

UNIVERSIDAD DEL MAR
campus Puerto Ángel



CONCENTRACIÓN DE CADMIO (Cd) Y ARSÉNICO TOTAL (As_T) EN
MÚSCULO DE TIBURÓN ANGELITO, *Squatina californica* AYRES,
1859, DEL SUROESTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA, MÉXICO.

TESIS

Que para obtener el Título Profesional de
Licenciado en Biología Marina

Presenta

Adrián López-Arroyo

Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Oaxaca, México, 2021

RESUMEN

El arsénico (*As*) y el cadmio (*Cd*) pueden causar efectos adversos al ambiente y la salud humana. La ingesta de alimentos es la principal vía de entrada de contaminantes al organismo, destacando como fuente, los productos marinos. El tiburón angelito (*Squatina californica*) es una de las especies marinas más explotadas y de gran importancia comercial en Baja California Sur (BCS), sus características biológicas y hábitos alimenticios, en conjunto con la acumulación de metales pesados en la Bahía de La Paz, BCS, podría representar concentraciones por encima de los Límites Máximos Permisibles (LMP), lo que constituye un riesgo potencial para la salud humana. Por ende, el objetivo del presente estudio fue determinar la bioacumulación de arsénico total As_T y de *Cd* en tejido muscular del tiburón angelito. Los muestreos se realizaron en el campo pesquero El Portugués, BCS. Se obtuvieron muestras de tejido muscular antero-dorsal de los organismos (N = 64), de los cuales se registró la longitud total, sexo y estado de madurez. La concentración de As_T y *Cd* se determinó mediante Espectrometría de Masas de Alta Resolución con Plasma Acoplado Inductivamente. Los resultados muestran que las concentraciones de arsénico inorgánico (As_i) ($< 2 \mu\text{g g}^{-1}$ p.h.) y *Cd* ($< 0.5 \mu\text{g g}^{-1}$ p.h.) en el tejido muscular se encontraron por debajo de los LMP establecidos por la Agencia de Normas Alimentarias de Australia y Nueva Zelanda para As_i y las normas mexicanas para *Cd*. Lo que coincide con lo registrado para la mayoría de los elasmobranquios en otras regiones. Asimismo, de acuerdo con el coeficiente de riesgo (HQ), la presencia de *Cd* en músculo de tiburón angelito no representan un riesgo para la salud humana. En contraste, el riesgo de cáncer (CR), indica un riesgo. Sin embargo, se concluye que las concentraciones de ambos elementos en el tejido muscular del tiburón angelito no representan un riesgo para la salud y, puede ser comercializado y consumido con seguridad bajo las condiciones especificadas en este estudio.

Palabras claves: Elementos tóxicos, bioacumulación, elasmobranquios, Squatinidae, HR-ICP-MS.

ABSTRACT

Arsenic (*As*) and cadmium (*Cd*) can have adverse effects on the environment and human health. Food ingestion, especially of marine products, is the main entryway of pollutants into organisms. The Pacific angelshark (*Squatina californica*) is one of the most exploited marine species and of great commercial importance in Baja California Sur (BCS). Its biological characteristics and feeding habits, along with accumulation of heavy metals in La Paz Bay, BCS, could lead to it having heavy metal concentrations above maximum permissible limits (MPL), which could constitute a potential risk to human health. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the total *As_T* and *Cd* bioaccumulation in the muscle tissue of Pacific angelsharks. Samplings were carried out at the fishing camp El Portugués, BCS. Muscle samples (N = 64) were obtained from the antero-dorsal region of specimens. The total length, sex, and sexual maturity state were recorded. The *As_T* and *Cd* concentrations were measured with inductively coupled plasma high-resolution mass spectrometry. Results showed that inorganic arsenic (*As_i*) ($< 2 \mu\text{g g}^{-1}$ p.h.) and *Cd* ($< 0.5 \mu\text{g g}^{-1}$ p.h.) concentrations in muscle tissue were below MPL established by Food Standards Australia New Zealand for *As_i* and below Mexican standards for *Cd*. This coincides with what has been recorded for most elasmobranchs in other regions. According to the risk coefficient (RC), the presence of *As_T* and *Cd* in Pacific angelshark muscle tissue does not represent a risk to human health. On the other hand, the cancer risk (CR) was higher. However, we conclude that the concentrations of these two elements in the muscle tissue of Pacific angelsharks do not represent a risk to human health and this shark can be commercialized and consumed safely under the conditions specified in this study.

Keywords: Toxic elements, bioaccumulation, elasmobranchs, Squatinidae, HR-ICP-MS.

DEDICATORIA

La presente tesis la dedico a todos mis seres queridos, quienes a pesar de todos los obstáculos que he tenido en el camino, han seguido a mi lado y que sin ellos no lo hubiese logrado.

A mi mamá *Laura Carolina Arroyo Salamanca* que siempre depositaste en mi toda tu confianza y me has motivado mucho, que me has ayudado con tus consejos, comprensión, sacrificio y tu gran amor.

