

2021

Evaluación de los niveles de mercurio en tortuga charapa (Podocnemis expansa) en zonas asociadas a minería de oro aluvial en la cuenca baja del río Caquetá, Parque Nacional Natural Cahuinarí, Amazonas.

Ana Raquel Cano Polania
Universidad de La Salle, Bogotá, acano08@unisalle.edu.co

Corina Estefania Walteros Puentes
Universidad de La Salle, Bogotá, cwalteros16@unisalle.edu.co

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia>



Part of the [Biology Commons](#)

Citación recomendada

Cano Polania, A., & Walteros Puentes, C. E. (2021). Evaluación de los niveles de mercurio en tortuga charapa (*Podocnemis expansa*) en zonas asociadas a minería de oro aluvial en la cuenca baja del río Caquetá, Parque Nacional Natural Cahuinarí, Amazonas.. Retrieved from <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia/129>

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Escuela de Ciencias Básicas y Aplicadas at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Biología by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

**Evaluación de los niveles de mercurio en tortuga charapa
(*Podocnemis expansa*) en zonas asociadas a minería de oro aluvial
en la cuenca baja del río Caquetá, Parque Nacional Natural
Cahuinari, Amazonas.**

**CORINA ESTEFANIA WALTEROS PUENTES
ANA RAQUEL CANO POLANIA**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
BOGOTÁ D.C.
2021**

Evaluación de los niveles de mercurio en tortuga charapa (*Podocnemis expansa*) en zonas asociadas a minería de oro aluvial en la cuenca baja del río Caquetá, Parque Nacional Natural Cahuinari, Amazonas.

CORINA ESTEFANIA WALTEROS PUENTES
ANA RAQUEL CANO POLANIA

Trabajo final en modalidad de desarrollo de un proyecto investigativo disciplinar o interdisciplinar para optar por los títulos de biólogas

Director: Camilo Escallón
Codirectora: Ana Lucía Bermúdez

UNIVERSIDAD DE LA SALLE FACULTAD
DE CIENCIAS BÁSICAS PROGRAMA
BIOLOGÍA
BOGOTÁ D.C.

Resumen

Palabras claves: Minería, Mercurio, *Podocnemis expansa*, Tortugas, Caquetá, Cahuinarí.

La tortuga chapara (*Podocnemis expansa*) es la especie más grande dentro de las tortugas dulceacuícolas del neotrópico, para su ciclo de vida son fundamentales en Colombia, las playas de desove sobre el río Caquetá, y el sistema de Lagos del río Cahuinarí por esto, estos sitios son considerados lugares sagrados por el Pueblo Bora Miraña y por lo tanto tienen un manejo de carácter inmaterial ritualizado y unas normas con una fuerte regulación social. Debido a diversas presiones antropogénicas como es la minería de oro, este territorio se encuentra amenazado por contaminación por mercurio lo cual afecta la calidad del agua y el hábitat de especies asociadas a las playas y los ríos, puesto que el mercurio se bioacumula a lo largo de la cadena trófica, es un contaminante que afecta la salud de diferentes especies incluyendo la humana. Por esto la presente investigación evaluó la concentración de mercurio total (Hg-T) en la tortuga charapa (*Podocnemis expansa*), en zonas de influencia de minería de oro aluvión en la cuenca baja del río Caquetá en el departamento del Amazonas. Para la evaluación del mercurio total en la tortuga charapa se tomaron muestras de hígado, musculo, sangre, caparazón y uña durante los meses de enero y febrero del 2019. Las muestras fueron procesadas por medio de espectrometría de absorción atómica con generador de hidruros en el laboratorio instrumental de alta complejidad (LIAC) de la Universidad de la Salle. A pesar de ser varios los reportes de concentraciones altas de este metal en el departamento del Amazonas (Cano & Malagon, 2016; Nuñez Avellaneda et al., 2014, 2014; Siangas, 2005), no se detectó mercurio en ninguno de los tejidos evaluados de *Podocnemis expansa* posiblemente sea respuesta a que en la muestra se presentó una homogeneidad en el estadio de desarrollo de los individuos evaluados al ser todos juveniles e infantiles, además se contó con un número muy reducido en el tamaño la muestra empleada. Sin embargo, fue posible extraer información valiosa para la articulación entre la comunidad científica y la comunidad indígena con respecto a la metodología de estudio para la evaluación de mercurio en la Charapa, por lo que se sugiere para próximas investigaciones buscar por medio de las herramientas de dialogo obtenidas con esta investigación, acordar con la comunidad indígena integrar la autorización de la evaluación de mercurio en muestras de agua en los sitios de donde se obtienen las charapas que se van a evaluar a lo largo de los ríos del Caquetá y Cahuinarí.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	8
MATERIALES Y MÉTODOS	14
Área de estudio.....	14
Procedimiento.....	17
RESULTADOS.....	20
Enlace con la comunidad.....	24
Toma de muestras.....	20
Análisis de datos.....	21
DISCUSIÓN.....	25
CONCLUSIONES	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del Parque Nacional Natural Cahuinarí y el Territorio Ancestral del PANI	16
Figura 2. Ubicación del área de muestreo dentro del Parque Nacional Natural Cahuinarí y el territorio PANI	17

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los individuos muestreados de <i>Podocnemis expansa</i>	21
Tabla 2. Época hidrológica y la dieta reportada en <i>Podocnemis expansa</i>	32

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Medidas morfológicas en centímetros, del Largo Curvo del Caparazón (L.C.C), Ancho Curvo del Caparazón (A.C.C), Ancho del Plastrón (A.P), de los 10 individuos muestreados de Podocnemis expansa.	22
Gráfica 2. Variación de las medidas morfológicas Largo Curvo del Caparazón (L.C.C), Ancho Curvo del Caparazón (A.C.C) y del Ancho del Plastrón (A.P) de los individuos muestreados de Podocnemis expansa, según el sexo.	22
Gráfica 3. Variación del peso de los individuos muestreados de Podocnemis expansa según el peso (g)	24

INTRODUCCIÓN

La región amazónica es un entramado de relaciones sociales, biológicas, ecológicas y ambientales las cuales al mantenerse en equilibrio le confieren la condición de un sistema funcional. El estado de la conservación cultural de los pueblos ancestrales y una administración territorial que respete este entramado de relaciones es esencial para el desarrollo y la conservación de la biodiversidad (Rengifo, 2016). Diversas actividades antrópicas pueden llevar a la pérdida de la condición de sistema funcional, por este motivo es fundamental generar investigaciones que compilen información base que sirva como precedente para futuros procesos de seguimiento, monitoreo y control de las acciones de estas actividades (Casas *et al.*, 2015; Villegas & Solarte, 2012).

Una de las actividades antrópicas que amenazan el equilibrio ecosistémico y la estructura social de las diversas poblaciones y culturas del territorio amazónico es la minería de oro legal e ilegal, puesto que según informes de las naciones unidas del medio ambiente no se cumplen las normas ambientales exigidas para ello en el 80 % de los casos, generando impactos negativos como: deforestación, contaminación de las fuentes hídricas, destrucción de la corteza terrestre, alteración de los ciclos naturales, pérdida de fauna y flora, afectaciones en la salud humana, entre otros (García Angela, 2015; PNNC, 2016; PNUMA, 2008; Rengifo, 2016; Rubiano Galvis, 2019; Villegas & Solarte, 2012). En el departamento del Amazonas el río Caquetá, la minería de oro tiene sus inicios en la década de los ochenta (Salazar Cardona *et al.*, 2019) reportándose el incremento de la extracción de este metal a partir de 1999, por la frecuencia de avistamientos de balsas mineras a lo largo del río y sus tributarios del Caquetá bajo. Para el año 2000 identificaron 26 balsas que permanecieron hasta el 2014, en el PNN Cahuinarí (PNNC, 2018a; Rengifo, 2016), el promedio de balsas hasta el 2016 se mantuvo alrededor de 32 balsas mineras avistada (Córdoba *et al.*, 2008).

Esta actividad minera emplea el mercurio para la amalgamación del oro, proceso que facilita su separación de la roca, arena, u otro material, y una vez formada la amalgama es necesario calentarla para aislar el oro al causar la evaporación del mercurio, de este modo la liberación este elemento, se da como residuo volátil a la atmosfera y de igual forma se libera directamente al ambiente acuático, lo cual demuestra que son varias las vías de liberación del mercurio, reforzando

la emisión antrópica de este metal, que está reportado como contaminante con mayor impacto sobre los ecosistemas acuáticos (Agudelo Calderón et al., 2016; García Angela, 2015; Mancera Rodríguez & Álvarez León, 2006; PNUMA, 2008; Trujillo et al., 2004). En los ríos Caquetá, Putumayo y Cotuhé (Amazónicos) se han desarrollado estudios que evidencian altas concentraciones de mercurio en agua, suelo y biota (Cano & Malagon, 2016; García Angela, 2015, 2015; Guerra et al., 2015; Machado et al., 2010; Nuñez Avellaneda et al., 2014; Trujillo et al., 2004; Villegas & Solarte, 2012). Se conoce que Colombia es el país del bioma Amazónico, que con más la presencia de este metal en el bioma Amazónico, por su uso en actividades relacionadas con la extracción de oro informal e ilegal (60 ton/año) (Ortiz Riomalo & Rettberg, 2018; Rubiano Galvis, 2019).

