UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

CONCENTRACIÓN DE MERCURIO TOTAL (Hg-T) DE *Trachemys c. callirostris* EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS SINÚ Y SAN JORGE, EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA, COLOMBIA

Biol. Yadira Mosquera Martínez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas, Departamento Geociencias y Medio Ambiente.
Medellin, Colombia
2017

CONCENTRACIÓN DE MERCURIO TOTAL (Hg-T) DE *Trachemys c. callirostris* EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS SINÚ Y SAN JORGE, EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA, COLOMBIA

Biol. Yadira Mosquera Martínez

Tesis presentada (o) como requisito parcial para optar al título de:

MAGISTER EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Director:
(Dr.) Joan Gastón Zamora Abrego

Codirectores:
(Dr.) Rafael Eduardo Arango Isaza
(MSc.) Santiago Monsalve Buriticá

Línea de Investigación:
Conservación
Grupo de Investigación:
Grupo de Ecología y Conservación de Fauna Silvestre

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas, Departamento Geociencias y Medio Ambiente.
Medellin, Colombia
2017

(A Dios, a Jesucristo y al Espíritu Santo)

Agradecimientos

Agradezco principalmente a Dios, por ser mi soporte, mi refugio, mi protector y fortaleza en todo momento.

Al Sr. Joan Gastón Zamora: Al científico y al maestro, expreso mi más profundo respeto y admiración. A la persona; mi afecto, lealtad y compromiso.

A mis codirectores: Rafael Arango y Santiago Monsalve por sus conocimientos.

A mis padres, Leyla Martínez (eres mi mejor ejemplo, mi mayor orgullo, te amo madre) y Jorge Mosquera, por siempre apoyarme y confiar en mí en todo momento.

A mis madrinas Sol Martínez y Luzmila Martínez, por ser mi apoyo y fortaleza espiritual y no permitir que dejara de lucha por mis objetivos, a mi padrino Luvin Martínez, los quiero mucho.

A mi amigo Wilver Muriel, gracias por tus conocimientos y dedicación, principalmente por tu amistad.

A mis hermanos Yurleidys y Jorge Mosquera, a mi amor bonito: mi ahijada que me llenaba el corazón de alegría en momentos que lo necesitaba, a mi prima Carolina Mosquera.

A mis grandes amigas de luchas, hermanas elegidas a Kelly Ayala, Erika Aguilar y Deisy Aguilar.

A mi amigo Harley Quinto…

A todas las personas que de una u otra manera hicieron parte de este proceso, de ayudarme a crecer como persona, mujer, ser humano, profesional y académica.

A todos mil gracias, que Dios los bendiga por toda la eternidad!!

A las becas regionales “formación de capital humano de alto nivel para el departamento del Chocó, a Colciencias.

Al Zoológico Santa Fe de Medellín, y al Doctor Darwin Ruiz por el apoyo y permiso institucional en la toma de las muestras.

A la Convocatoria del Programa Nacional de Proyectos para el fortalecimiento de la Investigación, la creación y la innovación en Posgrados de la Universidad Nacional de Colombia 2013-2015, y a la convocatoria externa de proyectos de investigación de mediana cuantía de la Corporación Universitaria Lasallista.

Resumen

En Colombia, la minería es una actividad de gran importancia económica, sin embargo, en la mayoría de los casos es realizada sin cumplir las normas, criterios ambientales, y ecológicos, vigentes en el país. Una de las consecuencias de esta actividad asociada a la explotación de los recursos metálicos, es la producción de grandes cantidades de residuos que generan focos de emisión de los contaminantes, los cuales pueden contener elementos potencialmente tóxicos (EPTs), como los metales pesados. En la presente investigación se determinó las concentraciones de mercurio total (Hg-T) en la tortuga hicotea del Caribe *(Trachemys c. callirostris)*, en los ríos Sinú y San Jorge en el departamento de Córdoba. Se tomaron muestras de sangre durante los meses de abril, mayo, junio y septiembre del 2014; y tejido interdigital en los meses de julio y agosto del 2016. Adicionalmente, se incluyeron muestras del parque zoológico Santa Fe de la ciudad de Medellín- Antioquia, como control negativo. Las muestras fueron procesadas por medio de espectrometría de absorción atómica por vapor frío. No se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de Hg-T entre hembras y machos. Existió una relación entre las concentraciones de Hg-T y el peso de *(Trachemys c. callirostris)* en tejido interdigital en el río Sinú (r^2 = 0.65, p=0.00), por el contrario en el río San Jorge no hubo correlación entre las concentraciones de Hg-T en tejido interdigital y el peso de la hicotea (r^2= 0.68, p=0.06). Se evidenció una ausencia de correlación en sangre con esta misma variable (r^2 = 0.078, p=0.66), (r^2 = 0.163, p=0.26) en los ríos Sinú y San Jorge respectivamente. Los niveles de las concentraciones de Hg-T en la muestras de sangre fueron inferiores en la parte baja de los ríos Sinú y San Jorge, para las muestras de tejido interdigital se observó el efecto contrario los niveles más altos se reportaron en la zona baja del río Sinú, en el San Jorge no fue posible hacer una inferencia, debido a que se muestreo una localidad. Se evidenciaron diferencias significativas en las muestras de sangre de *Trachemys c. callirostris* en el río San Jorge y en las de tejido interdigital en el río Sinú, por el contrario, en las muestras de sangre en el río Sinú no se observaron diferencias. Los niveles promedios

de Hg fueron relativamente bajos clasificándolas en el rango de contaminación por Hg de 0-120 ppb, tanto en la cuenca del río Sinú como en el San Jorge (carne de hicotea) según los límites establecido por la EPA.

Palabras clave: Mercurio, Tortuga, Sinú, San Jorge, EPA.

Abstract

In Colombia, mining is an activity of great economic importance, however, in most cases it is carried out without complying with the standards, environmental and ecological criteria in force in the country. One of the consequences of this activity associated with the exploitation of metallic resources is the production of large amounts of waste that generate emission sources of pollutants, which may contain potentially toxic elements (EPTs), such as heavy metals. In the present investigation, the concentrations of total mercury (Hg-T) in the Caribbean slider turtle *(Trachemys c. Callirostris)* were determined in the Sinú and San Jorge rivers in the department of Córdoba. Blood samples were taken during the months of April, May, June and September of 2014; and interdigital tissue in the months of July and August of 2016. In addition, samples of the Santa Fe zoo of the city of Medellín-Antioquia were included as negative control. There was a relationship between the concentrations of Hg-T and the weight of (*Trachemys c. Callirostris)* in interdigital tissue in the Sinú river (r^2 = 0.65, p = 0.001), whereas in the San Jorge river there was no correlation Between the concentrations of Hg-T in interdigital tissue and the weight of the hicotea (r^2 = 0.68, p = 0.06). There was an absence of blood correlation with this same variable (r^2 = 0.078, p = 0.662), (r^2 = 0.163, p = 0.264) in the Sinú and San Jorge rivers respectively. Levels of Hg-T concentrations in the blood samples were lower in the lower Sinú and San Jorge rivers; for interdigital tissue samples the opposite effect was observed, the highest levels were reported in the lower Sinú river, in the San Jorge it was not possible to make an inference, because a locality was sampled. Significant differences were evidenced in blood samples *Trachemys c. callirostris* in the San Jorge river and in the interdigital tissue in the Sinú River, in contrast, in the blood samples in the Sinú River no differences were observed. The average levels of Hg were relatively low, classifying them in the range of Hg contamination of 0-120 ppb, both in the Sinú river basin and in San Jorge (hicotea meat) according to the limits established by the EPA.

Keywords: Mercury, Turtle, Sinú, San Jorge, EPA.

Contenido

Lista de figuras 13
Lista de tablas 14
Lista de anexos 15
1. INTRODUCCIÓN 16
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 19
1.2 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN 21
1.3 ANTECEDENTES 22
1.4 OBJETIVOS 27
1.4.1 Objetivo general 27
1.4.2 Objetivos específicos 27
2 MARCO TEÓRICO 28
2.1 Conceptos básicos 28
2.1.1 Mercurio 28
2.1.2 Mercurio elemental 28
2.1.3 El mercurio inorgánico 28
2.1.4 Mercurio orgánico 29
2.1.5 Propiedades del mercurio 29
2.1.6 Ciclo del mercurio 29
2.1.7 Fuentes de exposición 30
2.1.8 Principales fuentes de liberación de mercurio 30
2.1.9 Acumulación de mercurio.- 31
2.1.10 Bioacumulación y biomagnificación.- 31
2.1.11 Concentraciones de mercurio en los tejidos 32
2.2 Tortuga hicotea (Trachemys c. callirostris). 32
2.3 Mercurio en humanos 34
3. METODOLOGÍA 36

3. 1 Materiales y Métodos 36
3.1.1 Área de estudio 36
3.1.2 Muestreo en Campo 38
3.1.3 Análisis de Laboratorio 39
3.1.4 Límite diario de consumo basado en el riesgo 40
3.1.5 Límite mensual de consumo basado en el riesgo 40
3.1.6 Análisis Estadístico 42
4. RESULTADOS 43
4.1. Niveles de la concentración de mercurio en sangre en la tortuga hicotea del Caribe *(Trachemys c. callirostris),* en los sitios de muestreos en los ríos Sinú y San Jorge. 44
4.2 Niveles de la concentración de mercurio en tejido interdigital en la tortuga hicotea del Caribe *(Trachemys c. callirostris),* en los sitios de muestreos en los ríos Sinú y San Jorge 46
4.3 Diferencias en las concentraciones de mercurio en sangre en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge 49
4.4 Diferencias en las concentraciones de mercurio en tejido en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge 50
4.5 Diferencias entre las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge en sangre de Trachemys c. callirostris 51
4.6 Diferencias entre las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge en tejido interdigital de Trachemys c. callirostris 51
4.7 Tasa máxima permisible del consumo mensual de carne de hicotea proveniente de los ríos Sinú y San Jorge, Córdoba 52
5 DISCUSIÓN 53
5.1 Relación en las concentraciones de Hg-T en función del sexo 53
5.2 Correlación de las concentraciones de Hg-T en sangre y tejido interdigital, en función del tamaño de los individuos 53
5.3 Niveles de la concentración de mercurio en sangre de *Trachemys c. callirostris* en las localidades de los ríos Sinú y San Jorge 55

5.4 Niveles de la concentración de mercurio en tejido interdigital de *Trachemys c. callirostris* en las localidades de los ríos Sinú y San Jorge 57
5.5 Diferencias en las concentraciones de mercurio en sangre en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge 58
5.6 Diferencias en las concentraciones de mercurio en tejido en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge 59
5.7 Diferencias entre las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge en sangre de Trachemys c. callirostris 59
5.8 Diferencias entre las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge en tejido interdigital de Trachemys c. callirostris 60
5.9 Límite de consumo mensual de carne de hicotea proveniente de los ríos Sinú y San Jorge, Córdoba 61
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 63
6.1 Conclusiones 63
6.2 Recomendaciones 63
7. REFERENCIAS 64

Lista de figuras

Figura 1. Localización del área de estudio en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge. 37

Figura 2. Patrón de concentración de Hg-T (µg/Kg) en sangre en la tortuga hicotea del Caribe (*Trachemys c. callirostris*), en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge, en el departamento de Córdoba. Se muestra por localidad el promedio ± el error estándar de las concentraciones de mercurio. 45

Figura 3. Patrón de las concentraciones de mercurio en sangre de *Trachemys c. callirostris* sobre las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge. 46

Figura 4 Patrón de concentración de Hg-T (µg/Kg) en tejido en la tortuga hicotea del Caribe (*Trachemys c. callirostris*), en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge, en el departamento de Córdoba. Se muestra por localidad el promedio ± el error estándar de las concentraciones de mercurio. 48

Figura 5. Patrón de las concentraciones de mercurio en tejido de *Trachemys c. callirostris* sobre las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge. 49

Figura 6. Concentración de Hg-T en sangre de *Trachemys c. callirostris* para las localidades de la cuenca del río San Jorge. 50

Figura 7. Concentración de Hg-T en tejido interdigital de *Trachemys c. callirostris* para las localidades de la cuenca del río Sinú. 51

Figura 8 Concentración de Hg-T. Diferencias entre las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge en tejido interdigital de *Trachemys c. callirostris*. 52

Lista de tablas

Tabla 1. Concentración de Hg (µg/Kg) en especies de tortugas marinas y de río en diferentes lugares. 22

Tabla 2. Datos de campo en las localidades de los ríos Sinú y San Jorge en muestras de sangre de la tortuga hicotea del Caribe *(Trachemys c. callirostris).* 38

Tabla 3. Datos de campo en las localidades de los ríos Sinú y San Jorge en muestras de tejido interdigital de la tortuga hicotea del Caribe *(Trachemys c. callirostris).* 39

Tabla 4. Límites mensuales de consumo de carne (hicotea) contaminado con Hg (EPA, 2000). 41

Tabla 5. Concentraciones de mercurio en sangre y tejido de *Trachemys c. callirostris*, en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge, en el departamento de Córdoba. 43

Tabla 6. Límite de consumo diario y mensual de carne de hicotea para cada localidad en los ríos Sinú y San Jorge. 52

Lista de anexos

Anexo 1. Base de datos de *Trachemys c. callirostris* en muestras de sangre de las cuencas de los río Sinú y San Jorge. 75

Anexo 2. Base de datos de *Trachemys c. callirostris* en muestras de tejido interdigital de las cuencas de los río Sinú y San Jorge. 78

Anexo 3. Base de datos de *Trachemys c. callirostris* en muestras de sangre del zoológico Santa Fe de Medellin. 80

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, la minería es una actividad de gran importancia económica, sin embargo, en la mayoría de los casos es realizada sin cumplir las normas, criterios ambientales, y ecológicos, vigentes en el país. Una de las consecuencias de esta actividad asociada a la explotación de los recursos metálicos, es la producción de grandes cantidades de residuos que generan focos de emisión de los contaminantes, los cuales pueden contener elementos potencialmente tóxicos (EPTs), como los metales pesados (Calao & Marrugo, 2015). En el país, existen numerosos ríos de agua dulce que reciben descargas directas de mercurio (Hg), tanto en sus formas químicas elementales como metiladas (después de la cianuración), procedentes de áreas de explotación ilegal y legal de minerías auríferas artesanales (Marrugo & Negrete, 2011). Sin embargo, las fuentes únicas de contaminación no siempre son fáciles de identificar ya que los ríos también reciben vertimientos de aguas residuales urbanas e industriales (García *et al.,* 2009), además de los insumos del suelo causados por la deforestación generalizada. Es por ello que durante la década de los 70's, inició un fuerte interés en conocer las concentraciones de contaminantes tóxicos persistentes en aguas, sedimentos, vegetación acuática, peces y reptiles (Mancera & Álvarez, 2006), con el fin de determinar los niveles de exposición a los que pueden estar sometidas las especies receptoras y sus hábitat.

En el departamento de Córdoba, los ríos Sinú y San Jorge, constituyen unos de los recursos hídricos de mayor interés, debido a su importancia económica y ecológica (Madero, 2011); lo que ha llevado al desarrollo de proyectos hidroeléctricos, urbanos, agrícolas, acuícolas y pecuarios de gran relevancia (Marrugo & Negrete, 2011). En esta región, varias investigaciones han estado orientadas a conocer las concentraciones de metales pesados en peces, reptiles, sedimentos y en recursos hidrobiológicos (Marrugo *et al.,* 2007; Feria *et al.,* 2010; Gracia *et al.,* 2010; Marrugo *et al.,* 2015), donde el metal de mayor importancia y objeto de estudio es el mercurio, debido a que tiene un mayor

efecto sobre los sistemas naturales, desde nivel individual hasta ecosistémicos (Marrugo *et al.,* 2015). Éste se encuentra presente en el ambiente debido a fuentes naturales y antropogénica, por lo que está prácticamente en todos los niveles tróficos, donde ejercen una serie de presiones importantes y complejas en los organismos vivos, causando daños irreversibles a la biota acuática y terrestre (Uryu *et al.,* 2001; Calao & Marrugo, 2015). Es por ello que en los últimos años se ha venido estudiado la circulación del mercurio y el metilmercurio en diferentes fuentes hídricas del departamento de Córdoba, utilizando diferentes indicadores ecosistémicos, dando como resultado los cambios de concentraciones en la detección del mercurio en las diferentes matrices, indicando así la persistencia y estabilidad de este metal en el ambiente (Marrugo *et al.,* 2007; Marrugo *et al.,* 2008; Feria *et al.,* 2010; Madero, 2011; Marrugo & Negrete, 2011).

Organismos como los reptiles no se escapan de la emanación directa e indirecta del mercurio, en Colombia el consumo tradicional de la tortuga hicotea (porción en gramos) no ha sido reportado, sin embargo se tiene estimado que podría estar cercano a los 250 gramos de carne y subproductos por porción (Martínez & Arias, 2004), este alimento se extrae principalmente en temporada de cuaresma y semana santa, siendo representativo el consumo los viernes desde los meses de enero a abril (López & Restrepo, 2016). Las personas que consumen este tipo de organismos pueden estar en riesgo de presentar algún tipo de afectación a la salud por superar los niveles mínimos permisibles. La *Environmental Protection Agency* de los Estados Unidos (EPA) ha elaborado avisos de consumo de pescado basados en una dosis de consumo de referencia (R_fD) para el mercurio de 1×10^{-4} mg/kg día (EPA, 2000). Dado que la R_fD son estimaciones con factores de incertidumbre construidos, las exposiciones recomendadas varían entre agencias. Por ejemplo, la Agencia de Tóxicos y el Registro de Enfermedades de Estados Unidos (ATSDR) ha establecido un nivel de riesgo mínimo (MRL) de 3×10^{-4} mg/Kg día (ATSDR, 1999). Este MRL que se considera "seguro" para todas las poblaciones potencialmente expuestas es 2 veces mayor que los niveles establecidos por la EPA, y más cercano a la dosis semanal tolerable de 1.6

µg/kg/semana establecida por la *Food and Drug Administration* (FDA) *y la World Health* (FDA, 2012).

