

**Mercurio total en sangre de tortuga hicoitea del Caribe (*Trachemys callirostris*) en el departamento de Córdoba y sus posibles implicaciones en la salud pública**

**Trabajo de grado para optar por el título de Médico Veterinario**

**Laura Cristina López Díez  
Laura Restrepo Alzate**

**Asesor  
Santiago Monsalve Buriticá  
MVZ, Esp, M.Sc. Dr.Sc.(c)**

**Corporación Universitaria Lasallista  
Facultad Ciencias Administrativas y Agropecuarias  
Medicina Veterinaria  
Caldas-Antioquia  
2016**

## Tabla de contenido

Introducción .....	12
Justificación .....	16
Objetivos.....	19
General .....	19
Específicos.....	19
Marco Teórico.....	20
Tortuga hicotea ( <i>T. callirostris</i> ).....	20
Descripción del área de estudio .....	24
Metales pesados .....	26
Mercurio.....	27
Metodología.....	32
Áreas geográficas de estudio.....	32
Tipo de estudio.....	33
Tamaño de la muestra .....	33
Muestras .....	34
Tiempo de estudio.....	35
Análisis total de mercurio .....	35
Digestión ácida .....	35
Detección de mercurio.....	37
Límite de consumo de tejido contaminado de mercurio (Hg) .....	38

Límite Diario de Consumo .....	39
Límite Mensual de Consumo .....	39
Resultados.....	41
Discusión .....	45
Conclusiones .....	50
Recomendaciones .....	52
Referencias .....	53
Apéndices.....	60

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Zonas geográficas y número de ejemplares muestreados. ....	33
<b>Tabla 2.</b> Datos de programación del digestor para el procesamiento de las muestras de sangre. ....	36
<b>Tabla 3.</b> Puntos de la curva de mercurio. ....	37
<b>Tabla 4.</b> Consumo mensual de los límites de mercurio en tejido. ....	40

## Lista de gráficos

<b>Gráfico 1.</b> Número de machos y hembras muestreados. ....	41
<b>Gráfico 2.</b> Distribución de las concentraciones de hg en sangre ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) para cada localidad.....	42
<b>Gráfico 3.</b> Concentración de hg promedio por región.....	43
<b>Gráfico 4.</b> Límite de consumo diario en gramos por región.....	44
<b>Gráfico 5.</b> Límite de consumo mensual en porciones de 227 g por región.....	44

## Lista de ilustraciones

- Ilustración 1.** Ubicación de las regiones geográficas donde se realizó la toma de muestras: montería, cotocá, pueblo nuevo, buena vista, purísima, ayapel, lorica, ciénaga de oro, montelíbano..... 32
- Ilustración 2.** Ubicación del río sinú y san jorge en el departamento de córdoba. .... 34

## Lista de apéndices

<b>Apéndice A.</b> Identificación de la muestra. Ubicación. Sexo. Peso. Medidas de caparazón, plastrón, altura y cola. ....	60
<b>Apéndice B.</b> Resultados del análisis de hg en sangre, concentración de hg en 0,025 litros de sangre y concentración de hg esperada en músculo. ....	64
<b>Apéndice C.</b> Límite de consumo diario y mensual para cada región muestreada basado en el promedio de hg en músculo por regiones. ....	67

## Resumen

Los metales pesados una vez arrojados a los ecosistemas pueden distribuirse en diferentes organismos de la cadena trófica, jugando un papel importante en el intercambio energético. Algunos organismos pueden acumular altos niveles de tóxicos a través del consumo de sus presas, haciéndolos especies representativas para determinar niveles de metales pesados en el medio. El objetivo de este estudio fue detectar las concentraciones de mercurio en la sangre de la especie *Trachemys callirostris* en 9 localidades del departamento de Córdoba y determinar el posible riesgo en la salud humana. Se tomaron 91 muestras de sangre, se cuantificaron las concentraciones de mercurio en  $\mu\text{g/L}$  por medio de espectrometría de absorción atómica, se estimó una concentración en músculo 5 veces superior y con ésta se calculó el límite de consumo diario y mensual. Los niveles de mercurio fueron: Montería  $26.1 \pm 10.3$ , Cotocá  $11.6 \pm 3.0$ , Pueblo Nuevo  $14.7 \pm 6.8$ , Buenavista  $18.7 \pm 4.0$ , Purísima  $23.6 \pm 29.8$ , Ayapel  $8.9 \pm 4.5$ , Lórica  $8.9 \pm 10.2$ , Ciénaga de oro  $2.4 \pm 7.6$ , Montelíbano  $3.0 \pm 8.6$  y como control ejemplares provenientes de un centro de conservación *ex situ* del municipio de Medellín  $0 \pm 0.0$ ; Fueron obtenidos resultados menores en comparación con valores reportados en otros estudios para *T. callirostris*. Durante el estudio se determinó en un ejemplar del municipio de Purísima una concentración de  $103.76 \mu\text{g/kg}$ , el consumo del recurso con este nivel de mercurio podría representar un riesgo de salud pública y limitaría la ingesta en una porción de 227 gramos/mes. Lo anterior, evidencia un posible riesgo por consumo de carne de hicotea en algunas regiones del departamento de Córdoba.

**Palabras clave:** *T. callirostris*, mercurio, sangre, bioacumulación, límite de consumo.



## Abstract

Once heavy metals have thrown to the ecosystems may distributed in different organisms the food chain playing an important role in the energetic exchange of the ecosystems. Some of these organisms can accumulate high levels of toxics through the consumption of their prays making them representatives species for determining the levels of heavy pollutant metals in the middle. The objective of this investigation was detected mercury concentrations in blood of specie *Trachemys callirostris* in 9 locations from the Cordoba department and determine the possible risk for the human health. Were taken 91 samples of blood and quantified mercury concentrations in  $\mu\text{g/L}$  (ppb) through atomic absorption spectrometry it was estimated the concentration in muscle 5 times higher and with this was calculated limit daily and monthly consumption. Mercury levels in ppb was: Montería  $26.1 \pm 10.3$ , Cotocá  $11.6 \pm 3.0$ , Pueblo Nuevo  $14.7 \pm 6.8$ , Buenavista  $18.7 \pm 4.0$ , Purísima  $23.6 \pm 29.8$ , Ayapel  $8.9 \pm 4.5$ , Lórica  $8,9 \pm 10.2$ , Ciénaga de oro  $2.4 \pm 7.6$ , Montelíbano  $3.0 \pm 8.6$  and as control specimens from *ex situ* conservation center in the municipality of Medellín  $0 \pm 0.0$ ; which were low compared with values reported in other investigations for *T. callirostris*. During the investigation was determined a specimen from municipality of Purísima with a concentration of  $103.76 \mu\text{g/kg}$  the ingest of specimen with this level of mercury represent a risk in the public health and would limit intake of resource in a portion of 227g month. Previous possible evidence a risk for intaking of hicotea meat in some locations from Cordoba department.

**Keywords:** *T. callirostris*, mercury, blood, bioaccumulation, consumption limit.

### Lista de abreviaturas

$\mu\text{g/L}$ : microgramos por litro

$\mu\text{g/Kg}$ : microgramos por kilogramo

CRlim: límite diario de consumo

CRmm: límite mensual de consumo

Hg: mercurio

mg/kg: miligramo por kilogramo

U.S. EPA: Agencia de Protección Ambiental Americana

Rfd: dosis de referencia

ATSDR: Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades Americana

MRL: Nivel de riesgo mínimo

FDA: Administración de Alimentos y Medicamentos

FAO: Organización Mundial de la Salud

Ppm: partes por millón

Ppb: Partes por billón

g: gramos

EAA: Espectrometría de Absorción Atómica

ng/g: nanogramos por gramo

## **Agradecimientos**

Agradecemos a la convocatoria realizada por la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) y la Corporación Universitaria Lasallista por la financiación del presente proyecto de investigación. Adicionalmente a los docentes Joan Gastón Zamora docente de la UNAL sede Medellín y a Claudio Jiménez docente de la Corporación Universitaria Lasallista.

A los veterinarios Cesar Rojano, Rafael Blanco y Elbert Ramos por la colaboración prestada durante la toma de muestras.

Al Instituto de Investigaciones Biológicas y del Trópico – IIBT (Departamento de Córdoba) y al Laboratorio de Trazabilidad y Residualidad de la Corporación Universitaria Lasallista por permitirnos el almacenamiento y procesamiento de las muestras.

Al personal que integra el grupo de trabajadores del Laboratorio de la Corporación Universitaria Lasallista, especialmente a Daniel León, Ana Muñoz y Juan Diego Restrepo.

A los docentes de la Corporación Universitaria Lasallista, Juliana Mira por la asesoría prestada y en especial a Santiago Monsalve por motivarnos a ingresar al mundo de la investigación, su acompañamiento y apoyo durante este proceso.

## Introducción

Las tortugas son buenos indicadores potenciales de la persistente exposición a contaminantes debido a sus características biológicas. La tortuga hicotéa (*Trachemys callirostris*) por ser una especie longeva, ocupa un rango alto en los niveles tróficos de los sistemas acuáticos. La tortuga hicotéa (*T. callirostris*) (Gray 1856) es endémica de Venezuela y Colombia. En este último habita los ambientes de agua dulce del norte del país, su dieta es omnívora y es relativamente sedentaria (Bash, 2012; Bock, Páez, & Daza, 2010). Estas características ecológicas hacen que sean un buen indicador de contaminación en estos hábitats. De acuerdo a los datos reportados por la IUCN y la Chelonian Research Foundation, sobre la situación demográfica de las poblaciones de tortuga hicotéa (*T. callirostris*) es completamente carente, pero los relatos anecdóticos de las extracciones locales y los descensos de la densidad debido a la sobreexplotación justifican que a largo plazo la especie pase de la categoría de Casi Amenazada (NT) de la lista roja de la UICN a un estado de vulnerable (VU) (Bash, 2012).

El mercurio (Hg) es uno de los contaminantes más comunes que persisten en los ecosistemas acuáticos ya sea a través de la erosión natural, los procesos biogeoquímicos y fuentes antropogénicas (Ley-Quiñonez et al., 2011). En Colombia, hay numerosos ríos de agua dulce que reciben directamente las descargas de mercurio, en ambas formas químicas elemental y metilado, desde las áreas mineras de oro legales e ilegales (Zapata, Bock, & Palacio, 2014). Sin embargo, las fuentes de contaminación no son siempre fáciles de identificar, ya que los ríos también reciben las

aguas residuales urbanas e industriales y además las entradas en el suelo debido a la deforestación generalizada. La ausencia de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en el país es un contratiempo para mantener la salud de los ríos y también complican la posibilidad de encontrar áreas limpias que pueden usarse como sitios de referencia (Veiga, 2010).

Numerosas especies de tortugas son vendidas anualmente para el consumo humano. En Colombia, el consumo de tortuga hicoitea (*T. callirostris*) es parte de la cultura local en las áreas costeras del norte del país. Su consumo data desde épocas prehispánicas por su ubicación, en la época de semana santa son consumidas en mayor medida por hábito cultural, época que coincide con la reproducción de estos ejemplares; adicionalmente la temporada de desove se presenta desde enero hasta abril (Martínez Silvestre & Arias Bernal, 2004). Para el año de 1997 se estimó que la caza de esta especie llegó al millón de ejemplares (Martínez Silvestre & Arias Bernal, 2004). Durante el primer trimestre del año, se reporta que en el departamento de Córdoba, una sola persona captura en promedio de cuatro a cinco ejemplares de tortugas en un día de trabajo; mientras que en la región del Magdalena se ha registrado que al trabajar en grupos pueden llegar a extraerse hasta 300 hicoiteas en un día (Bonilla Gómez, 2009). Por otro lado, se estima que para un solo plato de hicoitea se emplean de tres a cuatro tortugas, debido a que las únicas partes que se usan para la preparación son las patas y la cabeza (Isaza, 2016). Adicionalmente, el consumo por familia es de aproximadamente cuatro individuos, preferiblemente hembras, esto debido a que la carne del macho no es tan apetecida y es raro observarlos en la época de desove; el número de individuos capturados varía por el tamaño de la familia, la

disponibilidad de tortugas y el tamaño de la tortuga (Bonilla Gómez, 2009). La extracción de los huevos es poco frecuente y se consumen únicamente al capturar las hembras antes del desove; en promedio se extraen de 15 a 20 huevos por hembra. Se reporta que el tamaño promedio de los ejemplares capturados es de máximo 20 cm de largo de plastrón, tamaño que es considerado pequeño. La comercialización de neonatos y juveniles de hicotea ha venido aumentando, lo cual afecta de forma notoria las poblaciones de estas (Bonilla Gómez, 2009).