El mercurio posee la característica química de existir en tres formas, elemental, inorgánico y orgánico en condiciones naturales, lo cual revela que el aumento de la concentración de mercurio se da por diversos fenómenos, y no únicamente por fuentes antrópicas, pues también proviene de las inundaciones y erosiones que puede darse naturalmente en ambientes amazónicos, debido a que en suelos inundables como estos, los depósitos de sedimentos experimentan una reducción química, posibilitando la ocurrencia de modificaciones geoquímicas, como la disolución del hierro, óxidos, con liberación concomitante de Hg (Lopez Siangas, 2005; Machado *et al.*, 2010; Montoya *et al.*, 2019). El mercurio puede existir en aguas naturales en la forma de iones libres, unidos a carbonatos solubles, sulfuros, hidróxidos, cloruros o sulfatos y como complejos solubles con ligandos orgánicos, de manera natural (Kahhat *et al.*, 2019; Ma *et al.*, 2019; Pinedo *et al.*, 2013)

Aparentemente, los suelos amazónicos son un eslabón clave en el ciclo biogeoquímico del mercurio ya que se ha propuesto que el mercurio se transporta a través de la atmósfera y luego se deposita en el suelo y ríos, dentro de este esquema del ciclo de Hg en el ambiente amazónico se muestra la necesidad de la disponibilidad de un portador geoquímico para el transporte del mercurio dentro de los cuerpos de agua, lo cual señala que las condiciones ambientales parecen controlar la movilidad del Hg siendo importante tener en cuenta la fuerte variabilidad que presenta el medio ambiente amazónico (Kahhat *et al.*, 2019; Ma *et al.*, 2019; Wasserman *et al.*, 2003). Sumando el hecho de que el mercurio volátil liberado por el proceso de la minería ha demostrado estar extendido en toda la región, afectando áreas remotas y no contaminadas. Por lo cual las actividades humanas como la minería de oro y la degradación ambiental de la selva amazónica está aumentando

la liberación de mercurio en el Amazonas (García Angela, 2015; Güiza & Aristizabal, 2013; Wasserman et al., 2003).

Es importante resaltar que en los sedimentos se presenta una gran capacidad biológica para transformar el mercurio a metilmercurio, generando su dispersión y persistencias en el organismo, gracias a bacterias tales como *Pseudomonas fluorescens*, *Mycobacterium pblei*, *Klebsiella pneumoniae*, *Bacillus megaterium* y *Escherichia coli*, que provocan que el mercurio se una a sustancias orgánicas que se transportan en el agua (Jiménez Gómez, 2005). El mercurio posee la capacidad de bioacumularse en forma de metilmercurio la cual se absorbe y acumula más que cualquier otra forma química y debido a que la materia orgánica aumenta la metilación biológica y química del mercurio, es posible que los ambientes ricos en orgánicos sumergidos sean los principales sitios de metilación de mercurio en la región amazónica (Asner et al., 2013; Bridges & Zalups, 2010; Castillo *et al.*, 2017a; Dáz Arriaga, 2014; Guerra et al., 2015; Londoño Franco et al., 2016; Lopez Siangas, 2005; Machado et al., 2010).

En los ríos el mercurio es transformado por acción de los microorganismos, en un compuesto neurotóxico llamado metilmercurio ($[CH_3Hg]_+$). Este compuesto se adhiere al organismo alojándose en las membranas biológicas impactando de forma negativa importantes vías enzimáticas, órganos dianas y sistemas metabólicos, esto se debe a que una vez adsorbido el metilmercurio por el sistema digestivo pasa en primera instancia al torrente sanguíneo, en donde se acumula primordialmente en los eritrocitos. Por otro lado, en el plasma se enlaza a proteínas que contienen grupos tiol (albumina, cisteína y glutatión) de este modo, es a través de la sangre que el mercurio puede transitar por todo el organismo generando la acumulación en diversos órganos, y de igual manera se ha comprobado que dicha acumulación se da de manera diferencial entre los órganos (Amador *et al.*, 2015; Cogua *et al.*, 2012; Eggins, Schneider, Krikowa, Vogt, Da Silveira, *et al.*, 2015; Farina *et al.*, 2011; Gaioli *et al.*, 2012; Ramírez, 2008; Vargas Betancourt & Quiroz Palacio, 2011; Zapata Restrepo *et al.*, 2014).

De este modo, dentro de la red alimenticia acuática tropical del Amazonas existe un elevado potencial de metilación de mercurio que estimula una producción alta de metilmercurio biodisponible, poniendo en riesgo la salud tanto en humanos como animales del territorio Piine Aiiyveju Niimue Iachimua PANI cuyas siglas en lengua significa Dios de Centro con sus nietos, esto es porque el metilmercurio se bioacumula en los tejidos e incrementa su concentración cuando

es transferido de un nivel trófico a otro, y se somete a un proceso de biomagnificación (Bridges & Zalups, 2010), la biomagnificación del mercurio se presenta frente a la acumulación progresiva, por lo que los animales carnívoros son los que tienden a almacenar altas concentraciones de este elemento, que es especialmente peligroso. Se reconoce a las tortugas como indicadores potenciales de exposición a contaminantes, gracias a que cumplen con un ciclo de vida largo, ocupan una amplia gama de niveles tróficos, consumiendo plantas, invertebrados terrestres, peces, insectos, crustáceos, moluscos y tortugas, comportándose como omnívoras (Figeroa *et al.*, 2012; Giraldo, 2012; Páez Osuna & Osuna Martínez, 2011; Souza, Araujo *et al.*, 2015).

Gracias a las características anteriormente mencionadas la Charapa *Podocnemis expansa* la tortuga dulceacuícola más grande del neotrópico podría ser un buen bioindicador de la contaminación por mercurio en la cuenca baja del río Caquetá, debido a que su rango de distribución es amplio y se encuentra amenazada por su explotación, al ser apreciada como alimento y tradicionalmente empleada como medicina (Alves & Santana, 2008; Páez *et al.*, 2012). Además, es una especie amenazada por introducción de nuevas especies en su hábitat, destrucción y fragmentación del hábitat, es por esto que se hace necesario emplear especies bioindicadoras como las tortugas que den razón de la exposición por mercurio y su potencial de bioacumulación como de biomagnificación dentro del ecosistema acuático del Amazonas. (Casini *et al.*, 2018; De Solla *et al.*, 2008; Fossi *et al.*, 2018; PNNC, 2018a; Salazar Camacho *et al.*, 2017)

Distintas investigaciones han empezado a establecer en el país, principalmente en la zona norte, la presencia de mercurio en tortugas como hicotéa del Caribe (*Trachemys c. callirostris*), los cuales concluyen que en efecto, el metal pesado se presenta en diferentes órganos del cuerpo como en la sangre, el tejido interdigital, el caparazón y en el músculo, indicando mayores concentraciones del metal, lo cual sugiere que el músculo tiende a ser un buen indicador de acumulación (Diez & Alzate, 2016a; Mosquera Martínez, 2017a; Zapata *et al.*, 2014). También se ha revelado la transferencia placentaria del mercurio a los huevos, demostrando que los embriones contienen niveles más altos que las muestras en cascara o yema, sugiriendo que bioacumula el mercurio presente en estos tejidos de durante el desarrollo (Rendón *et al.*, 2014).

Paralelamente es necesario precisar que Colombia cuenta con numerosos estudios sobre contaminación de mercurio en cuerpos de agua y suelo (Cano & Malagon, 2016; Garcia Angela, 2015; Garcia *et al.*, 2015; Machado *et al.*, 2010; Nuñez Avellaneda *et al.*, 2014; Ramírez, 2008;

Trujillo *et al.*, 2004; Villegas & Solarte, 2012), pero las investigaciones sobre la bioacumulación son un tema en auge, reportándose hasta el momento un mayor número de análisis en peces (Alvarez *et al.*, 2012; Nuñez Avellaneda *et al.*, 2014; Trujillo *et al.*, 2004), anfibios (Cordoba *et al.*, 2013), bovinos (Madero & Marrugo, 2011), quirópteros (Racero Casarrubia *et al.*, 2017) y aves (Burgos *et al.*, 2014). En quelonios de agua dulce, los estudios se han centrado en *Trachemys callirostris* y *Podocnemis lewyana* (Mosquera Martínez, 2017), por lo que, el presente estudio sería el primero en Colombia en determinar la concentración de mercurio en *Podocnemis expansa*.