Para simplificar las pautas, la EPA y la FDA han recomendado que los grupos sensibles como niños y mujeres embarazadas o lactantes eviten completamente los peces con concentraciones en los tejidos por encima de 1 ppm de Hg, y todos los demás grupos deberían evitar el consumo de alimentos con concentraciones de Hg superiores a 1,9 ppm (EPA, 2000; FDA, 2012). Se han establecido límites mensuales de consumo para concentraciones inferiores a 1,9 ppm, basadas en estimaciones estándar de la porción de la comida y el peso corporal del consumidor (Green *et al.,* 2010). Con base en dichas directrices y umbrales específicos, se han realizado estudios sobre el riesgo en una variedad de especies de tortugas vendidas para consumo humano (Green *et al.,* 2010).

La información sobre el estado demográfico de las poblaciones de la hicotea es completamente inexistente, pero los relatos anecdóticos sobre las extracciones locales y el declive de sus poblaciones debido a la sobreexplotación, justifica que la especie sea incluida en el estatus "Vulnerable" de la Lista Roja de la UICN (Martínez & Arias, 2004; Bock *et al.,* 2010). Numerosas especies de tortugas se venden anualmente para el consumo humano *(Chelodina parkeri, Chinemys reevesi, Cuora amboinensis, Malaclemys terrapin, Pelochelys cantorii, Rhinoclemmys pulcherrima manni, Siebenrockiella crassicollis Heosemys spinosa).* En Colombia el consumo de *Trachemys c. callirostris* es parte de la cultura local en las zonas costeras del norte del país (Martínez & Arias, 2004), es por ello que existe la necesidad de determinar los niveles de Hg en la tortuga hicotea empleando métodos menos invasivos (sangre y tejido interdigital), que pueden dar información del comportamiento de este metal y de esta manera poder contribuir a la permanencia espacio temporal de esta especie.

Para algunas especies de tortugas, se ha encontrado una buena correlación entre la concentración de Hg en sangre con las de músculo, hígado y riñón, lo que sugiere que

este tipo de muestra podrían ser utilizadas como bioindicadores de acumulación de mercurio en órganos internos (Golet & Haines, 2001; Day *et al.,* 2007; Camacho, 2013, esto es importante porque si la sangre es representativa de las concentraciones de Hg en los tejidos comestibles podría utilizarse como indicador de la exposición al igual que otros tipos de muestras (tejidos comestibles). Las concentraciones en músculo se han encontrado generalmente de 4 a 5 veces mayor que las concentraciones en sangre (Zapata, 2014).

En este sentido, el objetivo principal de este trabajo fue determinar las concentraciones de mercurio total (Hg-T) en la tortuga hicotea del Caribe *(Trachemys c. callirostris)*, provenientes de los ríos Sinú y San Jorge en el departamento de Córdoba, debido a la constante emanación y vertimientos de contaminantes ambientales y a la incidencia del Hg en ambas cuencas.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los principales sistemas con mayor contaminación de mercurio en nuestro país han sido los sistemas lóticos y lénticos, proveniente de fuentes naturales y antropogénicas, principalmente la minería artesanal e industrial que ha conllevado a la contaminación en diferentes sistemas ambientales (Marrugo & Negrete, 2011). El Hg es un metal pesado con mayor impacto sobre el medio ambiente, por lo que se considera como un contaminante global (Argumedo *et al.,* 2015).

Este metal constituye un elemento no esencial para la vida y se encuentra presente en la naturaleza debido a fenómenos geológicos que participan en su liberación al ambiente, como el vulcanismo, desgasificación de la corteza terrestre y la erosión del suelo (Porvari, 2003). Su variado empleo en la industria y agricultura durante los últimos años ha permitido que sus niveles se eleven considerablemente, y que gracias a la metilación ha permitido que el mercurio, en forma de metilmercurio (CH_3Hg), pueda atravesar las membranas biológicas logrando su incorporación en la cadena trófica

(Mancera & Álvarez, 2006). La conversión de mercurio inorgánico a la forma orgánica del CH_3Hg es significativa, ya que esta forma es la más hostil en cuanto a su toxicidad, por lo que es bioacumulado y biomagnificado a lo largo de la cadena trófica (Gray, 2002).

El Hg y los compuestos con el que se combina, son altamente tóxicos, en particular para el desarrollo del sistema nervioso humano (Gracia *et al.,* 2016). Entre sus efectos tóxicos se reporta daño cerebral, renal y pulmonar (Fernandes *et al.,* 2012). Adicionalmente el envenenamiento con este metal puede generar diversas enfermedades como lo son acrodinia (enfermedad rosada), el síndrome de Hunter-Russell y la enfermedad de Minamata (Jiménez, 2005). El tipo y grado de los síntomas dependen de la concentración o la cronicidad de la exposición (ATSDR, 1999; FDA, 2012).

Las tortugas son buenos indicadores potenciales de exposición a contaminantes persistentes debido a sus características fisiológicas y ecológicas. Estos reptiles de ciclos de vida largo ocupan una amplia gama de niveles tróficos en los sistemas acuáticos. Debido a que pueden absorber el mercurio de la atmosfera por medio de la exposición pulmonar a través de la inhalación, o a partir de elementos dietarios o sedimentos por medio de la absorción gastrointestinal, o directamente del agua por medio de ingestión oral, así como la absorción cloacal para el balance de la respiración y la absorción transdérmica (de Solla *et al.,* 2008); lo que promueve el intercambio de energía a lo largo de diferentes niveles tróficos de estos sistemas, y por lo tanto las hace susceptibles a la bioacumulación del mercurio (de Solla *et al.,* 2008; Zapata, 2014).

1.2 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Pregunta:

¿Cuáles son los niveles de las concentraciones del mercurio en *Trachemys c. callirostris* provenientes de las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge, en el departamento de Córdoba?

Hipótesis:

Dada a la constante contaminación e incidencia de mercurio en el río San Jorge, se espera que los niveles de las concentraciones de Hg en *Trachemys c. callirostris* sean mayores que los ejemplares provenientes del río Sinú.

Pregunta:

¿Cuál es la tasa máxima de consumo mensual permisible de carne de la hicotea del Caribe, proveniente de las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge en el departamento de Córdoba?

Hipótesis:

Dado que las hicoteas son organismos de lento crecimiento y de ciclos de vida largo, se espera que los niveles de las concentraciones de mercurio estén por encima del umbral establecido por la EPA y la FDA que es de 1,9 ppm.

1.3 ANTECEDENTES

El mercurio es uno de los metales con mayor impacto sobre los ecosistemas acuáticos, investigaciones previas han reportado que sus niveles han aumentado considerablemente desde el inicio de la era industrial (ATSDR, 2004; Lubick, 2009). Actualmente está en todo el planeta convirtiéndose en un problema ambiental, debido a su toxicidad y biodisponibilidad en diversas fuentes y alimentos, en niveles perjudiciales para los seres humanos y la vida silvestre (Gracia *et al.,* 2010;Luo *et al.,* 2011; Gao *et al.,* 2012). Cabe señalar que las diversas actividades humanas han contribuido a elevar significativamente las emisiones de mercurio en la biosfera (Mesquidaz *et al.,* 2013). Debido a los altos niveles de contaminación por Hg varios estudios en diversas partes del mundo, han estado orientados a conocer los niveles de las exposiciones a los que pueden estar sometidas las especies receptoras y/o centinelas, entre los que se destacan el realizado por (Godley, 1999; Páez, 2001; Burger, 2002; Wang, 2005; Storelli *et al.,* 2005; Lam *et al.,* 2006; Blanvillain *et al.,* 2007; Guirlet *et al.,* 2008; Innis *et al*., 2008; Schneider *et al.,* 2009; Burger *et al.,* 2010; Schneider *et al.,* 2010; Jerez *et al.,* 2010; Talavera *et al.,* 2010; Van de Merwe *et al*., 2010; Páez *et al.,* 2011; Zapata, 2014; Souza *et al.,* 2015; López & Quijada 2016).

Tabla 1. Concentración de Hg (µg/Kg) en especies de tortugas marinas y de río en diferentes lugares.

Especie	Órgano/ tejido	Hg µg/Kg promedios	Localización	Referencia
Caretta caretta	Hígado	2410	Mar Mediterráneo	(Godley, 1999)
Caretta caretta	Riñón	470	Mar Mediterráneo	(Godley, 1999)
Caretta caretta	Músculo	480	Mar	(Godley, 1999)

			Mediterráneo	
Chelonia mydas	Hígado	550	Mar Mediterráneo	(Godley, 1999)
Chelonia mydas	Músculo	90	Mar Mediterráneo	(Godley, 1999)
Lepidochelys olivacea	Sangre	0.6	México	(Páez, 2001)
Diamondback terrapin	Huevo	35	New Jersey	(Burger, 2002)
Diamondback terrapin	Hígado	1139	New Jersey	(Burger, 2002)
Diamondback terrapin	Músculo	172	New Jersey	(Burger, 2002)
Lepidochelys kempii	Sangre	69	México	(Wang, 2005)
Caretta caretta	Hígado	430	Mar Mediterráneo	(Storelli *et al.,* 2005)
Caretta caretta	Riñón	160	Mar Mediterráneo	(Storelli *et al.,* 2005)
Caretta caretta	Músculo	180	Mar Mediterráneo	(Storelli *et al.,* 2005)
Caretta caretta	Bazo	110	Mar Mediterráneo	(Storelli *et al.,* 2005)
Caretta caretta	Corazón	120	Mar Mediterráneo	(Storelli *et al.,* 2005)
Caretta caretta	Pulmón	60	Mar	(Storelli *et al.,*

			Mediterráneo	2005)
Caretta caretta	Grasa	40	Mar Mediterráneo	(Storelli *et al.,* 2005)
Chelonia mydas	Yema de huevo	4	Hong Kong	(Lam *et al.,* 2006)
Chelonia mydas	Cáscara de huevo	1	Hong Kong	(Lam *et al.,* 2006)
Malaclemys terrapin	Sangre	45.3	Georgia	(Blanvillain *et al.,* 2007)
Malaclemys terrapin	Caparazón	251.5	Georgia	(Blanvillain *et al.,* 2007)
Dermochelys coriacea	Sangre	44	Guayana Francesa	(Guirlet *et al.,* 2008)
Lepidochelys kempii	Sangre	96	Massachusetts	(Innis *et al* .,2008)
Podocnemis erythrocephala	Sangre	1.64	Brasil	(Schneider *et al.,* 2009)
Podocnemis erythrocephala	Músculo	33	Brasil	(Schneider *et al.,* 2009)
Podocnemis erythrocephala	Higado	470	Brasil	(Schneider *et al.,* 2009)
Podocnemis erythrocephala	Caparazón	68	Brasil	(Schneider *et al.,* 2009)
Podocnemis sextuberculata	Sangre	7.30	Brasil	(Burger *et al.,* 2010)
Podocnemis erythrocephala	Sangre	2.00	Brasil	(Burger *et al.,* 2010)
Peltocephalus	Sangre	28.2	Brasil	(Burger *et al.,*

dumerilianus				2010)
Chelus fimbriata	Sangre	158	Brasil	(Burger *et al.*, 2010)
Podocnemis erythrocephala	Músculo	33.1	Brasil	(Schneider *et al.*, 2010)
Podocnemis unifilis	Músculo	34.6	Brasil	(Schneider *et al.*, 2010)
Podocnemis sextuberculata	Músculo	61.5	Brasil	(Schneider *et al.*, 2010)
Podocnemis expansa	Músculo	62.4	Brasil	(Schneider *et al.*, 2010)
Podocnemis dumerilianus	Músculo	106	Brasil	(Schneider *et al.*, 2010)
Podocnemis fimbriatus	Músculo	432	Brasil	(Schneider *et al.*, 2010)
Caretta caretta	Sangre	20	Mar Mediterráneo	(Jerez *et al.*, 2010)
Caretta caretta	Músculo	140	Mar Mediterráneo	(Jerez *et al*., 2010)
Chelonia mydas	Sangre	920	México	(Talavera *et al.*, 2010)
Chelonia mydas	Sangre	10	Australia	(Van de Merwe *et al*., 2010)
Lepidochelys olivácea	sangre	0.6	México	(Páez *et al.*, 2011)
Lepidochelys olivácea	Yema de huevo	10	México	(Páez *et al.*, 2011)
Lepidochelys olivácea	Cáscara de huevo	0.3	México	(Páez *et al.*, 2011)

Podocnemis lewyana	Sangre	130	Colombia	(Zapata, 2014)
Podocnemis lewyana	Músculo	790	Colombia	(Zapata, 2014)
Trachemys c. callirostris	Sangre	70	Colombia	(Zapata, 2014)
Trachemys c. callirostris	Músculo	390	Colombia	(Zapata, 2014)
Podocnemis unifilis	Músculo	10	Brasil	(Souza *et al.,* 2015)
Podocnemis unifilis	Riñón	70	Brasil	(Souza *et al.,* 2015)
Podocnemis unifilis	Grasa	10	Brasil	(Souza *et al.,* 2015)
Podocnemis unifilis	Sangre	10	Brasil	(Souza *et al.,* 2015)
Eretmochelys imbricate	Sangre	19	Salvador	(López & Quijada 2016)

Las tortugas han mostrado ser un buen indicador para conocer las concentraciones de contaminantes ambientales en especial de metales pesados, por lo que su empleo como especie bioindicadora de la salud de su ambiente van en aumento (Burger *et al.,* 2010; Talavera *et al.,* 2010; Green *et al.,* 2010; Jerez *et al.,* 2010; Schneider *et al.,* 2010; Páez *et al.,* 2011; Ley, 2012; Camacho, 2013; Zapata, 2014; López *et al.,* 2016). Por lo cual se pretende identificar los niveles de las concentraciones de Hg de *Trachemys c. callirostris* en las dos cuencas principales del departamento de Córdoba.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Determinar las concentraciones de mercurio total (Hg-T) en la tortuga hicotea del Caribe *(Trachemys c. callirostris)*, en los ríos Sinú y San Jorge en el departamento de Córdoba.

1.4.2 Objetivos específicos

Identificar los niveles de la concentración de mercurio en sangre en la tortuga hicotea del Caribe, en los ríos Sinú y San Jorge.

Identificar los niveles de la concentración de mercurio en tejido interdigital en la tortuga hicotea del Caribe, en los ríos Sinú y San Jorge.

Determinar si existen diferencias significativas en las concentraciones de mercurio en sangre y tejido, entre los ríos Sinú y San Jorge.

Identificar la tasa máxima permisible del consumo mensual de carne de hicotea en las localidades de estudios.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos básicos

2.1.1 Mercurio

El mercurio es un metal pesado que no puede ser destruido, se encuentra en la naturaleza, en el aire, el agua y el suelo (Argumedo *et al.,* 2015). Existe en forma elemental (metálico), inorgánico y orgánico. Es un metal líquido que se evapora de manera invisible, es además inodoro y muy tóxico (Jiménez, 2005; Gaioli *et al.,* 2012). La exposición a mercurio aún a pequeñas cantidades puede causar serios problemas de salud (Jewett & Duffy, 2007). El mercurio emitido al ambiente, en su mayoría, proviene de actividades humanas.

2.1.2 Mercurio elemental

Es la forma pura del mercurio, no combinada con otros elementos. El cual es utilizado en la producción de cloro, para la extracción de oro, en termómetros, termostatos, barómetros, pilas botón (usadas en relojes, calculadoras y audífonos), tubos fluorescentes u otras luminarias de bajo consumo, interruptores eléctricos, en amalgamas dentales (que lo contienen en aproximadamente un 40-50%), también en juguetes, tubos con vapor de mercurio, válvulas de radio, tubos de rayos X, interruptores, baterías y rectificadores (ATSDR, 1999; Ramírez, 2008).

2.1.3 El mercurio inorgánico

Se forma cuando el mercurio se combina con elementos inorgánicos como cloro, azufre y oxígeno (sales de mercurio). La mayoría de estos compuestos son polvos blancos o cristales excepto el cinabrio, que es rojo. El mercurio inorgánico se encuentra en

fungicidas, antisépticos, ungüentos, desinfectantes y en cremas blanqueantes de la piel (Ramírez, 2008; Naranjo *et al.*, 2014).

2.1.4 Mercurio orgánico

Se forma cuando el mercurio se combina con carbono y otros elementos, formados por intervención de procesos enzimáticos en sistemas biológicos. Hay varios compuestos orgánicos de mercurio, el más común es el metilmercurio. Esta última forma química es la más común de mercurio orgánico y se encuentra en el ambiente y puede acumularse en niveles peligrosos en la biota presente en los diferentes ecosistemas (Ramírez, 2008; Naranjo *et al.*, 2014). Incorporándose finalmente a la cadena trófica (Jiménez, 2005).

2.1.5 Propiedades del mercurio

Es el único metal líquido que a temperatura ambiente se expande o contrae uniformemente con cambios de temperatura, mata bacterias y hongos, es un buen conductor de la electricidad y pobre conductor del calor. Además, se combina fácilmente con otros metales como oro, plata y aluminio formando amalgamas (Lima, 2015).

2.1.6 Ciclo del mercurio

Se define como ciclo de mercurio, el flujo continuo de mercurio entre atmósfera, tierra y agua. Este ciclo está basado en el comportamiento del Hg en los diferentes medios, en las reacciones químicas implicadas, así como los parámetros de transporte y su destino final (Lima, 2015). En cualquier punto de la tierra, la cantidad de mercurio presente será en función del ciclo global natural, el ciclo global perturbado, las fuentes regionales de mercurio y las fuentes locales de mercurio (Gaona *et al.,* 2004).

