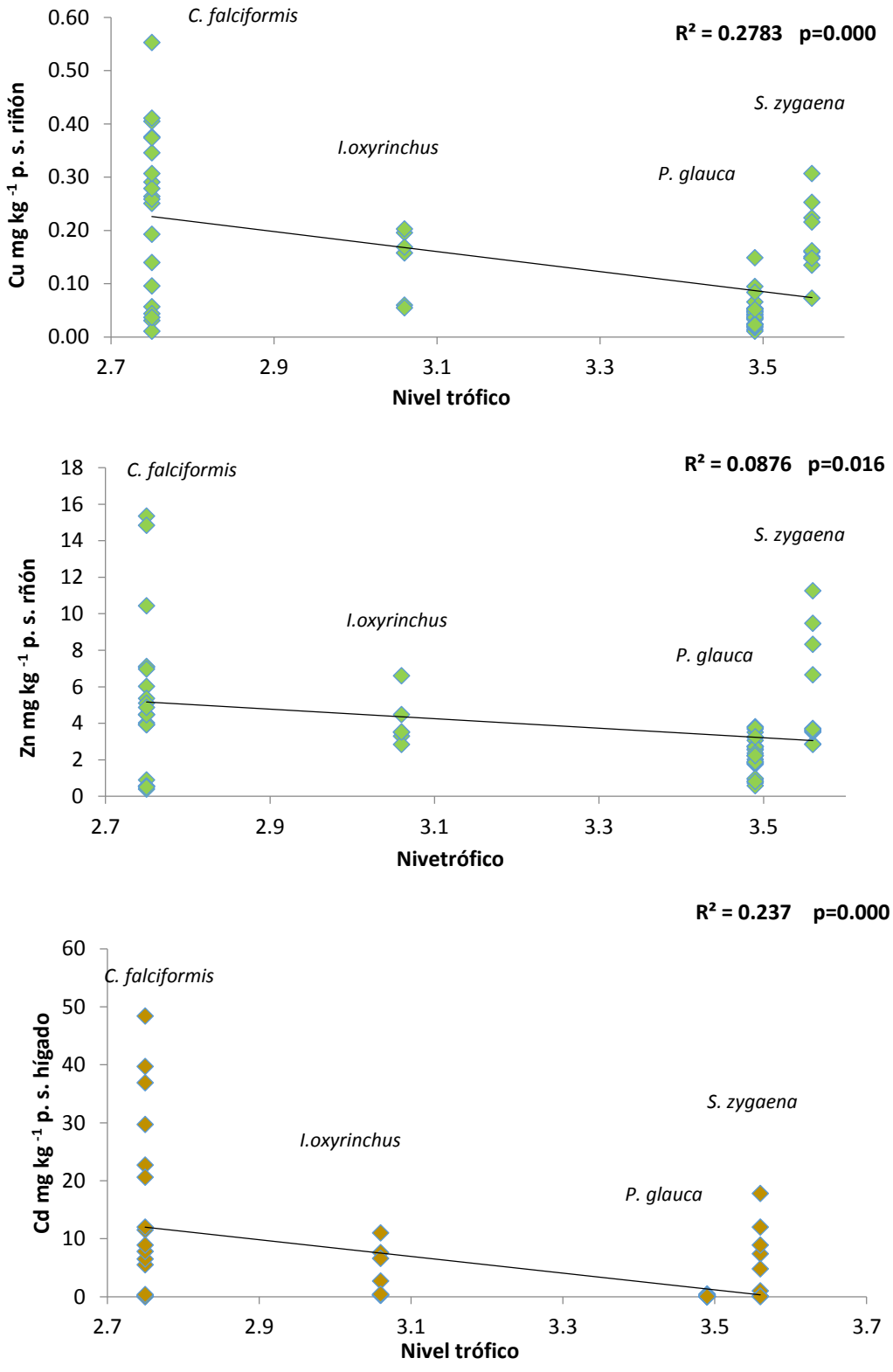


Figura 28 .- Relación entre la concentración de elementos y el nivel trófico en riñón e hígado de las cuatro especies.

Límites permisibles para consumo humano y la concentración de Cu, Cd, Ag y Zn

Tabla 9.- Límite permisible de elementos según la EPA y la NOM-242-SSA1, 2009 y la concentración de elementos tóxicos en los tejidos de las especies de tiburones.

	Cu (mg kg $^{-1}$)	Cd (mg kg^{-1})	Ag (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})
Límite permisibles para consumo	**1.3**	**0.5**	**0.1**	**5**
C. falciformis				
Músculo	0.021	0.041	0.017	2.183
Riñón	0.236	1.822	0.175	5.346
Hígado	0.388	13.214	0.064	5.367
Sangre	0.042	0.023	<LD	0.413
I. oxyrinchus				
Músculo	0.017	0.014	0.025	1.074
Riñón	0.044	0.013	0.053	2.242
Hígado	0.505	0.077	0.021	2.797
Sangre	0.026	0.002	<LD	0.358
P. glauca				
Músculo	0.023	0.022	0.029	3.795
Riñón	0.14	0.167	0.068	4.044
Hígado	0.132	3.646	<LD	1.530
Sangre	0.007	0.126	<LD	0.367
S. zygaena				
Músculo	0.016	0.025	0.042	3.075
Riñón	0.180	3.474	0.535	5.415
Hígado	0.201	5.784	0.14	8.542
Sangre	0.022	0.020	<LD	0.374

Los tejidos muscular y sanguíneo presentaron valores de Cu, Cd, Ag y Zn por debajo de los límites permisibles para el consumo humano. Por otro lado cobre estuvo por debajo de los límites permisibles en todos los tejidos de las cuatro especies. El cadmio rebasó el límite permisible para el consumo en el hígado y riñón de *C. falciformis* y *S. zygaena*. Mientras que *P. glauca* solo el hígado rebasó los límites estipulados para su consumo (Tabla 9).

Para Ag las concentraciones fueron mayor en riñón de *C. falciformis* y de igual forma en el riñón e hígado de *S. zygaena*. Finalmente el zinc estuvo por arriba de los límites permisibles para el consumo humano, en el hígado y riñón de *C. falciformis* y *S. zygaena* (Tabla 9).

Discusión

Composición isotópica y nivel trófico de las especies de tiburones

Hobson y Clark (1992) reportan que la composición isotópica puede variar entre especies, donde el hábitat y el tipo de alimentación se verán reflejados en los valores isotópicos del tejido analizado.

El tiburón *S. zygaena* presentó la posición trófica más alta en sangre y tejido muscular. Ochoa (2009) reporta posiciones tróficas similares a las observadas en este estudio y menciona que *S. zygaena* presenta una dieta de cefalópodos de profundidad y peces de niveles tróficos altos.