A mi papá *Luis Guillermo López de la Torre*, por tu gran apoyo y paciencia a pesar de que muchas veces el panorama no parecía ser el mejor. Gracias por todo el esfuerzo y sacrificios que hiciste para poder brindarme la oportunidad de alcanzar este sueño.

A mis hermanos *Carolina López Arroyo* y *Santiago López Arroyo*, que a pesar de la distancia siempre han estado para mi motivándome y confiando en que podría lograr este sueño.

A mi esposa *Ana Laura Arancivia González* por brindarme tu apoyo, amor y motivación para esforzarme cada día más para poder lograr este objetivo, y quien junto con mi hija *Rebeca López Arancivia* son mi motor en la vida y me hacen querer ser mejor y seguir esforzándome cada día más.

A mis abuelitos *Inocencio López y Roque, María Josefina de la Torre Sánchez, Carlos Arroyo Escalera* y *María de Lourdes Salamanca Montes*, quienes junto con el resto de mi familia siempre me han apoyado en todos los aspectos y quienes han creído en mí.

AGRADECIMIENTOS

A mis directoras de tesis Dra. Ofelia Escobar Sánchez y a la M. en C. Ana María Torres Huerta, quienes con su guía, conocimiento, consejos, apoyo y financiamiento hicieron posible llevar a cabo este proyecto.

A mi comité revisor M. en C. Karla Guadalupe Sánchez Osuna, Dr. Gerardo Martínez Villa y Dr. Edgar Cruz Acevedo por su apoyo y observaciones, las cuales sirvieron para mejorar y complementar esta tesis.

Al Dr. Pedro Cervantes Hernández, por su apoyo en el análisis estadístico e interpretación de los datos.

A la Universidad del Mar, campus Puerto Ángel, por la formación académica brindada, así como a cada uno de los profesores por su dedicación, aporte de conocimientos y experiencia.

A la M. en C. Karla Guadalupe Sánchez Osuna (ITMAZ) por todo el apoyo brindado en el trabajo de laboratorio realizado, así como por el conocimiento que obtuve de su parte.

A mis mejores amigos (Ana, Nayib, María, Adair y Mitzi), por estar siempre ahí para mí, aunque algunos a la distancia, en los buenos y malos momentos, y por darme su apoyo.



Esta tesis fue financiada por el proyecto **CONACYT N° 255687** de la convocatoria CB-2015 (Responsable Técnico: Dra. Ofelia Escobar Sánchez, Catedrática **CONACYT. FACIMAR-UAS**).



ÍNDICE

| | Página |
|---|--------|
| Índice de tablas | i |
| Índice de figuras | ii |
| 1. Introducción | 1 |
| Metales pesados..... | 1 |
| Arsénico y Cadmio..... | 4 |
| Pesquería del tiburón angelito | 6 |
| 2. Antecedentes..... | 8 |
| 3. Justificación | 12 |
| 4. Hipótesis | 14 |
| 5. Objetivos..... | 15 |
| Objetivo general..... | 15 |
| Objetivos particulares | 15 |
| 6. Material y métodos..... | 16 |
| Área de estudio..... | 16 |
| Trabajo de campo..... | 17 |
| Lavado del material del laboratorio..... | 18 |
| Procesamiento de muestras | 19 |
| Determinación de las concentraciones de As y Cd en tejido muscular .. | 21 |
| Material de Referencia..... | 22 |
| Tratamiento de los datos | 22 |
| Análisis estadístico de los datos | 23 |
| Modelo de Regresión Neuronal L_T vs As_T | 23 |
| Modelo de Regresión Neuronal L_T vs Cd..... | 25 |
| Evaluación de riesgo a la salud humana | 26 |
| Evaluación de riesgo de Cáncer (CR)..... | 26 |
| Consumo Máximo Posible de Pescado | 27 |
| 7. RESULTADOS..... | 28 |
| Validación de los resultados | 29 |
| Concentración de As en tejido muscular de <i>S. californica</i> | 29 |
| Concentración de Cd en tejido muscular de <i>S. californica</i> | 33 |