2.1.7 Fuentes de exposición

La atmósfera, el agua y el suelo son los receptores de las liberaciones de mercurio en el ambiente (PNUMA, 2002). Existen interacciones constantes entre estos compartimentos ambientales. Además de las fuentes locales de liberación de mercurio (como la incineración de residuos o la combustión del carbono), las concentraciones generales de fondo en todo el mundo, contribuyen significativamente a la cantidad total de mercurio que se encuentra en muchos lugares. Los ríos y océanos también actúan como medios de transporte del mercurio a grandes distancias. Por ejemplo, se han observado altos niveles de mercurio en el Ártico, muy lejos de las fuentes importantes de liberación (PNUMA, 2002; Gaioli *et al.,* 2012).

2.1.8 Principales fuentes de liberación de mercurio

1. Fuentes naturales: liberaciones debidas a la movilización natural del mercurio tal como se encuentra en la corteza terrestre, como la actividad volcánica o la erosión de las rocas.

2. Liberaciones antropogénicas resultantes de la presencia de mercurio en materias primas como los combustibles fósiles (carbón, gas, petróleo y otros minerales extraídos, tratados y reciclados) Gaioli *et al.,* (2012). También producen liberaciones las industrias cloroalcalinas, instrumental médico y la fabricación del papel.

3. Antiguas liberaciones antropogénicas de Hg depositadas en suelos, sedimentos, agua, vertederos y acumulaciones de desechos, que pasan nuevamente a la atmósfera formando parte de los ciclos biológicos (PNUMA, 2002; Gaioli *et al.,* 2012). Los hospitales contribuyen en aproximadamente 4-5% del total de mercurio presente en las

aguas residuales. La incineración de residuos médicos ocupa el cuarto lugar entre las principales fuentes de contaminación con mercurio (Ortega, 2003; OMS, 2005).

2.1.9 Acumulación de mercurio.-

Todas las formas de mercurio pueden llegar a acumularse, pero el metilmecurio se adsorbe y acumula más que otras formas. La biota fija con fuerza el metilmercurio y equivale casi el 90% del mercurio que se bioacumula. La mayor parte del metilmercurio en tejidos de los organismos forma enlaces covalentes con grupos sulfidrilo proteínico, por lo que la vida media de eliminación resulta larga. Como consecuencia, se genera un enriquecimiento selectivo de metilmercurio cuando pasa de un nivel trófico al siguiente (PNUMA, 2002; Lima, 2015).

2.1.10 Bioacumulación y biomagnificación.-

El término bioacumulación significa la acumulación neta, en un organismo, de metales provenientes de fuentes bióticas o abióticas (aire, suelo y agua). El término biomagnificación significa la acumulación progresiva de ciertos metales pesados (y otras sustancias persistentes) de uno a otro nivel trófico sucesivo (PNUMA, 2002;Lima, 2015). La toxicidad del mercurio puede causar una variedad de efectos adversos dependiendo la forma química (elemental, orgánico o inorgánico) Olivero *et al.,*(2014), por lo tanto los síntomas y signos varían según se trate la exposición al mercurio (PNUMA, 2002; Marrugo *et al.,* 2008).

2.1.11 Concentraciones de mercurio en los tejidos

La sangre se convierte en el paso transitorio de las concentraciones del mercurio, pero finalmente el contaminante se acumula en otros tipos de tejido, como músculos y caparazón (Camacho, 2013; Zapata, 2014). Es importante precisar que las mayores concentraciones de metales pesados se han reportado en tejido adiposo, seguido por el hígado, riñones, testículos, huevos y músculo (Kampalath *et al.,* 2006;Storelli *et al.,* 2007; Schneider *et al.,* 2009).

2.2 Tortuga hicotea (*Trachemys c. callirostris*).

Con excepción de los representantes del orden Crocodylia, las tortugas constituyen el grupo de vertebrados tetrápodos más amenazado de Colombia, ya que de acuerdo con las listas oficiales de especies amenazadas publicadas por la IUCN, más de la mitad de las especies registradas en nuestro país (19 de 32 taxa) poseen algún riesgo de desaparecer en un futuro cercano, si no se adoptan medidas efectivas para su protección, manejo y conservación (Ambiente, 2002).

La tortuga hicotea, es un reptil del orden *Testudine*, suborden *Cryptodira*, familia *Emydidae*, género *Trachemys*, el cual cuenta con seis especies, de las cuales *T. callirostris* posee 14 subespecies (Bonilla *et al.,* 2014). Actualmente se encuentra clasificado por la IUCN en la categoría de casi amenazada (NT) y en el registro cites no se encuentra en ningún apéndice (Bonilla *et al.,* 2014). Este género tiene el ámbito de distribución más extenso en comparación a cualquier otra tortuga acuática en el mundo, extendiéndose desde el sur de Michigan (EEUU), hasta el norte de Argentina.

En cuanto a la especie *T. callirostris*, vulgarmente conocida como hicotea, jicotea o pecho carey, es una tortuga de agua dulce endémica de la costa Atlántica

colombiana y venezolana (Zapata, 2014). En Colombia se distribuye en la región Caribe, a nivel de los ríos Magdalena, Cauca, Sinú, San Jorge y el río Ranchería en la Guajira, al igual que en las ciénagas del golfo de Urabá en Antioquia (Bonilla *et al.,* 2014). Se encuentra en los departamentos de Antioquia, Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, Guajira, Magdalena, Santander y Sucre. La hicotea habita en aguas mansas, poco profundas y lodosas; las cuales son características de terrenos inundables, ciénagas, lagunas y pozos (Castaño *et al.,* 2005; Rueda *et al.,* 2007).

En la época seca, cuando bajan las aguas, coincidiendo con la temporada reproductiva de la hicotea, las hembras salen a tierra a desovar. La hicotea se entierra en el verano, en el lodo del fondo de las orillas de la ciénaga que va secándose o se refugia al borde de la ciénaga dentro la vegetación acuática, de modo que cuando las aguas se retiran, la vegetación se seca y queda protegida con la vegetación muerta; cuando inicia la temporada de lluvias la hicotea regresa al agua (Castaño *et al.,* 2005).

El periodo de incubación o la época de puesta está dada generalmente hacia los meses de febrero y marzo, se ha reportado de igual manera que la anidación se da en un intervalo más amplio desde enero hasta mayo (Bonilla *et al.,* 2014). La postura se realiza en los playones, lomas de barro, lomas de arena, o en playas que circundan las ciénagas. El número de huevos varía entre 9 a 35 unidades, dependiendo del tamaño y el estado fisiológico reproductivo de la hembra; los huevos son alargados de cáscara blanda y flexible recién puestos, cuando poseen embrión se tornan más duros y cambian de color blanco rosado al blanco puro (Medem, 1975). Los nacimientos se realizan entre abril y mayo, por lo tanto el periodo de incubación dura entre 2 a 3 meses, dependiendo de las condiciones ambientales (Bock *et al.,* 2010). La hicotea puede tener varias posturas por temporada y/o puede poner en diferentes épocas del año La temporada reproductiva se desarrolla en la época de lluvias, correspondiendo a los meses de septiembre y diciembre (Bock *et al.,* 2010).

Las hembras son robustas y de mayor tamaño, mientras que los machos son más pequeños y de colas más largas. La alimentación de la hicotea es muy variada, siendo un individuo omnívoro, se alimentan principalmente de plantas acuáticas como la Tarulla (*Eichornia crassipes*) y la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), también de la vegetación cenagosa, raíces, hojas de buchón, tallo, sapo, batatilla, gramíneas y hojas de loto adicionalmente consume las frutas que caen al agua como la de la chirimoya (Castaño *et al.,* 2005). Así mismo, consume alevinos (peces pequeños), renacuajos, crustáceos (caracoles), insectos e incluso barro (Martínez & Arias 2004; Bonilla *et al.,* 2014). Los registros de literatura indican que las crías son predominantemente carnívoras y van cambiando paulatinamente a un consumo básico de vegetales en la edad adulta, correspondiendo a un 85% de la dieta en esta etapa (Martínez & Arias, 2004). Las principales amenazas para esta especie de tortuga son la sobreexplotación para consumo y comercio ilegal de huevos, neonatos y hembras; la destrucción y transformación del hábitat por medio de desechos humanos, el uso de insumos agrícolas y el vertimiento de mercurio, plomo, y cianuro en la minería (Bonilla *et al.,* 2014).

2.3 Mercurio en humanos

El ingreso al cuerpo de este metal, se ha reportado por la vía inhalatoria, cutánea y digestiva. Una vez es inhalado el Hg se distribuye por la sangre, llegando a los distintos órganos del cuerpo, pero tiene mayor afinidad al sistema nervioso central (SNC) y el hígado; la concentración sanguínea de mercurio disminuye rápidamente, con una semivida bifásica. La vía de excreción más importante es la digestiva y, en menor porcentaje, la urinaria, respiratoria y sudorípara. En orina, la semivida es de 40-90 días (Gaioli *et al.,* 2012).

Es importante precisar que el período de vida media del mercurio en el organismo, es decir, el tiempo necesario para que la cantidad en el mismo disminuya a la mitad es de

30 a 60 días. Sin embargo, para la fracción que se encuentra en el cerebro, este lapso de tiempo puede ser tan grande como 20 años (Verbel, 2011).

El Hg^0 se oxida a ion mercúrico perdiendo la capacidad de difundirse. Queda luego retenido en los glóbulos rojos, sistema nervioso central (SNC) y riñones. Los efectos a nivel nervioso más reportados han sido los siguientes: pérdida de la sensibilidad en extremidades y boca, ceguera, sordera, coma y muerte (Fernandes *et al.,* 2012). Adicionalmente se evidencia otros cuadros clínicos como la: exposición aguda (efectos respiratorios, renales, cardiovasculares, gastrointestinales, dermatológicas, neurológicos) y la exposición crónica (carcinogénicos, tiroideos, inmunológicos, reproductivos). Además, el mercurio tiene la capacidad de atravesar la barrera placentaria y bioacumularse en el feto, generando teratogénesis, mutagénesis y retraso mental (Gaona & Valiente, 2004; Gaioli *et al.,* 2012).

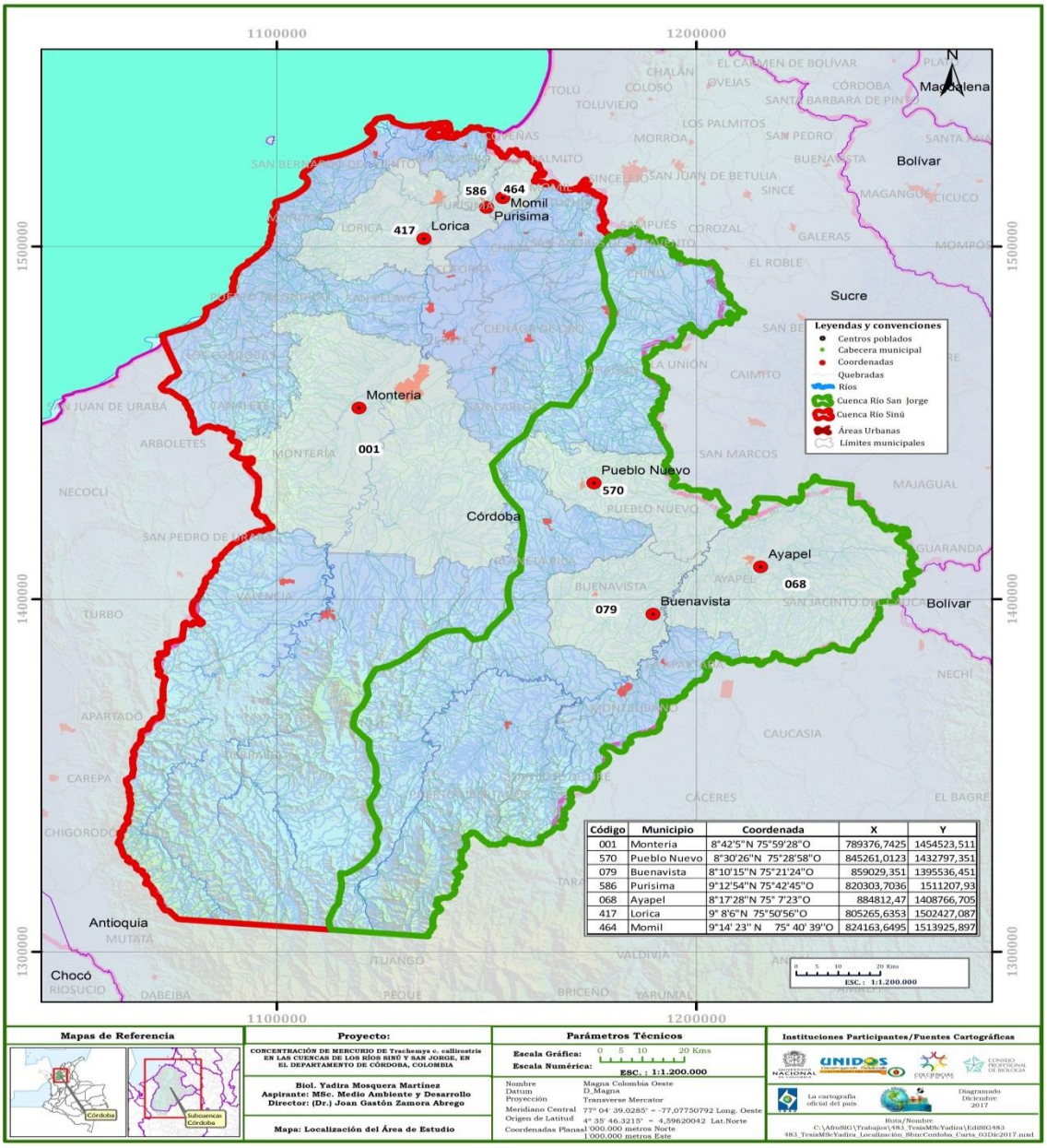
3. METODOLOGÍA

3. 1 Materiales y Métodos

3.1.1 Área de estudio

El río Sinú nace en el Nudo del Paramillo y desemboca en Boca de Tinajones, continua a la bahía de Cispatá, en el mar Caribe, con una longitud de 415 km, siendo el tercer río colombiano más importante de la vertiente del Caribe, después de los ríos Magdalena y Cauca (CONIF–MMA-OIMT, 1998). En sus 13.700 km² de cuenca, el río Sinú irriga 16 municipios cordobeses los cuales derivan su economía en gran parte por las bondades de este río. En su parte media es aprovechado para la generación de energía hidroeléctrica, cabe mencionar que el embalse de Urrá está vinculado a la apertura de frentes artesanales de extracción de oro aguas arriba del río (UPME-MME-UC, 2016) figura 1.

El río San Jorge también nace en el Parque Nacional Natural Paramillo, su cauce, corre entre las serranías de San Jerónimo y Ayapel antes de desembocar en el río Cauca, en el departamento de Sucre. En su trayectoria recorre gran parte del departamento de Córdoba (CONIF–MMA-OIMT, 1998), siendo también un afluente importante de la economía local. Su cuenca hidrográfica comprende 96.500 km² en el sudeste del departamento de Córdoba (Figura 1).



Código	Municipio	Coordenada	X	Y
001	Monteria	8°42'5"N 75°59'28"O	789376,7425	1454523,511
570	Pueblo Nuevo	8°30'26"N 75°28'58"O	845261,0123	1432797,351
079	Buenavista	8°10'15"N 75°21'24"O	859029,351	1395536,451
586	Purisima	9°12'54"N 75°42'45"O	820303,7036	1511207,93
068	Ayapel	8°17'28"N 75° 7'23"O	884812,47	1408766,705
417	Lorica	9° 8'6"N 75°50'56"O	805265,6353	1502427,087
464	Momil	9°14' 23" N 75° 40' 39"O	824163,6495	1513925,897

Figura 1. Localización del área de estudio en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge.

3.1.2 Muestreo en campo

Se obtuvieron muestras de sangre de *Trachemys c. callirostris* (Tabla 2, anexo 1), por medio de una punción yugular (Tercero, 2015). Estas se recolectaron en tubos con el anticoagulante EDTA (Gallina *et al.,* 2011) y posteriormente fueron transportadas al Laboratorio de Diagnóstico Clínico Veterinario de la Corporación Universitaria Lasallista de Medellín.

Adicionalmente, como control negativo se tomaron muestras de sangre de *Trachemys c. callirostris* (n= 9) del parque zoológico Santa Fe de la ciudad de Medellín, Antioquia (Anexo 3). Estas muestras también se tomaron por medio de una punción yugular (Tercero, 2015), y se recolectaron en tubos con el anticoagulante EDTA (Gallina *et al.,* 2011), las cuales también fueron transportadas al Laboratorio de Diagnóstico Clínico Veterinario de la Corporación Universitaria Lasallista.

Tabla 2. Datos de campo en las localidades de los ríos Sinú y San Jorge en muestras de sangre de la tortuga hicotea del Caribe *(Trachemys c. callirostris).*

Fecha de campo	**Cuenca**	**Localidad**	**Coordenadas**
04-2014	Sinú	Montería	8° 42' 5" N 75° 59' 28" O
04-2014	Sinú	Lorica	9° 8' 6" N 75° 50' 56" O
05-2014	Sinú	Purísima	9°12' 54" N 75° 42' 45" O
06-2014	San Jorge	Ayapel	8° 17' 28" N 75° 7' 23" O
06-2014	San Jorge	Buenavista	8° 10' 15" N 75° 21' 24 "O
09-2014	San Jorge	Pueblo Nuevo	8°30' 26" N 75° 28' 58" O

Se obtuvieron muestras de un gramo de tejido interdigital de *Trachemys c. callirostris* (Tabla 3, anexo 2), utilizando cuchillas de bisturí calibre 20, luego se recolectaron en

tubos con RNAlater (Gallina *et al.,* 2011). Posteriormente fueron llevadas al Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental de la Universidad de Córdoba. Cabe señalar que las muestras tomadas en el 2014 (sangre) fueron independientes de las muestras tomadas en el 2016 (tejido interdigital), es decir, no provienen de los mismos individuos.