El tiburón *I. oxyrinchus* fue la siguiente especie en la posición trófica en los tejidos sanguíneo y muscular. Los estudios de ecología trófica realizados por Velasco (2005) indican una dieta de peces y cefalópodos con influencia bentónica, explicando valores altos de δ^{15}N. Méndez (2015) menciona que se alimenta del cefalópodo *D. gigas* y el pez *S. japonicus.* Los valores isotópicos reflejaron que los tiburones *I. oxyrinchus* presentan variaciones en valores de δ^{15}N en sangre y músculo, e infiriendo que esas variaciones son debido a la tendencia de los tiburones mako a alimentarse de diferentes presas tanto en aguas someras, así como en aguas profundas de la zona oceánica. De igual forma su alimentación se lleva en la zona mesopelágica (Velasco, 2005; Méndez, 2015; Tamburin et al. 2019).

Por otra parte, el tiburón *P. glauca* presenta el siguiente nivel trófico, posiblemente debido a la alimentación de crustáceos como la langostilla *Pleuroncodes planipes* y de cefalópodos de menor profundidad que influyen en los

valores de este tiburón. Los estudios isotópicos reportan que la variación isotópica en músculo dorsal del tiburón azul indicó que es un depredador especialista que se alimenta en zonas pelágicas oceánicas, pero que puede alimentarse en zonas costera o de transición, ya sea en zonas someras o de gran profundidad, lo que deriva en hábitos oportunistas en un hábitat diverso (Maya et al. 2012; Hernández et al. 2015).

El nivel trófico más bajo los presentó el tiburón *C. falciformis*. Cabrera et al. (2010) analizaron la dieta de *C. falciformis* reportando una dieta de presas de cadenas tróficas cortas, en algunos casos cefalópodos y peces, pero de igual forma la langostilla *Pleuroncodes planipes*, representó la presa principal. Estudios de composición isotópica de esta especie han reportado valores que reflejan una alimentación en la zona oceánica, preferentemente con base en presas epipelágicas (Cabrera, 2000).

Variación intraespecífica y concentración de elementos traza entre tejidos

Los elementos Cu, Cd, Ag y Zn fueron encontrados en todos los organismos del área de estudio. El cobre es un elemento que se encuentra de forma natural en el ambiente, por lo que puede estar presente en la dieta, ya que se encuentra en pequeñas cantidades en todos los seres vivos (Hernández, 2014). De igual forma es un elemento traza esencial para la vida y útil en procesos metabólicos como la degradación de lípidos y proteína. Además, interviene en la formación de hemoglobina y glóbulos rojos (Higdon, 2003). De igual forma, el

exceso y la falta de este elemento pueden ser indicadoras del estado de salud de una población (Furnes, 2017).

En cuanto a la concentración de Cu en elasmobranquios, la presencia de este elemento en hígado fue casi siempre mayor que en el resto de los tejidos de *C. falciformis, I. oxyrinchus* y *S. zygaena* y para el riñón en *P. glauca*. Se han reportado valores altos para este elemento en hígado, ya que este elemento se almacena en este órgano (Endo et al. 2008). Sin embargo, su presencia en riñón fue alta con respecto a músculo y sangre, posiblemente resultado los procesos de excreción. Por otro lado, el músculo y sangre presentan valores bajos con respecto a los órganos, ya que estos tejidos parecen ser solo parte de la ruta metabólica de este elemento. Sin embargo, el Cu es esencial en procesos de la sangre (Hidgon, 2003), aunque no se almacena en este tejido (Endo et al. 2015).

Por otro lado, existen pocos trabajos en los que se analice este elemento en elasmobranquios. Para el tiburón tigre (*Galeocerdo cuvier),* se reportaron valores promedio de 1.87 ±1.07 µg g^{-1} en hígado. Vega (2018) reportó concentraciones de 0.48 a 5.39 µg g^{-1} en hígado y de 0.79 a 27.46 µg g^{-1} en músculo para el tiburón *C. falciformis* en las costas de Jalisco.

En mamíferos marinos, la concentración promedio en colonias de focas mexicanas (*Phoca vitulina*) fue 3.3 µg kg^{-1}. En la región sur de Baja California, la concentración fue 1.99 µg kg^{-1} y en la región norte fue 3.96 µg kg^{-1} (Juarez, 2020). Esto corresponde con el patrón en fracciones sedimentarias a lo largo de Baja California (Villaescusa et al. 2000). Sin embargo, el aporte de este elemento puede ser una fuente natural o producto del transporte de nutrientes. Una fuente alterna puede ser por la influencia de contaminantes dispersados de manera

temporal y espacial por la corriente de California, desde la región marina de California (Juárez, 2020) y estos ser incorporados a los elasmobranquios a través del alimento. Sin embargo, esta es una hipótesis que requiere ser comprobada en futuras investigaciones.

El cadmio ha sido objeto de estudio en algunos estudios de elasmobranquios (Murillo, 2014; Vega, 2018). En el presente estudio los valores de Cd son menores en tejido muscular y sangre, con respecto a los reportados en otros trabajos en elasmobranquios (Terrazas, 2016, Vega, 2018; Endo et al. 2015). Sin embargo, las concentraciones y su distribución en tejido muscular y hepático reportadas en este trabajo para las cuatro especies son muy similares a los reportados en tiburón tigre (Endo et al. 2015). De hecho, la mayor concentración de este elemento en el hígado es por actividad metabólica (Endo et al. 2015). La acumulación en hígado puede ser debido a que este órgano es el encargado de la desintoxicación de este y otros elementos (Murillo, 2014; Endo et al. 2015). Se ha reportado que estos elementos se encuentran en mayor concentración en el hígado y riñón, los cuales pueden contener hasta el 75% de estos elementos (Guzmán, 2001). La presencia de Cd activa las metalotioneínas, las cuales son un mecanismo de defensa contra los elementos tóxicos (Murillo, 2014), lo que explicaría las altas concentraciones en el tejido hepático (Murillo, 2014; Endo et al. 2015).

Aunado a esto, el cadmio se transfiere a la dieta de los tiburones a través de la cadena alimentaria, principalmente por moluscos como los cefalópodos, los cuales concentran el cadmio en sus vísceras (Honda et al., 1983; Bouquegneau y Joiris, 1988; Miles y Hills, 1994). Otra posible explicación de las concentraciones

más altas de Cd en los tejidos de los tiburones en el área de estudio, se deben a que en esta región se presentan fenómenos como las surgencias, las cuales puede ayudar a la disponibilidad de este elemento desde zona profunda (Baumgartner et al. 2008). El Cd tiene concentración baja en la superficie con respecto a zona profunda donde su concentración es mayor (Juárez, 2020).

Para la plata (Ag) se reporta la presencia de este elemento en algunos tejidos como lo son hígado y riñón, consistente con los estudios en elasmobranquios (Endo et al. 2008; Murillo, 2014). Por otro lado, la concentración de Ag en el presente estudio mostró una clara tendencia a incrementar con la talla de las diferentes especies. Lo anterior sugiere que este elemento se bioacumula (Agusa et al. 2011).