El hábitat de la Tortuga Charapa (*Podocnemis expansa*) se encuentra en la zona del bajo Caquetá donde se encuentran playas que son esenciales en el ciclo de la reproducción de la tortuga (PNNC, 2016, 2018d; Rubiano Galvis, 2019; UNODC, 2016). Esta zona del bajo Caquetá es considerada un resguardo ancestral donde las culturas indígenas PANI poseen un manejo especial para la zonificación de su territorio, al reunir componentes de valor intrínseco en su relacionamiento con el ecosistema, otorgando normas regulatorias que les permiten conservar su territorio. Entre las normas se reconoce; el comportamiento adecuado en los diferentes lugares del territorio, el acceso restringido a algunos lugares que se consideran sagrados y los niveles de sustracción de los recursos entre otros. Esta regulación territorial propende un sistema cultural y sostenible que conserva los recursos naturales (PNNC, 2018d).

La tortuga Charapa (*P. expansa*), es una especie de notable valor cultural que desde la cosmovisión indígena de los pueblos que conforman el PANI está directamente relacionada con el mito del origen el cual, en palabras textuales del tradicional Miguelito, entrevistado en las reuniones para la creación del Régimen Especial de manejo del área del parque Cahuinarí de la comunidad señala que “*uno de los dioses, le dio carne y sangre a la charapa, materializándola y entregándola a todos los nietos del territorio para que se alimentaran de ella, es a través de ritos asociados a la especie como, el baile de la Charapa permite dar a conocer la regulación social de su uso como alimento*”. A demás de ser catalogada como una especie en peligro *Podocnemis expansa*, para la amazonia, se encuentra bajo la susceptibilidad de la minería de oro aluvión, por el daño a los ecosistemas acuáticos: Que causa afectación de la dinámica de las playas de desove, contamina las aguas y suelos fundamentales para su ciclo de vida (PNNC, 2018d).

Estas dinámicas socioambientales son afectadas directamente por las consecuencias de contaminación hídrica de la minería de oro, pues el mercurio incide en el deterioro de las

condiciones fisicoquímicas y biológicas en las zonas de extracción (Castillo *et al.*, 2017b; Rengifo, 2016; Rubiano Galvis, 2019). Para las comunidades del PANI en el bajo Caquetá el correcto manejo de las especies que habitan los cuerpos de agua es un legado de cumplimiento obligatorio para poder vivir en el territorio (PNNC, 2018d).

De este modo en el bajo Caquetá confluyen tres actores que imponen dinámicas diferentes: autoridad indígena, instituciones privadas y gubernamentales y grupos armados al margen de la ley (GAML), principalmente las fuerzas armadas revolucionarias de Colombia (FARC), que surgieron en 1964 del conflicto interno armado en Colombia provocado por las divisiones políticas, intereses económicos, ambientales y sociales, lo que genera mayores presiones socioambientales para el territorio desde 1986 fecha en la cual se asentaron estos grupos en el bajo Caquetá provocando enfrentamientos por el control de esta zona del país y sus recursos naturales (Franco, 2012; Rodríguez & Herrera, 2016). En el caso particular de la minería empezaron a convertirse en la principal fuente de financiamiento de los grupos armados ilegales que buscan obtener un beneficio económico de esta actividad antrópica, las entidades gubernamentales representadas por Parques Nacionales y las organizaciones privadas ambientalistas que apoyan los procesos de las áreas protegidas persiguen el objetivo de controlar, prevenir y vigilar las consecuencias que puede traer la minería a la ecología y la cultura ancestral del pueblo Bora-Miraña y demás comunidades indígenas (Betancur, 2019; PNNC, 2018b, 2018d).

Es necesario señalar la importante labor que se desarrolla en el marco de articular esfuerzos entre los pobladores indígenas con Parques Nacionales y entidades investigativas para salvaguardar la especie, y aunque hay varios procesos como el cuidado de las playas a través de planes de monitoreo enfocando en la desove (PNNC, 2018b), no se cuenta con investigaciones bases sobre la contaminación a la tortuga y de la amenaza por la contaminación de mercurio a causa de la ingesta de la carne de la Tortuga Charapa lo que puede producir consecuencias asociadas a la salud, que radican en daños neuronales, renales y pulmonares esta si se superan las concentraciones de mercurio superiores al mínimo establecido por la Agencia de protección Ambiental de Estados Unidos y de la Organización mundial de la salud, tal como ha sido registrado para este territorio (Diez & Alzate, 2016a; Figeroa *et al.*, 2012; Giraldo, 2012; Martínez Callejas *et al.*, 2016; Mosquera Martínez, 2017a; US EPA, 2018).

Se esperaría evidenciar la presencia de mercurio (Hg) en *Podocnemis expansa*, soportado por la investigación realizada en varias comunidades asociadas al PANI, las cuales determinaron que las concentraciones de H-t en cabello de los pobladores excedieron las dosis de referencia $1 \mu/$ en todos los individuos de las comunidades pertenecientes a las organizaciones indígenas (PNNC, 2018b). Adicionalmente autores como Cano & Malagon, en el 2106, reportan concentraciones del metal en el departamento del Amazonas (Cano & Malagon, 2016). Al relacionar el tamaño, peso y sexo con las concentraciones de mercurio, se pretende evidenciar correlaciones significativas, suponiendo que entre mayor peso y tamaño es mayor su bioacumulación. Aunque se ha demostrado que no existe una relación entre estas características con la concentración de mercurio (Diez & Alzate, 2016a; Mosquera Martínez, 2017a; Powell, 2009; Rendón et al., 2014; Souza, Araujo et al., 2015). Por esto la presente investigación pretende evaluar la concentración de mercurio en musculo, hígado, sangre, caparazón y uña de la tortuga charapa (*Podocnemis expansa*) en zonas asociadas a minería de oro aluvial en el medio-bajo río Caquetá, Parque Nacional Natural Cahuarí, Amazonas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se desarrolla en el Parque Nacional Natural Cahuarí, que limita con el río Caquetá, una reserva de conservación y refugio de fauna de excepcional importancia, conectada al río Cahuarí y sus lagos, los cuales son zonas de criadero de especies en peligro de extinción, con una destacada importancia para el grupo de los réptiles, como es el caso de la tortuga en estudio *Podocnemis expansa* (PNNC, 2018d).

La jurisdicción político administrativa en el departamento del Amazonas, en su mayor parte se constituye de Asociaciones de Autoridades Tradicionales Indígenas (AATI's), en el caso del área de estudio, en la cuenca baja del río Caquetá donde se encuentra el Parque Nacional Natural Cahuarí (PNNC) traslapado con resguardo y territorio ancestral, es gobernado por la AATI del PANI, organización indígena que representa a las comunidades que están bajo la jurisdicción del

territorio ancestral cuyas siglas en lengua Miraña aluden a Piine Aiiyveju Niimue Iachimua, que significa Dios de Centro con sus nietos. Actualmente, la organización tiene adscritas cinco comunidades a lo largo del río Caquetá dentro y fuera del límite meridional del Parque: San Francisco Solarte, Las Palmas, Puerto Remanso del Tigre, Mariápolis y Manacaro, que de acuerdo al diagnóstico socio-económico del 2016 realizado por PNNC reportan una población de 363 habitantes (PNNC, 2018c, 2018d)

El Parque Nacional Natural Cahuinarí, abarca la cuenca baja del río Cahuinarí, ubicado al suroriente de la Amazonia colombiana en el interfluvio de los ríos Caquetá y Putumayo se traslapa con dos de los resguardos indígenas más grandes de la Amazonia, el Predio Putumayo y el Resguardo Mirita Paraná, donde está inmerso el territorio Miraña – Bora representado por la Asociación indígena PANI, que a su vez colinda con el territorio de las organizaciones indígenas de la zona de influencia de Chiribiquete, lo cual lo convierte en un gran corredor de importancia natural y cultural para la Planicie Amazónica Colombiana (Figura 1.) (PNNC, 2018d).