Para algunas especies de tortugas, una buena correlación ha sido encontrada entre las concentraciones de Hg en sangre con aquellos en músculo, hígado y riñón, sugiriendo que la sangre puede ser usada como un bioindicador de acumulación en órganos internos (Golet & Haines, 2000; Schneider et al., 2011). Esto es importante porque si la sangre es representativa de las concentraciones de Hg en tejidos comestibles, podría ser usado como un sustituto de exposición sin la necesidad de sacrificar al animal. Para la tortuga hicotea (*T. callirostris*) las concentraciones en músculo han sido generalmente encontradas de 4 a 5 veces más altas que las concentraciones en sangre, no se ha observado una correlación significativa (Zapata et al., 2014).

En el presente estudio, se determinó el nivel de Hg en las muestras de sangre de 91 individuos de tortuga hicotea (*T. callirostris*) pertenecientes a 9 localidades del departamento de Córdoba y un grupo control en el departamento de Antioquia (Zoológico Santa Fe, Medellín), los resultados obtenidos se compararon con otros estudios reportados para el género *Trachemys sp.* Adicionalmente, se evaluó si las

concentraciones de Hg obtenidas representan un riesgo de salud para los consumidores.

## Justificación

Los metales pesados, dentro de estos el mercurio (Hg), una vez arrojados al medio sólo pueden distribuirse entre los entornos aire, agua y suelo, a veces cambiando su estado químico o incorporándose a los seres vivos, en donde la presencia de tóxicos puede acarrear alteraciones genéticas. Los metales pesados y plaguicidas han sido descritos como tóxicos que pueden producir alteraciones de la división celular y del contenido y organización cromosómica de diversos organismos, principalmente supresión mitótica, poliploidización y degeneración; a nivel de los cromosomas individuales, se han descrito aneuploidias y fusión de cromátidas hermanas (Barsiene, 1994).

El envenenamiento por Hg es también conocido como hidrargiria, hidrargirismo o mercurialismo, la cual es una enfermedad causada por la exposición al Hg o sus compuestos. Los efectos tóxicos en humanos incluyen daño cerebral, renal y pulmonar. 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; además se ha reportado discapacidad sensorial, sensación alterada y falta de coordinación. El tipo y grado de los síntomas dependen de la concentración o la cronicidad de la exposición (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1999; European Food Safety Authority, 2012).

Uno de los principales sistemas con mayor contaminación de Hg en nuestro país han sido los sistemas lóticos y lénticos hídricos, proveniente de fuentes naturales y antropogénicas, principalmente la minería artesanal e industrial (Marrugo Negrete,



2011). Los sedimentos del río han sido considerados depósitos de metales pesados, el Hg se asocia con los microorganismos del sistema acuático presentes tanto en el suelo como en el agua (Marrugo Negrete, 2011). Una vez el Hg entra en contacto con el agua y el sedimento, sufre un proceso de biotransformación por medio de la metilación, generando el metilmercurio (MeHg), siendo esta la forma más tóxica y bioacumulándose directamente en especies acuáticas, logrando ser parte de la cadena trófica (Gómez, 2005).

Los quelonios continentales dulceacuícolas son considerados depredadores tope en la cadena trófica, debido a que intercambian energía a lo largo de esta. Al ubicarse en un nivel alto de la cadena pueden llegar a acumular grandes niveles de tóxicos a través del consumo de sus presas. Por esto, son especies representativas para determinar la presencia de metales pesados en el medio ambiente (Castaño-Mora, Cárdenas-Arévalo, Gallego-García, & Rivera-Díaz, 2005).

El género *Trachemys sp.* según la lista roja de Colombia se encuentra en la categoría de casi amenazado (NT) (Bash, 2012) y en el porcentaje de incautación reportado para el año 2003-2009, el género *Trachemys sp.* presentó el porcentaje más alto (38,3%) (Bash, 2012). Debe tenerse en cuenta, que las tortugas hicotéa al ser sensibles a las alteraciones ambientales son un excelente indicador de las modificaciones que puedan generar un perjuicio al ambiente donde se desenvuelven (Bock et al., 2010; Medem, 1975). Sus características sedentarias y el bajo desplazamiento la pueden llevar a acumular niveles altos de tóxicos a través del consumo de sus presas, permitiendo determinar los niveles de bioacumulación y los

efectos en la salud humana que podrían generarse por su consumo (Bock et al., 2010; Zapata et al., 2014).

Las personas que consumen tortugas pueden estar en riesgo de salud cuando excedan los límites establecidos para algunos contaminantes. La Agencia de Protección Ambiental Americana (U.S. EPA) ha desarrollado un consumo de peces límite basado en una dosis de referencia (RfD) para el mercurio de  $1 \times 10^{-4}$  mg/kg al día (Schoeny, Rice, Mahaffey, & Manibusan, 2000). Los límites recomendados varían entre agencias, por ejemplo la Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades Americana (ATSDR) ha establecido un nivel de riesgo mínimo (MRL) equivalente al RfD de la EPA el cual corresponde a  $3 \times 10^{-4}$  mg/kg por día (Chou, Holler, & Rosa, 1998). Este último, es 3 veces más alto que los niveles establecidos por la EPA y más cerca al  $1,6 \mu\text{g/kg/semana}$  (consumo semanal tolerable) establecido por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) y La Organización Mundial de la Salud (FAO) (European Food Safety Authority, 2012). La EPA y la FDA han recomendado que los grupos susceptibles que corresponden a niños, mujeres embarazadas y lactantes deben evitar completamente el consumo de pescado con concentraciones de Hg en tejido de alrededor 1 partes por millón (ppm), los demás grupos de personas deben evitar el consumo de pescado con concentraciones de mercurio en tejido de alrededor 1,9 ppm. Debido a que el Hg se excreta lentamente, los límites de consumo mensuales han sido establecidos por debajo de 1,9 ppm, esto basado en el cálculo de la porción de carne consumida y el peso corporal del consumidor (Green, Buhlmann, Hagen, Romanek, & Gibbons, 2010).

## Objetivos

### General

Determinar las concentraciones de mercurio (Hg) en sangre de tortuga hicoatea (*T. callirostris*) en 9 localidades del departamento de Córdoba, Colombia.

### Específicos

Comparar los niveles de mercurio (Hg) total detectados en sangre de tortuga hicoatea del caribe (*T. callirostris*) entre las localidades del departamento de Córdoba, Colombia.

Comparar los niveles de mercurio (Hg) obtenidos en sangre con otros resultados reportados para otras especies de tortuga y otros tejidos.

Estimar la tasa mensual máxima admisible de consumo de carne de hicoatea (*T. callirostris*) dependiente de los niveles de mercurio.

## Marco Teórico

### Tortuga hicotea (*T. 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).

Colombia es el segundo país de América del sur en riqueza de especies de tortuga, contando con 36 especies, de las cuales 28 son de agua dulce, 2 terrestres y 6 marinas. Se reporta que el 40% de las especies de tortuga en nuestro país se encuentran amenazadas (Bash, 2012).

La tortuga hicotea (*T. callirostris*) (Gray, 1855), es un reptil del orden *Testudine*, suborden *Cryptodira*, familia *Emydidae*, género *Trachemys*, el cual cuenta con seis especies (Bash, 2012; Ernst & Barbour, 1989) de las cuales *T. callirostris* posee 14 subespecies (Pritchard & Trebbau, 1984). 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 (Bash, 2012). 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 (Moll & Legler, 1971)

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

Atlántica colombiana y venezolana (Medem, 1975). 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 (Bash, 2012; Medem, 1975). Ocupa los departamentos de Antioquia, Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, Guajira, Magdalena, Santander y Sucre (Bash, 2012). La hicotea es una tortuga habitante de aguas mansas, poco profundas y lodosas; las cuales son características de terrenos inundables, ciénagas, lagunas y pozos (Bash, 2012; Castaño-Mora et al., 2005).

Esta especie se encuentra a menudo compartiendo hábitat con *Kinosternon scorpioides*, *C. leucostoma* (*K. leucostomum*) y *Rhinoclemmys melanosterna*; ocasionalmente con *Podocnemis lewyana* en las ciénagas o con *Batrachemys dahli* en las represas (Castaño-Mora et al., 2005). 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 la vegetación muerta; cuando inicia la temporada de lluvias la hicotea regresa al agua (Dahl & Medem, 1964). No todas tienen este comportamiento y muchas permanecen en el agua durante todo el verano (Castaño-Mora et al., 2005).

El periodo de incubación o la época de puesta está dada generalmente hacia los meses de febrero y marzo (Medem, 1975; Moll & Legler, 1971), se ha reportado de igual manera que la anidación se da en un intervalo más amplio desde enero hasta mayo (Bash, 2012). 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; E. O. Moll & Legler, 1971). 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; Medem, 1975). La hicotea puede tener varias posturas por temporada y/o puede poner en diferentes épocas del año (Dahl & Medem, 1964; Medem, 1975; E. O. Moll & Legler, 1971). La temporada reproductiva se desarrolla en la época de lluvias, correspondiendo a los meses de septiembre y diciembre (Bash, 2012). La longevidad varía entre 15 a 20 años y pueden llegar a reproducirse hasta el final de la vida (Bash, 2012).

Las hembras son más robustas y de mayor tamaño, mientras que los machos son más pequeños y de colas más largas; la longitud máxima registrada en Colombia para las hembras es de 25,4 cm y en los machos de 18,7 cm (Bonilla Gómez, 2009). El cuerpo de las tortugas está encerrado en un caparazón rígido, del cual solo puede asomar la cabeza, las patas y la cola. El caparazón está formado por dos partes, el carapax (dorsal) y el plastrón (ventral); éste se constituye por placas poligonales soldadas entre sí y los escudos óseos que se forman internamente se fusionan con la columna vertebral (Bonilla Gómez, 2009).

La hicotea (*T. callirostris*) tiene una cabeza lisa sin escamas, con una banda de color rojo, naranja o amarillo ubicada detrás de cada ojo, pero sin tocarlo (Bash, 2012).

Las patas son palmeadas y con garras, 5 en los miembros anteriores y 4 en los posteriores (Bash, 2012; Medem, 1975; Sampedro, Ardila, & Fuentes, 2003)

La alimentación de la hicotrea es muy variada, siendo un individuo omnívoro, se alimentan principalmente de plantas acuáticas como la Tarulla (*Eichornia crassipes*) y lechuga de agua (*Pistiasa tratiotes*), también de la vegetación cenagosa, raíces, hojas de buchón, tallo y semillas de bocachica, sapo, batatilla, gramíneas, hojas de loto y enea; adicionalmente consume las frutas que caen al agua como la del chirimoyo (Castaño-Mora et al., 2005). Así mismo, consume alevinos (peces pequeños), renacuajos, crustáceos (caracoles), insectos e incluso barro (Bash, 2012; Martínez Silvestre & Arias Bernal, 2004). 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 Silvestre & Arias Bernal, 2004; Moll & Legler, 1971). Adicionalmente, las heces de las tortugas nutren a los alevinos, cumplen funciones de dispersión de semillas y contribuyen al mantenimiento de la ciénaga (Bash, 2012).