Por otro lado, los órganos como hígado y riñón presentaron los valores con mayor concentración comparados con sangre y músculo, consistente con lo reportado para otros metales (Endo, 2008; Escobar, 2011). Estudios en focas comunes (*Phoca vitulina*), la concentración de Ag fue baja en neonatos; sin embargo, se ha reportado un incremento en la concentración de plata con la talla por efectos de acumulación en esta especie (Juárez, 2020).

El sistema de la corriente de California puede influir en la concentración de Ag, a través de la contribución de zonas contaminadas por petróleo, descargas residuales y tráfico marítimo del área costera de California (Camphuysen y Vollaard, 2016). Sin embargo, también se ha reportado que la Ag puede tener un origen natural sedimentario (De Haas et al. 1997).

Por otro lado, la baja concentración de este elemento en tejidos como músculo y sangre puede deberse a la diferente velocidad en la tasa metabólica y

la diferente afinidad de este elemento por diferentes biomoléculas. Esto ya ha sido reportado en estudios anteriores para otros metales pesados como el Hg (Endo et al. 2007, 2008, 2015).

El Zn es un elemento esencial presente en todos los organismos que participa en diversos procesos bioquímicos en el organismo. Se encuentra presente en los sistemas marinos de forma natural. Sin embargo, se han reportado altas concentraciones en mejillones a lo largo de la costa de Baja California derivado del uso de fertilizantes en campos agrícolas de la costa oeste de Baja California (Gutiérrez et al. 2014). Hasta la fecha no se ha reportado su bioacumulación en cadena tróficas marinas y las intoxicaciones por este elemento son poco probables. Sin embargo, debido a su interacción con otros elementos como el Cu y el Cd se ha reportado su presencia de manera importante en ciertos órganos (Endo et al. 2015; Juárez, 2020).

En el presente estudio, las diferentes especies de tiburón presentaron las mayores concentraciones Zn en hígado y riñón, similar a lo reportado para elasmobranquios por Endo (2015). Sin embargo, en el caso del tiburón azul se encontró mayor concentración en músculo y riñón que en hígado. Probablemente la presencia de Zn en el riñón se deba a procesos de excreción; mientras que la presencia en músculo se deba al efecto de acumulación de este elemento en el tejido (Guzmán, 2001; Juárez, 2020; Endo et al. 2015). Altas concentraciones de este elemento se han reportado en hígado de tiburones en Groenlandia (McMeans et al. 2007).

La concentración de Zn en conjunto con Cd fue alta en el hígado de *P. glauca* (Barrera et al. 2013). Respecto a esto se reporta una posible relación entre

estos elementos y afinidad, así como un posible efecto protector de Zn hacia el organismo y la presencia de metales pesados, sin embargo, esto ha sido poco estudiado (Zhang y Wang 2005).

Existen reportes en delfines costeros (*Sotalia guianensis*) en Brasil, donde la concentración de Zn fue 100.13 mg kg^{-1}. Estas concentraciones se deben principalmente a las diferentes dietas, al hábito costero y a la bioacumulación por la edad (Lemos et al. 2013). Las focas de puerto (*Phoca vitulina*) de colonias mexicanas en Baja California, presentaron un promedio en la concentración de Zn de 168.7 mg kg^{-1}, valor que está dentro del intervalo reportado para otros mamíferos, sin efecto tóxico (Juárez, 2020). Estas concentraciones son mayores en mamíferos marinos a las reportadas para los diferentes tejidos y especies de tiburón del presente estudio. Esto puede ser debido al tipo de metabolismo y a la alta concentración de lípidos que se encuentran presentes en los mamíferos marinos (Elorriaga-Verplancken y Aurioles-Gamboa, 2008).

El Cu, Cd, Ag y Zn mostraron diferentes concentraciones en los tejidos de las especies de tiburones. La mayoría de los elementos son potencialmente tóxicos y son obtenidos a través del alimento (Murillo, 2014). Por lo que la presencia de estos elementos probablemente sea debido a que están presentes en la composición de las especies presas que conforman la dieta de estos organismos en cada sitio de alimentación (Terrazas, 2016; Vega, 2018; Arce, 2019; Juárez, 2020). Estos elementos se acumulan principalmente en hígado y riñón (Mancera y Álvarez, 2006; Murillo 2014; Endo et al. 2015).

Concentración entre sexos, estadios y talla

En el Cu no se encontraron diferencias entre sexos y estadios en casi todas las especies. Sin embargo, *C. falciformis* mostró diferencia significativa en los organismos adultos con respecto a los juveniles, así como una correlación positiva en hígado y riñón con la talla, reflejando efecto de bioacumulación en elasmobranquios (Vega, 2018; Endo et al. 2015). En *I. oxyrinchus*, los organismos muestreados fueron casi en su mayoría juveniles, con excepción de un adulto, por lo que no fue posible observar una variación en su concentración (Velasco, 2005).

El Cd no se encontró con variación entre sexos y estadios en casi todas las especies. Sin embargo, *C. falciformis* presentó diferencias en el hígado, riñón, músculo y sangre de los adultos, consistente con lo reportado en trabajos anteriores para la misma especie, donde los adultos mostraron mayor concentración este elemento en el hígado, debido a bioacumulación. Mientras que, los tejidos como el músculo incrementan su concentración gradualmente (Terrazas, 2016; Vega, 2018).

La Ag se reportó en algunos tejidos de los diferentes sexos y estadios, especialmente acumulado en hígado y riñón, consistente con los estudios en elasmobranquios (Endo et al. 2008; Murillo, 2014). Por otro lado, la plata se incrementa en las diferentes especies conforme a la talla, lo que podría indicar que este elemento se bioacumula (Agusa et al. 2011). *C. falciformis* presentó diferencias en el hígado de los adultos consistente con estudios previos (Terraza, 2016; Vega, 2018). Sin embargo, se observó una correlación inversa en plata para algunos tejidos, es decir, las tallas menores presentan mayor concentración. Esto

pudiera indicar transferencia materna de Ag y su depuración a lo largo del ciclo de vida de estas especies (e.g., Cabrera et al. 2010; Velasco, 2005). Sin embargo, esto requiere ser apoyado por otros estudios.

Por otro lado, en cuanto al elemento esencial Zn, se encontraron variaciones entre sexos de las cuatro especies. *C. falciformis* fue más alto en músculo de machos, mientras que en *I. oxyrinchus* presentó su variación en sangre, siendo mayor en hembras. El músculo de machos de *P. glauca* fue mayor que hembras y el hígado de *S. zygaena* fue más importante en machos. Estas diferencias pueden ser atribuidos a diferentes procesos metabólicos y de alimentación, las cuales pueden estar ligadas a comportamientos de reproducción relacionadas con la segregación alimenticia de las diferentes especies (Vega, 2018; Endo et al. 2015). Por otro lado, las otras especies no presentaron variación sexual, consistente con lo reportado para tiburón tigre (Endo et al. 2015).