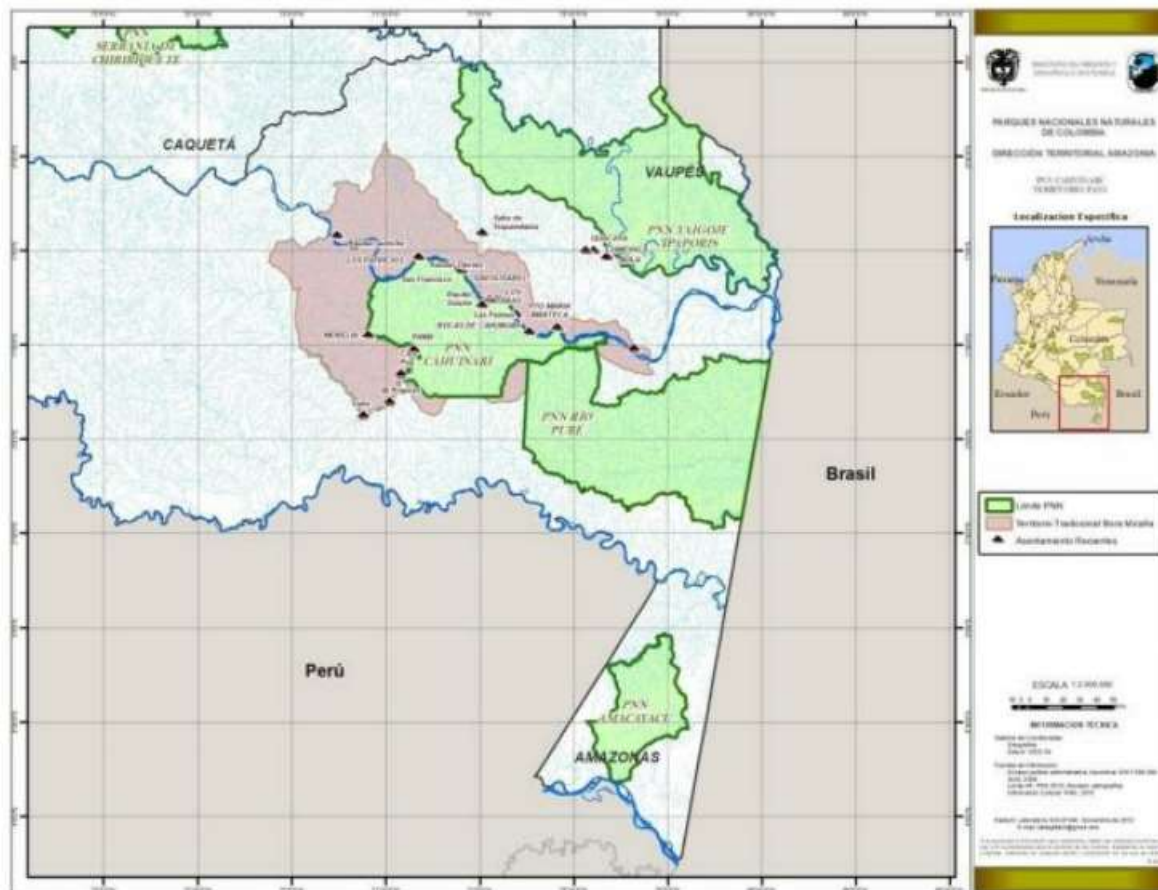


Figura 1. Mapa del Parque Nacional Natural Cahuinarí y el Territorio Ancestral del PANI. Fuente. Laboratorio SIG-Dirección Territorial Amazonia (PNNC, 2010).

La ubicación del área de muestreo dentro del Parque Cahuinarí, se puede identificar en la Figura 2. Aunque se realizó la socialización del proyecto de investigación en Solarte y Mariapolis, sin embargo, el punto central de la toma de muestras fue en la comunidad de Mariapolis situada sobre la margen izquierda del río Caquetá (Resguardo del Mirití Paraná) ubicada aproximadamente a 113 km lineales del corregimiento de Pedrera y a 14 km lineales de la sede administrativa del Parque Cahuinarí. Está conformada por indígenas Miraña-Bora, Carijona y Yucunas con una población de 93 habitantes (PNNC, 2018d)

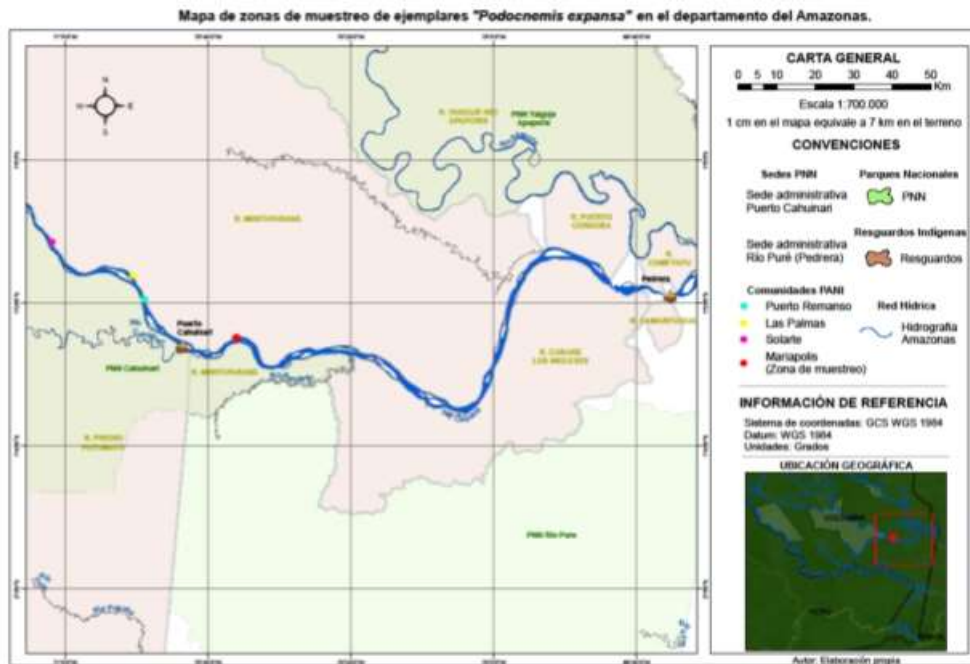


Figura 2. Ubicación del área de muestreo dentro del Parque Nacional Natural Cahuinarí y el territorio PANI.

La vegetación de este lugar corresponde a bosque húmedo tropical, considerado altamente dinámico, las formaciones vegetales presentan una gran diversidad, en la estructura del bosque y su composición florística, de igual manera en el comportamiento fenológico de las diferentes especies a través del año, dada por la oferta diversificada de alimentos a nivel espacial y temporal, de este modo el territorio PANI alberga altos niveles de biodiversidad y ofertas alimenticias, las poblaciones de *Podocnemis expansa*, se encuentran distribuidas en bajas densidades por parches en el espacio, exceptuando las temporadas de reproducción (Armenteras et al., 2019; Grima & Singh, 2019; PNNC, 2018a, 2018d). Entre las características hidrológicas se presenta un régimen de pluviosidad monomodal, observándose una temporada lluviosa hacia mitad de año, picos de precipitación entre abril y junio y un leve incremento de lluvias en octubre, presentando una sola época “seca” de menores lluvias entre diciembre y febrero (Guzmán *et al.*, 2014)

Procedimiento

En términos metodológicos esta investigación se articuló por medio de tres fases sucesivas, donde la primera consiste en el trabajo que corresponde al marco etnográfico, la segunda fase permitió obtener y tomar las muestras y por último la tercera fase, donde se realiza la evaluación de la concentración de mercurio en las muestras de tejido obtenidas.

La primera de ellas fue en la que se buscó la creación de relaciones con la comunidad indígena, con el fin de no romper con las estructuras y dinámicas establecidas cuando se desarrollaran los procesos de la investigación, de manera que se realizan diferentes tipos de acercamiento con dicha población para comprender su cosmogonía, al igual que los vínculos sociales y culturales que ellos establecen con su territorio.

La segunda fase consistió en la toma de muestras de sangre, músculo, hígado, caparazón y uña de *Podocnemis expansa*, durante los meses de febrero, temporadas de aguas descendentes, época seca (Guzmán D. et al., 2014). Las muestras se obtuvieron de las especies capturadas para el consumo humano por la comunidad de Mariapolis enmarcado en el decreto 1608 del 1978, que establece, la regulación de los modos de adquirir derecho al ejercicio de la caza y sus actividades; informando el establecimiento de obligaciones a los titulares de permisos de caza, a quienes realizan estas actividades o la practican y a los propietarios, poseedores o administradores de predios en relación con la fauna silvestre que se encuentre en ellos y con la protección de su medio ecológico. De esta forma las autoridades del PANI aprobaron la toma de las muestras, reconociendo la libertad de decisión para la captura de los individuos y la metrología empleada para la colecta obtenida por los pescadores

Toma de muestras biológicas para el análisis de la concentración de mercurio:

Las tortugas fueron sacrificadas e inmediatamente después, se extrajo sangre directamente de sus venas yugulares, estas se recolectaron en tubos tapa roja, sin aditivo, en tubos tapa lila con anticoagulante etilendiaminotetraacético (EDTA) y tubos tapa verde con heparina. En un segundo paso se recolectaron 2 cm² de hígado y músculo, del caparazón se eligieron los escudos marginales, extrayendo 2 cm² de los supracaudales. Para las uñas se tomaron muestras tanto de las extremidades posteriores y anteriores. Cada una de las muestras fue almacenada y rotulada en bolsas de cierre hermético para que se conservará garantizar la cadena de frío (Diez & Alzate, 2016a; Mosquera Martínez, 2017a; Sanz, 2011). Se tomaron tres replicas para cada una de las muestras. Una vez tomadas las muestras en la comunidad indígena de Mariapolis, fueron preservadas en un congelador portátil con pilas de gel refrigerante a 4°C, para su transporte fluvial y aéreo.