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 (Bash, 2012).

En estado natural, esta especie soporta una mortalidad muy alta, especialmente sobre los huevos y los neonatos, ya que estos estadios son más susceptibles a la depredación y la mayoría de los animales carnívoros y omnívoros en las áreas de anidación consumen huevos de tortuga (Fachín Terán, 1994; Medem, 1975; Moll, 1986;

Moll & Legler, 1971). A esto se suma el hecho de que en la época de extracción se capturan hembras con huevos en su interior agravando más el impacto sobre la población (Castaño-Mora et al., 2005).

Hace aproximadamente 50 años la extracción de las tortugas ocurría en los días cercanos a semana santa; esta costumbre perdura. Según informes, alrededor de 1980 se generalizó su aprovechamiento, actualmente desde el mes de noviembre se captura para consumo y comercio (Ojasti, 1993).

La tortuga hicotea (*T. callirostris*), es la especie de tortuga más abundante en el departamento de Córdoba, pero es también la más cazada. En el periodo de 2003-2009 el género *Trachemys* sp. fue el que tuvo el porcentaje más alto de incautación con un 38,3% (Bash, 2012).

### **Descripción del área de estudio**

En el departamento de Córdoba se encuentran los municipios de San Andrés de Sotavento, Chimá, Momil, Purísima, Lórica, San Bernardo del Viento, San Antero, Montería, Ayapel, San Carlos, Tierralta, Ciénaga de Oro, Chinú, Puerto Escondido, San Pelayo, Cereté, Valencia, Sahagún, Cotorra, Buenavista, Canalete, Montelíbano y Puerto Libertador. La zona de estudio en el departamento de Córdoba tiene una extensión de 14563.4 km<sup>2</sup>; su área de ocupación es de 1800 km<sup>2</sup> con respecto a 4150 km<sup>2</sup> muestreados (Castaño-Mora et al., 2005).

Córdoba cuenta con un gran recurso hídrico que ha visto disminuida su calidad debido al vertimiento indiscriminado de aguas residuales, aguas industriales, aguas



domésticas, desechos sólidos y los provenientes de las actividades agrícolas y pecuarias (Polanco, Mejía-Ladino y Acero, 2003).

El proceso de deterioro se ha venido incrementando con el crecimiento de los núcleos poblacionales y sus actividades productivas y de subsistencia, afectando así a toda la cuenca y los recursos de consumo tradicional como la tortuga hicoitea. Así mismo, el deterioro creciente del recurso hídrico disminuye la biodiversidad de especies en los ecosistemas, con graves consecuencias sociales y económicas para los habitantes de la región (Bernal-Calderón, 2003; Bock et al., 2010).

Las fuentes sugieren que toda la problemática de la contaminación con metales y plaguicidas está asociada con las actividades mineras desarrolladas en la principal zona aurífera de Colombia, en la cuenca del Río San Jorge, y por el uso desmedido de estos en la industria pecuaria. Publicaciones recientes ponen en evidencia la contaminación con mercurio en plantas, peces y sedimentos en algunos cuerpos de agua de la región de la Mojana (Olivero-Verbel, Johnson-Restrepo, Mendoza-Marín, Paz-Martínez, & Olivero-Verbel, 2004; Verbel & Restrepo, 2002). En el mismo sentido, otros estudios mostraron concentraciones apreciables de mercurio en aguas, plantas, peces y sedimentos de la Ciénaga de Ayapel y en la cuenca del Río San Jorge en el Departamento de Córdoba (Marrugo et al., 2006).

Adicionalmente, Córdoba es el departamento con mayor número de decomisos de tortugas del país, siendo las ciudades más reportadas Sahagún, Montería, Ayapel y Lorica (Bash, 2012).

## **Metales pesados**

La industrialización en el último siglo, ha incrementado en gran proporción la contaminación de las fuentes ambientales por sustancias químicas altamente tóxicas como son los metales pesados y muchas sustancias orgánicas (Goring & Hamaker, 1972).

Agravando la situación del deterioro del recurso hídrico, la contaminación por metales pesados se ha constituido en una de las formas más peligrosas para los ecosistemas acuáticos en el mundo, dado que son elementos poco o nada biodegradables que tienden a acumularse en los tejidos de animales y vegetales acuáticos y permanecen en ellos por largos períodos, desencadenando procesos de bioacumulación (Marrugo Negrete, 2011). De acuerdo a sus características y las del entorno, los contaminantes químicos pueden residir por periodos cortos o largos en los ambientes dulceacuícolas y marinos, lo cual incidirá en su distribución e interacción con el medio (Escobar, 2010).

El contaminante una vez descargado al medio acuático antropogénicamente o de forma natural, circula física y biológicamente, por medio de procesos de dilución y dispersión, que favorecen la disipación de sus efectos negativos, y un proceso de transporte, que causa su exportación a otras provincias acuáticas, bien sea por efectos de las corrientes o incorporado dentro de los organismos migratorios; una fracción probablemente muy pequeña, se pierde a la atmósfera (Morillo, Usero, & Gracia, 2004).

En el medio acuático, los contaminantes empiezan a sufrir procesos que alteran de alguna u otra manera su capacidad tóxica, a saber: a) Biológicos, por asimilación en la biota local, como plancton y peces, y en última instancia al ser transferidos a

organismos superiores como aves acuáticas y el hombre y b) Químicos y físicos, por adsorción en el material suspendido, intercambio iónico, floculación y precipitación al ambiente sedimentario, que constituye así un depósito importante del ambiente acuático (Madero & Marrugo, 2011). La medición del contenido de metales pesados en tejidos de animales es importante debido a que son considerados indicadores de contaminación, presentan una visión de cómo está distribuido espacialmente el contaminante (Aguirre & Lutz, 2004; Ley Quiñónez, 2009).

En Colombia los estudios sobre metales han evidenciado la presencia aún en sedimentos, de niveles de Hg de 7.67  $\mu\text{g/g}$ , valor muy por encima de la norma permisible (Alonso, Pineda, Olivero, Gonzalez, & Campos, 2000).

### **Mercurio**

La extracción de este metal se reporta desde el año 415 A.C, donde los romanos lo obtenían de minas y los esclavos comenzaron a presentar intoxicaciones por este. En el siglo XVII se utilizaba como tratamiento para la sífilis, donde los cirujanos que aplicaban el compuesto mercurial, sufrían efectos nocivos a pesar del uso de guantes. En 1957 se presenta la enfermedad por mercurio en la bahía de Minamatta en Japón, por vertimientos de fábricas (Gómez, 2005).

El Hg es un metal pesado, volátil, es decir, a temperatura ambiente se evapora y es soluble tanto en líquidos polares como no polares (Gómez, 2005).

### ***Fuentes de mercurio***

Este metal se encuentra en aire, tierra y agua, proveniente de diversas fuentes tanto naturales como antropogénicas; las fuentes naturales (rocas y suelos, evaporación desde la tierra y mar, erosión y emisiones volcánicas) resultan de una serie de eventos normales que ocurren en el planeta y los cuales mantienen un equilibrio natural del elemento. Sin embargo las fuentes antropogénicas (minería, agricultura, uso industrial) son la causa principal de la contaminación con el Hg, en donde una vez es descargado al agua, entra a ser parte de las cadenas tróficas (Figuroa Navarrete, 1995).

### ***Ciclo del mercurio***

El Hg tiene dos ciclos denominados global y local. El global se realiza con las fuentes naturales del Hg, este metal es emitido a la atmósfera en forma de vapor y retorna a la tierra con el agua lluvia, el elemento puede durar hasta 3 años en la atmósfera y en la forma soluble dura alrededor de unas pocas semanas; por otro lado, el ciclo local proviene de las fuentes antropogénicas, en el que una vez entra en contacto el Hg con los ecosistemas acuáticos y en presencia de oxígeno (O<sub>2</sub>), este se oxida dando lugar al Hg<sup>2+</sup>. En las aguas litorales y oceánicas la metilación de este metal ocurre por microorganismos que llevan a cabo este proceso tanto por la vía anaeróbica como aeróbica. Por la vía anaeróbica la metilación del Hg<sup>2+</sup> da lugar a la formación de dimetilmercurio (CH<sub>3</sub>HgCH<sub>3</sub>), el cual por ser volátil e insoluble en el agua se recicla a la atmósfera; sin embargo la metilación del Hg<sup>2+</sup> por ambas vías, da como resultado la formación del metilmercurio (CH<sub>3</sub>Hg), que se caracteriza por ser liposoluble y tener alta

afinidad a los grupos sulfhidrilos de las proteínas, lo que permite que el CH<sub>3</sub>Hg atraviese con facilidad las membranas, incorporándose finalmente a las cadenas tróficas (Gómez, 2005).

### **Concentraciones de mercurio en los tejidos**

El mercurio en sangre se considera un componente transitorio del consumo de mercurio presente en dieta, ingerido por días hasta semanas. Pero en otros tejidos como músculo y caparazón se refleja la acumulación a largo plazo (Zapata et al., 2014).

En otros estudios se ha evidenciado que las concentraciones de mercurio (Hg) en músculo son más altas que las encontradas en caparazón y a su vez las concentraciones en caparazón son más altas que las reportadas en sangre. Adicionalmente en este mismo estudio se encontró una alta correlación para las concentraciones de caparazón y músculo (Zapata et al., 2014).

En un estudio realizado en el amazonas brasilero en la Tortuga *Podocnemis unifilis* se encontró que las concentraciones de mercurio en hígado eran más altas que las encontradas en sangre y grasa; y a su vez se encontró que las concentraciones entre estos dos últimos tejidos eran casi iguales (Souza-Araujo, Giarrizzo, & Lima, 2015).

### **Mercurio en humanos**

El ingreso al cuerpo de este metal, se ha reportado por la vía inhalatoria, cutánea y digestiva. Una vez es inhalado (trabajadores de fábricas), el Hg se distribuye por la sangre, llegando a los distintos órganos del cuerpo, pero tiene mayor afinidad al

sistema nervioso (SN) y el hígado; en el SN se une principalmente a las proteínas del axón y a los esfingolípidos, causando daños irreversibles por la lenta eliminación del Hg del cuerpo humano (alrededor de 60-70 días). Su eliminación se da principalmente por heces y orina, pero también por leche, secreciones genitales, sudor y tejido queratinizado como el cabello y las uñas (Figueroa Navarrete, 1995). Los efectos a nivel nervioso más reportados han sido los siguientes: parestesia, ataxia, pérdida de la sensibilidad en extremidades y boca, ceguera, sordera, coma y muerte. Además, el mercurio tiene la capacidad de atravesar la barrera placentaria y bioacumularse en el feto, generando teratogénesis, mutagénesis y retraso mental (Figueroa Navarrete, 1995).

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Administración de Alimentos y Fármacos de Estados Unidos (FDA), establecen que para niños pequeños, mujeres en edad fértil, embarazadas o con hijos, la concentración máxima permisible de mercurio en cabello que no afecta de manera significativa la salud es  $1,0 \mu\text{g Hg/g}$ . (Schoeny et al., 2000). Las investigaciones de la última década sobre metales pesados muestran que los efectos tóxicos pueden generarse a concentraciones bajas.