Tabla 3. Datos de campo en las localidades de los ríos Sinú y San Jorge en muestras de tejido interdigital de la tortuga hicotea del Caribe *(Trachemys c. callirostris).*

Fecha de campo	Cuenca	Localidad	Coordenadas
07-2016	Sinú	Montería	8° 42' 5" N 75° 59' 28" O
07-2016	Sinú	Lorica	9° 8' 6" N 75° 50' 56" O
07-2016	Sinú	Momil	9°14' 23" N 75°40' 39" O
08-2016	San Jorge	Ayapel	8° 17' 28" N 75° 7' 23" O

3.1.3 Análisis de laboratorio

Para las mediciones de mercurio total (Hg-T) en sangre y en tejido interdigital, se realizó con espectrometría de absorción atómica con generación de hidruros y sistema de inyección de flujo, para lo cual se utilizó lámpara de cátodo hueco de Hg, y se analizó a una longitud de onda de 253.7 nm. Se optimizó el tiempo de permanencia del vapor de Hg en la celda, la duración de la línea de base, las temperaturas de operación, las pulsaciones, la velocidad de bombeo y el flujo del gas portador. La determinación de Hg se fundamentó en la reducción de las formas inorgánicas a Hg elemental utilizando borohidruro de sodio ($NaBH_4$). El tratamiento de muestra se realizó por la combinación de digestión acida a recipiente cerrado con calentamiento por microondas, bajo condiciones preestablecidas por el fabricante. En los parámetros de calidad del método se evaluó la veracidad y exactitud del método por medio del

material de referencia certificado BCR-463 del *Institute for Reference Materials and Measurements* – IRMM, para lo cual se alcanzó un límite de detección 1 ng mL^{-1}.

3.1.4 Límite diario de consumo basado en el riesgo

Esta variable se calculó a partir de la ecuación estipula por la EPA, que determina cual es el consumo máximo de un animal o carne contaminada con Hg que pueda ingerir una persona al día (EPA, 2000).
:

$$CR_{Lim} = (R_fD * BW) / C_m$$

Dónde:
CR_{Lim}: Consumo máximo tolerable al día (Kg/día)
R_fD: Dosis máxima de consumo de referencia que corresponde a 0,1 µg/Kg para el mercurio (Hg) Green *et al.,* (2010).
BW: Peso promedio de una persona que consume tortuga, que corresponde a 70 kg (Green *et al.,* 2010).
C_m: Concentración promedio de mercurio (µg/Kg) en sangre y tejido interdigital por localidad.

3.1.5 Límite mensual de consumo basado en el riesgo

Esta segunda variable se calcula a partir de la primera ecuación, esta última se encuentra estipulada por la EPA (EPA, 2000).

$$CR_{mm} = (CR_{Lim} * T_{ap}) / MS$$

Dónde:

CR_{mm}: Consumo máximo permisible al mes (metal/mes)

CR_{Lim}: Consumo máximo tolerable al día (Kg/día)

T_{ap}: Periodo de tiempo promedio, el cual equivale a 30,44 que corresponde al número promedio de días que tiene un mes (365 días/ 12 meses)

MS: Tamaño de la porción, el cual corresponde a 227 gr (EPA, 2000; Green *et al.,* 2010).

Se calculó un límite de consumo mensual a partir de las concentraciones medias de *Trachemys c. callirostris* para cada una de las localidades en los ríos Sinú y San Jorge. Para calcular los límites se utilizó una masa corporal de una persona adulta promedio de 70 Kg y un tamaño medio de comida de 227 g (Green *et al.,* 2010).

Es importante señalar, que estos términos fueron desarrollados en la evaluación de mercurio en el tejido de los peces. Dada la naturaleza del estudio, se utilizaron para comprender los posibles riesgos para la salud humana derivados del consumo de carne de las tortugas hicotea contaminada con Hg.

.

Los resultados obtenidos se relacionaron con las categorías estipuladas por la EPA, para determinar el número de porciones al mes de carne de hicotea que puede ser consumida por las personas (Tabla 4).

Tabla 4. Límites mensuales de consumo de carne (hicotea) contaminado con Hg (EPA, 2000).

Porción /mes	**Concentración en carne ppb (µg/Kg) Hg, peso húmedo**
Ninguna	> 1900
0.5	>940-1900
1	>470-940

2	>310-470
3	>230-310
4	>120-230
>4	0 - 120

3.1.6 Análisis Estadístico

Previo a los análisis se probaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante la prueba bondad y ajuste de Kolmogorov-Smirnov (KS), tanto en las concentraciones encontradas en sangre como en tejido interdigital. Una vez probados los supuestos estadísticos, se utilizaron pruebas no paramétricas en todos los análisis subsiguientes, debido no sólo a su distribución, sino también por el tamaño bajo de muestras que se tenían entre localidades. El test de Kolmogorov-Smirnov se utilizó para determinar las diferencias entre las concentraciones de Hg-T entre sexos, y para determinar si existían diferencias significativas entre las cuencas, para cada tipo de muestra por separado.

Adicionalmente, se correlacionó por medio de una prueba de Spearman, el peso corporal de las tortugas y las concentraciones de Hg-T, tanto para sangre como para tejido interdigital, y así determinar si las concentraciones de Hg estaban siendo influenciadas por el peso corporal de los organismos.

Posteriormente, se realizó un mapa representando los niveles de las concentraciones promedio de Hg-T para ambas muestras en los ríos Sinú y San Jorge; y una regresión lineal de Pearson en función a la distancia en kilómetros a la desembocadura de cada río, con el fin de determinar el comportamiento del Hg.-T a lo largo de cada cuenca.

Con el objeto de determinar las diferencias significativas entre los niveles de las concentraciones de Hg-T por localidad en los ríos San Jorge y Sinú, se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis (KW). Por su parte, para el río San Jorge en tejido interdigital sólo se obtuvieron muestras de una localidad (Ayapel), por lo que no fue posible realizar el análisis.

Para estimar la tasa máxima permisible del consumo mensual de carne de hicotea se utilizaron las formulas establecidas por la EPA (EPA, 2000).

4. RESULTADOS

Tabla 5. Concentraciones de mercurio en sangre y tejido de *Trachemys c. callirostris*, en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge, en el departamento de Córdoba.

Río Sinú (n=57)	Tipo de muestra	Media ± E.E µg/Kg	Tipo de muestra	Media ± E.E µg/Kg
Localidades	Sangre		Tejido interdigital	
Montería	Hembras= 4	26.11 ± 5.17	Hembras=9 Machos=1	5.99 ± 0.72
Lorica	Hembras =15 Machos=5	12.49 ± 1.58	Hembras=4 Machos=3	42.94 ± 8.98
Purísima	Hembras=5 Machos=5	23.58 ± 9.43		
Momil			Hembras=6	40.61 ±13.78
Río San Jorge (n=32)	Tipo de muestra	Media ± E.E µg/Kg	Tipo de muestra	Media ± E.E µg/Kg
Localidades	Sangre		Tejido interdigital	

Pueblo Nuevo	Hembras=9 Machos=1	16.16± 1.55		
Buenavista	Hembras=8 Machos=1	18.69 ±1.32		
Ayapel	Hembras=5	8.92 ± 2.00	Hembras=3 Machos=5	44.64 ±6.77

4.1. Niveles de la concentración de mercurio en sangre en la tortuga hicotea del Caribe *(Trachemys c. callirostris),* en los sitios de muestreos en los ríos Sinú y San Jorge.

No se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de Hg-T en sangre de *Trachemys c. callirostris* entre machos y hembras, en las cuencas del río Sinú (KS=0.797, gl=34, p=0.549) y del río San Jorge (KS=0.55, gl=24, p=0.91).

Adicionalmente no se evidenció una correlación significativa entre el peso corporal de los individuos y las concentraciones de Hg-T en sangre tanto en los ejemplares del río Sinú (Hg-T=24.52 – 0.007 x peso, r^2 = 0.078, p=0.662), como en el río San Jorge (Hg-T= 24.10 – 0.006 x peso, r^2 =0.163, p=0.264).

Los niveles de concentración de Hg-T más altos en sangre, se encontraron hacia la parte media de la cuenca del río Sinú (Montería 26.11 ±5.17 µg/Kg), y se observó que conforme desciende a la parte baja de la cuenca (Purísima 23.58±9.43 µg/Kg y Lorica 12.49±1.58 µg/Kg), las concentraciones disminuyen (Figura 2). Este comportamiento es consistente con el análisis de regresión (Log-Hg= 0.006435 x distancia aprox. Km + 0.885992, r^2 =0.1448, p=0.02), donde podemos observar que a menor distancia de la desembocadura los niveles de Hg-T disminuyen y conforme asciende a la cuenca se incrementa las concentraciones (Figura 3). Respecto a las muestras de sangre de la cuenca del río San Jorge, el comportamiento es similar en la distribución de Hg-T que

la cuenca del río Sinú (Figura 3); a menor distancia de la desembocadura, menor es la concentración de Hg-T obtenida (Log-Hg=0.008691 x distancia aprox. Km + 0.134918, r^2 =0.3743, p=0.00).

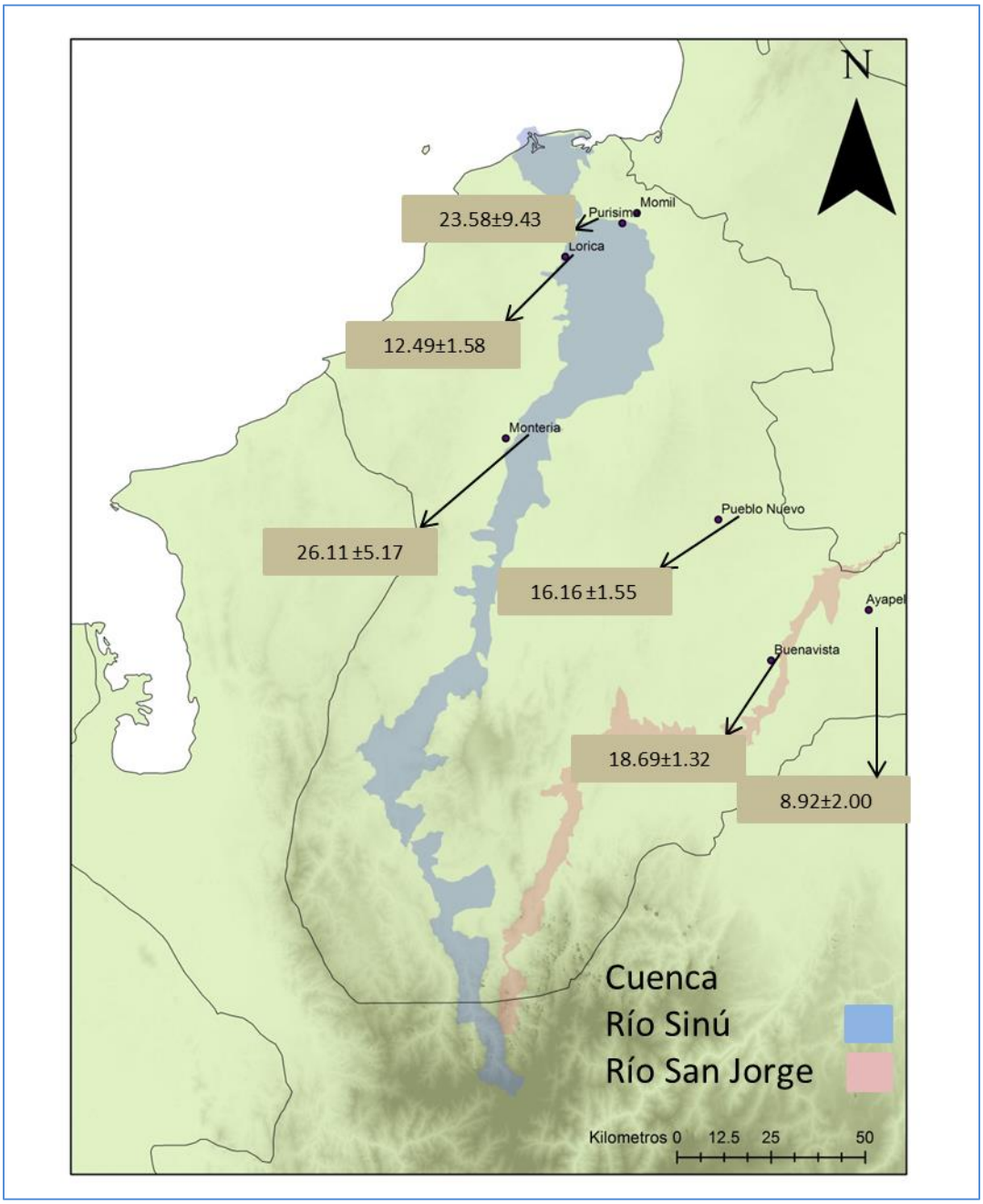


Figura 2. Concentración de Hg-T (µg/Kg) en sangre en la tortuga hicotea del Caribe (*Trachemys c. callirostris*), en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge, en el

departamento de Córdoba. Se muestra por localidad el promedio ± el error estándar de las concentraciones de mercurio.

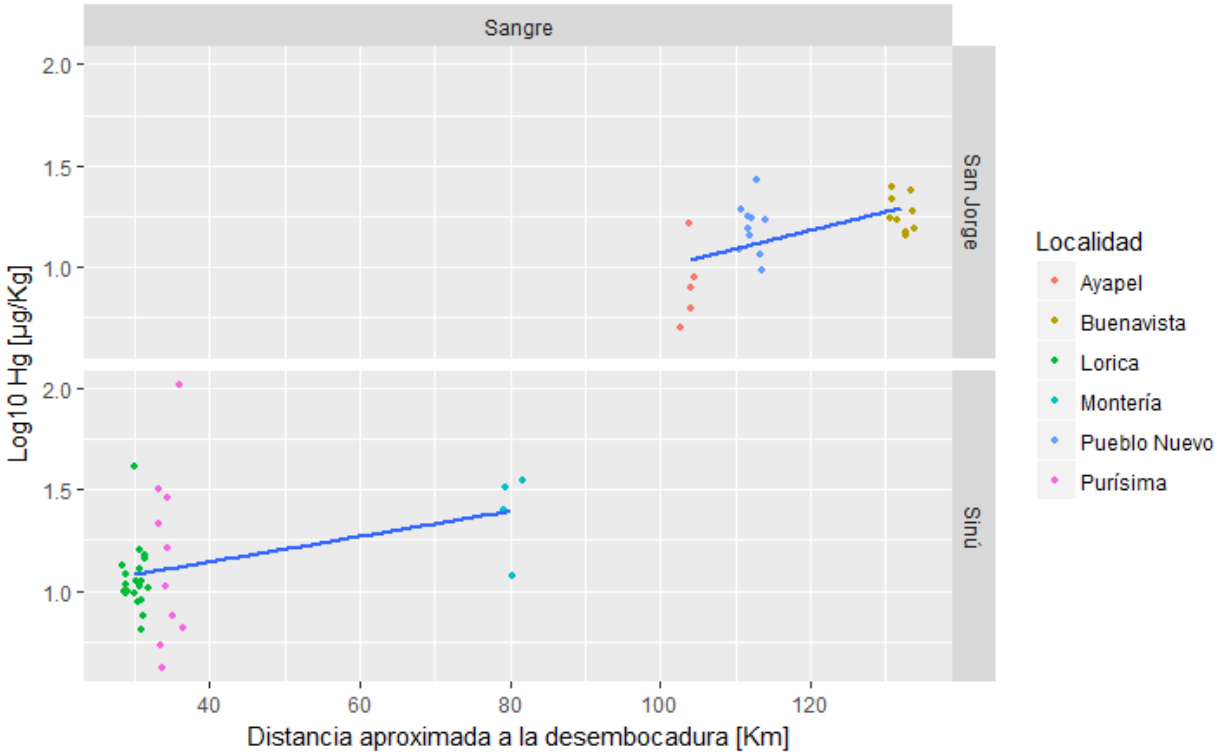


Figura 3. Concentraciones de mercurio en sangre de *Trachemys c. callirostris* sobre las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge.

4.2 Niveles de la concentración de mercurio en tejido interdigital en la tortuga hicotea del Caribe *(Trachemys c. callirostris),* en los sitios de muestreos en los ríos Sinú y San Jorge.

No se observaron diferencias significativas en las concentraciones de Hg-T en tejido interdigital de *Trachemys c. callirostris* entre machos y hembras, en las cuencas del río Sinú (KS=0.69, gl= 23, p=0.72) y San Jorge (KS=0.63, gl= 8, p=0.80).

Adicionalmente, se evidenció una correlación positiva entre el peso corporal de los ejemplares y las concentraciones de Hg-T en las muestras de tejido en el río Sinú (Hg-T= -7.49 + 0.033 x peso, r^2 = 0.65, p=0.00), pero el efecto contrario se observó para el río San Jorge (Hg-T= 52.97-0.007 x peso, r^2 = 0.68, p=0.06).