Las muestras fueron transportadas por vía fluvial desde la comunidad de Mariapolis a la sede del Parque Nacional Cahuinari, posteriormente a la sede de Parques Nacionales en el

corregimiento de pedrera y por vía aérea fueron transportadas a la ciudad de Leticia y finalmente a la ciudad de Bogotá para ser analizadas en el laboratorio instrumental de alta complejidad LAIC de la Universidad de la Salle. En cada uno de los puntos, las muestras fueron guardadas en un congelador a 3°C, según el protocolo del laboratorio.

Determinación del peso, tamaño y sexo de la tortuga *Podocnemis expansa*

A cada individuo se le tomó el peso total, para determinar el tamaño se usó las medidas del largo curvo del caparazón (LCC), ancho curvo del caparazón (ACC), ancho curvo del plastrón (ACP) y con la ayuda de una cinta métrica. Las tortugas fueron sexuadas visualmente por dimorfismo sexual, los machos son más pequeños que las hembras que poseen la cola más larga y gruesa (Almonacid *et al.*, 2007)

La tercera fase es la de análisis de las muestras en el laboratorio, por medio de dos protocolos; primero para determinación de mercurio en caparazón y uña de tortuga en digestión húmeda y determinación por absorción atómica y generador de hidruros, basado en el método (Sánchez, 2010) y el segundo para determinación de Mercurio en tejido animal por digestión húmeda y determinación por absorción atómica y generador de hidruros basado en el método de la Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994 y la norma técnica Colombiana NTC 1322 de 2007 (ICONTEC, 2007; Norma oficial Mexicana, 1994).

Cada muestra de tejidos se sometió a digestión húmeda con una mezcla de ácido nítrico/ácido sulfúrico concentrado, en un sistema cerrado de calentamiento y reflujo que finaliza cuando no se observan cambios en la digestión. Después cada muestra se llevó a volumen con solución de ácido Nítrico/ ácido sulfúrico y se trató con solución reductora de 25g de cloruro de estaño con el fin de llevar el mercurio presente en la solución digerida al estado elemental y ser arrastrado con gas Argón desde el matraz de reacción hasta la celda de absorción (Sánchez Rodríguez, 2009). Para el análisis, se empleó el espectrofotómetro de Absorción Atómica, marca Shimadzu, modelo 6800, con generador de hidruros y a una longitud de onda 253,6 nm. (Sánchez Rodríguez, 2009) . Donde el rango de concentración de la curva de calibración utilizado es de 2 a 10 µg/L. El método empleado fue sometido previamente a evaluación de parámetros de calidad por medio del protocolo de verificación de métodos establecido en el LIAC y material de referencia certificado BCR-463 del Institute for Reference Materials and Measurements – IRMM (Sánchez Rodríguez, 2009). La

técnica de absorción atómica por generador de hidruros, permite cuantificar concentraciones de mercurio en partes por billón ppb o ultratazas, midiendo la cantidad de luz que es absorbida por los átomos del analito a la longitud de onda resonante (Sánchez Rodríguez, 2009). Posteriormente, por medio de la espectrofotometría de absorción se mide la cantidad de luz que es absorbida por los átomos de analito a la longitud de onda resonante, siguiendo la ley de Lambert-Beer, que señala que la luz incidente (de las longitudes de ondas específicas a las cuales absorben los átomos del analito) es emitida por una lámpara de cátodo hueco o de descarga sin electrodo y es absorbida por la solución que es interceptada por la luz (Litter et al., 2009)

Adicionalmente se emplea la técnica de absorción atómica por generador de hidruros, la cual permite cuantificar en el orden de ppb o ultratazas del Hg, que tienen la propiedad de formar el hidruro correspondiente y la muestra disuelta en ácido diluido se mezcla con un agente reductor, tal cloruro de estaño y el paso de luz del equipo de absorción atómica (Sánchez Rodríguez, 2009)

RESULTADOS

Durante el presente estudio, se obtuvieron muestras de sangre, músculo, hígado, caparazón y uña de 10 ejemplares juveniles de *Podocnemis expansa*, capturadas por los pescadores de la comunidad de Mariapolis. En todos los tejidos analizados no se detectó mercurio.

Toma de muestras

A continuación, se presenta un cuadro en donde se caracterizan los especímenes a los que se tuvo acceso, teniendo en cuenta las modificaciones presentadas al proceso de toma de muestras por la comunidad indígena.

Individuo	Peso (g)	L.C.C	L.A.C	Plastrón	Sexo	Fecha de colecta
1	2740	28.7	30.6	22.1	Hembra	27-ene-20
2	1674	25.5	26.7	23.4	Hembra	29-ene-20
3	689	17.8	17.9	16.6	Hembra	3-feb-20
4	951	23	20.3	17.3	Hembra	6-feb-20
5	589	18.7	17.9	14.5	Hembra	6-feb-20

6	1124	23.1	20.6	23.2	Hembra	8-feb-20
7	2980	32.3	31	24.9	Macho	9-feb-20
8	2196	28.2	27.3	24	Hembra	9-feb-20
9	2178	29.8	25.6	22.6	Hembra	9-feb-20
10	3797	37.4	34.9	26.9	Macho	11-feb-20
X	1891,8	23	31	24		

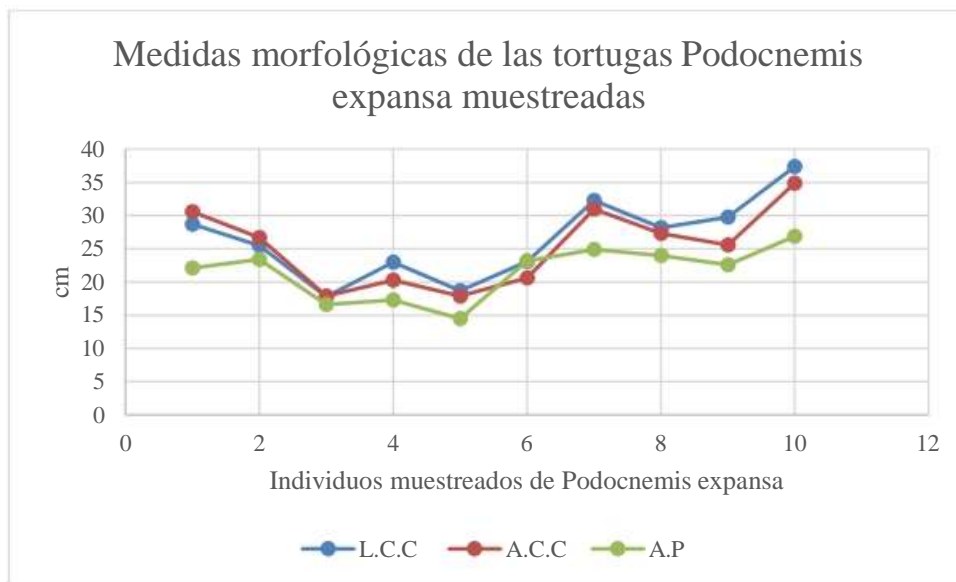
Tabla 1. Descripción de los individuos muestreados de *Podocnemis expansa*. Largo Curvo del Caparazón (L.C.C), Ancho Curvo del Caparazón (A.C.C) y del Ancho del Plastrón (A.P) de los individuos muestreados de *Podocnemis expansa*.

Adicionalmente, es necesario destacar que el periodo de recolección de muestras se pretendía ampliar, sin embargo, por las dinámicas de los grupos armados que se encontraban en la zona no fue posible acceder nuevamente a los puntos de recolección de la *Podocnemis expansa*.