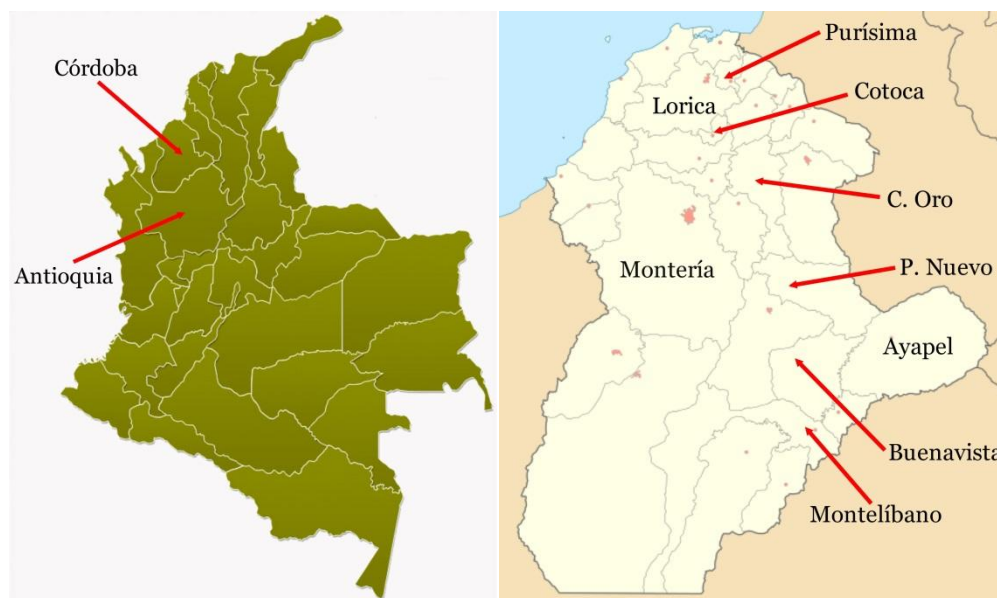
Algunos estudios realizados en el departamento de Córdoba, sobre otra cuenca hidrográfica, para un metal específico, como el mercurio, arrojó que los niveles de mercurio encontrados en especies ícticas de la cuenca del río San Jorge, en su mayoría, sobrepasan el umbral estipulado ( $200 \text{ ng/g}$ ) para las poblaciones en riesgo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS). La de mayor riesgo es la infantil, debido a que presentan alteraciones neurológicas manifestadas como trastornos psicomotrices, asociado con niveles bajos de mercurio. Así mismo, se ha

encontrado que tales niveles, ocasionan disfunción cardiovascular en los adultos (Marrugo, Lans, & Benítez, 2007).

## Metodología

### Áreas geográficas de estudio

Fueron tomadas 91 muestras en ejemplares de *T. callirostris* ubicadas en nueve localidades del departamento de Córdoba (Ilustración 1) y una en el departamento de Antioquia (Zoológico Santa Fe, Medellín) (Tabla 1).



**Ilustración 1.** Ubicación de las regiones geográficas donde se realizó la toma de muestras: Montería, Cotocá, Pueblo Nuevo, Buena Vista, Purísima, Ayapel, Lórica, Ciénaga de Oro, Montelíbano

Fuente: [www.mapainteractivo.net](http://www.mapainteractivo.net)



**Tabla 1.** Zonas geográficas y número de ejemplares muestreados.

<b>Municipio</b>	<b>Cuenca</b>	<b>N. de ejemplares</b>	<b>Coordenadas</b>
Montería	Medio Sinú	4	8°42'5"N 75°59'28"O
Cotocá	Bajo Sinú	10	9°08'12.7"N 75°50'22.7"O
Pueblo Nuevo	Sinú	11	8°30'26"N 75°28'58"O
Buenvista	San Jorge	9	8°10'15"N 75°21'24"O
Purísima	Bajo Sinú	10	9°12'54"N 75°42'45"O
Ayapel	Bajo San Jorge	5	8°17'28"N 75° 7'23"O
Lorica	Bajo Sinú	15	9° 8'6"N 75°50'56"O
Ciénaga de Oro	Sinú	10	8°53'44"N 75°37'33"O
Montelíbano	San Jorge	8	7°55'17"N 75°49'58"O
Medellín	No aplica	9	6°13'25.6"N 75°35'11.1"O

**Tipo de estudio**

Estudio descriptivo de corte transversal.

**Tamaño de la muestra**

Se muestrearon un total de 91 tortugas de la especie *T. callirostris*, las cuales fueron capturadas en la ribera de los ríos Sinú y San Jorge (Ilustración 2), donde se tomaron las muestras necesarias para el análisis y posteriormente se liberaron en el lugar de captura. El tamaño de la muestra se determinó a conveniencia y se obtuvo de forma aleatoria.



cola. Los individuos muestreados se liberaron inmediatamente en el punto donde se capturaron.

En el mes de diciembre del año 2014 las muestras fueron transportadas desde el departamento de Córdoba al Laboratorio de Trazabilidad y Residualidad de la Corporación Universitaria Lasallista, ubicado en el departamento de Antioquia. Para este proceso fueron almacenadas en contenedores de Nitrógeno a  $-180^{\circ}\text{C}$ . Una vez en el laboratorio de la Corporación se almacenaron las muestras a  $-80^{\circ}\text{C}$  para su posterior digestión y lectura de mercurio.

### **Tiempo de estudio**

La captura de las tortugas, la toma de muestras y el almacenamiento se realizó desde el 17 de marzo de 2014 hasta el 21 de noviembre de 2014. El procesamiento de las muestras y la lectura de la concentración de Hg, realizada dentro del laboratorio de la Corporación Universitaria Lasallista, se llevaron a cabo desde junio hasta noviembre del año 2015.

### **Análisis total de mercurio**

#### **Digestión ácida**

La digestión se llevó a cabo en un Sistema de Digestión por Ondas de Alto Rendimiento (Milestone Ethos One), con el fin de degradar toda la materia orgánica presente en las muestras y dejar únicamente la porción molecular. Se extrajo la muestra almacenada en la nevera a  $-80^{\circ}\text{C}$  y se dejó atemperar a temperatura ambiente. Posteriormente, se realizó el respectivo pesaje del volumen de sangre

obtenido de cada tortuga en una balanza digital (Shimadzu). A cada recipiente con la muestra se le adicionaron 8 mL de Ácido Nítrico (HNO<sub>3</sub>) al 65% y 2 mL de Peróxido de Hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al 30%, esto basado en los valores establecidos dentro del manual del equipo (Milestone Ethos One), este procedimiento se realizó al interior de un Extractor de gases y humo (Physis Modelo Airfluxco) debido a que estos componentes son muy volátiles y tóxicos. Luego, se realizó el cierre hermético de los 10 recipientes y se ubicaron ordenadamente dentro del digestor; el recipiente número uno correspondía a la muestra más pesada, la cual se monitoreo durante todo el proceso de digestión. Cada 19 muestras procesadas se introducía una muestra blanco con 8 mL de Ácido Nítrico (HNO<sub>3</sub>) al 65% y 2 mL de Peróxido de Hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al 30%.

Finalmente, se realizó la programación del equipo con los siguientes datos, de acuerdo a lo estipulado por el manual del equipo (Tabla 2):

**Tabla 2.** Datos de programación del digestor para el procesamiento de las muestras de sangre.

	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Presión</b>	<b>Temperatura 1</b>	<b>Temperatura 2</b>
<b>Primer ciclo</b>	00:10:00	1500 W	180°C	110°C
<b>Segundo ciclo</b>	00:15:00	1500 W	180°C	110°C

Luego de una hora y cinco minutos se retiraron los recipientes, se llevó el contenido final a un balón de 25 mL y se aforó con agua ultrapura. Las muestras se homogeneizaron, se pasaron a tubos falcon de 50 mL. Este procedimiento se realizó al interior del Extractor de gases y Humo. Las muestras se guardaron en neveras a 4°C hasta el proceso de lectura de niveles de Hg.

## **Detección de mercurio**

### ***Curva de mercurio***

Para la lectura de mercurio (Hg) se realizó previamente la calibración del equipo con la curva de mercurio. La cual se desarrolló con el principio de llevar a la concentración inicial de mercurio (1000 mg/L) al mínimo (100 microgramos/L). Esto por medio de la siguiente fórmula:

$$C1*V1=C2*V2$$

A partir de los 100 microgramos por litro ( $\mu\text{g/L}$ ) se elaboraron 5 puntos para la curva mercurio implementando la misma fórmula. Estos se reflejan en la siguiente tabla (Tabla 3):

**Tabla 3.** Puntos de la curva de mercurio.

<b>Puntos</b>	<b>Volumen</b>	<b>Vol. Tomado</b>
50.0 $\mu\text{g/L}$	50 mL	2.5 mL (1000 $\mu\text{g/L}$ )
20.0 $\mu\text{g/L}$	50 mL	1.0 mL (1000 $\mu\text{g/L}$ )
10.0 $\mu\text{g/L}$	50 mL	0.5 mL (1000 $\mu\text{g/L}$ )
6.0 $\mu\text{g/L}$	100 mL	0.6 mL (1000 $\mu\text{g/L}$ )
3.0 $\mu\text{g/L}$	50 mL	1.5 mL (100 $\mu\text{g/L}$ )
1.0 $\mu\text{g/L}$	50 mL	0.5 mL (100 $\mu\text{g/L}$ )
0.5 $\mu\text{g/L}$	50 mL	0.25 mL (100 $\mu\text{g/L}$ )

### ***Análisis de mercurio***

En el Laboratorio de Trazabilidad y Residualidad de la Corporación Universitaria Lasallista fue usada la espectrometría de absorción atómica con una lámpara de mercurio, la cual cuantificó los niveles de mercurio en microgramos por litro ( $\mu\text{g/L}$ ) de cada muestra. Para este proceso se usó un Espectrómetro de absorción atómica (ICE 3000 Marca Thermo) acoplado al generador hidruros (VP 100 Marca Thermo). Este

equipo es usado para calcular la concentración de un analito en una muestra determinada, en este caso Hg en sangre. Esta técnica se basa en el principio de una fuente de estímulo (Lámpara de Hg) sobre la muestra lo que va a generar una respuesta cuantificable (Leon, 2015). Se introduce la muestra líquida de forma continua, lo que mantiene a los átomos estables y esta es conducida a un nebulizador, donde se evapora en forma de aerosol, este es conducido a una llama (1700-3200°C) en donde se forman los átomos; los átomos absorben la energía emitida por la lámpara de Hg y al ser estimulados emiten una respuesta que es recibida por el sistema de lectura. La cantidad de energía absorbida por los átomos es directamente proporcional con la concentración de Hg en la muestra (Rocha Castro, 2000).

Los resultados arrojados son las concentraciones de mercurio ( $\mu\text{g/L}$ ) que tiene cada muestra de sangre y por ende cada individuo muestreado.

Lo primero que debe realizarse, antes del análisis de cada muestra, es introducir cada punto de la curva de mercurio realizada. Después de tener graficada la perpendicular en el equipo, se registra la muestra en el ordenador y se procede con la lectura de la respectiva muestra. Tras el análisis de cada muestra el equipo ubica unos puntos ya sea por encima o por debajo de la curva y arroja los resultados obtenidos del total de muestras.

### **Límite de consumo de tejido contaminado de mercurio (Hg)**

Debido a la imposibilidad de muestrear tejido en ejemplares de Tortuga hicoitea (*T. callirostris*), se utilizó una correlación estimada de aproximadamente 5 veces las concentraciones de mercurio en sangre para estimar la carga total de mercurio en

músculo, de acuerdo al estudio de Zapata en donde demostró que las concentraciones medias en 60 ejemplares fueron para Magangué de 0,39 +/- 0,16 ( $\mu\text{g/g}$ ) en músculo y 0,07 +/- 0,03 ( $\mu\text{g/g}$ ) en sangre y para Lorica fueron 0,25 +/- 0,18 ( $\mu\text{g/g}$ ) en músculo y 0,06 +/- 0,04 ( $\mu\text{g/g}$ ) en sangre (Zapata et al., 2014).