Para las muestras obtenidas de tejido en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge, el comportamiento del Hg-T fue diferente a lo encontrado en sangre. En la zona baja de la cuenca del Sinú los niveles en las concentraciones fueron mayores (Momil 40.61± 13.78 µg/Kg y Lorica 42.94± 8.98 µg/Kg), que en la zona media de la cuenca (Montería 5.99± 0.72 µg/Kg) (Figura 4). Esto es consistente con el análisis de regresión (Log-Hg= -0.016850 x distancia aprox. Km + 2.104964, r^2= 0.6966, p=7.36) donde se evidenció que a menor distancia de la desembocadura se presentan los mayores niveles en las concentraciones de Hg-T (Figura 5). En la cuenca del San Jorge no se pudo evidenciar ninguna tendencia, debió a que sólo se pudo tomar muestras en un sitio (Ayapel 44,64±6,77 µg/Kg) figura 4.

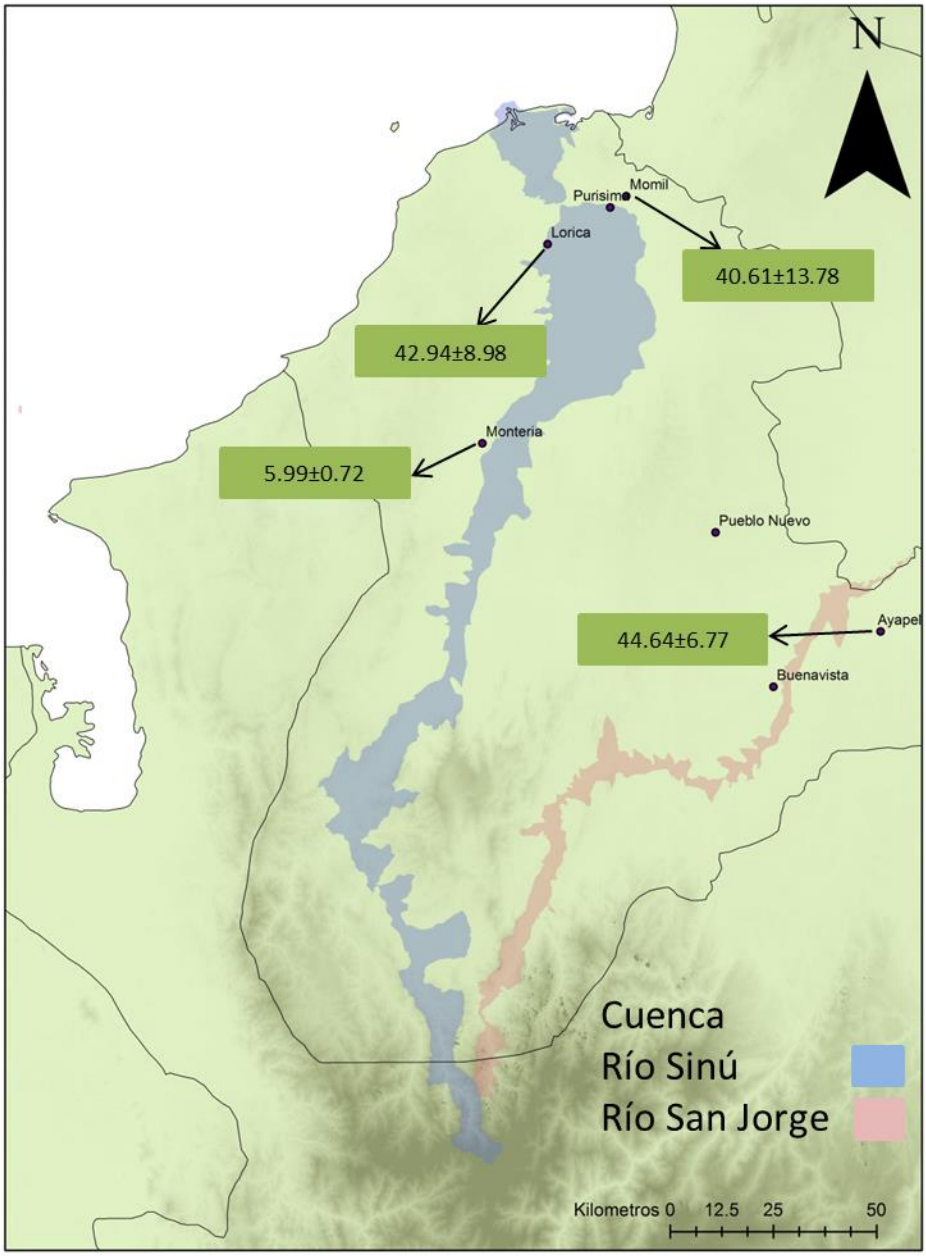


Figura 4 Concentración de Hg-T (µg/Kg) en tejido en la tortuga hicotea del Caribe (*Trachemys c. callirostris*), en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge, en el departamento de Córdoba. Se muestra por localidad el promedio ± el error estándar de las concentraciones de mercurio.

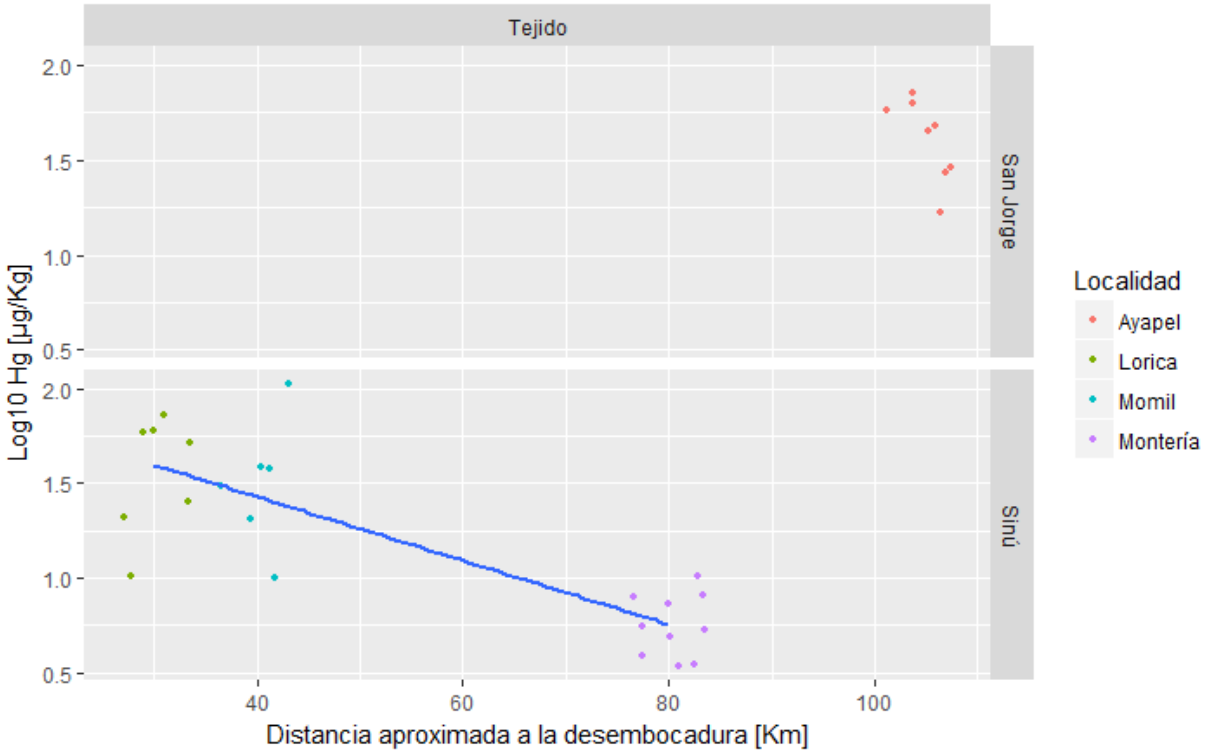


Figura 5. Concentraciones de mercurio en tejido de *Trachemys c. callirostris* sobre las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge.

4.3 Diferencias en las concentraciones de mercurio en sangre en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge.

No se observaron diferencias significativas en las concentraciones de Hg-T en sangre entre las diferentes localidades del río Sinú (KW = 4.73, gl=2; p=0.094). Sin embargo, si se presentaron diferencias significativas entre las diferentes localidades de la cuenca del río San Jorge (KW= 8.80, gl=2, p=0.01) figura 6. Siendo Buenavista la localidad que presento mayor concentración y Ayapel la localidad que presentó menor concentración (Tabla 5, figura 6).

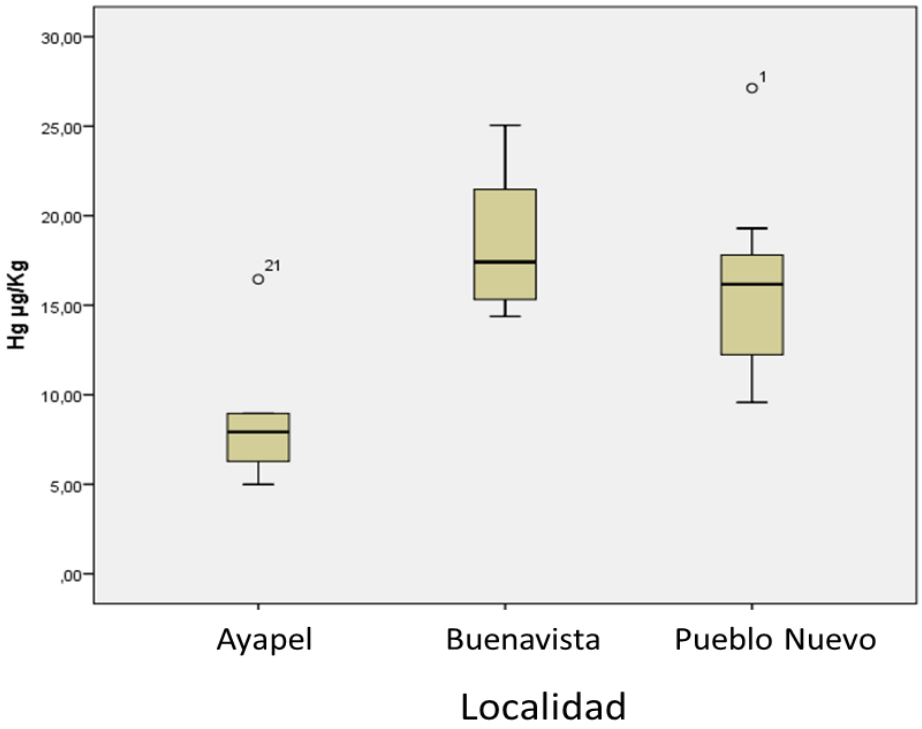


Figura 6. Concentración de Hg-T en sangre de *Trachemys c. callirostris* para las localidades de la cuenca del río San Jorge.

4.4 Diferencias en las concentraciones de mercurio en tejido en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge.

Se observaron diferencias significativas en las concentraciones de Hg-T en tejido entre las diferentes localidades del río Sinú (KW=15.64, gl=2, p=0.00), siendo Lorica la localidad que presento mayor concentración y Montería la localidad que presentó menor concentración (Tabla 5, figura 7). No obstante, no fue posible observar diferencias en la cuenca del río San Jorge, debido a que sólo había muestras para una localidad (Tabla 5).

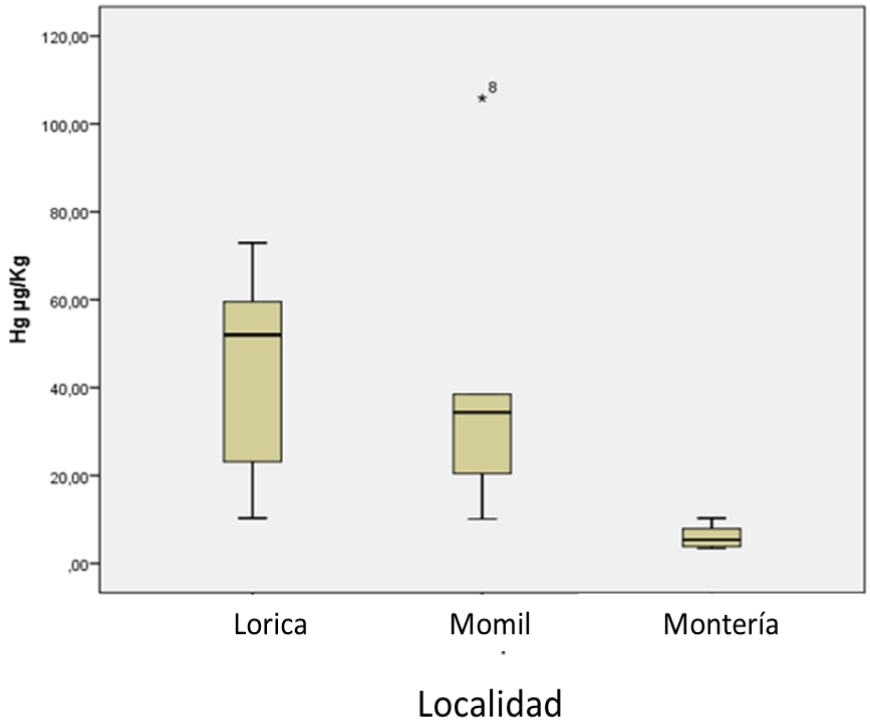


Figura 7. Concentración de Hg-T en tejido interdigital de *Trachemys c. callirostris* para las localidades de la cuenca del río Sinú.

4.5 Diferencias entre las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge en sangre de *Trachemys c. callirostris.*

No se observaron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de Hg sangre en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge (KS=1.33, p=0.057).

4.6 Diferencias entre las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge en tejido interdigital de *Trachemys c. callirostris*.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas (KS=4.50, p=0.03) en las concentraciones de Hg en tejido, tal como se observa en la figura 8.

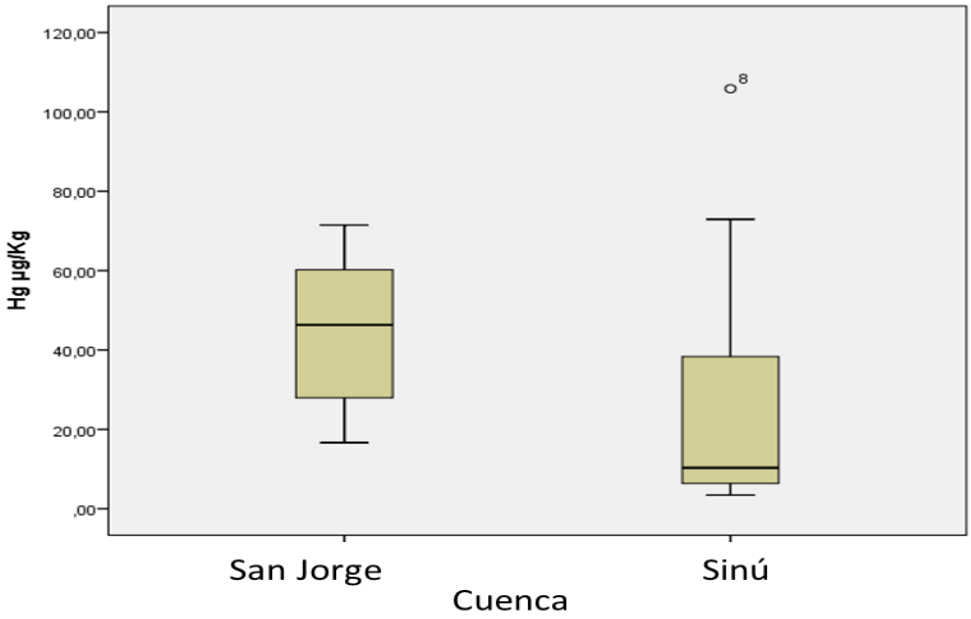


Figura 8 Concentración de Hg-T. Diferencias entre las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge en tejido interdigital de *Trachemys c. callirostris*.

4.7 Tasa máxima permisible del consumo mensual de carne de hicotea proveniente de los ríos Sinú y San Jorge, Córdoba.

Todos los individuos de hicotea muestreados en los ríos Sinú y San Jorge se clasifican en el rango de contaminación por Hg de 0-120 ppb > 4 porciones/mes.

Tabla 6. Límite de consumo diario y mensual de carne de hicotea para cada localidad en los ríos Sinú y San Jorge.

Cuenca	**Localidad**	**Media (µg/Kg)**	**CR_{lim} (g)**	**CR_{mm} (Porciones/mes 227 g)**

Sinú	Lorica	42.94	163	21.4
Sinú	Momil	40.61	172	23.03
Sinú	Montería	5.99	1168	157
San Jorge	Ayapel	44.64	156	21

5 DISCUSIÓN

5.1 Relación en las concentraciones de Hg-T en función del sexo.

Las similitudes en los niveles de las concentraciones de Hg-T entre hembras y machos en tejidos y sangre (para las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge) determinadas por el test de kolmogorov-Smirnov, puede indicar que los niveles de exposición no dependen del sexo del individuo, sino del lugar donde habita la tortuga, tal como lo reporta (Burger *et al.,* 2010; Schneider *et al.,* 2010), quienes no encontarón ninguna correlación entre las concentraciones de Hg y el sexo de los individuos. De igual manera, Schneider *et al.,* (2009), encontraron que las concentraciones de Hg en *Podocnemis erythrocephala* no fueron influenciada por el sexo para las muestras de sangre, hígado y músculo.

5.2 Correlación de las concentraciones de Hg-T en sangre y tejido interdigital, en función del tamaño de los individuos.

Se evidencio una ausencia de correlación entre la variable peso y concentración de Hg-T para las muestras de sangre tanto en las muestras del río Sinú, como el San Jorge. Esta ausencia de correlación probablemente se atribuye a que siendo la sangre un torrente sanguíneo se convierte en el paso transitorio de los contaminantes (Hg-T), pero finalmente dicho metal se bioacumula en los tejidos (Day *et al.,* 2007; Camacho,

2013), debido a que el Hg es soluble en los lípidos y tiene gran afinidad en los cuerpos grasos de estos organismos (Camacho, 2013). Esto coincide con lo reportado por Chao *et al.,*(2001), para la especie *Podocnemis erythrocephala,* donde no presentaron una correlación entre el tamaño de los ejemplares y los niveles de Hg. De igual manera Burger *et al.,*(2010), evidenciaron una falta de correlación entre las concentraciones de metales pesados en sangre y el tamaño de los individuos. En contraste, Day *et al.,*(2005), evidenciaron en *Caretta caretta,* una correlación entre las concentraciones sanguíneas de Hg-T y la masa corporal de las tortugas.