En cuanto a la comparación por estadios, casi ninguna especie presentó diferencias entre sus diferentes tejidos y la concentración de este elemento. *C. falciformis* presentó una variación en músculo, riñón e hígado. Se ha reportado que existe un incremento en la concentración de Zn y el crecimiento en elasmobranquios (Barrera et al. 2013). Por lo que este efecto de bioacumulación puede estar reflejándose en los tejidos de los diferentes estadios de *C. falciformis*. Por otro lado, la correlación encontrada en los tejidos de hígado y riñón y de igual forma en hígado de *I. oxyrinchus*, sugieren un aumento en la concentración con la edad y el crecimiento, el cual puede ser debido al incremento en el nivel trófico, este comportamiento ya ha sido reportado en otras especies (Barrera et al. 2013; Endo et al. 2015). Existe una diferencia en la concentración en el lobo marino de

Steller (*Eumetopias jubatus*) de la costa de Japón en Zn para individuos adultos, incrementando con respecto a la edad (Hamanaka et al. 1982).

Variación y concentración entre las especies de tiburones

En cuanto a la concentración de cobre (Cu) en las diferentes especies, parece que el *C. falciformis* presentó los valores más altos en algunos tejidos. Esto es consistente con los reportado anteriormente, donde *C. falciformis* es la especie con mayores concentraciones en metales pesados (Escobar, 2011). Sin embargo, otras especies también presentaron valores altos en otros tejidos, probablemente resultado de la diferente dieta, metabolismo y área de alimentación (Endo et al. 2015).

Para cadmio, el tiburón *C. falciformis* fue el que presentó los valores más altos de es este elemento en casi todos los tejidos, seguido de *S. zygaena*. De igual forma ambas especies estuvieron presentes en el área de estudio con grandes tallas y estados de madurez adulto comparado con las otras especies. Esto puede contribuir a una mayor acumulación de este elemento (Terrazas, 2016; Vega, 2018). Por otro lado, el *I. oxyrinchus* fue el que presentó los valores con menor concentración. Esto puede ser debido a que casi todas las muestras corresponden a organismos juveniles, por lo que hay menor acumulación (Murillo, 2014; Vega. 2018).

En cuanto a la plata (Ag), las especies que presentaron una mayor concentración de este elemento en casi todos los tejidos fueron *S. zygaena* y *C. falciformis* fueron las mismas que presentaron diferencias entre estadios en

hígado. Esto es consistente ya que ambas especies presentaron las mayores tallas y con mayor incidencia de organismos en estado de madurez en el presente estudio. Es probable que la concentración de este elemento en los tejidos hepático y renal sea debido a un efecto de bioacumulación debido al crecimiento y la edad, como lo reportado para otros metales pesados en elasmobranquios (Endo et al. 2007; Endo et al. 2008; Endo et al. 2015)

Por último, para el Zn, los valores de concentración más altos los presentaron *C. falciformis* y *S. zygaena*. Es probable que estas dos especies estén reflejando una bioacumulación el cuál es resultado de la presencia de las grandes tallas de ambas especies en el presente estudio con respecto a las otras especies (Barrera et al. 2013). Por otro lado la presencia de las altas concentraciones en el músculo de *P. glauca* en comparación con las otras especies, sugieren que pueden ser el resultado de procesos bioquímicos y metabólicos las cuales se llevan a cabo en el tejido muscular de esta especie, sin embargo esto no puede afirmarse, debido a la falta de información al respecto.

Relación de la concentración de elementos (Cu, Cd, Ag y Zn) entre la composición isotópica ($\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$) y el nivel trófico

Se analizó la relación entre las concentraciones de estos elementos potencialmente tóxicos y la composición isotópica de carbono y nitrógeno, donde se observó una relación positiva y significativa entre la concentración de Cd y la composición isotópica del músculo de *S. zygaena*. La dieta de este tiburón está compuesta por cefalópodos mesopelágicos, además de peces bentónicos y epipelágicos (Fry, 2004; Ochoa, 2009). El cadmio es un elemento abundante y

presente en moluscos, principalmente bivalvos (Arce, 2019), pero también cefalópodos, lo que pudiera aportar a la acumulación de este elemento (Miles y Hills, 1994). Por otro lado, el ambiente bentónico de algunas presas y los fenómenos de surgencia pueden ayudar a distribución de este elemento en la dieta en casi cualquier nivel de la columna de agua (Baumgartner et al. 2008; Juárez, 2020).

Por otro lado, el músculo representa un registro de la dieta a mediano plazo (12 meses o más) (Méndez, 2015), por lo que este comportamiento solo se estaría reflejando en el tiempo representado.

En sangre se observó una tendencia positiva con significancia entre la composición isotópica de nitrógeno y la concentración de Ag en la sangre de *C. falciformis* y de Cu y Cd para *P. glauca*. Se ha mencionado la importancia de la concentración de Cd en moluscos, principalmente cefalópodos (Honda et al. 1983ª). Sin embargo, el Cu también está presente en ostiones y camarones (Mendoza, 2010), y se han reportado altas concentraciones en Sinaloa y Baja California Sur (Renato et al. 2003; Paéz et al. 2002). Tanto *C. falciformis*, como *P. glauca* presentan un importante consumo de cefalópodos en su dieta (*Argonauta sp.*, *Dosidicus gigas,* entre otros.), pero también se alimentan de langostilla (*P. planipes*) (Méndez, 2015), la cual es abundante en su fase pelágica y bentónica en diferentes estaciones del año (Alvariño, 1976). Por lo que la dieta a base de estos cefalópodos y este crustáceo, pudiera contribuir y aportar a la acumulación de Cd y Cu en la sangre y por lo tanto a la relación con la dieta registrada isotópicamente. Por otro lado, el Cu es un elemento esencial en la dieta de los seres vivo ya que participa en la formación de glóbulos rojos y en el

mantenimiento de vasos sanguíneos y el sistema inmune (Mendoza, 2010; ATSDR, 20049. Además, participa en la asimilación de algunos nutrientes (Moreno, 2003; Juárez, 2020). Por lo que su presencia en altas concentraciones y su relación con la dieta puede ser normal. En cuanto a la relación observada entre la concentración de Ag en sangre y la dieta de *C. falciformis* es difícil de explicar, ya que se desconocen las fuentes de este elemento, en la alimentación de los organismos. Sin embargo, se ha reportado que los cefalópodos, bivalvos y crustáceos pueden acumular Ag en altas concentraciones, generalmente junto con el Cu, ya que es necesario para algunas especies en su pigmento sanguíneo (hemocianina) (Rouleau et al. 2000). Por lo que la dieta antes mencionada para esta especie, pudiera contribuir también en la relación de la dieta y la concentración de este elemento junto con el Cu. Por último la Ag puede ser de origen natural sedimentario, por lo que puede acumularse en la red trófica bentónica (De Haas et al. 1997; Bell y Kramer, 1999).