### **Límite Diario de Consumo**

Esta variable se calcula a partir de la ecuación estipula por la U.S Environmental Protection Agency (EPA, 2000), la cual determina cual es el consumo máximo recomendado de un determinado individuo al día:

$$\text{CRLim} = (\text{RfD} * \text{Peso (Kg)}) / \text{Cm}$$

Donde:

RfD: dosis máxima de consumo de referencia que corresponde a 0,1 $\mu\text{g/Kg}$  para el mercurio (Hg) (Green et al., 2010).

Peso: peso promedio de un individuo que consume tortuga que corresponde a 70 kg (Green et al., 2010).

Cm: concentración de mercurio (Hg) estimado en músculo promedio por región.

### **Límite Mensual de Consumo**

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

$$\text{CRmm} = (\text{CRLim} * \text{Tap}) / \text{MS}$$

Donde:

CRLim: Límite diario de consumo

Tap: Periodo de tiempo promedio, el cual equivale a 30,4 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, 2010).

Posteriormente, los resultados obtenidos se relacionaron con los datos estipulados por la U.S EPA, donde se plantean 7 categorías que determina el número de porciones que pueden consumirse al mes según la concentración de mercurio que se encuentra en el tejido, como se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4.** Consumo mensual de los límites de mercurio en tejido.

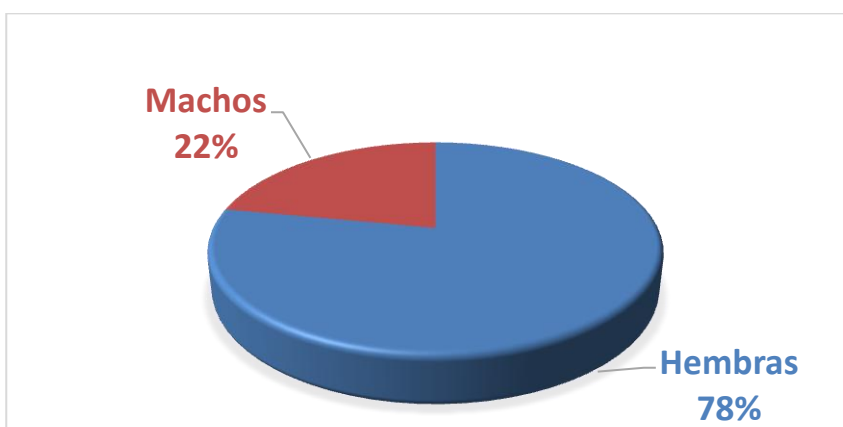
<b>Porción/mes</b>	<b>Concentración en tejidos (ppb Hg, Peso húmedo)</b>
Ninguna	>1900
0.5	940-1900
1	470-940
2	310-470
3	230-310
4	120-230
≥4	0-120

Fuente: (Green et al., 2010)



## Resultados

Se muestrearon un total de 71 Hembras y 20 machos (Gráfico 1). El peso máximo de los individuos muestreados fue de 3875 g y el peso mínimo fue de 210 g, el peso promedio fue de 1359 g. Los valores promedio registrados de cada variable morfométrica tomada fueron: largo del caparazón 20.2 cm, ancho del caparazón 15.1 cm, largo del plastrón 18.06 cm, ancho del plastrón 10.8 cm, altura máxima 8.5 cm y largo de la cola 3.9 cm (Apéndice A).

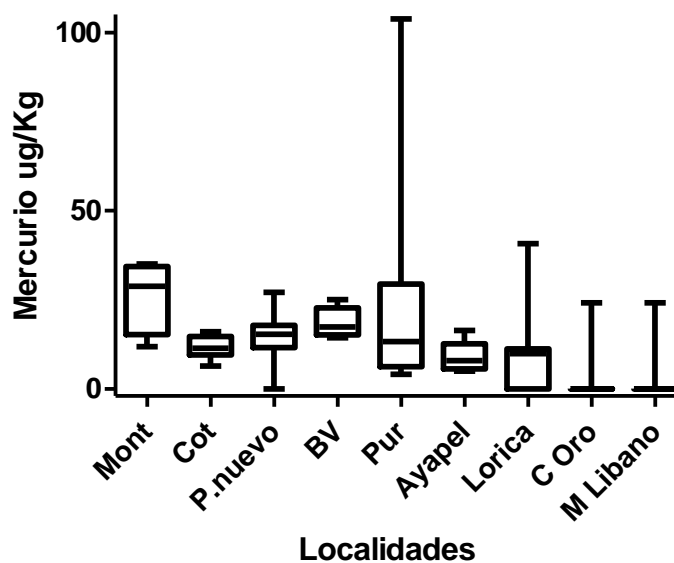


**Gráfico 1.** Número de machos y hembras muestreados.

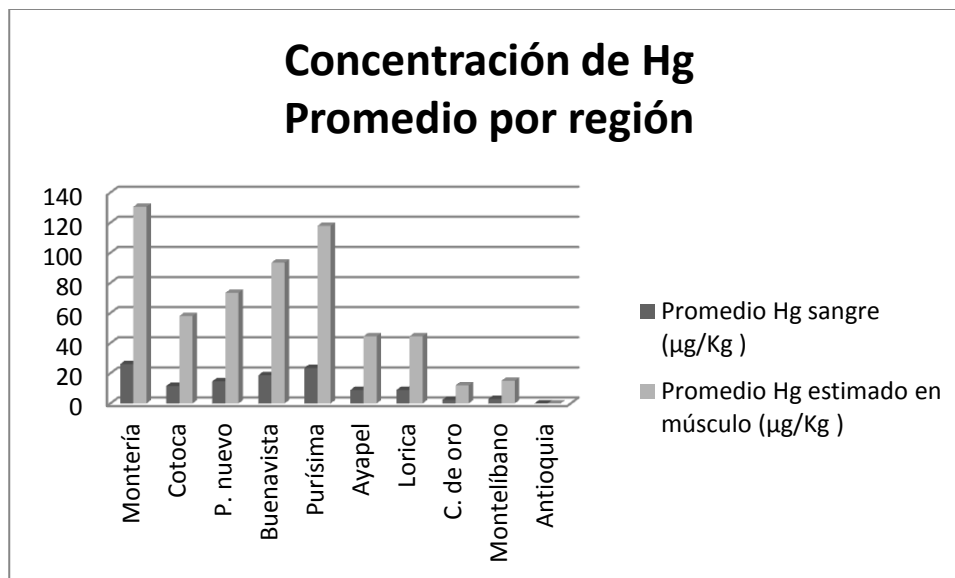
La concentración de Hg en  $\mu\text{g/L}$  se determinó en el volumen de sangre inicial y se registraron valores entre 0 a 2,8  $\mu\text{g/L}$ . Para el grupo control ubicado en el Municipio de Medellín no se evidenciaron concentraciones de mercurio, esto mismo ocurrió para la localidad de Montelíbano y Ciénaga de oro, donde solo un individuo dio resultado positivo para mercurio. En la localidad de Lorica solo se registraron 5 individuos con resultados negativos en la detección de mercurio, para la localidad de Pueblo Nuevo

solo se registró 1 individuo al que se le detecto mercurio. En Cotocá y Purísima se reportaron 2 de las concentraciones para Hg más bajas, 0,306 y 0,262  $\mu\text{g/L}$  respectivamente; en contraste, en Montería, Buenavista y Ayapel todos los individuos reportaron concentraciones de mercurio (Apéndice B).

Las concentraciones promedio en sangre para cada localidad fueron las siguientes ( $\mu\text{g/kg}$ ): Montería  $26.1\pm 10.3$ , Cotocá  $11.6\pm 3.0$ , Pueblo Nuevo  $14.7\pm 6.8$ , Buenavista  $18.7\pm 4.0$ , Purísima  $23.6\pm 29.8$ , Ayapel  $8.9\pm 4.5$ , Lorica  $8,9\pm 10.2$ , Ciénaga de oro  $2.4\pm 7.6$ , Montelíbano  $3.0\pm 8.6$  y Antioquia  $0\pm 0.0$  (Gráfico 2). En las concentraciones de Hg estimadas en músculo fueron detectados valores de 0 a 518,79 ( $\mu\text{g/Kg}$ ) (Apéndice B). Las concentraciones de Hg en sangre y las estimadas en musculo se muestran en el Gráfico 3.



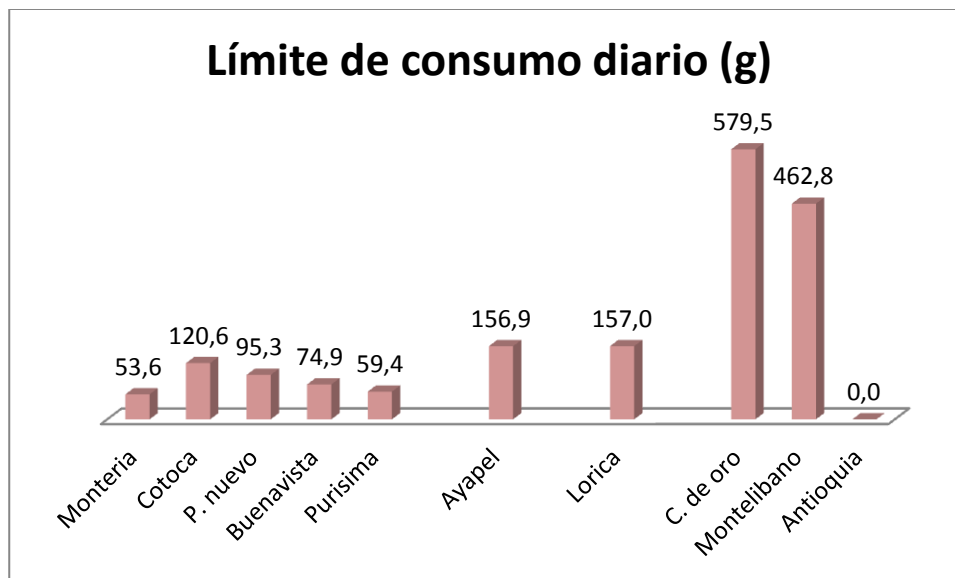
**Gráfico 2.** Distribución de las concentraciones de Hg en sangre ( $\mu\text{g/Kg}$ ) para cada localidad.



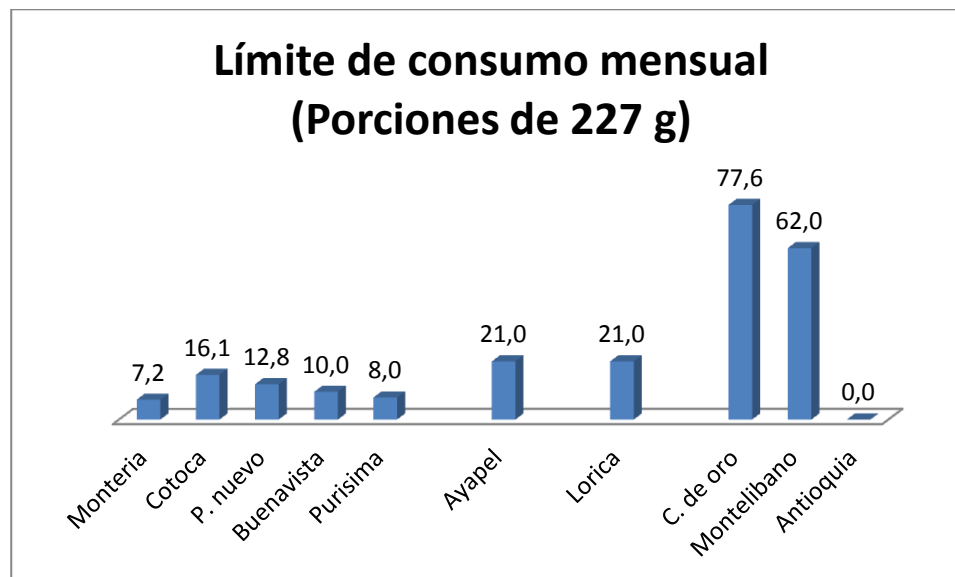
**Gráfico 3.** Concentración de Hg promedio por región.