La correlación positiva entre las variables peso y concentración de Hg-T para las muestras de tejido en la cuenca de río Sinú, puede indicar que los tejidos, interdigital, adiposos**,** músculo, cola, riñón, hígado y los testículos, pueden ser buenos predictores al momento de inferir o conocer los niveles de exposición a los que pueden estar sometidas las especies receptoras en sus hábitats debido a la constante emanación y vertimientos de actividades antrópicas. Esta correlación podría deberse a que el Hg se acumula en los diversos tejidos y órganos de las especies (Suchanek *et al.*, 2008; Monteiro *et al.*, 2009; Rajeshkumar & Munuswamy, 2011), lo que conlleva a que haya una correlación entre los niveles de las concentraciones de Hg y las muestras de tejido interdigital. En contraste Schneider *et al.,* (2009) y Schneider *et al., (*2010), evidenciaron una falta de correlación entre el tamaño corporal de varias especies de tortugas del genero *Podocnemis* y las concentraciones de Hg-T. Turnquist *et al.,* (2011), en individuos de *Chelydra serpentina* evidenciaron que ninguna de las variables biométricas (masa corporal o longitud del caparazón) estaba significativamente correlacionada con las concentraciones de Hg-T en músculo. Por su parte, Zapata, (2014) reportó que ejemplares de *Podocnemis lewyana* colectados en el río Magdalena y los de *Trachemys c. callirostris* colectados en el río Sinú, no presentaron una correlación significativa entre LRC (longitud rostro cloaca) y las concentraciones de Hg-T en sangre, músculo y caparazón. Por el contrario las muestras de *Trachemys c. callirostris* en el río Magdalena presentaron una correlación positiva significativa entre

LRC y la concentración de Hg en caparazón pero no hubo correlación con el Hg en músculo y sangre.

Kampalath *et al.,* (2006), reportaron una falta de correlación entre el tamaño y las concentraciones de Hg en *Lepidochelys olivacea* Sin embargo, se observaron correlaciones positivas entre el tamaño de la tortuga y las concentraciones Hg-T en el tejido adiposo y muscular en *Caretta caretta*, y se presentó correlación negativa entre el tamaño y las concentraciones totales de mercurio en el músculo y riñón de *Chelonia mydas agassizii.*

No se evidenció una correlación entre peso y las concentraciones de Hg-T en tejido interdigital para la cuenca del río San Jorge, esta ausencia puede ser atribuible al bajo número de individuos (n=8). Esto coincide con lo reportado por (Schneider *et al.,* 2010), en la especie *Podocnemis unifilis* donde reportaron una ausencia de correlación entre las concentraciones de mercurio en músculo y el peso; debido al pequeño número de individuos analizados.

5.3 Niveles de la concentración de mercurio en sangre de *Trachemys c. callirostris* en las localidades de los ríos Sinú y San Jorge

Las concentraciones promedios de mercurio en las muestras de sangre medidas en las tortugas de la parte media del río Sinú (Montería) presentan los niveles promedios más altos con respecto a la parte baja del mismo (Purísima y Lorica), lo que podría atribuirse a que siendo Montería la localidad más urbana hace que el crecimiento poblacional, pueda incidir en las actividades antrópicas. Por ejemplo la expansión de la agricultura y la remoción de suelos los cuales hace que los metales que están en su forma elemental en el ambiente puedan tener interacción con la biota presente en los sedimentos y cuerpos de aguas. En estudios previos se reportó que la explotación de

materiales de canteras para la cuenca del río Sinú, aumentan los procesos de sedimentación en los cuerpos de agua (PGAR, 2008), situación que puede incrementar los niveles de las concentraciones del Hg. Estas innumerables actividades contribuye a una mayor contaminación de este sistema hídrico (Feria *et al.,* 2010), pero se evidencia que conforme se desciende en la cuenca los niveles van disminuyendo, lo que podría indicar que él mercurio se va disolviendo por medio de procesos de dilución o dispersión, presentando así los niveles más bajos a aguas abajo del río. Así mismo, las concentraciones de este metal esta relacionada con las actividades antropicas, como la realización de proyectos hidroeléctricos, urbanos, acuícolas, pecuarios, la utilización de herbicida, conservante de semillas y fungicidas, hace que estos niveles de Hg sean mayores (García & Dorronsoro, 2005).

Una de las principales fuentes de contaminación en el río Sinú está asociada con la construcción de la hidroeléctrica de Urra (Feria *et al.*, 2010; Marrugo *et al.,* 2015). Debido a la inundación de 7400 ha de suelo, que aceleró considerablemente y de manera exponencial el proceso de lavado y extracción de metales, adicionalmente se alteró el equilibrio de los recursos hídricos, faunísticos y florísticos de este sistema (Feria *et al.*, 2010). Sumado a esto, la represa de Urra podría estar relacionada con la apertura de frentes artesanales de minería de oro agua arriba del embalse (UPME-MME-UC, 2016). Marrugo *et al.,* (2015), en su investigación para determinar las concentraciones de Hg-T en peces evaluados en el embalse Urrá, reportaron un incremento de los niveles de mercurio después del represamiento, afirmando que las variables de calidad de agua mostraron condiciones que favorecen la metilación del Hg y su biomagnificación. Cabe mencionar que en la cuenca del río Sinú no hay una explotación marcada o fuerte como la que se realiza en la cuenca del río San Jorge, donde ocurre minería de ferroníquel, carbón y oro. UPME-MME-UC, (2016), reportaron que en la parte alta de la cuenca del Sinú existen actividades mineras de oro aluvial empleando mercurio para la obtención de oro.

Para las localidades de la cuenca del río San Jorge en las muestras de sangre (Buenavista, Pueblo Nuevo y Ayapel), se evidencia la misma tendencia y/o comportamiento que se muestra para la cuenca del río Sinú, conforme se va descendiendo a la cuenca los niveles disminuyen, esto puede atribuirse a las características hidrodinámicas del río San Jorge, dando la posibilidad de que el flujo de contaminantes se esté presentando por advección, del aporte del mercurio a un punto aguas abajo del río, y garantizando de esta manera que se presente una dispersión continúa en él (Bolaños *et al.,* 2016). Es importante señalar que para esta cuenca se esperarían los niveles de las concentraciones mayores, dado que es en esta donde se realizan actividades mineras y mayor incidencia de empleo de contaminantes ambientales en especial del Hg (Madero, 2011). El hecho de encontrar niveles de las concentraciones de mercurio menores conforme desciende en la cuenca, puede atribuirse a que estos contaminantes en especial el Hg se disuelve a lo largo de su caudal, bien sea por efectos de corrientes o incorporados a organismos migratorios, favoreciendo la disipación de los efectos negativos y un proceso de transporte a otras provincias acuáticas (Morillo *et al.,* 2002). En consenso varios autores han reportado que la cuenca del río San Jorge es el recurso hídrico del departamento de Córdoba, donde hay una mayor incidencia de actividades mineras liberando así contaminante al ambiente acuático, atmosférico y terrestre (Madero, 2011; Argumedo *et al.,* 2015).

5.4 Niveles de la concentración de mercurio en tejido interdigital de *Trachemys c. callirostris* en las localidades de los ríos Sinú y San Jorge

Para las muestras de tejido en la cuenca del río Sinú, observamos un comportamiento y/o tendencia diferente a las encontradas para esta misma cuenca en sangre, el hecho de que las concentraciones de Hg-T sean menores en la parte media del río Sinú (Montería) e incremente sus niveles conforme desciende la cuenca (Lorica y Momil), puede ser atribuible a que los individuos para la localidad de Montería fueron los de

talla más pequeñas (juveniles), por lo que se puede inferir que no han tenido un tiempo largo de exposición frente a los contaminantes (Hg). Sin embargo, se evidencia el efecto contrario con los ejemplares de Lorica y Momil donde los ejemplares eran de mayor tamaño, por tanto estos tienen mayor oportunidad de acumular contaminantes tóxicos persistentes en especial el Hg. Según el análisis de correlación (positiva), se puede concluir que los individuos más pequeños pueden presentar menores concentraciones de Hg-T, y en los más grandes se espera mayores niveles, debido a que el Hg, es estable y persistente en los órganos de las especies receptoras y/o centinelas, sumado a sus características lipofílicas en los cuerpos graso y tejido donde se bioacumula y se biomagnifica a lo largo de la cadenas tróficas (Wang *et al.*, 2004;Camacho, 2013). Para las muestras de tejido en el río San Jorge no se puede inferir ya que sólo se muestreo en una localidad.

5.5 Diferencias en las concentraciones de mercurio en sangre en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge.

No hubo diferencias significativas en las concentraciones de Hg en sangre para las localidades del río Sinú, esto probablemente se atribuya a que en esta cuenca no hay actividades marcadas históricamente por minería, como la que se presenta en la cuenca del San Jorge (Marrugo & Negrete, 2011). Adicionalmente, esta ausencia de diferencias significativas entre las localidades puede obedecer a que los puntos de muestreos están ubicados en la parte media y baja de la cuenca, donde no se ha registrado actividades mineras, como es el caso en la parte alta de la misma donde se evidenció recientemente la presencia de actividades de minería (UPME-MME-UC, 2016).

Por el contrario para las muestras de sangre en las localidades que pertenecen al río San Jorge se evidenció diferencias significativas, esto puede obedecer a que en esta cuenca se realiza actividades mineras a lo largo de la mismas, incluyendo de esta

maneras las zonas de muestreo (Madero, 2011; Argumedo *et al.,* 2015), lo cual puede incidir a que hayan fluctuaciones en los niveles de detección del Hg-T entre las localidades.

5.6 Diferencias en las concentraciones de mercurio en tejido en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge.

Se evidenció diferencias significativas en las concentraciones de Hg-T en tejido para las localidades del río Sinú, esto podría deberse a que los ejemplares de Montería fueron los de talla más pequeña, y los niveles de detección fueron bajos con relación a los individuos de Lorica y Momil. Por tanto, se puede inferir que los niveles de exposición no han sido prologados (ejemplares de Montería), dado su tamaño o edad (juveniles). Esto es consistente con lo propuesto por (Camacho, 2013), donde reportó que cuanto mayor sea la masa corporal o mayor contenido en cuerpos grasos tenga el organismo receptor, contribuirá en mayor medida a las concentraciones de los contaminantes; indicando así que a mayor tamaño o mayor representatividad de tejidos grasos estos niveles son superiores. Para las muestras de tejido que pertenecen a la cuenca del río San Jorge, no se puede inferir debido a que sólo se muestreo una localidad.

5.7 Diferencias entre las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge en sangre de *Trachemys c. callirostris*.

A pesar, de que se esperaba encontrar diferencias significativas entre los ríos, debido a la mayor incidencia de actividades de minería en la cuenca del San Jorge, los análisis evidenciaron que no hay diferencias significativas. El hecho de tener como indicador las muestras de sangre, se puede inferir que han recibido emanaciones y vertimiento de Hg reciente en ambas cuencas de manera aislada pero de forma continua (lo cual

podría explicar esa falta de diferencias entre las concentraciones en sangre), basado en la teoría que las muestras de sangre son buenas predictores de exposiciones recientes (Day *et al.,* 2007; Camacho, 2013). Diversas investigaciones han reportado niveles de metales pesados en los ríos Sinú y San Jorge (Marrugo *et al.,* 2007; Feria *et al.,* 2010; Gracia *et al.,* 2010; Argumedo *et al.,* 2013; Mesquidaz *et al.,* 2013; Marrugo *et al.,* 2015; Roqueme *et al.,* 2016; Gracia *et al.,* 2016).

5.8 Diferencias entre las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge en tejido interdigital de *Trachemys c. callirostris*.

Se evidenció que hay diferencias significativas en tejido entre ambas cuencas**,** la razón de encontrar mayores concentraciones en la cuenca del San Jorge en relación con las reportadas para el río Sinú, probablemente se deba a que en el río San Jorge hay una mayor incidencia de actividades antrópicas, principalmente por las actividades de minería (de ferroníquel, carbón y oro) que se realizan considerablemente a gran escala a lo largo de la cuenca (Marrugo & Negrete, 2011). Debido a sus altos niveles de contaminación reportados ampliamente en los últimos años en el río San Jorge, varias investigaciones han estado enfocadas a conocer los niveles de metales pesados en diferentes matrices utilizando diferentes especies potencialmente receptoras o centinelas que puedan dar cuenta del comportamiento de estos contaminantes tóxicos persistentes en el ambiente incluyendo al hombre por ejemplo (Marrugo *et al.,* 2007; Marrugo *et al.,* 2008; Gracia *et al.,* 2010; Argumedo *et al.,* 2013; Mesquidaz *et al.,* 2013 Gracia *et al.,* 2016;).

Los niveles de las concentraciones promedios de Hg-T encontradas por localidad en este estudio, son muy variantes pese a que pertenecen a la misma cuenca, esto posiblemente se atribuya a las diferentes manera de asimilación de estos organismos frente a contaminantes ambientales. Tal como lo reporta Camacho, (2013) que al estudiar un numero lo suficientemente amplio de individuos de las mismas población,

observa que hay una variación sustancial en los niveles de metales pesados encontrados en los tejidos. Lo que sugiere que individuos de la misma población, aun expuestos a las mismas condiciones ecológicas y/o ambientales, no se exponen de manera idéntica a los contaminantes y que su capacidad de eliminación de los mismos es también diferente. Esto indica que el comparar resultados pueda ser frecuentemente complicado, así como asegurar la exposición reciente o prolongada, debido a las diferencias significativas que aparecen a nivel tisular entre individuos de diferentes sexos, edad, estado reproductivo o condición nutricional.

5.9 Límite de consumo mensual de carne de hicotea proveniente de los ríos Sinú y San Jorge, Córdoba.

Los niveles de mercurio fueron bajos según la categoría de consumo de la EPA, clasificándolas en el rango de <120 µg/Kg, siendo esta la categoría más baja. Varias investigaciones en diferentes partes del mundo han estado orientadas a conocer los niveles de exposición a los que pueden estar sometidas estas especies receptoras de contaminantes ambientales. Los cuales han reportado concentraciones más altas que las encontradas en este estudio. Burger, (2002), en individuos de *Malaclemys terrapin*, reportaron que los niveles de mercurio fueron relativamente altos en el hígado 1139 µg/Kg, pero relativamente bajos en el músculo 172 µg/Kg.

El 100% de las muestras de tejido se observó que las concentraciones de Hg fueron relativamente bajas (<120 µg/Kg, más de cuatro porciones al mes). En contraste Green *et al.,* (2010), en su estudio en varias especies de tortugas vendidas para consumo humano reportaron que el 14% de las muestras de hígado excedían las concentraciones de 1900 µg/Kg, el 21% de los riñones se encontró dentro del rango que recomienda el consumo de una porción al mes (470-940 µg/Kg). Además se asumen que los consumidores que ingieren músculo podrían tener menor riesgo de exposición al Hg en la dieta. Turnquist *et al.,*(2011), evidenciaron que el 61% de las

muestras de músculo y el 100% de las de caparazón excedieron el límite de las concentraciones de Hg establecido por la EPA. Por su parte (Burger *et al.,* 2010), en su investigación para determinar los niveles de Hg en sangre en cuatro especies de tortugas reportaron que las concentraciones estaban muy por debajo del nivel considerado para plantear un riesgo para los consumidores humanos. De igual forma Talavera *et al.,* (2010), en su estudio para determinar metales pesados en hembras y crías de tortuga *Chelonia mydas,* encontraron que los niveles era bajos, para poner en riesgo a las tortugas y los consumidores.

Schneider *et al.,* (2009) y Schneider *et al.,* (2010), reportaron que los niveles de Hg en músculo de las tortugas Podocnemididae tenían concentraciones inferiores al nivel máximo permisible de 500 µg/Kg de Hg recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS 1976) y por el Ministerio de Salud de Brasil (Brasil 1975). Así mismo Páez *et al.,* (2011), en la especie *Lepidochelys oliva,* encontraron que los niveles de Hg estaban por debajo de las pautas establecidas de seguridad alimentaria de varias naciones (Nauen, 1983; OMS, 2003) y la Norma Oficial Mexicana (NOM-031SSA1-1993).

Para la localidad de Montería se reportó la mayor cantidad de porciones al mes (157) recomendada para el consumo humano sin presentar riesgo a la salud, con relación a las otras localidades, esto se puede deber a que los ejemplares de esta localidad fueron los de tallas más pequeñas (juveniles), por tanto los niveles de Hg fueron bajos. Respecto a las concentraciones de Hg todos los individuos presentaron niveles de mercurio bajos, pero se hace necesario realizar más estudios, que pueden dar cuenta del comportamiento de este contaminante tóxico persistente y seguir evaluando las tasas de consumo mensual en la tortuga hicotea del Caribe, para poder inferir con mayor exactitud si es viable que las personas puedan seguir optando por esta carne silvestre como una opción de proteína animal en la canasta familiar, especialmente en la época de semana santa, donde su consumo se eleva.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El empleo de método menos invasivos y no letales (sangre y tejido interdigital) son útiles para conocer los niveles de exposición a los que pueden estar sometidas las especies receptoras y/o centinelas (hicotea), debido a la constante contaminación de su hábitat.

Los niveles de las concentraciones medias fueron muy fluctuantes entre localidades aun perteneciendo a la misma cuenca del río.

La carne de la tortuga hicotea del Caribe colombiano pude ser consumida por los pobladores, ya que puede no representar un riesgo a la salud del consumidor.