El riñón de *I. oxyrinchus* presentó una relación con tendencia negativa y significativa entre la composición de δ^{15}N y la concentración de Ag y Zn en este órgano. Respecto a esto se ha reportado una relación negativa entre la dieta y la concentración de Zn y otros elementos, ya que existen cambios en la alimentación y asimilación de nutrientes, esto debido a las diferentes necesidades fisiológicas y de crecimiento (Endo et al. 2015). Por otro lado se han reportados cambios en la alimentación de esta especie, a partir de la composición de δ^{15}N, ya que es capaz de reflejar cambios en la dieta en la columna de agua, ya que la dieta bentónica contribuye al enriquecimiento de δ^{15}N, así como de Ag y Zn (Fry, 2004; Velasco,

2005; Juárez 2020). Velasco (2005) menciona que *I. oxyrinchus* puede alimentarse tanto en zonas costeras y somera, así como de presas bentónicas. Esto es consistente con la relación entre la concentración de Ag y Zn y la dieta, ya que podría estar reflejando un cambio en la profundidad de alimentación y por lo tanto de presas con menores concentraciones de estos elementos (De Haas et al. 2007; Juárez 2020). Por último, el riñón es una vía de acumulación y de excreción para diferentes metales pesados (Mancera y Álvarez, 2006). Debido a lo anterior es posible que este elemento pudiera estar eliminándose durante la acumulación de una dieta diferente.

Por último sólo el ríñón de *P. glauca* presentó una tendencia negativa y con significancia entre la concentración de Cu y los valores de δ^{13}C. Respecto a esto, los valores de δ^{13}C nos ayudan a delimitar áreas de alimentación (costera y oceánica) (Fry, 2004; Hernández et al. 2015). Por lo que la fuente de Cu en la dieta de este tiburón se encuentra en la zona oceánica. Hernández et al (2015) menciona que la alimentación de este tiburón ocurre principalmente en la zona oceánica y principalmente a base de cefalópodos y del crustáceo pelágico *P. planipes* (Méndez, 2015). Por lo que el área donde se encuentran las presas pudieran estar influyendo en la relación de δ^{13}C y la concentración de Cu.

Se comparó la relación entre la concentración de elementos en los tejidos de los tiburones y su nivel trófico, donde se observó una tendencia negativa y significativa para Cu, Cd y Zn en el tejido muscular, renal y hepática, así como positiva y significativa para Ag. El tiburón *C. falciformis* presentó el nivel trófico menor entre todas las especies, debido a su gran consumo de *P. planipes* y

cefalópodos como *Argonauta sp.*, las cuales son presas de cadenas tróficas cortas (Méndez, 2015). Por lo que la dieta de *C. falciformis* contribuye a una mayor acumulación con respecto a la dieta de las otras especies (*I. oxyrinchus* y *P. glauca*). *S. zygaena* presenta el mayor nivel trófico (Méndez, 2015). Sin embargo se alimenta principalmente de peces bentónicos, epipelágicos y en menor cantidad de cefalópodos neríticos (Ochoa, 2009; Méndez, 2015), por lo que la contribución de estos elementos es menor. De igual forma *C. falciformis* se ha reportado como la especie con mayores niveles de concentración de elementos tóxicos en algunos tejidos (Maz et al. 2011). Por otro lado, también presenta los valores más altos en los órganos hígado y riñón los cuales son los órganos de captación y almacenaje de estos elementos, consistente con lo reportado para esta y otras especies (Terrazas, 2016; Vega, 2018; Endo et al. 2015).

Por último Ag presenta una correlación positiva significativa en músculo, debido a que esta especie (*S. zygaena*) presenta el mayor nivel trófico y las mayores tallas, por lo que un posible efecto de bioacumulación y biomagnificación de este elemento pudiera estar presente (Juárez, 2020).

Concentración de elementos y los límites permisibles para su consumo

El presente estudio no presentó valores en sangre y músculo que rebasaran los límites permisibles de Cu, Cd, Ag y Zn establecidos por las instituciones de salud (EPA, 2000; Murillo, 2014). Aunado a esto el Cu y el Zn son elementos esenciales, por lo que su consumo es recomendable (Mendoza, 2010). Ya que estos se encontraron muy por debajo de los límites permisibles en el tejido

muscular de todas las especies de tiburones del presente estudio, por lo que su consumo humano es seguro y no representa un riesgo para la salud. De igual forma el presente estudio no reflejó concentraciones de los elementos tóxicos Cd y Ag que representaran algún peligro para el consumo del músculo de estas especies de tiburones (EPA, 2000; Vega, 2018; Mendoza, 2010).

Por otro lado, los órganos que presentaron los valores de Cd, Ag, y Zn que sí rebasaron las normas de seguridad, fueron el hígado y el riñón de *C. falciformis*, *S. zygaena* y en menor forma *P. glauca*. Esto es consistente con lo reportado en otros estudios, donde mencionan que estas especies son las que se encuentran con las concentraciones de metales pesados más elevados (Maz et al. 2011). El riñón no es consumido por lo que no representa un riesgo. Sin embargo el hígado de tiburón es utilizado como fuente de omegas y remedio medicinal desde hace décadas en ciertas zonas costeras de México (Bonfil, 1990). Sin embargo esta práctica es menos común en la actualidad, ya que este órgano es desechado junto con las vísceras en la pesquería artesanal (Bonfil, 1990).

Conclusiones

- Al describir la dieta, hábitos y área de alimentación utilizando los isótopos estables $\delta^{15}N$ y $\delta^{13}C$ como técnica complementaria, nos ayudó a determinar el posible origen de la concentración de elementos en los tejidos de los tiburones.

- *S. zygaena* presentó el nivel trófico más alto en sangre y músculo, ya que se alimenta de peces y cefalópodos de profundidad y *C. falciformis* debido a su alimentación de presas epipelágicas en la zona oceánica.

-El tiburón *I. oxyrinchus* presentó valores isotópicos que representan una dieta de presas oceánicas en la zona mesopelágica; mientras que la alimentación de *P. glauca* se da en la zona pelágicas.

-Los órganos con mayores concentraciones de Cu, Cd, Ag y Zn en el cuerpo de las cuatro especies de tiburones son el riñón y el hígado, los cuales son los órganos de captación almacenaje y eliminación de acuerdo a lo reportado en otros trabajos.

- Los tejidos con menores concentraciones en todos los elementos analizados fueron el músculo y sangre, debido a que son parte de la vía metabólica y procesos bioquímicos.

- No se encontraron diferencias entre sexos y estadios de casi todas las especies de tiburones y las concentraciones de Cu, Cd, Ag y Zn ya que algunas especies presentan poca o no presentan segregación. Por lo que su alimentación y por lo tanto la concentración es similar en algunos casos.

-Las diferencias entre la concentración de elementos entre sexos y estadios observada en *C.falciformis* se debe a efectos de bioacumulación y a las

diferencias fisiológicas y procesos metabólicos relacionadas con el crecimiento y la reproducción.