Evaluación de la concentración de mercurio en los tejidos

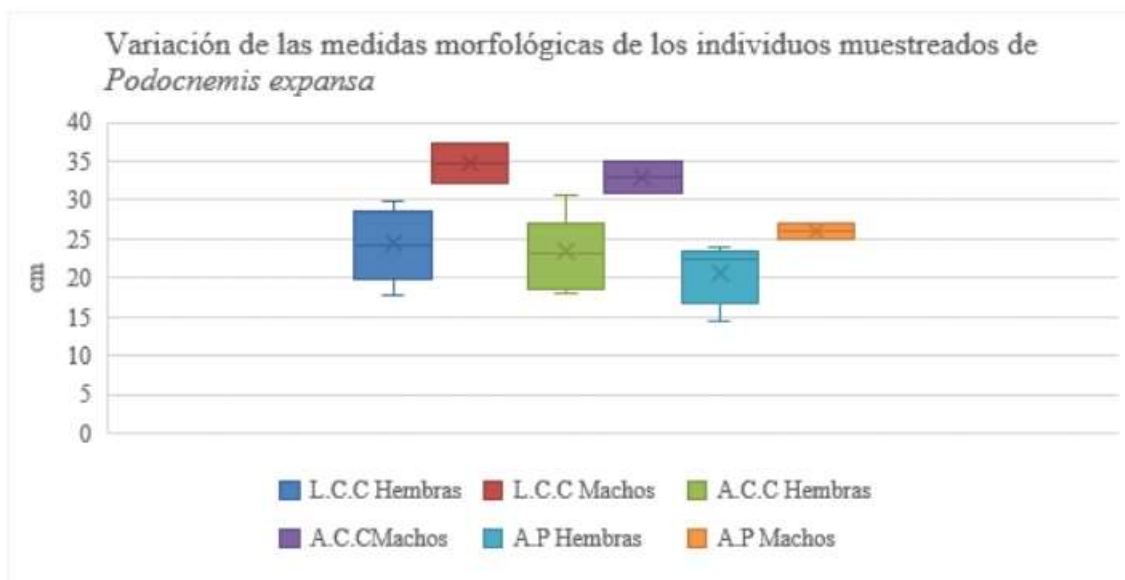
Se destaca que al no encontrar mercurio en ningún individuo muestreado de *P. expansa*, no fue posible relacionar las características de las tortugas (el tamaño, peso y sexo) con las concentraciones de mercurio, imposibilitando el desarrollo de un análisis de correlaciones significativas, además no fue posible corroborar la relación que existe entre la acumulación de Hg con el tamaño, es decir, si entre mayor peso y tamaño es mayor su bioacumulación, sin embargo se realiza un análisis con los elementos morfológicos arrojados por los individuos muestreados.

En la Gráfica 1, se observa una homogeneidad de las medidas morfológicas de los 10 individuos muestreados de *Podocnemis expansa*, además estos datos posibilitan la inferencia de su estado de desarrollo, debido a que las medidas morfológicas para el Largo Curvo del Caparazón (L.C.C) se encuentran en un rango de 17,8 a 37,4 cm, con un promedio de 26,2cm, en el Ancho Curvo del Caparazón (A.C.C) las medidas están en un rango de 17,9 a 34,9 cm, con un promedio de 24,69cm y en el Ancho del Plastrón (A.P) se encuentran medidas en un rango de 14,5 a 26,9 cm, con un promedio de 21,49cm, de manera que se revela que las tortugas muestreadas se encuentran en el estado de desarrollo correspondiente a infantes y juveniles.



Gráfica 1. Medidas morfológicas en centímetros, del Largo Curvo del Caparazón (L.C.C), Ancho Curvo del Caparazón (A.C.C), Ancho del Plastrón (A.P), de los 10 individuos muestreados de *Podocnemis expansa*.

En la gráfica 2, se presenta la relación entre las características morfológicas de los individuos muestreados de *Podocnemis expansa* de los cuales 8 fueron hembras y 2 machos, y la variación de las medidas del Largo Curvo del Caparazón (L.C.C), el Ancho Curvo del Caparazón (A.C.C) y el Ancho del Plastrón (A.P).



Gráfica 2. Variación de las medidas morfológicas Largo Curvo del Caparazón (L.C.C), Ancho Curvo del Caparazón (A.C.C) y del Ancho del Plastrón (A.P) de los individuos muestreados de *Podocnemis expansa*, según el sexo.

Se evidencia que en el caso de los machos se presenta un comportamiento homogéneo con respecto a la media, sin embargo, esto no es muy significativo, teniendo en cuenta que en el tamaño de la muestra (N) solo se presentan dos individuos que no pueden describir el comportamiento de la población, por esta razón se hace necesario un tamaño de muestra mayor para ser representativo.

En el caso de las hembras muestreadas de *Podocnemis expansa* se observa que las medidas del L.C.C, también tienen un comportamiento de distribución normal y a pesar de poseer datos atípicos estos no distan tanto de la media; sobre el Ancho Curvo del Caparazón (A.C.C) merece la pena señalar que la mayor parte de los individuos tienen una distribución normal, sin embargo en este caso los datos atípicos son evidentes, pues el individuo que tiene una medida mayor dista mucho del individuo con una medida menor. Cabe resaltar que el tamaño de las muestras es bastante bajo para inferir en estas afirmaciones.

Sobre el Ancho del Plastrón (A.P) se reporta que las medidas de los machos se encuentran cercanas a la media y en el caso de las hembras se aprecia que las medidas tienen una distribución atípica, pues las medidas inferiores al valor de la media marcan una dispersión evidente respecto y poseen una variación más amplia que las medidas de valores mayores a la media y estas medidas más grandes tienen una dispersión menos marcada en consideración de la media.

Para finalizar en la gráfica 3, se presenta una relación entre el sexo de las tortugas muestreadas y su peso, destacando que a pesar de que el número de hembras es mayor que el de los machos muestreados de *Podocnemis expansa*, las hembras presentan una menor dispersión de en el peso, a diferencia de los machos que tienen medidas similares en las características morfológicas descritas (ver gráfica 1 y 2), pero presentan una dispersión mayor en su peso con relación al valor de la media.



Gráfica 3. Variación del peso de los individuos muestreados de *Podocnemis expansa* según el peso (g)

Adicionalmente, en las gráficas anteriores, se evidenció que los dos machos (individuos 7 e individuo 10) son los de mayor tamaño, en concordancia al dato que señala que reporta que son los de mayor peso, esto indica que los machos se encuentran en un estado de desarrollo mayor que las hembras.

Enlace con la comunidad

La presente investigación por estar involucrada en territorios de comunidades indígenas requirió obligatoriamente de llevar a cabo un proceso de vinculación con la población de las comunidades indígenas asociadas al PANI, con el fin de integrar a la metodología de la investigación las dinámicas establecidas por parte de las comunidades, para manipular y relacionarse con la naturaleza, este proceso de vinculación se logró inicialmente con un acercamiento con el jefe del área protegida de PNNC, Artemio Cano Tabares, con el objetivo de presentar la propuesta de investigación a la comunidad indígena, la cual fue aprobada para socialización con la comunidad y con la Dirección Territorial del Amazonas.

Posteriormente, al tener el aval para presentar la propuesta a la comunidad, se realizó una conversación con la Dirección Territorial de la Amazonia PNN en la ciudad de Bogotá, donde exponen el protocolo para tratar con la comunidad, además ofrecen un medio para participar en la comunidad bajo la figura institucional de Guardaparques bajo el perfil de investigadoras asociadas,

apoyando el proceso de inmersión en la comunidad para conseguir la aprobación de la investigación.

Después, por medio de reuniones de socialización y discusión de la propuesta entre las investigadoras y la comunidad indígena, se condicionó el proceso de la metodología para la toma de muestras, las condiciones que se exigían generaron que:

- Los especímenes obtenidos para la toma de las muestras fueron elegidos durante la jornada de pesca por parte de los pobladores, rigiéndose en el decreto 1608 del 1978.
- Las tortugas recolectadas fueron destinadas para el consumo y únicamente los pescadores de la comunidad podían realizar la caza.
- Los sitios de recolección de las Charapas fueron elegidos por los pescadores.
- Por decisión de los pescadores no fue posible georreferenciar los puntos de recolección.

Finalizando este proceso de autorización se inicia el desarrollo de la toma de muestras, en donde se adquirieron los permisos de recolecta y transporte de material biológico, los cuales fueron otorgados por la entidad de Parques Nacionales Naturales de Colombia.

DISCUSIÓN

A causa de la ausencia de mercurio en sangre, músculo, hígado, uña y caparazón de los 10 individuos, no fue posible desarrollar un análisis de correlación entre las características interespecíficas de las diez tortugas *Podocnemis expansa* (tamaño, peso, estado de desarrollo y sexo), con las características intraespecíficas de las tortugas (acumulación de mercurio diferencial entre los tejidos muestreados), de igual modo no permitió identificar el tejido con mejores características que sea capaz de predecir en la tortuga un estado de intoxicación por parte del mercurio y al mismo tiempo consienta el monitoreo de las dinámicas de bioacumulación del mercurio a lo largo del ciclo de vida de *Podocnemis expansa* de las poblaciones presentes en el Parque Nacional Natural Cahuinari.