Esta es una primera aproximación pero que se requieren estudios más precisos para que puedan tomarse medidas de regulación por parte de los entes de salud sobre el consumo de tortuga en las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge. Ya que debe primar el principio de precaución ante el desconocimiento real del riesgo que puede representar el consumo de *Trachemys c. callirostris*.

6.2 Recomendaciones

Ampliar el número de localidades de estudios a lo largo de las dos cuencas, para conocer con mayor precisión el comportamiento del Hg en función a la distancia de la desembocadura.

Se recomienda para próximas investigaciones realizar los muestreos en las diferentes épocas del año (sequias y lluvias), que permitan tener una mayor precisión del comportamiento y/o tendencia del Hg en estos periodos, Y poner de relieve los datos que pasan el umbral que pueden ser potencialmente tóxicos para el consumo de las personas.

Se hace necesario realizar estudios en otros lugares de Colombia sobre el patrón de contaminantes tóxicos persistentes en diferentes cuencas hídricas, para conocer de manera más puntual y detallada el comportamiento y/o tendencias de estos metales en los ecosistemas y los efectos que pueden causar a las personas.

7. REFERENCIAS

Ambiente. (2002). MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE DE COLOMBIA. Programa Nacional para la Conservación de las Tortugas Marinas y Continentales de Colombia. Imprenta Nacional, Bogotá, 63.

Argumedo-García, Marcela P., Consuegra-Solórzano, Adolfo, Vidal-Durango, John V., & Marrugo-Negrete, José L. (2013). Exposición a mercurio en habitantes del municipio de San Marcos (Departamento de Sucre) debida a la ingesta de arroz (Oryza sativa) contaminado. Revista de Salud Pública, 15, 886-898.

Argumedo G., Marcela P., Vergara R., Carlos, Vidal D., Jhon V., & Marrugo N., Jose L. (2015). Evaluación de la concentración de mercurio en arroz (Oryza sativa) crudo y cocido procedente del municipio de San Marcos- Sucre y zona aurífera del municipio de Ayapel - Córdoba. Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud, 47, 169-177.

ATSDR. (1999). (Agencia para el registro de sustancias tóxicas y enfermedades). Perfil toxicológico del mercurio. Departamento de salud y servicios humanos de los Estados Unidos.

ATSDR. (2004). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for mercury. U.S. Department of health and human services. Public Health Service USA. http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs46.pdf.

Aura Madero G, José Marrugo N. (2011). Detección de metales pesados en bovinos, en los valles de los rios Sinú y San Jorge, departamento de Córdoba, Colombia. MVZ Córdoba 16 (1), 2391-2401.

Blanvillain, G., Schwenter, J. A., Day, R. D., Point, D., Christopher, S. J., Roumillat, W. A., & Owens, D. W. (2007). Diamondback terrapins, Malaclemys terrapin, as a sentinel species for monitoring mercury pollution of estuarine systems in South Carolina and Georgia, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry, 26*(7), 1441-1450. doi: 10.1897/06-532R.1

Bock, BC, Páez, VP, & Daza, JM. (2010). Trachemys callirostris (Gray 1856)–Colombian slider, jicotea, hicotea, galapago, morrocoy de agua. Chelon Res Monogr, 5, 042.041-042.049.

Bolaños, Edgar Quiñones, Díaz, Dayana Carolina Chalá, Benítez, Zayceth Karollyn Romero, Alvarez, Pedro Enrique Bonfante, & Malluk, Diana Vanessa Villadiego. (2016). Estudio de transporte de contaminantes en la cuenca media del rio San Jorge, Cordoba. Paper presented at the II SICA.

Bonilla, MA, Luque, N, Cuervo, MA, Pinzón, M, & Vásquez, EA. (2014). Ecología de Tortugas Terrestres y de Agua Dulce de Colombia y Manejo de Decomisos. Bogotá, Colombia. Editorial Universidad Nacional de Colombia; 2012.

Burger, Joanna. (2002). Metals in tissues of diamondback terrapin from New Jersey. Environmental monitoring and assessment, 77(3), 255-263.

Burger, Joanna, Jeitner, Christian, Schneider, Larissa, Vogt, Richard, & Gochfeld, Michael. (2010). Arsenic, cadmium, chromium, lead, mercury, and selenium levels in blood of four species of turtles from the amazon in brazil. Journal of toxicology and environmental health. Part A, 73(1), 33-40. doi: 10.1080/15287390903248877

Calao, Clelia Rosa, & Marrugo, José Luis. (2015). Efectos genotóxicos asociados a metales pesados en una población humana de la región de La Mojana, Colombia, 2013. 2015, 35, -87. doi: 10.7705/biomedica.v35i0.2392

Camacho Rodríguez, María. (2013). La sangre como marcador de utilidad clínica y toxocológica: estudio de los efecto de los contaminantes persistentes en tortugas marinas.

Castaño-Mora, Olga Victoria, Cárdenas-Arévalo, G, Gallego-García, N, & Rivera-Díaz, O. (2005). Protección y conservación de los quelonios continentales en el departamento de Córdoba. Bogotá: Convenio(28).

CONIF–MMA-OIMT. (1998). Guía paro Plantaciones Forestales Comerciales Córdoba. "Fortalecimiento Institucional para el Ordenamiento Sostenible de Plantaciones Forestales". Santa Fe de Bogotá: Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal, el Ministerio del Medio Ambiente y la Organización Internacional de Maderas Tropicales.

Chao, NL, Petry, P, Prang, G, Sonneschien, L, & Tlusty, M. (2001). Conservation and management of ornamental fish resources of the Rio Negro Basin, Amazonia, Brazil.(Project Piaba).

Day, Rusty D., Christopher, Steven J., Becker, Paul R., & Whitaker, David W. (2005). Monitoring Mercury in the Loggerhead Sea Turtle, Caretta caretta. Environmental Science & Technology, 39(2), 437-446. doi: 10.1021/es049628q

Day, Rusty D., Segars, Al L., Arendt, Michael D., Lee, A. Michelle, & Peden-Adams, Margie M. (2007). Relationship of Blood Mercury Levels to Health Parameters in the Loggerhead Sea Turtle (Caretta caretta). Environmental Health Perspectives, 115(10), 1421-1428. doi: 10.1289/ehp.9918

de Solla, S. R., Fernie, K. J., & Ashpole, S. (2008). Snapping turtles (Chelydra serpentina) as bioindicators in Canadian Areas of Concern in the Great Lakes Basin. II. Changes in hatching success and hatchling deformities in relation to persistent organic pollutants. Environmental Pollution, 153(3), 529-536. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2007.09.017

EPA, U.S. (2000). Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Orientación para la evaluación de datos de contaminantes químicos para su uso en avisos de pescado, volumen 2: evaluación de riego y límites de consumo de pescado. Obtenido el 15 de diciembre de 2015.

FDA. (2012). Food and Drug Administration y la World Health. Contaminantes en la Cadena Alimentaria (CONTAM); Dictamen científico sobre el riesgo para la salud pública relacionado con la presencia de mercurio y metilmercurio en los alimentos. .

Feria, John Jairo, Marrugo, José Luis, & González, Humberto. (2010). Heavy metals in Sinú river, department of Córdoba, Colombia, South America. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia(55), 35-44.

Fernandes Azevedo, Bruna, Barros Furieri, Lorena, Peçanha, Franck Maciel, Wiggers, Giulia Alessandra, Frizera Vassallo, Paula, Ronacher Simões, Maylla, . . . Rossoni, Luciana. (2012). Toxic effects of mercury on the cardiovascular and central nervous systems. BioMed Research International, 2012.

Fitzgerald, Sionnan L. (2004). Los Metales Pesados en Cuarto Especies de Tortugas Marinas de Baja California, México. (Maestría).

Gaioli, Marisa, Amoedo, Diego, & González, Daniel. (2012). Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente. Archivos argentinos de pediatría, 110(3), 259-264.

Gallina Tessaro, Sonia, & López González, Carlos. (2011). Manual de técnicas para el estudio de la fauna. Universidad Autónoma de Querétaro e Instituto de Ecología, AC México. 390p.[Links].

Gao, Ying, Shi, Zeming, Long, Zhou, Wu, Peng, Zheng, Chengbin, & Hou, Xiandeng. (2012). Determination and speciation of mercury in environmental and biological samples by analytical atomic spectrometry. Microchemical Journal, 103, 1-14.

Gaona Martínez, Javier, & Valiente Malmagro, Manuel. (2004). El mercurio como contaminante global: Universitat Autònoma de Barcelona.

García-Fernández, Antonio J., Gómez-Ramírez, Pilar, Martínez-López, Emma, Hernández-García, Alejandro, María-Mojica, Pedro, Romero, Diego, . . . Bellido, Juan J. (2009). Heavy metals in tissues from loggerhead turtles (Caretta caretta) from the southwestern Mediterranean (Spain). Ecotoxicology and Environmental Safety, 72(2), 557-563. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.05.003

García, Inés, & Dorronsoro, Carlos. (2005). Contaminación por metales pesados. Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. http://edafologia. ugr. es.

Godley, B. J., Thompson, D. R., & Furness, R. W. (1999). Do Heavy Metal Concentrations Pose a Threat to Marine Turtles from the Mediterranean Sea? *Marine Pollution Bulletin, 38*(6), 497-502. doi: http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00184-2

Golet, Walter J, & Haines, Terry A. (2001). Snapping turtles (Chelydra serpentina) as monitors for mercury contamination of aquatic environments. Environmental Monitoring and Assessment, 71(3), 211-220.

Guirlet, E., Das, K., & Girondot, M. (2008). Maternal transfer of trace elements in leatherback turtles (Dermochelys coriacea) of French Guiana. *Aquatic Toxicology, 88*(4), 267-276. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.aquatox.2008.05.004

Gracia, Lisy, Chams, Linda, Hoyos, William, & Marrugo, José Luis. (2016). Relación de consumo de pescado y niveles de mercurio en pobladores aledaños al río San Jorge, Colombia. Agronomía Colombiana, 34(1Supl), S1169-S1171.

Gracia, Lisy, Marrugo, Jose L, & Alvis, Erasmo M. (2010). Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009. Facultad Nacional de Salud Pública, 28(2).

Gray, John S. (2002). Biomagnification in marine systems: the perspective of an ecologist. Marine Pollution Bulletin, 45(1–12), 46-52. doi: http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00323-X

Green, Aaliyah D, Buhlmann, Kurt A, & Hagen, Cris. (2010). Mercury contamination in turtles and implications for human health. Journal of environmental health, 72(10), 14.

Innis, C., Tlusty, M., Perkins, C., Holladay, S., Merigo, C., & Weber III, E. S. (2008). Trace metal and organochlorine pesticide concentrations in cold-stunned juvenile Kemp's ridley turtles (Lepidochelys kempii) from Cape Cod, Massachusetts. *Chelonian Conservation and Biology, 7*(2), 230-239.

Jerez, Silvia, Motas, Miguel, Cánovas, Régulo Ángel, Talavera, Jesús, Almela, Ramón Miguel, & del Río, Alejandro Bayón. (2010). Accumulation and tissue distribution of heavy metals and essential elements in loggerhead turtles (Caretta caretta) from Spanish Mediterranean coastline of Murcia. Chemosphere, 78(3), 256-264. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.10.062

Jewett, Stephen C, & Duffy, Lawrence K. (2007). Mercury in fishes of Alaska, with emphasis on subsistence species. Science of the Total Environment, 387(1), 3-27.

Jiménez Gómez, Angélica María. (2005). Interacción del mercurio con los componentes de las aguas residuales. (Tesis de pregrado), Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales.

Kampalath, Rita, Gardner, Susan C, Méndez-Rodríguez, Lia, & Jay, Jennifer A. (2006). Total and methylmercury in three species of sea turtles of Baja California Sur. Marine Pollution Bulletin, 52(12), 1816-1823.

Lam, J. C., Tanabe, S., Chan, S. K., Lam, M. H., Martin, M., & Lam, P. K. (2006). Levels of trace elements in green turtle eggs collected from Hong Kong: evidence of risks due to selenium and nickel. *Environmental Pollution, 144*(3), 790-801.

Ley Quinonez, Cesar Paul. (2012). Determinación de metales pesados en tortugas marinas del Noroeste de México.

Lima, Karla. (2015). Evaluación de los niveles de mercurio total y mercurio orgánico en muestras de suelos procedentes de Instituciones Educativas del pueblo “El Callao”, Estado Bolívar, Venezuela.

López Bardales, Fredy Alexander, & Quijada Benavides, María Gabriela. (2016). Determinación de concentraciones de metales pesados en sangre de hembras anidantes de tortugas carey (Eretmocheys imbricata) en la Bahía de Jiquilisco, Departamento de Usulután, El Salvador. Universidad de El Salvador.

López Diez, L. C., & Estrepo Alzate, L. (2016). *Mercurio total en sangre de tortuga hicotea del Caribe (Trachemys callirostris) en el departamento de Córdoba y sus posibles implicaciones en la salud pública.*

Lubick, Naomi. (2009). Funding struggle for mercury monitoring: Nature Publishing Group.

Luo, Guangqian, Yao, Hong, Xu, Minghou, Gupta, Rajenda, & Xu, Zhenghe. (2011). Identifying modes of occurrence of mercury in coal by temperature programmed pyrolysis. Proceedings of the Combustion Institute, 33(2), 2763-2769.

Mancera-rodríguez, Néstor Javier, & Álvarez-León, Ricardo. (2006a). De mercurio y otros metales pesados en peces current state of knowledge of the concentration of

mercury and other heavy metals in fresh water fish in Colombia. Acta Biologica Colombiana, 11(1), 3-23.

Mancera-Rodríguez, Néstor Javier, & Álvarez-León, Ricardo. (2006b). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. Acta Biológica Colombiana, 11(1), 3-23.

Marrugo-Negrete, Jose, Benitez, Luis Norberto, & Olivero-Verbel, Jesús. (2008). Distribution of Mercury in Several Environmental Compartments in an Aquatic Ecosystem Impacted by Gold Mining in Northern Colombia. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 55(2), 305-316. doi: 10.1007/s00244-007-9129-7

Marrugo-Negrete, José, Navarro-Frómeta, Amado, & Ruiz-Guzmán, Javier. (2015). Total mercury concentrations in fish from Urrá reservoir (Sinú river, Colombia). Six years of monitoring. Revista MVZ Córdoba, 20(3), 4754-4765.

Marrugo-Negrete, José, Verbel, Jesus Olivero, Ceballos, Edineldo Lans, & Benitez, Luis Norberto. (2008). Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mojana region of Colombia. Environmental Geochemistry and Health, 30(1), 21-30. doi: 10.1007/s10653-007-9104-2

Marrugo, J, & Negrete, R. (2011). Evaluación de la contaminación por metales pesados en la Ciénaga La Soledad y Bahía de Cispatá, cuenca del Bajo Sinú, departamento de Córdoba. Facultad de Ciencias Básicas. Departamento de Química. Universidad de Córdoba. Montería.

Marrugo, José, Lans, Edineldo, & Benítez, Luis. (2007a). Finding of mercury in fish from the Ayapel marsh, Cordoba, Colombia. Revista MVZ Córdoba, 12(1), 878-886.

Marrugo, José, Lans, Edineldo, & Benítez, Luis. (2007b). Hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. Revista MVZ Córdoba, 12, 878-886.

Marrugo, José., & Lans, Edineldo. (2006). Impacto ambiental por contaminación con niquel, mercurio y cadmio en aguas, peces y sedimentos en la cuenca del rio San Jorge, en el departamento de Córdoba. URL disponible en: http://academico. unicordoba. edu. co, 8080.

Martínez Silvestre, A, & Arias Bernal, L. (2004). Trachemys scripta callirostris. La tortuga hicotea en Colombia: biología, usos y conservación. Reptilia: revista especializada en reptiles, anfibios y artrópodos(49), 52-57.

Medem, F. (1975). La reproducción de la Hicotea (Pseudemys scripta callirostris), (Testudines. Emydidae). . Calsadia 11, 83- 101.

Mesquidaz, Eliel Enrique Doria, Negrete, José Marrugo, & Hernández, Jose Pinedo. (2013). Exposición a mercurio en trabajadores de una mina de oro en el norte de Colombia. Salud Uninorte, 29(3).

Monteiro, S., Rocha, E., Mancera, J., Fontaínhas-Fernandes, A., & Sousa, M. (2009). A stereological study of copper toxicity in gills of Oreochromis niloticus. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 72*(1), 213-223.

Morillo, José, Usero, José, & Gracia, Ignacio. (2002). Heavy Metal Fractionation in Sediments from the Tinto River (Spain). International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 82(4), 245-257. doi: 10.1080/03067310290009523

Morton, DB, Abbot, D, Barclay, R, Close, BS, Ewbank, R, Gask, D, & Heath, M. (1993). Extracción de sangre en los mamíferos y aves de laboratorio. Laboratory animals, 27, 1-22.

Rajeshkumar, S., & Munuswamy, N. (2011). Impact of metals on histopathology and expression of HSP 70 in different tissues of Milk fish (Chanos chanos) of Kaattuppalli Island, South East Coast, India. . *Chemosphere, 83*, 415–421.

Suchanek, T. H., Eagles-Smith, C. A., Slotton, D. G., Harner, E. J., Colwell, A. E., Anderson, N. L.,McElroy, K. J. (2008). spatiotemporal trends in fish mercury from a mine-dominated ecosystem: clear lake, california. *ecological applications, 18*(sp8).

Naranjo-Gómez, Juan S, Zambrano-Cardona, Fabián, Uribe-García, Fabián, Ramírez, Karol, Vargas-Morales, Julieth A, & Rondón-Barragán, Iang S. (2014). Efectos inmunotoxicológicos e histopatológicos de la exposición a concentraciones subletales de cloruro de mercurio (HgCl2) en cachama blanca (Piaractus brachypomus). CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, 9, 26-42.