-Se observó una relación negativa entre la concentración de Cu, Cd, Ag y Zn y la talla debido al mayor requerimiento energético y necesidades fisiológicas en las tallas menores; Mientras que la relaciones positivas observadas entre la concentración y la talla, se deben a un posible efecto de bioacumulación por la talla.

-Se observó una mayor concentración de elementos tóxicos en las especies *C. falciformis* y *S. zygaena* debido a sus tallas y por ende al efecto de bioacumulación. Similar a lo reportado para la zona en algunas especies de rayas y tiburones.

-Las relaciones negativas y positivas observadas entre la composición isotópica de $\delta^{15}N$, $\delta^{13}C$ y la concentración de elementos en músculo se deben a un cambio en la alimentación de presas con diferencia en la concentración de elementos y en el área de alimentación y la profundidad de la columna de agua.

- Las relaciones observadas entre la concentración de elementos y el nivel trófico se deben al tipo de presa consumida por las diferentes especies de elasmobranquios.

-El músculo y la sangre de todas las especies de tiburones, presentaron concentraciones de Cu, Cd, Ag y Zn por debajo de los límites permisibles, por lo que no representan un peligro para su consumo (músculo).

-El hígado y el riñón de algunas especies presentaron concentraciones de Cd, Ag y Zn arriba de los límites permisibles para el consumo humano. Sin embargo estos son consumidos con menor frecuencia actualmente en México.

BIBLIOGRAFÍA

-Agusa T., Nomura K., Kunito T., Anan Y., Iwata H., Tanabe S. 2011a. Accumulation of trace elements in harp seals (*Phoca groenlandica*) from pangnirtung in the Baffin island, Canada. Marine Pollution Bulletin, 63(5–12), 489-499.

- Alvariño A. 1976. Distribución batimétrica de *Pleuroncodes planipes* Stimpson (Crustaceo: Galateido). Memorias del simposium sobre Biología y Dinámica Poblacional de Camarones. 266-281.

-ATSDR. 1990. Toxicological profile for Silver. Atlanta, GA, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

-Aurioles G. D., Koch P. L., B. J., Boeuf L.E. 2006. Differences in foraging location of Mexican and California elephant seals: evidence from stable isotopes in pups. Marine Mammal Science, 22(2): 326-338

-Aurioles G. D., Rodríguez P. M.Y., L. Sánchez V., M. F., Lavin. 2013. *Habitat,* trophic level, and residence of marine mammals in the Gulf of California assessed by stable isotope analysis. Marine Ecology Progress *Ser.*, 488, 275–290.

-Arce P. C. A. 2019. Efecto de la contaminación por metales pesados en *Chione undatella* (G. B. Sowerby I, 1835) del puerto minero de Santa Rosalía, Baja California Sur, México. Tesis doctorado. CICIMAR. 124pp.

-Baumgartner T., Durazo B., Lavaniegos G., Gaxiola J., Gómez J. 2008. Ten years of change from IMECOCAL observations in the southern region of the California Current Ecosystem. GLOBEC International Newletter, 14(2), 43-54.

-Barrera G. A., O'Hara T., Galván M. F., Méndez R. L.C., Castellini J.M., Zenteno S. T. 2013. Trace elements and oxidative stress indicators inthe liver and kidney of the blue shark (Prionace glauca). Comp. Biochem. Physiol.A 165, 483–490.

- Bell R., Kramer J. 1999. Structural chemistry and geochemistry of silver-sulfur compounds: Critical review. Environmental Toxicology and Chemistry, 18(1), 9-22.

-Bremner I. 1998. Manifestations of copper excess. Am J Clin Nutr.;67(5 Suppl):1069S-1073S.

-Bonfil R., De Anda F., Mena R. 1990. Shark fisheries in México: The case of Yucatán as an example. En*:* Pratt H.L., S.H. Gruber y T. Taniuchi (eds).1990. Elasmobranch as living resources: advances in the biology, ecology, systematic, and the status of the fisheries. NOAA Technical Report NMFS 90: 518 pp.

-Bouquegneau J., Joiris C. 1988. The fate of stable pollutants—heavy metals and organochlorines—in marine organisms. En: Advances in Comparative and Environmental Physiology. Arpigny, J. (Ed.). Springer, Berlin. (pp. 219-247).

-Cabrera C. C. A. A. 2000. Determinación de los hábitos alimenticios durante las estaciones primavera y verano de *Carcharhinus falciformis*, *Sphyrna lewini* y *Nasolamia velox* (Carcharhiniformes: Carcharhinidae) a partir del análisis de su contenido estomacal en el Golfo de Tehuantepec, México. Tesis de Licenciatura. UNAM. México. 63 pp.

-Cabrera C. C. A. A., Galván M. F., Escobar S. O. 2010. Food habits of the silky shark *Carcharhinus falciformis* (Muller & Henle, 1839) off the western coast of Baja California Sur, Mexico. J. Appl. Ichthyol. 26, 499–503.

-Cabrera M. C. D., Velásquez A. S., Vrhovac B. J. 2014. Enfermedades profesionales en la industria del cobre: extracción, manufactura y reciclaje. Med Segur Trab (Internet) 2014; 60 (237) 756-778.

-Camphuysen K., Vollaard B. 2016. Oil Pollution in the Dutch Sector of the North Sea. En: Oil Pollution in the North Sea. Carpenter, A. (Ed.). Springer International Publishing, Suiza. (pp. 117-140).

-Carrera F. M. 2004. Biología reproductiva del tiburón azul, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) en la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 67 pp.

-Carrera F., Martínez O. J. 2007. Aspectos reproductivos de los tiburones martillo *Sphyrna lewini* (Grifftith & Smith, 1834) y *S. zygaena* (Linnaeus, 1758) en aguas del Ecuador. Tiburones en el Ecuador: Casos de estudio, 51-56 pp.

-Carrera F. M., Galván M. F., Ceballos V. P. 2010 Reproductive biology of the blue shark *Prionace glauca* (Chondrichthyes: Carcharhinidae) off Baja California Sur, México. Aqua, International Journal of Ichthyology 16, 101–110.

- Cartamil D., Santana M. O., Escobedo O. M., Kacev D., Castillo G. L., Graham J. B., Rubin R. D., Sosa N. O. 2011. The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California, Mexico. *Fisheries Research*. 108:393-403.

-Compagno C. J. V. 1984. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of sharks species known to date. FAO Fisheries Synopsis Nº 125, 4 (1 and 2): 655 pp.

-Compagno C. J. V., Krupp F., Schneider W. 1995. Tiburones. En: Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro-Oriental, Volumen II. Vertebrados-parte 1. (eds) Fisher, W., Krupp, F., Scheneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E. y Niem, V.H. FAO: Roma. 647-218.

-CONAPESCA. 2013. Anuario estadístico de acuacultura y pesca de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. SAGARPA. 1-299.