Por lo anterior se concluye que, para desarrollar procesos investigativos en una región compleja desde el punto de vista ambiental, como desde el punto de vista social y cultural, se hace evidente

que es necesario comprender los diferentes conflictos que entran en juego para realizar el planteamiento de un estudio. Este caso pone en evidencia que por las dinámicas establecidas por diferentes agentes (la comunidad indígena, las entidades gubernamentales y los grupos armados al margen de la ley) se dio la necesidad de una reestructuración en la metodología, lo cual modificó los procedimientos realizados y los resultados esperados. Particularmente en esta investigación, los disidentes de las FARC adelantaron de manera arbitraria el desalojo del territorio antes de la fecha que se tenía establecida para la finalización de la toma de las muestras, limitando el tiempo de muestreo y tamaño de muestra obtenida. Lo anterior demuestra como el conflicto armado en Colombia entorpece los procesos de investigación científica lo cual corrobora que este territorio continúa siendo escenario controlado por grupos criminales que se aprovechan económicamente de los recursos naturales (Cardenas, 2020; Franco, 2012; Rodríguez & Herrera, 2016). Adicionalmente y aunque los acuerdos a los que se llegó con los pobladores permitieron desarrollar el estudio de los especímenes, se vio limitado el alcance al no tener acceso a muestras más variadas y al no tener un acercamiento a las zonas de recolección, ni el poder georreferenciar los puntos de presencia de las balsas mineras. Es importante resaltar que el acuerdo al que se llegó con la comunidad solo permitía el estudio de la tortuga *Podocnemis expansa*, especie acordada como prioridad integral de conservación PIC por parte de la comunidad Miraña y PNN (PNNC, 2010) impidiendo acceso a los sitios de caza por parte de los integrantes de la comunidad Miraña y la opción de evaluar otras fuentes de bioacumulación del mercurio en el ambiente como un estudio de, suelo, agua y vegetación que permitirían dar un diagnóstico acertado de las dinámicas del mercurio en el territorio.

Además al ser la primera investigación que estudia la acumulación de mercurio sobre las tortugas Charapa (*Podocnemis expansa*) en Colombia, no contó con el acervo de conocimiento que permitiera un desarrollo metodológico adaptado al territorio PANI, por ejemplo en este caso no se conocía inicialmente el carácter sagrado que tenía la tortuga para las comunidades Bora-Miraña, lo cual afectaba esencialmente el tamaño de la muestra, al depender de los manejos locales de consumo, es por eso que es fundamental realizar una previa retroalimentación con la comunidad, lo que constituye una oportunidad para acercarse a la cosmovisión en general, y en particular comprender su relación con la naturaleza. En suma, un estudio con este tipo de carga sociocultural requiere de una articulación de la cosmogonía de los locales con los procesos científicos, para así

obtener una metodología que lleve a resultados más certeros y funcionales para la comunidad científica y los diferentes agentes

En consecuencia, esta experiencia resalta que hay que tener en cuenta unos requerimientos mínimos desde el inicio de la investigación, como lo es la articulación con la comunidad comprendiendo que los desarrollos se encuentran mediados por las visiones cosmogónicas. Sin embargo, resulta imprescindible reconocer que, para gestar la investigación, se debe dar lugar a procesos de dialogo y de reflexión junto con la comunidad indígena, ya que estos proporcionan una base para la orientación del proyecto, más aún cuando se trata de un territorio indígena, pues allí ellos tienen un papel activo en el desarrollo de estudios. Por otra parte, no se puede dejar de lado que los proyectos de esta naturaleza también deben ceñirse a una serie de requerimientos administrativos por parte de la entidad de Parques nacionales naturales sede Amazonia, pues estos ejercen influencia sobre los procedimientos de la investigación. Así, esta actividad debe tener un alto grado de sensibilidad ante los cambios por dinámicas que ejercen los agentes involucrados y se debe construir una propuesta que tenga esta versatilidad.

Según los resultados obtenidos, se destaca que además de realizar una determinación inicial con la población para desarrollar este tipo de investigaciones, también hay una necesidad en estipular con anterioridad los protocolos de recolección de muestras, que sean certeros y concisos y de acuerdo con lo permitido por los entes territoriales, para aportar resultados significativos sin afectar innecesariamente la densidad poblacional de *Podocnemis expansa* catalogada como una especie que se encuentra en peligro crítico de conservación según el libro rojo de reptiles de Colombia (Morales Betancourt et al., 2015).

A pesar de que en los cuerpos de agua del departamento del Amazonas se encuentran reportadas por diversas investigaciones, cantidades elevadas de mercurio (Cano & Malagon, 2016; Nuñez Avellaneda et al., 2014; Siangas, 2005), así como en los resultados de estudio de Parques Nacionales Naturales Dirección Territorial Amazonía en la investigación en contenido de mercurio en las comunidades del PANI, como otras comunidades étnicas de la subregión planicie en la planicie Amazonia Colombiana. Las concentraciones de H-t en cabello excedieron la dosis de referencia de 1μ / en todos los individuos de las comunidades pertenecientes a las organizaciones indígenas del PANI, las concentraciones medias de H-t en cabello humano reportadas fue de 17.06μ y reportan que fueron superiores a los registrados previamente en otras áreas, donde la contaminación por

mercurio ha sido reconocida como un problema debido a la minería en Colombia, como en el Distrito Minero de San Marn de Loba (Bolívar) ($2.1 \mu\text{/}$), Ayapel (Córdoba) ($2.2 \mu\text{/}$) y Caimito (Sucre) ($4.9 \mu\text{/}$). Valores altos ($>10 \mu\text{/}$) de Hg en humanos de otras regiones amazónicas en Brasil también han sido reportados por diferentes autores (PNNC, 2018b). Por lo que se esperaba encontrar mercurio en las tortugas, aun así en este estudio no se detectó Hg en ninguno de los tejidos evaluados, sin embargo se expone la importancia que tiene cada tejido para el estudio de detección de mercurio Hg en tortugas.

En primera instancia, se destaca que el hígado es el órgano que por excelencia se emplea en investigaciones en tejido animal, ya que es el que usualmente presenta una concentración de Hg más alta incluso que en el músculo, sabiendo que este es el órgano principal para procesos de desintoxicación (Green *et al.*, 2010); de manera que al no encontrar concentraciones de mercurio en este órgano se podría apoyar el hecho de presentar una ausencia de Hg en otros tejidos, en congruencia con el método de estudio empleado, por lo tanto, se hace necesario para el estudio de concentraciones de este elemento se empleen muestras más representativas de la población de *P. expansa*. Es preciso señalar que esta técnica de recolección presenta una gran falencia y es que para determinar la muestra se requiere sacrificar al individuo (Pignati, Pezzuti, de Souza, et al., 2018).

Sobre el músculo se ha reportado que hay mecanismos metabólicos en este tejido que generan una pérdida de concentración de mercurio y como en este caso se reporta que no se encontró mercurio en músculo, no se puede dar una relación en comparación con el hígado u otro tejido muestreado (uña, caparazón y sangre), de la cual se esperaba encontrar menos concentración en sangre que en músculo, pero mayor concentración en los demás tejidos. (Carvalho, 2012; Schneider et al., 2009b; Zapata Restrepo et al., 2014).

En el caso del caparazón, se puede precisar que en investigaciones con *Podocnemis expansa* y *Podocnemis uniilis* en donde evalúan las concentraciones de mercurio en diferentes tejidos, señalan al caparazón como un tejido confiable para reflejar el contenido de mercurio en los tejidos internos (Eggins *et al.*, 2015; Schneider *et al.*, 2015), para *P. expansa* autores registran muestras de caparazón que predijeron de manera confiable las concentraciones totales de Hg en el músculo (Schneider *et al.*, 2015b). En tortugas *Trachemys callirostris*, (Zapata Restrepo *et al.*, 2014), en tortugas mordedoras *Chelydra serpentina* (Golet & Haines, 2001) y tortugas marinas *C. caretta* (Day *et al.*, 2005) también mostraron una alta correlación entre las concentraciones de este

elemento en caparazón, en hígado, en músculo, sangre y la columna dorsal (Bezerra *et al.*, 2013; Sakai *et al.*, 2000). En este estudio al no reportar presencia de mercurio en ningunos de los tejidos analizados, no se fue posible evaluar la correlación entre el caparazón y los tejidos de sangre, hígado y musculo impidiendo comprobar la sensibilidad que tiene el caparazón para predecir las concentraciones de mercurio en tejidos internos.