De acuerdo al cálculo del promedio de las concentraciones de Hg en músculo por cada región, se determinó el límite de consumo diario y mensual (Apéndice C). El límite diario y mensual de consumo por región se evidencia en los Gráficos 4 y 5 respectivamente.

Durante el estudio se determinó en un ejemplar del municipio de Purísima una concentración de 103.76 µg/kg, el consumo del recurso con este nivel de mercurio podría representar un riesgo de salud pública y limitaría la ingesta en una porción de 227 gramos (Green et al., 2010) por mes. Lo anterior, evidencia un posible riesgo por consumo de carne de hicotéa en algunas regiones del departamento de Córdoba.



**Gráfico 4.** Límite de consumo diario en gramos por región.



**Gráfico 5.** Límite de consumo mensual en porciones de 227 g por región.

## Discusión

Las concentraciones de mercurio en sangre reportadas en este estudio fueron inferiores a los resultados reportados previamente para la especie *T. callirostris* en lugares similares de Colombia, sin embargo es probable que los valores encontrados en el estudio realizado por Zapata et al no fueran precisos debido a que el límite inferior de detección para este estudio fue de sólo 50 ppb, cuando los individuos presentaban valores por debajo de este límite, se incluía una concentración de 50 ppb por defecto para realizar el cálculo de las concentraciones medias (Zapata et al., 2014).

Basado en el estudio realizado por Zapata et al, en los ríos Magdalena y Sinú en la misma especie (*T. callirostris*), se evidencio que las concentraciones de Hg en sangre fueron superiores, 0.07 µg/g (70 µg/Kg) en el río Magdalena y 0.06 µg/g (60 µg/Kg) en el río Sinú. En comparación, el presente estudio solo tuvo un valor superior a los resultados del estudio anterior (103.76 µg/Kg en la localidad de Purísima) (Zapata et al., 2014).

Se debe considerar que en el individuo en el que se registraron concentraciones de Hg en sangre de 103.76 µg/Kg, el consumo del recurso con este nivel de mercurio podría representar un riesgo de salud pública y limitaría la ingesta en una porción de 227 gramos por mes. Adicionalmente, es importante tener en cuenta que la filtración renal para eliminar el mercurio del organismo en humanos es de 60 a 70 días aproximadamente; por esto si una persona consume varios días seguidos carne de tortuga las concentraciones de mercurio cercanas a la mencionada anteriormente, iniciaría un proceso de acumulación y alargaría el tiempo de eliminación renal

(Figueroa Navarrete, 1985). Esto podría generar de forma crónica problemas en la salud pública, similares a los síntomas reportados en la enfermedad de Minamata como discapacidad sensorial, sensaciones alteradas y falta de coordinación. El tipo y grado de los síntomas dependerán de la concentración o la cronicidad de la exposición (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1999; European Food Safety Authority, 2012).

Los valores de mercurio encontrados en sangre del presente estudio difieren de los valores hallados en la investigación realizada por Souza et al en la Tortuga (*Podocnemis unifilis*) del río Xingu en la amazonia brasileña, en el cual se reportaron valores por debajo de 0.02 mg/kg (20 µg/Kg), en el presente estudio se encuentran valores superiores e inferiores con respecto al valor anterior; el valor máximo del presente estudio fue de 103.76 µg/Kg y en algunas localidades del departamento de Córdoba no se reportaron concentraciones de Hg. Los valores medios de Hg en sangre en las localidades de Montería (26.16 µg/Kg) y Purísima (23.58 µg/Kg) dieron resultados superiores a los 20 µg/Kg en el estudio realizado en el río Xingu (Souza-Araujo et al., 2015).

En estudios de concentraciones de Hg en sangre realizados en otros países y en especies de tortugas diferentes se han encontrado valores superiores e inferiores con relación a los hallados en el presente estudio. En la investigación realizada por Burger et al, en cuatro especies de tortugas de la amazonia brasileña, reportaron los siguientes resultados: *Podocnemis erythrocephala*  $2 \pm 0,40$  ng/g (2 µg/Kg), *Podocnemis sextuberculata*  $7,30 \pm 1,20$  ng/g (7,30 µg/Kg), *Peltocephalus dumerilianus*  $28,2 \pm 5,20$  ng/g (28,2 µg/Kg), *Chelus fimbriatus*  $158 \pm 14,5$  ng/g (158 µg/Kg); esta variación en las

concentraciones de hg en sangre se deben al nivel que ocupa cada individuo en la escala trófica. Adicionalmente, en este estudio se encontró una correlación entre el tamaño de individuo muestreado y el nivel de Hg (Burger, Jeitner, Schneider, Vogt, & Gochfeld, 2010). En contraste, en los resultados de Hg en sangre para *T. callirostris* de pertenecientes a las 9 localidades del departamento de Córdoba, no se observó una correlación entre el peso del individuo y el nivel de mercurio, esto podría deberse a que las concentraciones de Hg en sangre se relacionan con el consumo de una dieta cárnica desde días hasta semanas.

Por otro lado, se ha comprobado que las concentraciones de Hg en caparazón y músculo, son más altas que las de sangre. El mercurio encontrado en sangre proviene de la dieta que ha sido consumida desde días anteriores hasta semanas, mientras que muestras de caparazón y músculo reflejan la acumulación a largo plazo (Zapata et al., 2014). La sangre es útil para medir metales pesados por las funciones vitales que cumple y por la susceptibilidad que hay de intoxicación y es un buen bioindicador porque da idea de cuánto mercurio hay en la zona donde vive la especie en estudio (Ley-Quiñonez et al., 2011). Esto es importante para predecir la contaminación ambiental y por tanto el riesgo potencial para la salud humana.

En otro estudio realizado se encontró que las concentraciones de mercurio en uñas eran mayores que las de sangre, además el mercurio acumulado en tejido queratinizado provee una mayor información sobre la acumulación a lo largo del tiempo del metal (Hopkins, Bodinof, Budischak, & Perkins, 2013). En el estudio de Souza et al, mencionado anteriormente se observó que las concentraciones de Hg en hígado eran más altas que las reportadas en sangre y grasa (Souza-Araujo et al., 2015). Turnquist

et al, confirmó que las concentraciones de Hg en caparazón son más altas que las de músculo; también plantean que esta diferenciación en las concentraciones de Hg se deben a un secuestro activo por parte del cuerpo para minimizar el posible impacto en la salud causado por este metal (Turnquist, Driscoll, Schulz, & Schlaepfer, 2011). En la investigación de Green et al, la distribución del mercurio siguió un patrón general donde las concentraciones más altas estaban en hígado, seguido del riñón y el caparazón, mientras que en folículos de huevo y músculo se observaron las concentraciones más bajas; adicionalmente se encontró que la distribución del Hg seguía un patrón de acuerdo a la dieta, en el que los individuos carnívoros tenían las concentraciones de Hg más altas y los Herbívoros las más bajas (Green et al., 2010). En Colombia, en el estudio de Zapata et al ya mencionado, se determinó que los niveles de Hg en músculo eran más altos que los de caparazón y a su vez más altos que los de sangre (Zapata et al., 2014).

Hasta el momento en Colombia solo se conoce de un estudio realizado en las localidades de Magangué y Lorica del departamento de Córdoba (Zapata et al., 2014). Haciendo de esta una investigación que busca complementar los análisis realizados por otros autores en el norte de Colombia.

Teniendo en cuenta la importancia de las concentraciones de Hg en la dieta y el riesgo que presenta para la salud humana y demás seres vivos, se han realizado investigaciones que establecen límites de consumo para productos cárnicos contaminados con Hg, incluyendo el presente estudio. Turnquist et al, reportó que el 61% de las muestras de músculo y el 100% de las de caparazón excedieron el límite de consumo establecido por la EPA que corresponde a 0,3 µg/g (Turnquist et al., 2011).



En el estudio realizado por Green et al, se evidencio que el 14% de las muestras de hígado excedían las 1900 ppb, el 21% de los riñones se encontró dentro del rango que recomienda el consumo de 1 porción al mes (470-940 ppb); además se asume que los consumidores que ingieren músculo podrían tener menor riesgo de exposición al Hg en la dieta (Green et al., 2010). En la presente investigación solo una de las muestras presentó niveles de Hg por encima de lo permitido por la FDA, lo cual conlleva a restringir el consumo de carne de tortuga a una porción de 227 g al mes. Solo en las localidades de Montería y Purísima la restricción de consumo daba para un máximo de 7 a 8 porciones mensuales de 227 g; el resto de localidades no alcanzaron los niveles necesarios de Hg para establecer un límite de consumo por debajo de 4 porciones al mes.

## Conclusiones

En esta investigación se encontraron concentraciones de mercurio inferiores a las reportadas por otros autores en Colombia, dejando como evidencia un mayor impacto ambiental causado por el mercurio en otras cuencas hídricas del país.

Las concentraciones de Hg en sangre se relacionan de forma directa con el nivel que ocupan los individuos en la cadena trófica, las especies carnívoras presentan mayor concentración de Hg en sangre.

Se evidencio que la sangre es un buen bioindicador para medir las concentraciones de Hg, ya que refleja la bioacumulación de este metal por días hasta semanas.

No se encontró relación entre las concentraciones de mercurio y el peso registrado en cada individuo. Con respecto a la relación entre las medidas tomadas en cada individuo (Altura, caparazón, plastrón, cola) y los resultados de mercurio no se observó similitud.

La diferencia entre machos y hembras en los individuos muestreados podría deberse al hecho de que se reporta que la carne del macho es menos apetecida y es muy raro visualizarlos en la temporada de desove, momento que coincide con el periodo de extracción.

Gracias a este estudio se puede determinar que el consumo de tortuga hicotea en temporada de cuaresma y semana santa en promedio podría ser de 26.2 porciones de 227g mensual, sin embargo debido a la dificultad que existe con respecto a la preservación del recurso faunístico, el consumo de esta especie debería hacerse bajo

parámetros de un posible zoo cría o costas controladas de cacería con el respectivo seguimiento y veeduría de las corporaciones autónomas regionales y el ministerio del medio ambiente.

## Recomendaciones

En Colombia se han realizado más estudios sobre las concentraciones de metales pesados en tortugas marinas que en tortugas continentales, es por esto que se recomienda realizar más estudios de esta índole en tortugas dulceacuícolas en nuestro país. Adicionalmente se recomienda realizar estudios de concentración de otros metales en tortugas como níquel y plomo, debido al aumento de la minería ilegal en Colombia.

Debido a que se han encontrado concentraciones de Hg más altas en otros tejidos, se recomienda ampliar el estudio y evaluar las concentraciones en tejidos como hígado, corazón, músculo y uñas; ya que se ha reportado que los tejidos queratinizados son mejores indicadores de bioacumulación que la sangre.

## Referencias

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1999). Toxicological Profile for Mercury, 1–676.
- Aguirre, A. A., & Lutz, P. (2004). Marine Turtles as Sentinels of Ecosystem Health: Is Fibropapillomatosis an Indicator? *EcoHealth*, 1(3), 275–283. <http://doi.org/10.1007/s10393-004-0097-3>
- Alonso, D., Pineda, P., Olivero, J., Gonzalez, H., & Campos, N. (2000). Mercury levels in muscle of two fish species and sediments from the Cartagena Bay and the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Environmental Pollution*, 109(1), 157–163. [http://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00225-0](http://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00225-0)
- Ambiente, M. del M. (2002). *Programa Nacional para la Conservación de las Tortugas Marinas y Continentales en Colombia* (1 ed). Bogota, Colombia. Retrieved from <http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MMA-0204/MMA-0204.pdf>
- Barsiene, J. (1994). Chromosome set changes in molluscs from highly polluted habitats. *Genetics and Evolution of Aquatic Organisms*, 434–447.
- Bash, E. (2012). *Tortugas terrestres y de agua dulce de Colombia y manejo de los decomisos. PhD Proposal* (Vol. 1). <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bernal-Calderón, M. P. (2003). Fertilidad y contaminación de suelos agrícolas. Aplicación al cultivo de la vid.
- Bock, B. C., Páez, V. O., & Daza, J. M. (2010). Trachemys callirostris ( Gray 1856 ) – Colombian Slider, Jicotea, Hicotea, Galapago, Morrocroy de Agua. *Conservation Biology of Freshwater Turtles and Tortoises*, 5(2002), 42–51.