| | | |
|-----|--|----|
| | Relación entre la L_T y la bioacumulación de As_T (resultado de la simulación con redes neuronales modelo mRN-1) | 35 |
| | Relación entre la L_T y la bioacumulación de Cd (resultado de la simulación con redes neuronales modelo mRN-2) | 36 |
| | Evaluación del riesgo a la salud humana..... | 37 |
| | Evaluación de riesgo de cáncer..... | 38 |
| | Consumo Máximo Posible de Pescado | 39 |
| 8. | Discusión | 40 |
| | Concentración de As en tejido muscular..... | 40 |
| | Concentración de Cd en tejido muscular de <i>S. californica</i> | 44 |
| | Relación entre la L_T y la bioacumulación de As_T y Cd..... | 47 |
| | Evaluación de riesgo a la salud humana | 48 |
| | Consumo Máximo Posible de Pescado | 49 |
| 9. | Conclusiones | 51 |
| 10. | Referencias..... | 54 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Porcentajes de recuperación de As y Cd en el material de referencia (DORM-4)..... | 29 |
| Tabla 2. Concentración de As_i ($\mu g\ g^{-1}$ con base en peso húmedo) de acuerdo con varios factores de conversión en tejido muscular de <i>S. californica</i> | 30 |
| Tabla 3. Concentraciones promedio, mínima y máxima de arsénico total (As_T) para <i>S. californica</i> | 32 |
| Tabla 4. Concentraciones promedio, mínima y máxima de cadmio (Cd) en tejido muscular de <i>S. californica</i> | 35 |
| Tabla 5. Valores de riesgo de cáncer por contenido de As_i en tejido muscular de <i>S. californica</i> para hombre, mujer y niño con base en varios factores de conversión de As_T en As_i | 38 |
| Tabla 6. Consumo Máximo Posible de Pescado (MPCF) por semana de tejido muscular de <i>S. californica</i> . BW: Peso corporal..... | 39 |
| Tabla 7. Tabla comparativa de concentraciones de arsénico inorgánico (As_i) entre <i>S. californica</i> y otras especies de elasmobranquios de distintas regiones.. | 41 |
| Tabla 8. Tabla comparativa de concentraciones de cadmio (Cd) entre <i>S. californica</i> y otras especies de elasmobranquios de distintas regiones..... | 45 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Traslape y clasificación de los elementos no metales, metales, metaloides, oligoelementos y metales pesados (Modificado de Osuna-Martínez 2012)..... | 2 |
| Figura 2. Tiburones angelito desembarcados en el campamento pesquero El Portugués, La Paz, Baja California Sur (Foto: Escobar-Sánchez, Ofelia). | 7 |
| Figura 3. Campamento pesquero El Portugués, La Paz, Baja California Sur.... | 17 |
| Figura 4. Medida de la longitud total en el tiburón angelito, <i>Squatina californica</i> (Foto: Escobar-Sánchez, Ofelia)..... | 18 |
| Figura 5. Baños de HCl 2M y HCO ₃ 2M para la limpieza del material empleado en este estudio. | 19 |
| Figura 6. Liofilizadora LABCONCO modelo Freezone 6..... | 20 |
| Figura 7. Digestión de las muestras dentro de frascos SAVILLEX en planchas de calentamiento a 120°C. | 20 |
| Figura 8. Equipo de análisis HR-ICP-MS Element XR utilizado para la determinación de la concentración de Cd y As _T | 21 |
| Figura 9. Código del modelo de Regresión Neuronal LT vs As _T de las variables físicas. | 24 |
| Figura 10. Código del modelo de Regresión Neuronal LT vs As _T de las variables físicas. | 25 |
| Figura 11. Intervalos de frecuencia de talla de tiburón angelito del sureste del Golfo de California. | 28 |
| Figura 12. Concentraciones de As _T (µg g ⁻¹ p.h.) en el tejido muscular de machos y hembras de <i>S. californica</i> . Se muestra para cada sexo la mediana (□), donde se encuentran del 25% al 75% de los valores (□), las concentraciones mínima y máxima (⊥) y los valores para cada organismo (○)..... | 31 |
| Figura 13. Concentraciones de As _T (µg g ⁻¹ p.h.) en el tejido muscular de adultos y juveniles de <i>S. californica</i> . Se muestra para cada estado de madurez | |

la mediana (\square), donde se encuentran del 25% al 75% de los valores (\square), las concentraciones mínima y máxima ($\bar{\Gamma}$) y los valores para cada organismo (\circ)..... 32

Figura 14. Concentraciones de Cd ($\mu\text{g g}^{-1}$ p.h.) en el tejido muscular de hembras y machos de *S. californica*. Se muestra para cada sexo la mediana (\square), donde se encuentran del 25% al 75% de los valores (\square), las concentraciones mínima y máxima ($\bar{\Gamma}$) y los valores para cada organismo (\circ)..... 33

Figura 15. Concentraciones de Cd ($\mu\text{g g}^{-1}$ p.h.) en el tejido muscular de juveniles y adultos de *S. californica*. Se muestra para cada sexo la mediana (\square), donde se encuentran del 25% al 75% de los valores (\square), las concentraciones mínima y máxima ($\bar{\Gamma}$) y los valores para cada organismo (\circ)..... 34

Figura 16. Resultado de la simulación mediante redes neuronales para la relación entre las concentraciones de AsT ($\mu\text{g g}^{-1}$ p.h.) en músculo y la L_T (cm) de *S. californica* (modelo mRN-1)..... 36

Figura 17. Resultado de la simulación mediante redes neuronales para la relación entre las concentraciones de Cd ($\mu\text{g g}^{-1}$ p.h.) en músculo y la L_T (cm) de *S. californica* (modelo mRN-2)..... 37