Olivero-Verbel, Jesus, Johnson-Restrepo, Boris, Mendoza-Marín, Claudia, Paz-Martinez, Ramon, & Olivero-Verbel, Rafael. (2004). Mercury in the Aquatic Environment

of the Village of Caimito at the Mojana Region, North of Colombia. Water, Air, and Soil Pollution, 159(1), 409-420. doi: 10.1023/b:wate.0000049162.54404.76

Olivero-Verbel, Jesus, Young-Castro, Fredys, & Caballero-Gallardo, Karina. (2014). Contaminación por mercurio en aire del distrito minero de San Martín de Loba en el departamento de Bolívar, Colombia. Revista internacional de contaminación ambiental, 30(1), 07-13.

Olivero, Jesus, Johnson, Boris, & Arguello, Eduardo. (2002). Human exposure to mercury in San Jorge river basin, Colombia (South America). The Science of the total environment, 289(1-3), 41-47.

OMS. (2005.). Organización Mundial de la Salud. El mercurio en el sector de la salud. Documento de Política General. Anexo 2. Disponible en: WHO/SDE/WSH/05.08.

Ortega JA, Ferris J, Tortajada, López JA, et al. (2003). Hospitales Sostenibles (II). Mercurio: exposición pediátrica. Efectos adversos en la salud humana y medidas preventivas. RevEsp Pediatr 59(3):274-91.

Páez-Osuna, F., Calderón-Campuzano, M. F., Soto-Jiménez, M. F., & Ruelas-Inzunza, J. (2011). Mercury in blood and eggs of the sea turtle Lepidochelys olivacea from a nesting colony in Oaxaca, Mexico. Marine Pollution Bulletin, 62(6), 1320-1323. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.04.004

PGAR. (2008). Plan de Gestión Ambiental Regional. 2008- 2019. Córdoba: Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge.

PNUMA. (2002). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Productos químicos. Evaluación mundial sobre el Hg. (pp. III.). Ginebra, Suiza.

Porvari, Petri. (2003). Sources and fate of mercury in aquatic ecosystems Yhteenveto : Elohopean lähteet , kulkeutuminen ja muuntuminen: Finnish Environment Institute.

Ramírez, Augusto V. (2008). Intoxicación ocupacional por mercurio. Paper presented at the Anales de la Facultad de Medicina.

Roqueme, Julio, Pinedo, José J, Marrugo, José L, & Aparicio, Angela. (2016). Metales pesados en suelos agrícolas del valle medio y bajo del rio Sinú, departamento de Córdoba. Paper presented at the II SICA.

Rueda-Almonacid, José Vicente, Carr, John L, Mittermeier, Russell A, Rodríguez-Mahecha, José V, Mast, Roderic B, Vogt, Richard C, . . . Mittermeier, Cristina G. (2007). Las tortugas y los cocodrilianos de los países andinos del trópico. Serie de guías tropicales de campo(6), 412-423.

Ruiz-Guzmán, Javier Alonso, Marrugo-Negrete, José Luis, & Díez, Sergi. (2014). Human exposure to mercury through fish consumption: Risk assessment of riverside inhabitants of the Urrá reservoir, Colombia. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 20(5), 1151-1163.

Schneider, Larissa, Belger, Lauren, Burger, Joanna, Vogt, Richard C, & Ferrara, Camila R. (2010). Mercury levels in muscle of six species of turtles eaten by people along the Rio Negro of the Amazon basin. Archives of environmental contamination and toxicology, 58(2), 444-450.

Schneider, Larissa, Belger, Lauren, Burger, Joanna, & Vogt, Richard C. (2009). Mercury bioacumulation in four tissues of Podocnemis erythrocephala (Podocnemididae: Testudines) as a function of water parameters. Science of The Total Environment, 407(3), 1048-1054. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.09.049

Souza-Araujo, J, Giarrizzo, T, & Lima, MO. (2015). Mercury concentration in different tissues of Podocnemis unifilis (Troschel, 1848)(Podocnemididae: Testudines) from the lower Xingu River–Amazonian, Brazil. Brazilian Journal of Biology, 75(3), 106-111.

Storelli, M., Storelli, A., D'Addabbo, R., Marano, C., Bruno, R., & Marcotrigiano, G. (2005). Trace elements in loggerhead turtles (Caretta caretta) from the eastern Mediterranean Sea: overview and evaluation. *Environmental Pollution, 135*(1), 163-170.

Storelli, M. M., Barone, G., & Marcotrigiano, G. O. (2007). Polychlorinated biphenyls and other chlorinated organic contaminants in the tissues of Mediterranean loggerhead turtle Caretta caretta. Science of The Total Environment, 373(2–3), 456-463. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.11.040

Talavera Sáenz, Ana Luisa, Ortíz Hernández, Ma, Concepción Zurita Gutiérrez, Julio César González, & Solís, David. (2010). Evaluación de metales pesados en hembras y crías de tortuga blanca Chelonia mydas (Reptilia, Cheloniidae) de las costas de Quintana Roo, México.

Tercero Guerrero, Daniela Vanessa. (2015). Manual: Toma, conservación y envìo de muestras representativas al Laboratorio de Diagnóstico Veterinario. Universidad Nacional Agraria.

Turnquist, Madeline A, Driscoll, Charles T, Schulz, Kimberly L, & Schlaepfer, Martin A. (2011). Mercury concentrations in snapping turtles (Chelydra serpentina) correlate with environmental and landscape characteristics. Ecotoxicology, 20(7), 1599-1608.

UPME-MME-UC. (2016). Identificación y Caracterización de Unidades Básicas de Beneficio Aurifero en 261 Municipios de Colombia. Bogotá D.C.: Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas y Energía, Universidad de Córdoba.

Uryu, Yumiko, Malm, Olaf, Thornton, Iain, Payne, Ian, & Cleary, David. (2001). Mercury contamination of fish and its implications for other wildlife of the Tapajós Basin, Brazilian Amazon. Conservation Biology, 15(2), 438-446.

Verbel, JESÚS OLIVERO. (2011). Efectos de la minería en Colombia sobre la salud humana. Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Disponible en.

Wang, Qianrui, Kim, Daekeun, Dionysiou, Dionysios D, Sorial, George A, & Timberlake, Dennis. (2004). Sources and remediation for mercury contamination in aquatic systems—a literature review. Environmental pollution, 131(2), 323-336.

Wang, H.-C. (2005). *Trace metal uptake and accumulation pathways in Kemp's Ridley sea turtles (Lepidochelys kempii).* Texas A&M University.

Zapata, Lina M. (2014). Podocnemis lewyana Y Trachemys callirostris como biomonitores para la evaluación de la acumulación de mercurio en tejidos y la determinación de efectos genotóxicos en zonas de influencia de minería aurífera (Maestría), Universidad de Antioquia.

ANEXOS

Anexo 1. Base de datos de *Trachemys c. callirostris* en muestras de sangre de las cuencas de los río Sinú y San Jorge.

ID	*spp*	Hg µg/Kg	Localidad	Cuenca	Sexo	Peso
TC 001	*Trachemys callirostris c.*	**25,28**	Montería	Sinú	Hembra	453
TC 002	*Trachemys callirostris c.*	**35,02**	Montería	Sinú	Hembra	1024
TC 003	*Trachemys callirostris c.*	**32,30**	Montería	Sinú	Hembra	1405
TC 004	*Trachemys callirostris c.*	**11,87**	Montería	Sinú	Hembra	1128
TC 005	*Trachemys callirostris c.*	**14,57**	Lorica	Sinú	Macho	800
TC006	*Trachemys callirostris c.*	**16,06**	Lorica	Sinú	Hembra	950
TC 007	*Trachemys callirostris c.*	**15,07**	Lorica	Sinú	Hembra	1500
TC 008	*Trachemys callirostris c.*	**9,74**	Lorica	Sinú	Hembra	1700
TC 009	*Trachemys callirostris c.*	**9,06**	Lorica	Sinú	Hembra	950
TC 010	*Trachemys callirostris c.*	**6,40**	Lorica	Sinú	Macho	1200
TC 011	*Trachemys callirostris c.*	**9,68**	Lorica	Sinú	Macho	800
TC 012	*Trachemys callirostris c.*	**12,11**	Lorica	Sinú	Hembra	1800
TC 013	*Trachemys callirostris c.*	**10,70**	Lorica	Sinú	Hembra	2300
TC 014	*Trachemys*	**12,74**	Lorica	Sinú	Macho	650

	callirostris c.					
TC 035	*Trachemys callirostris c.*	**21,37**	Purísima	Sinú	Macho	805
TC 036	*Trachemys callirostris c.*	**28,62**	Purísima	Sinú	Hermbra	820
TC 037	*Trachemys callirostris c.*	**103,76**	Purísima	Sinú	Macho	640
TC 038	*Trachemys callirostris c.*	**31,86**	Purísima	Sinú	Hembra	650
TC 039	*Trachemys callirostris c.*	**5,40**	Purísima	Sinú	Macho	560
TC 040	*Trachemys callirostris c.*	**6,52**	Purísima	Sinú	Hembra	495
TC 041	*Trachemys callirostris c.*	**16,15**	Purísima	Sinú	Macho	340
TC 042	*Trachemys callirostris c.*	**10,48**	Purísima	Sinú	Hembra	410
TC 043	*Trachemys callirostris c.*	**7,53**	Purísima	Sinú	Hembra	390
TC 044	*Trachemys callirostris c.*	**4,15**	Purísima	Sinú	Macho	310
TC 051	*Trachemys callirostris c.*	**9,98**	Lorica	Sinú	Hembra	1250
TC 052	*Trachemys callirostris c.*	**9,91**	Lorica	Sinú	Hembra	1350
TC 053	*Trachemys callirostris c.*	**13,40**	Lorica	Sinú	Hembra	1200
TC 054	*Trachemys callirostris c.*	**10,40**	Lorica	Sinú	Hembra	1400
TC 055	*Trachemys callirostris c.*	**11,22**	Lorica	Sinú	Hembra	1700
TC 056	*Trachemys callirostris c.*	**8,76**	Lorica	Sinú	Hembra	1660

TC 057	*Trachemys callirostris c.*	**10,57**	Lorica	Sinú	Hembra	1175
TC 059	*Trachemys callirostris c.*	**11,20**	Lorica	Sinú	Hembra	500
TC 060	*Trachemys callirostris c.*	**7,55**	Lorica	Sinú	Hembra	1315
TC 064	*Trachemys callirostris c.*	**40,75**	Lorica	Sinú	Macho	260
TC 015	*Trachemys callirostris c.*	**27,13**	Pueblo Nuevo	San Jorge	Hembra	545
TC 016	*Trachemys callirostris c.*	**9,57**	Pueblo Nuevo	San Jorge	Hembra	1550
TC 017	*Trachemys callirostris c.*	**12,24**	Pueblo Nuevo	San Jorge	Hembra	1090
TC 018	*Trachemys callirostris c.*	**11,58**	Pueblo Nuevo	San Jorge	Hembra	1835
TC 019	*Trachemys callirostris c.*	**19,30**	Pueblo Nuevo	San Jorge	Hembra	1485
TC 021	*Trachemys callirostris c.*	**16,99**	Pueblo Nuevo	San Jorge	Macho	1075
TC 022	*Trachemys callirostris c.*	**17,80**	Pueblo Nuevo	San Jorge	Hembra	1950
TC 023	*Trachemys callirostris c.*	**17,31**	Pueblo Nuevo	San Jorge	Hembra	1755
TC 024	*Trachemys callirostris c.*	**15,35**	Pueblo Nuevo	San Jorge	Hembra	1270
TC 025	*Trachemys callirostris c.*	**14,37**	Pueblo Nuevo	San Jorge	Hembra	1285
TC 026	*Trachemys callirostris c.*	**21,47**	Buenavista	San Jorge	Hembra	1320
TC 027	*Trachemys callirostris c.*	**14,38**	Buenavista	San Jorge	Hembra	1880
TC 028	*Trachemys*	**15,00**	Buenavista	San	Macho	785

	callirostris c.			Jorge		
TC 029	*Trachemys callirostris c.*	**15,32**	Buenavista	San Jorge	Hembra	1300
TC 030	*Trachemys callirostris c.*	**17,41**	Buenavista	San Jorge	Hembra	1360
TC 031	*Trachemys callirostris c.*	**16,89**	Buenavista	San Jorge	Hembra	1195
TC 032	*Trachemys callirostris c.*	**18,68**	Buenavista	San Jorge	Hembra	1480
TC 033	*Trachemys callirostris c.*	**25,05**	Buenavista	San Jorge	Hembra	1325
TC 034	*Trachemys callirostris c.*	**24,08**	Buenavista	San Jorge	Hembra	1265
TC 045	*Trachemys callirostris c.*	**8,96**	Ayapel	San Jorge	Hembra	1500
TC 046	*Trachemys callirostris c.*	**6,29**	Ayapel	San Jorge	Hembra	1350
TC 048	*Trachemys callirostris c.*	**4,99**	Ayapel	San Jorge	Hembra	1490
TC 049	*Trachemys callirostris c.*	**16,45**	Ayapel	San Jorge	Hembra	1600
TC 050	*Trachemys callirostris c.*	**7,92**	Ayapel	San Jorge	Hembra	1600

Anexo 2. Base de datos de *Trachemys c. callirostris* en muestras de tejido interdigital de las cuencas de los río Sinú y San Jorge.

ID	*spp*	Hg µg/Kg	Localidad	Cuenca	Sexo	Peso gr
YMM 001	*Trachemys callirostris c.*	**10,1**	Momil	Sinú	Hembra	1800
YMM 002	*Trachemys callirostris c.*	**20,47**	Momil	Sinú	Hembra	1600
YMM	*Trachemys*	**38,14**	Momil	Sinú	Hembra	1300

003	*callirostris c.*					
YMM 004	*Trachemys callirostris c.*	**30,6**	Momil	Sinú	Hembra	1200
YMM 007	*Trachemys callirostris c.*	**52,01**	Lorica	Sinú	Macho	1050
YMM 008	*Trachemys callirostris c.*	**21,14**	Lorica	Sinú	Macho	1010
YMM 009	*Trachemys callirostris c.*	**59,81**	Lorica	Sinú	Hembra	1000
YMM 010	*Trachemys callirostris c.*	**10,3**	Lorica	Sinú	Hembra	950
YMM 011	*Trachemys callirostris c.*	**59,25**	Lorica	Sinú	Macho	1900
YMM 012	*Trachemys callirostris c.*	**38,51**	Momil	Sinú	Hembra	1350
YMM 013	*Trachemys callirostris c.*	**105,84**	Momil	Sinú	Hembra	1970
YMM 014	*Trachemys callirostris c.*	**25,15**	Lorica	Sinú	Hembra	990
YMM 016	*Trachemys callirostris c.*	**72,94**	Lorica	Sinú	Hembra	800
YMM 023	*Trachemys callirostris c.*	**57,81**	Ayepel	San Jorge	Hembra	550
YMM 024	*Trachemys callirostris c.*	**16,66**	Ayepel	San Jorge	Hembra	1770
YMM 025	*Trachemys callirostris c.*	**44,89**	Ayepel	San Jorge	Macho	1000
YMM 026	*Trachemys callirostris c.*	**47,75**	Ayepel	San Jorge	Macho	900
YMM 027	*Trachemys callirostris c.*	**28,93**	Ayepel	San Jorge	Hembra	800
YMM 028	*Trachemys callirostris c.*	**26,96**	Ayepel	San Jorge	Macho	800

YMM 029	*Trachemys callirostris c.*	**62,64**	Ayepel	San Jorge	Macho	800
YMM 030	*Trachemys callirostris c.*	**71,49**	Ayepel	San Jorge	Macho	500
YMM 031	*Trachemys callirostris c.*	**8,04**	Monteria	Sinú	Hembra	550
YMM 032	*Trachemys callirostris c.*	**3,48**	Monteria	Sinú	Hembra	1150
YMM 033	*Trachemys callirostris c.*	**10,3**	Monteria	Sinú	Hembra	650
YMM 034	*Trachemys callirostris c.*	**5,51**	Monteria	Sinú	Hembra	625
YMM 035	*Trachemys callirostris c.*	**3,86**	Monteria	Sinú	Hembra	700
YMM 036	*Trachemys callirostris c.*	**4,88**	Monteria	Sinú	Hembra	450
YMM 037	*Trachemys callirostris c.*	**3,42**	Monteria	Sinú	Macho	450
YMM 038	*Trachemys callirostris c.*	**5,29**	Monteria	Sinú	Hembra	375
YMM 039	*Trachemys callirostris c.*	**7,92**	Monteria	Sinú	Hembra	500
YMM 040	*Trachemys callirostris c.*	**7,24**	Monteria	Sinú	Hembra	550

Anexo 3. Base de datos de *Trachemys c. callirostris* en muestras de sangre del zoológico Santa Fe de Medellin.

ID	spp	Hg µg/Kg	Municipio	Sexo	Peso
TC 085	*Trachemys callirostris c.*	0	Medellin	Hembra	2693
TC 086	*Trachemys callirostris c.*	0	Medellin	Macho	3367

TC 087	*Trachemys callirostris c.*	0	Medellin	Hembra	2954
TC 088	*Trachemys callirostris c.*	0	Medellin	Hembra	3075
TC 089	*Trachemys callirostris c.*	0	Medellin	Macho	1507
TC 090	*Trachemys callirostris c.*	0	Medellin	Hembra	3513
TC 091	*Trachemys callirostris c.*	0	Medellin	Hembra	1678
TC 092	*Trachemys callirostris c.*	0	Medellin	Hembra	2845
TC 093	*Trachemys callirostris c.*	0	Medellin	Macho	3875