<http://doi.org/10.3854/crm.5.042.callirostris.v1.2010>

Bonilla Gómez, M. (2009). *Plan de manejo orientado al uso sostenible de la hicotea en Colombia*. Bogotá: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial ;Universidad Nacional de Colombia.

Burger, J., Jeitner, C., Schneider, L., Vogt, R., & Gochfeld, M. (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(April 2009), 33–40. <http://doi.org/10.1080/15287390903248877>

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

Chou, C., Holler, J., & Rosa, C. De. (1998). Minimal risk levels (MRLs) for hazardous substances. *J. Clean Technol. Environ. Toxicol ...*, 7(1), 1–24. Retrieved from [http://www.atsdr.cdc.gov/mrls/articles/minimal\\_risk\\_levels\\_for\\_hazardous\\_substances.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/mrls/articles/minimal_risk_levels_for_hazardous_substances.pdf)

Dahl, G., & Medem, F. (1964). *Informe sobre la fauna acuática del río Sinú*.

Ernst, C. H., & Barbour, R. W. (1989). *Turtles of the world*. Washington, D.C: Smithsonian Institution.

Escobar, O. (2010). Bioacumulación y biomagnificación de mercurio y selenio en peces pelágicos mayores de la costa occidental de baja california sur. *Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario De Ciencias Marinas*, 144. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:BIOACUMULACION+Y+BIOMAGNIFICACION+DE+MERCURIO+Y+SELENIO+EN+PECES+PELAGICOS>

COS+MAYORES+DE+LA+COSTA+OCCIDENTAL+DE+BAJA+CALIFORNIA+SUR  
,+MEXICO#0

European Food Safety Authority. (2012). Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA Journal*, 10(12), 1–241. <http://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2985>.

Fachín Terán, A. (1994). Depredación de la taricaya *Podocnemis unifilis* en la Reserva Nacional Pacaya-Samiria, Loreto. *Lima 15(91-96)*, v. 16, p. 417–423.

Figueroa Navarrete, A. (1985). Mercurio y metilmercurio. In *Curso básico de toxicología ambiental* (pp. 183–204). ECO.

Figueroa Navarrete, A. (1995). Mercurio y metil mercurio.

Golet, W. J., & Haines, T. a. (2000). Mercury Contamination of Aquatic Environments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 211–220.

Gómez, A. (2005). Interacción del mercurio con los componentes de las aguas residuales, 88. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/1125/1/angelicamariajimenezgomez.2005.pdf>

Goring, C. A., & Hamaker, J. W. (1972). *Organic chemicals in the Soil Environment*. Organic chemicals in the Soil Environment., (Part A, Part B).

Green, A. D., Buhlmann, K. A., Hagen, C., Romanek, C., & Gibbons, J. W. (2010). Mercury contamination in turtles and implications for human health. *J Environ Health*, 72(10), 14–22. Retrieved from [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=20556939](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=20556939)

Hopkins, W. A., Bodinof, C., Budischak, S., & Perkins, C. (2013). Nondestructive indices

of mercury exposure in three species of turtles occupying different trophic niches downstream from a former chloralkali facility. *Ecotoxicology*, 22(1), 22–32. <http://doi.org/10.1007/s10646-012-0999-8>

Isaza, E. (2016, March 23). Alerta por consumo de huevos de iguana y carne de tortuga hicotea. *EL TIEMPO*. Cartagena. Retrieved from <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/alerta-por-consumo-de-huevos-de-iguana-y-carne-de-hicoteas/16544166>

Leon, D. (2015). Notas de clase: Espectrometria de absorcion atomica. Caldas: Corporacion Uiversitaria Lasallista.

Ley Quiñónez, C. P. (2009). “ *Determinación De Metales Pesados En Tortugas Marinas Del Noroeste De México .*” Instituto Politécnico Nacional.

Ley-Quíñonez, C., Zavala-Norzagaray, A. A., Espinosa-Carreón, T. L., Peckham, H., Marquez-Herrera, C., Campos-Villegas, L., & Aguirre, A. A. (2011). Baseline heavy metals and metalloid values in blood of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from Baja California Sur, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 62(9), 1979–1983. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.022>

Madero G, A., & Marrugo N, J. (2011). Detección de metales pesados en bovinos , en los valles de los rios Sinú y San Jorge , departamento de Córdoba , Detection of heavy metals in cattle , in the valleys of the Sinu and, 16(1), 2391–2401.

Marrugo Negrete, J. L. (2011). Evaluación de la Contaminación por metales pesados en la Ciénaga de la Soledad y Bahía de Cispatá, Cuenca del Bajo Sinú, Departamento de Córdoba. *Grupo de Investigación En Aguas, Química Aplicada Y Ambiental - GAQAA*, 153. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>



- Marrugo, J., Lans, E., & Benítez, L. (2007). Finding of mercury in fish from the Ayapel marsh, Córdoba, Colombia. *MVZ Córdoba*, 12(July 2004), 878–886.
- Marrugo, J., Lans, E., Doria, G., Bello, L., Castillo, M., Cortes, F., & Pinedo, J. (2006). *Impacto ambiental por contaminación con níquel, mercurio y cadmio en aguas, peces y sedimentos en la cuenca del río San Jorge, en el departamento de Córdoba. Informe Final.*
- Martínez Silvestre, A., & Arias Bernal, L. (2004). La tortuga hicotea en Colombia: biología, usos y conservación. *Reptilia*, (49), 52–57. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=994930>
- Medem, F. (1975). La reproducción de la “icotea” (*Pseudemys scripta callirostris*), (Testudines. Emydidae). *Caldasia*, 11, 83–101. Retrieved from [http://www.jstor.org/stable/23641172?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](http://www.jstor.org/stable/23641172?seq=1#page_scan_tab_contents)
- Moll, D. (1986). The distribution, status, and level of exploitation of the freshwater turtle *Dermatemys mawei* in Belize, Central America. *Biological Conservation*, 35(1), 87–96. [http://doi.org/10.1016/0006-3207\(86\)90028-5](http://doi.org/10.1016/0006-3207(86)90028-5)
- Moll, E. O., & Legler, J. M. (1971). The life history of a neotropical slider turtle, *Pseudemys scripta* (Schoepff), in Panama. *Los Angeles Natural History Museum*, (No. 11).
- Morillo, J., Usero, J., & Gracia, I. (2004). Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain. *Chemosphere*, 55(3), 431–442. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.10.047>
- Ojasti, J. (1993). Utilización de la fauna silvestre en América Latina: situación y perspectivas para un manejo sostenible. *Food & Agriculture Org.*, Vol. 25.

- Olivero-Verbel, J., Johnson-Restrepo, B., Mendoza-Marín, C., Paz-Martinez, R., & Olivero-Verbel, R. (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. <http://doi.org/10.1023/B:WATE.0000049162.54404.76>
- Polanco, A., Mejía-Ladino, L.M. y Acero, A. (2003). Peces (Chordata). Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia: Año 2003. *Invemar*, 380.
- Pritchard, P. C. ., & Trebbau, P. (1984). *The turtles of Venezuela*. Soc. Study Amphib.
- Rocha Castro, E. (2000). Espectrometría de absorción atómica. *Facultad de Ciencias Químicas*, 123–203.
- Sampedro, A., Ardila, M., & Fuentes, S. (2003). Aspectos de la morfometría de la jicotea Colombiana (*Trachemys scripta callirostris*: Chelonia, Emydidae) y sus posibles ventajas para la supervivencia. *Revista Biología.*, 17(2), 114–119.
- Schneider, L., Belger, L., Burger, J., Vogt, R. C., Jeitner, C., & Peleja, J. R. P. (2011). Assessment of non-invasive techniques for monitoring mercury concentrations in species of Amazon turtles. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 93(2), 238–250. <http://doi.org/10.1080/02772248.2010.517627>
- Schoeny, R., Rice, D., Mahaffey, K. R., & Manibusan, M. K. (2000). Reference Dose for Methylmercury. *Usepa*, (October), 1–74. Retrieved from C:\gwhite\Hg Biblio\attachments\methmerc.pdf
- Souza-Araujo, J., Giarrizzo, T., & Lima, M. O. (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),

S106–S111. <http://doi.org/10.1590/1519-6984.01514bm>

Turnquist, M. A., Driscoll, C. T., Schulz, K. L., & Schlaepfer, M. A. (2011). Mercury concentrations in snapping turtles (*Chelydra serpentina*) correlate with environmental and landscape characteristics. *Ecotoxicology*, *20*(7), 1599–1608. <http://doi.org/10.1007/s10646-011-0718-x>

Veiga, M. (2010). Antioquia , Colombia : the world ' s most polluted place by mercury : impressions from two field trips, *2010*(February), 1–24. Retrieved from [http://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2011/05/final\\_revised\\_feb\\_2010\\_veiga\\_antioquia\\_field\\_trip\\_report.pdf](http://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2011/05/final_revised_feb_2010_veiga_antioquia_field_trip_report.pdf)

Verbel, J. O., & Restrepo, B. J. (2002). *El lado gris de la minería de oro: la contaminación con mercurio en el norte de Colombia*. Cartagena: Universidad de Cartagena.

Zapata, L. M., Bock, B. C., & Palacio, J. A. (2014). Mercury concentrations in tissues of colombian slider turtles, *Trachemys callirostris*, from northern Colombia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *92*(5), 562–566. <http://doi.org/10.1007/s00128-014-1198-5>

## Apéndices

**Apéndice A.** Identificación de la muestra. Ubicación. Sexo. Peso. Medidas de caparazón, plastrón, altura y cola.

N.	Localidad	N° tortuga	Sexo	Peso (g)	Caparazón-largo (cm)	Caparazón-ancho (cm)	Plastrón-largo (cm)	Plastrón-ancho (cm)	Altura Max (cm)	Largo Cola (cm)
1	Montería	TC 001	Hembra	453	16,3	14,1	14,3	12,3	7,3	3,5
2		TC 002	Hembra	1024	17,5	15,8	15,8	13,1	13,1	3,3
3		TC 003	Hembra	1405	19,2	16,3	17,5	14,5	14,5	4,1
4		TC 004	Hembra	1128	16,4	14,8	14,8	12,7	12,7	3,8
5	Cotocá	TC 005	Macho	800	17,8	11,6	15,1	7,7	6,5	5,2
6		TC006	Hembra	950	19,4	12,3	17	8,7	7,8	2
7		TC 007	Hembra	1500	21,3	15,5	20	10	8	4,7
8		TC 008	Hembra	1700	23	16	19,9	10,4	9,3	2,5
9		TC 009	Hembra	950	18,7	12,8	17	18,2	9,6	3,7
10		TC 010	Macho	1200	20,6	13,1	17	8,1	7,1	8
11		TC 011	Macho	800	19	12,3	15,8	8,1	6,9	5,7
12		TC 012	Hembra	1800	24	16,8	20,6	10,7	9,3	4,1
13		TC 013	Hembra	2300	26,9	17,1	21,8	10,9	10,1	4,1
14		TC 014	Macho	650	16,8	11,7	14,6	7	8,9	6,2
15	P. nuevo	TC 015	Hembra	545	16,8	12,5	15,2	7,2		4,2
16		TC 016	Hembra	1550	21	15,6	20,3	12,7	9,4	5,7
17		TC 017	Hembra	1090	19,5	14	18,4	10,7	8,2	3,8
18		TC 018	Hembra	1835	22,8	16	21,5	13	9,5	3,6
19		TC 019	Hembra	1485	22,1	15,3	21,1	12,2	9,7	4,5
20		TC 020	Hembra	1210	20,1	14,4	18,9	11,5	8,5	4,1
21		TC 021	Macho	1075	19,7	17,9	10,1	7,6	7,4	7,5