-Conde M. M. 2005. Aspectos de la Biología Reproductiva del tiburón mako *Isurus oxyrinchus* (Rafinesque, 1810) en la costa occidental de Baja California Sur. *Tesis de Licenciatura*. UABCS. 72 pp.

-DeNiro M. J., Epstein S. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. Geochimica et Cosmochimica Acta 45, 341-353.

-De Haas H., Boer W., Van W. T. 1997. Recent sedimentation and organic carbon burial in a shelf sea; the North Sea. Geologica Ultraiectina, 155, 63.

-Domi N., Bouquegneau J. M., Das K. 2005. Feeding ecology of five commercial shark species of the Celtic Sea through stable isotope and trace metal analysis. Marine Environmental Research 60 551–569.

-Downton H. C. A. 2007. Biología del pez guitarra *Rhinobatos productus* (Ayres, 1856), en Baja California Sur, México. *Tesis de Doctorado*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, BCS, México. 194pp.

-Elorriaga V. F., Aurioles G. D. 2008.Trace Metal Concentrations in the Hair of *Zalophus californianus* Pups and their Relation to Feeding Habits. *Biol Trace Elem Res* **126,** 148–164. https://doi.org/10.1007/s12011-008-8186-8

-Endo T., Hisamichi Y., Haraguchi K., Kato Y., Ohta C., Koga N. 2008. Hg, Zn and Culevels in the muscle and liver of tiger sharks (*Galeocerdo cuvier*) from the

coastof Ishigaki Island, Japan: relationship between metal concentrations and bodylength. Mar. Pollut. Bull. 56, 1774–1780.

-Endo T., Yohsuk H., Osamu K., Yuichi K., Yoshihisa K., Chiho O., Nobuyuki K., Koichi H. 2009. Contamination levels of mercury in the muscle of female and male spiny dogfishes *(Squalus acanthias)* caught off the coast of Japan. ELSEVIER. Chemosphere 77 (2009) 1333–1337.

-Endo T., Kimura O., Ogasawara H., Ohta C., Koga N., Kato Y., Haraguchi K. 2015. Mercury, Cadmium, Zinc and Cupper concentrations and stable isotope ratios of carbon and nitrogen in tiger sharks (*Galeocerdo cuvier*) culled off Ishigaki Island, Japan. Ecological Indicators. 55:86-93.

-EPA (Environmental Protection Agency). 2000. Method 823-B-00-007. Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use In Fish Advisories. Volume 1: *Fish Sampling and Analysis.*

-Escobar S. O. 2010. Bioacumulación y biomagnificación de mercurio y selenio en peces pelágicos mayores de la costa occidental de Baja California Sur, México. *Tesis de Doctorado*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, BCS, México. 121p.

-Escobar S. O., J. Ruelas I. J. C., Patrón G., Corro E. D. 2013. Mercury levels in myliobatid stingray (Batoidea) from the Gulf of California: tissue distribution and

health risk assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*. 186 (3): 1931-1937.

-Estrada J.A., Rice A.N., Lutcavage M.E., Skomal G. B. 2003. Predicting trophic position in sharks of the north-west Atlantic Ocean using stable isotope analysis. Journal Mar. Biol. 83, 1347-1350.

-Fisk T., Tittlememier A., Pranschke L. 2002. Using anthropogenic contaminants and stable isotopes to assess the feeding ecology of Greenland sharks. *Ecology,* 83(8), pp. 2162–2172.

- Fry B. 2004. Conferencia: *Stable Isotope in Pelagic ecosystems Globec-Cliotop working group 3.* Presentación:. La paz, México. IPN-CICIMAR, LSU, CSIRO, CIAT-IATTC e IRD.

-Furness R. W. 2017. Heavy Metals in the Marine Environment. CRC press, Londres.

-Gutiérrez G. E., Pérez R. J., Muñoz B. A. 2014. Cadmio, cobre y zinc en el mejillón *Mytilus californianus* (Conrad, 1837) de la costa oeste de Baja California. Revista internacional de contaminación ambiental, 30, 285-295.

-Guzmán G. X. 2001. Toxicocinética de cadmio y daño histopatológico en ostión *Crassostrea virginica* en condiciones de ayuno y alimentación. *Tesis de maestría*. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F. 65 pp.

-Hamanaka T., Itoo T., Mishima S. 1982. Age-related change and distribution of cadmium and zinc concentrations in the Steller sea lion (*Eumetopias jubatus*) from the coast of Hokkaido, Japan. Marine Pollution Bulletin, 13(2), 57-61.

-Hernández C. 2014. Estudio de acumulación de metales pesados en los sedimentos de jaulas de peces de crianza y en puertos de la Isla de Tenerife. Tesis Doctoral. Universidad de La Laguna. España.

-Hernández A. S. B., Escobar S. O., Galván M. F., Abitia C. L. A. 2015.Trophic ecology of the blue shark (*Prionace glauca*) based on stable isotopes ($\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$) and stomach content. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, doi:10.1017/S0025315415001393.

-Hidgon J. 2003. Centro de información de micronutrientes. Instituto Linus Pauling. Universidad Estatal de Oregon.ip.oregonstate.edu/es/mic/minerales/cobre.

-Hobson K. A., Clark R. G. 1992. Assessing avian diets using stable isotopes. II: factors influencing diet-tissues fractionation. Condor 94, 189-197.

-Honda K., Sahrul M., Hidaka H., Tatsukawa R. 1983a. Organ and tissue distribution of heavy metals, and their growth-related changes in Antarctic fish, Pagothenia borchgrevinki. Agricultural and Biological Chemistry, 47(11), 2521-2532.

-Hoyos P. E. M., Ceballos V. B. P., Galván M. F. 2011. Reproductive Biology of the Silky Shark *Carcharhinus falciformis* (Chondrichthyes: Carcharhinidae) off the west coast of Baja California Sur, Mexico. aqua, International Journal of Ichthyology. 15-23 pp.

-Johnson L. E. 2018. Trastornos nutricionales: deficiencias e intoxicación por minerales, zinc. *University of Arkansas for Medical Sciences* www.msdmanuals.com/es-es/professional/trastornos-nutricionales

-Juárez R. M. 2020. Elementos químicos y su relación con isótopos estables (δ^{13}C y δ^{15}N), utilizando a la foca común (*Phoca vitulina richardii*) como bioindicador en Baja California, México. Tesis doctorado. CICESE Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 151pp.

-Kim S.L., Del Rio C.M., Casper D., Koch P. L. 2011b. Isotopic incorporation rates for shark tissues from long-term captive feeding study. J. Exp. Biol.,215(Pt14), 2495-500. doi: 10.1242/jeb.070656.

- Kiszka J., Méndez F. P., Heithaus M. R., Ridoux V. 2014. The foraging ecology of coastal bottlenose dolphins based on stable isotope mixing models and behavioural sampling. Mar Biol 161: 953−961.