22		TC 022	Hembra	1950	23,1	23,3	17,2	22	10,1	5
23		TC 023	Hembra	1755	22,5	16	20,7	12,4	9,9	4,5
24		TC 024	Hembra	1270	20,6	15,4	19,5	12,5	9,4	4,3
25		TC 025	Hembra	1285	19,7	14,4	17,6	11,7	9,5	3,4
26	Buonavista	TC 026	Hembra	1320	19,3	14,6	18,3	12	9,4	3,7
27		TC 027	Hembra	1880	22,6	16,4	21,8	13,6	9,7	5,2
28		TC 028	Macho	785	17,8	12,9	16,5	9,8	6,9	6,3
29		TC 029	Hembra	1300	19,5	13,4	18,4	11,2	9	3,3
30		TC 030	Hembra	1360	20,4	14,3	19,2	11,3	9,2	4,5
31		TC 031	Hembra	1195	19,7	15,4	18,2	12,9	9,2	4,1
32		TC 032	Hembra	1480	20,5	15	19,4	11,9	9,1	4,8
33		TC 033	Hembra	1325	20,6	14	19	11,4	8,9	4,5
34		TC 034	Hembra	1265	19,6	14,8	18,7	11,5	8,5	4,9
35	Purísima	TC 035	Macho	805	17	13	15,4	7,9	6,8	3,6
36		TC 036	Hembra	820	17,3	13,3	15,4	8	7,5	2,5
37		TC 037	Macho	640	16	11,8	14,2	7,3	6	3,4
38		TC 038	Hembra	650	15,5	11,9	14,8	7,4	5,4	2,8
39		TC 039	Macho	560	14,9	11,4	13,6	6,8	6	2,5
40		TC 040	Hembra	495	14,6	11	13	6,4	6,3	1
41		TC 041	Macho	340	13,7	10,2	11,8	6,5	6,6	5,9
42		TC 042	Hembra	410	13,9	10,7	12,6	6,5	5,5	1,8
43		TC 043	Hembra	390	13,4	10,4	11,7	5,8	6,2	2,2
44		TC 044	Macho	310	13	10	11,5	6,6	5,3	1,8
45	Ayapel	TC 045	Hembra	1500	22	20,5	20	9	10	3
46		TC 046	Hembra	1350	21,5	19,5	18	8,7	8	2,8
47		TC 048	Hembra	1490	24	20,7	20	10,4	9,4	3
48		TC 049	Hembra	1600	25	20,5	20,3	10,5	9,5	3,4

49		TC 050	Hembra	1600	21	16	19,3	13	9,4	3,2
50	Lorica	TC 051	Hembra	1250	20,5	18,5	18	9,5	8	2,5
51		TC 052	Hembra	1350	23	18,8	19	9,3	8,5	3,4
52		TC 053	Hembra	1200	22	18,7	18,3	9,5	8	3,6
53		TC 054	Hembra	1400	25	20	20	10	9	2,7
54		TC 055	Hembra	1700	25	21	20,7	10,3	10	2
55		TC 056	Hembra	1660	22,2	15,8	19,6	10,6	10,3	4,7
56		TC 057	Hembra	1175	19	14,4	16,8	8,7	7,7	4,1
57		TC 059	Hembra	500	14,6	11,5	13,8	7,4	6,4	3,2
58		TC 060	Hembra	1315	19,7	14,7	18,6	9,8	9	3,7
59		TC 061	Hembra	2260	24,5	17	22	11	10,4	4,5
60		TC 062	Hembra	1930	24	15,6	21,6	10,4	10,5	4,4
61		TC 063	Macho	475	15,5	11	12,8	6,7	6	5,6
62		TC 064	Macho	260	13,2	9,5	11,5	6	5	3,4
63		TC 065	Macho	210	11,7	9	10,4	5,2	4,5	3,4
64		TC 066	Hembra	850	16,8	12,4	15,4	7,8	7,6	3,2
65		C. de oro	TC 067	Hembra	1300	19,1	14,2	17,6	9,2	4,3
66	TC 068		Hembra	1205	20	14,7	18,9	9,3	9,4	3,7
67	TC 069		Hembra	1635	22,3	16,3	20	10,2	10,5	4,4
68	TC 070		Hembra	1280	19,9	14,4	18,1	9,2	9,2	4,2
69	TC 071		Hembra	1250	21	15	19,5	9,5	10	4,3
70	TC 072		Hembra	1045	19,4	13,2	17,5	9,3	8	5,2
71	TC 073		Hembra	970	18,4	13	17,7	8,5	8,1	4,1
72	TC 074		Hembra	1735	22,5	15,7	21,4	10,4	9,7	5,7
73	TC 075		Hembra	1825	22	16,1	21,3	10,5	10	5,8
74	TC 076		Hembra	1165	21,8	16,4	20,5	9,9	9,8	5,5
75			TC 077	Macho	1215	19,9	14,8	18,8	9,7	8,8

76	Montelíbano	TC 078	Hembra	2130	23,5	16	22	10	10	5,1
77		TC 079	Hembra	1655	21,7	16	20	9,9	9,6	4,5
78		TC 080	Macho	985	18	13,4	16,5	8,5	8,3	4,1
79		TC 081	Hembra	1640	21,8	16,4	20,3	10	9,8	4,5
80		TC 082	Hembra	1400	20,5	14,4	10	9,7	8,9	3,6
81		TC 083	Hembra	960	18,5	10	17,4	7,8	8,5	4,2
82		TC 084	Macho	645	16,7	12,5	14,3	7,6	7	5,3
83	Antioquia	TC 085	Hembra	2693	25	18	23	18	9,1	1,5
84		TC 086	Masculino	3367	26,5	21	28	20	7,5	2,1
85		TC 087	Hembra	2954	25,5	18,5	25,5	18,5	8,7	2,5
86		TC 088	Hembra	3075	25	20,5	25	19,5	9	2,5
87		TC 089	Masculino	1507	20,5	16,5	21,5	16,5	6,8	3,5
88		TC 090	Hembra	3513	27	19,3	25,0	19	6,9	3,2
89		TC 091	Hembra	1678	25	17	22,2	17	8,5	2,5
90		TC 092	Hembra	2845	25	19	24	21	9,6	3
91		TC 093	Masculino	3875	28	21	27	20	9	3

**Apéndice B.** Resultados del análisis de Hg en sangre, concentración de Hg en 0,025 litros de sangre y concentración de Hg esperada en músculo.

N° tortuga	Concentración Hg (µg/L)	Hg en sangre en 0,025 L (µg/Kg )	Promedio en Sangre (µg/Kg )	Hg en Músculo (µg/Kg )
TC 001	0,617	25,28	26,12	126,39
TC 002	0,497	35,02		175,10
TC 003	0,480	32,30		161,51
TC 004	0,529	11,87		59,37
TC 005	0,422	14,57	11,61	72,84
TC006	0,539	16,06		80,28
TC 007	0,637	15,07		75,34
TC 008	0,417	9,74		48,70
TC 009	0,413	9,06		45,31
TC 010	0,306	6,40		31,99
TC 011	0,432	9,68		48,40
TC 012	0,612	12,11		60,54
TC 013	0,610	10,70		53,49
TC 014	0,581	12,74		63,71
TC 015	1,504	27,13	14,69	135,64
TC 016	0,421	9,57		47,86
TC 017	0,555	12,24		61,19
TC 018	0,344	11,58		57,89
TC 019	0,907	19,30		96,48
TC 020	-0,036	0,00		0,00
TC 021	0,741	16,99		84,97
TC 022	0,636	17,80		89,02
TC 023	0,621	17,31		86,57
TC 024	0,678	15,35		76,74
TC 025	0,713	14,37		71,83
TC 026	0,888	21,47	18,70	107,33
TC 027	0,542	14,38		71,88
TC 028	0,522	15,00		75,00
TC 029	0,601	15,32		76,60
TC 030	0,635	17,41		87,06
TC 031	0,849	16,89		84,45
TC 032	0,615	18,68		93,40
TC 033	1,095	25,05		125,24
TC 034	0,796	24,08		120,40



TC 035	0,978	21,37		106,83
TC 036	0,892	28,62		143,10
TC 037	2,811	103,76		518,79
TC 038	1,180	31,86		159,29
TC 039	0,262	5,40	23,58	26,99
TC 040	0,328	6,52		32,60
TC 041	0,493	16,15		80,77
TC 042	0,333	10,48		52,38
TC 043	0,415	7,53		37,66
TC 044	0,270	4,15		20,75
TC 045	0,245	8,96		44,78
TC 046	0,272	6,29		31,43
TC 048	0,294	4,99	8,92	24,97
TC 049	0,512	16,45		82,25
TC 050	0,289	7,92		39,62
TC 051	0,334	9,98		49,88
TC 052	0,351	9,91		49,55
TC 053	0,596	13,40		67,00
TC 054	0,494	10,40		51,98
TC 055	0,360	11,22		56,12
TC 056	0,369	8,76		43,80
TC 057	0,529	10,57		52,86
TC 059	0,530	11,20	8,92	56,01
TC 060	0,407	7,55		37,74
TC 061	-0,245	0,00		0,00
TC 062	-0,969	0,00		0,00
TC 063	-1,224	0,00		0,00
TC 064	2,104	40,75		203,75
TC 065	-0,816	0,00		0,00
TC 066	-0,061	0,00		0,00
TC 067	-1,118	0,00		0,00
TC 068	-0,739	0,00		0,00
TC 069	-0,190	0,00		0,00
TC 070	-1,243	0,00	2,42	0,00
TC 071	-0,786	0,00		0,00
TC 072	-0,918	0,00		0,00
TC 073	-0,676	0,00		0,00
TC 074	-1,021	0,00		0,00

TC 075	0,826	24,16		120,80
TC 076	-1,286	0,00		0,00
TC 077	1,165	24,20		121,01
TC 078	-1,413	0,00		0,00
TC 079	-0,813	0,00		0,00
TC 080	-1,523	0,00	3,03	0,00
TC 081	-1,139	0,00		0,00
TC 082	-1,271	0,00		0,00
TC 083	-1,163	0,00		0,00
TC 084	-1,364	0,00		0,00
TC 085	-1,388	0,00		0,00
TC 086	-1,432	0,00		0,00
TC 087	-1,411	0,00		0,00
TC 088	-1,064	0,00		0,00
TC 089	-1,262	0,00	0,00	0,00
TC 090	-1,182	0,00		0,00
TC 091	-1,341	0,00		0,00
TC 092	-1,335	0,00		0,00
TC 093	-1,807	0,00		0,00

**Apéndice C.** Límite de consumo diario y mensual para cada región muestreada basado en el promedio de Hg en músculo por regiones.

<b>Localidad</b>	<b>Promedio Hg mús/Región (<math>\mu\text{g}/\text{Kg}</math>)</b>	<b>Cr<sub>lim</sub> (g)</b>	<b>CR<sub>mm</sub> (Porciones 227 g)</b>
Montería	130,59	53,602	7,178
Cotocá	58,06	120,564	16,146
P. nuevo	73,47	95,275	12,759
Buenavista	93,48	74,878	10,028
Purísima	117,91	59,365	7,950
Ayapel	44,61	156,915	21,014
Lorica	44,58	157,025	21,029
C. de oro	12,08	579,458	77,601
Montelíbano	15,13	462,767	61,974
Antioquia	0,00	0,000	0,000