-Lavín M.F., Marinone S.G. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. In: Velasco-Fuentes, O.U., et al. (Eds.), Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics. Kluwer Academic Publisher, Netherlands, pp. 173–204.

-Lemos L. S., de Moura J. F., Hauser D. R. A., de Campos R. C., Siciliano S. 2013. Small cetaceans found stranded or accidentally captured in southeastern Brazil: bioindicators of essential and non-essential trace elements in the environment. Ecotoxicol Environ Safety, 97, 166-175.

-Logan J.M., Lutcavage M. E. 2010. Stable isotpe dynamics in elasmobrach fishes.*Hydrobiología*, 644: 231-244.

- MacNeil M.A., Drouillard K. G., Fisk A. T. 2006. Variable uptake and elimination of stable nitrogen isotopes between tissues in fish. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science Vol. 63, 345-352pp.

-Mancera R. N. J., Álvarez L. R. 2006. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*. 11(1): 3-23.

-Matich P., Heithaus M. R., Layman C. A. 2011. Contrating patterns of individual specialization and trophic coupling in two marine apex depredators. J. Anim Ecol., 80(1), 294-305. doi: 10.1111/j.1365-2656.2010.01753.x.

-Maya M. C. I. 2012. Traslapo trófico del tiburón azul (*Prionace glauca*) y tiburón mako (*Isurus oxyrinchus*) capturados en la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de Licenciatura. UABCS. B.C.S. 15-40 pp.

-Maya C. I., Torres R. Y. E., Galván M. F., Aguiñiga G. S., Trasviña C. L. D. 2016. Trophic overlap between blue shark (*Prionace glauca*) and shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*): Trophic linkages between two shark species in the Eastern Pacific Ocean food web. Food webs. doi.org/10.1016/j.fooweb.2016.03.002

-Maz C. A., López V. C., Galván M. F, Escobar S. O., Rosíles M. R., Sanjuán M. A. 2011. Bioaccumulation and biomagnification of total mercury in four exploited shark species in the Baja California Peninsula, Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol*. Vol. 88(2): 129-34.

-McMeans B. C., Borgå K., Bechtol W. R., Higginbotham D., Fisk A.T. 2007. Essentialand non-essential element concentrations in two sleeper shark species collectedin arctic waters. Environ. Pollut. 148, 281–290.

-Méndez Da S. E. D. 2015. Composición isotópica de carbono y nitrógeno (δ13C y δ15N) en tejido de tiburones de la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de Maestría. CICIMAR. 121pp.

-Mendoza D. F. 2010. Determinación de metales pesados Cd, Cr, Cu y Pb en Farfantepenaeus aztecus (Ives, 1891) colectados en la laguna de Tampamachoco, Veracruz. Tesis Maestría. Universidad Veracruzana. 95pp.

-Miles A. K.., Hills S. 1994. Metals in diet of Bering Sea walrus: *Mya sp.* as a possible transmitter of elevated cadmium and other metals. Marine pollution bulletin, 28(7), 456-458.

-Moreno G. M. D. 2003. Toxicología Ambiental. Mc Graw Hill, Madrid.

-Murillo C. D. A. 2014. Bioacumulación de Mercurio, Selenio y Cadmio en rayas de al Alto Golfo de California y costa occidental de Baja California Sur. Tesis maestría .CICIMAR- IPN. Tesis 15-47 pp.

-Ochoa D. R. 2009. Espectro trófico del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) En Baja California Sur: Aplicación de δ13C y δ 15N. Tesis de Maestría. CICIMAR. 19-66 pp.

-Paez O. F., Ruiz F. A. C ., Botello A. V ., Ponce V. G ., Osuna L J. I ., Frías E. M. G ., López L. G ., Zazueta P. H. M. 2002. Concentrations of selected trace metals (Cu, Pb, Zn), organochlorines (PCBs, HCB) and total PAHs in mangrove oysters from the Pacific Coast of Mexico: an overview *Marine pollution bulletin.* 2002, Vol 44, Num 11, pp 1303-1308.

-Post D. M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position models, methods, and assumptions. Ecology. 83 (3): 703-718.

-Ramírez A. S. R. 2011. Caracterización de la pesquería artesanal de elasmobranquios en la cosa occidental de Baja California Sur, México. *Tesis de Maestría*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, BCS, México. 82p.

-Renato M. A., Salgado E., Silva C. A., Lechuga. 2003. Muerte masiva de fauna marina en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Revista de biología. 17:64-68.

- Rouleau C., Gobeil C., Tjälve H. 2000. Accumulation of silver from the diet in two marine benthic predators: the snow crab (*Chionoecetes opilio*) and American

plaice (*Hippoglossoides platessoides*). Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal, 19(3), 631-637.

-Schmiter S. J. J. 1992. Aspectos autoecológicos de los triglide (Picis: Scorpaeniformes) en la costa occidental de B. C. S. *Tesis de Maestría*. CICIMAR. 98 pp.

-Tamburin E., Kim S. L., Elorriaga V. F. R, Madigan D. J ., Hoyos P. M., Sánchez G. A., Hernández H. H., Castillo G. L., Godinez P. C.J., Galván M. F. 2019. Isotopic niche and resource sharing among young sharks (*Carcharodon carcharias* and *Isurus oxyrinchus*) in Baja California, Mexico. Mar Ecol Prog Ser 613:107-124. https://doi.org/10.3354/meps12884.

-Terrazas L. R. 2016. Mercurio y selenio en músculo e hígado de *Carcharhinus falciformis* y *Sphyrna zygaena* de la zona de Punta Lobos, Baja California Sur. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario De Ciencias Marinas CICIMAR. 49p.

-Terrazas L., R., Arreola M. L., Galván M., F., Anguiano Z. M., Sujitha S. B., Jonathan M. P. 2016. Cadmium concentration in liver and muscle of silky shark (*Carcharhinus falciformis*) in the tip of Baja California south, México. *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 107, 389-392.

-Vega B. C. 2018. Elementos potencialmente tóxicos en el tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* y sus presas en la costa sur de Jalisco. Tesis Maestría. CICIMAR. 58pp.

-Velasco T. P. M. 2005. Hábitos Alimenticios e Isótopos de ^{13}C Y ^{15}N del tiburón mako Isurus oxyrinchus (RAFINESQUE, 1810) en la Costa Occidental de Baja California Sur. Tesis Maestría. CICIMAR. 8-12pp.

-Vethaak A. D., Ap Rheinallt T. 1992. Fish disease as a monitor for marine pollution: the case of the North Sea. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2(1), 1-32.

-Wilkinson T., Wiken E., Bezaury C. J., Hourigan T., Agardy T., Herrmann H., Janishevski L., Madden C., Morgan L., Padilla M. 2009. Ecorregiones marinas de América del Norte, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal. 107-108 pp.

-Zar J. H. 1999. Biostatistical analysis, 4th edn. Prentice Hall, New Jersey. 1-1029p.