Es importante resaltar este método de muestreo que utiliza el caparazón de las tortugas, debido a que es una técnica no invasiva que sirve para monitorear la cronología de la exposición al mercurio abarcando lapsos prolongados, teniendo en cuenta que el caparazón de las tortugas está compuesto por un endoesqueleto dérmico y una epidermis cornea externa cubierta por escudos o escamas queratinizadas que cubren el caparazón óseo. Los escudos para su desarrollo forman capas de queratina inertes que son depositadas a lo largo de la vida de un individuo (Schneider *et al.*, 2009b; Wilson *et al.*, 2009), así la queratina al estar compuesta por un alto contenido de aminoácidos aumenta el potencial de unión con Hg provocando su inmovilización en las capas de queratina (Rodriguez *et al.*, 2019; Toni *et al.*, 2007) como consecuencia, el mercurio se acumula y no regresa a la circulación corporal dado que el caparazón puede almacenar nutrientes y componentes dietéticos que no están disponibles metabólicamente (Seltzer & Berry, 2005). Además, estudios en los que evaluaron la concentración de mercurio en *Chelydra serpentina* y en *Trachemys callirostris* evidencian mayores cantidades de Hg en caparazón que en músculo y sangre, lo que señala que la técnica puede ofrecer un desarrollo importante para el análisis de mercurio en este tipo de individuos, al permitir que no sean sacrificados para ser estudiados (Turnquist *et al.*, 2011; Zapata Restrepo *et al.*, 2014).

Respecto a los análisis realizados en uña se destacan elementos similares a los del caparazón, pues estas se componen también de células muertas que contienen queratina, lo cual las hace ideales para analizar sin afectar la integridad de las tortugas y se ha demostrado que este tejido sirve como predictor de la exposición al mercurio en tortugas, en este caso no se reportó presencia de mercurio en las uñas de las tortugas muestreadas (Carvalho, 2012; Green *et al.*, 2010; Hopkins *et al.*, 2013)

Teniendo en que en el presente estudio no se encontró Hg en sangre, se puede inferir que las tortugas *P. expansa* muestreadas, no estuvieron expuestas recientemente a fuentes de alimentos cuyo grado de contaminación por mercurio sea significativo, puesto que, autores como Mosquera

Martínez (2017) y Zapata Restrepo *et al.*, (2014), señalan que la sangre puede ser un buen indicador de exposiciones más recientes al elemento, dado que el mercurio encontrado en sangre proviene de la dieta que ha sido consumida desde días hasta semanas anteriores (Diez & Alzate, 2016; Mosquera Martínez, 2017; Zapata Restrepo *et al.*, 2014), coincidiendo con la baja actividad minera reportada para el transcurso del año 2018, lo cual podría generar una reducción de las emisiones de mercurio (PNNC, 2018d).

Sumado a esto es necesario señalar que al confrontar los resultados que arroja esta investigación, se destaca la importancia de analizar elementos específicos de las características ecológicas de las tortugas *P. expansa* (la alimentación, el sexo, su grado de desarrollo, el ambiente, la migración y sus características morfológicas) que a su vez interactúan en las dinámicas del estudio de concentración de mercurio, ya que estos datos son los que posibilitan el establecer relaciones, que permiten profundizar en la comprensión del funcionamiento sobre la correlación de estos componentes, sus interacciones y cómo influyen en las dinámicas de la especie y segundo aportan al establecer como las actividades antrópicas afectan esas dinámicas en particular y sobre la estructura general de la especie (Casini *et al.*, 2018; De Solla *et al.*, 2008; Figueroa *et al.*, 2013; Fossi *et al.*, 2018; Green *et al.*, 2010; Zapata *et al.*, 2014).

Inicialmente es necesario retomar el hecho de que los individuos muestreados como se reporta en las gráficas 1, 2 y 3 de *Podocnemis expansa* se encuentran en un estadio de desarrollo infantil y juvenil, o cual no permite percibir o evaluar la diferenciación en la alimentación entre machos y hembras, pues estos se exhiben después del desarrollo sexual relacionado con la etapa de reproducción, pues en esta etapa se genera diversas demandas de nutrientes, como calcio para la formación de huevos en hembras reproductoras (Bergeron *et al.*, 2007; Carvalho, 2012; Rendón *et al.*, 2014). Lo cual es una característica importante en relación con los hábitos propios de la ecología de la especie y que permite explicar la ausencia de mercurio reportado, así mismo *P. expansa* es reconocida por ser una especie longeva que realiza grandes migraciones con comportamientos asociados a la reproducción, lo cual influye directamente en la dieta de la tortuga, siendo la dieta y la zona de confluencia, determinantes fundamentales de la exposición al mercurio (Carvalho, 2012; De Solla *et al.*, 2008; Sol C. Mogollones *et al.*, 2010).

Sumado a lo anterior el hábitat de la Tortuga Charapa (*Podocnemis expansa*) se encuentra amenazado por la minería de oro aluvión, ya que esta genera desestabilización de los cauces de ríos

y quebradas, así como un cambio en la dinámica de playas que son esenciales en el ciclo de la reproducción de la tortuga, estos cambios posiblemente influenciaran el rango de distribución de las poblaciones de Charapa en la cuenca baja del río Caquetá y así mismo la susceptibilidad de exposición a la contaminación por mercurio, por parte de la tortuga, quien se consideraría que está cambiando sus hábitos de alimentación, debido a estas permutaciones físicas de su hábitat (PNNC, 2016, 2018d; Rubiano Galvis, 2019; UNODC, 2016).

Ya que según testimonios de indígenas del Amazonas la tortuga *Podocnemis expansa* se ve afectada al igual que el resto de la fauna, por cambios “alarmantes” al observar que las estaciones están ocurriendo fuera del tiempo, los pulsos de inundación y descenso de los ríos percibidos en los últimos años (primera década del siglo XXI) están cambiando de maneras radicales, estos cambios reportados por los indígenas en los índices naturales, alteran los hábitos de alimentación y distribución de la tortuga, la cual está acostumbrada a moverse según los puntos de acceso a la maduración de los frutos silvestres y que las inundaciones son las que facilitan su acceso a los árboles en fructificación (Echeverri, 2010; ter Steege et al., 2019), de manera que para un nuevo estudio para determinar la concentración de mercurio en la tortuga sería pertinente evaluar la concentración de mercurio, relacionándola con la dieta actual de *P. expansa* en diferentes etapas de desarrollo y en diferentes épocas hidrológicas.

De igual modo la dieta de *Podocnemis expansa* se ve influenciada por los ciclos de fructificación de las plantas que a su vez se encuentra relacionada, con el periodo climático que se presenta bajo un régimen de pluviosidad, y como se nombró anteriormente en la cuenca baja del río Caquetá la precipitación se rige monomodalmente, lo cual infiere en las tendencias de distribución de *Podocnemis expansa* durante la migración (Costa, 2012; Figueroa et al., 2012; Figueroa et al., 2013; Guzmán et al., 2014), en condiciones reportadas años atrás la alimentación de la Charapa es diferencial según la época hidrológica Tabla 2.

Época hidrológica	Dieta reportada en <i>Podocnemis expansa</i>
Aguas ascendentes	frutos (94%), piedras (5%), y material no identificado (1%)
Aguas altas	frutos en gran proporción (90,47%), el resto fue material ictiológico, del cual se logró identificar restos de Characidae (0,47%)
Aguas descendentes	hojas (60,32%) y frutos (16,7%) en menor proporción semillas, tallos, hojas, flores y piedras
Aguas bajas	frutos (54,28%) hojas (34,28%)

Tabla 2. Época hidrológica y la dieta reportada en *Podocnemis expansa*, información extraída de estudios realizados sobre los patrones y componentes alimenticios de la tortuga, en los cuales evaluaron el contenido estomacal en diferentes épocas del año (Costa, 2012; Figeroa et al., 2012).

En este caso, debido a que las muestras de los individuos de *Podocnemis expansa* fueron tomados en la época hidrológica de aguas bajas, según la Tabla 2 podría suponerse que los individuos muestreados presentaban una dieta basada en frutos y hojas exclusivamente herbívora, debido a que la bioacumulación de mercurio en los sistemas acuáticos varía considerablemente con la estructura y longitud de la cadena alimentaria, estudios revelan una baja tasa de producción de metilmercurio en el reino vegetal (Dranguet et al., 2014), lo que genera la necesidad de evaluar la ecología relacionada a la acumulación de mercurio de las plantas consumidas por *P. expansa*, debido a que al evaluar concentraciones en tejidos vegetales y otros organismos, como lo son los invertebrados, podría contribuir a la comprensión del proceso de acumulación y exposición de mercurio en la tortuga Charapa (Carvalho, 2012; Figeroa et al., 2012), pues para el entendimiento de los procesos químicos que controla la retención de mercurio en la tortuga y el ecosistema acuático de la cuenca baja del río Caquetá, se hace importante la evaluación de los eslabones inferiores de la cadena alimentaria pues estos son prácticamente desconocidos, por lo que los esfuerzos de futuras investigaciones sobre las afectaciones de la contaminación por mercurio debe

orientarse a una mejor descripción (física y química) y una clasificación confiable de los suelos estudiados, y así vencer las dificultades para establecer un modelo de transferencia trófica en el ecosistema acuático en el Amazonas con confluencia de minería de oro, a causa de la complejidad de las cadenas alimentarias amazónicas (Ma *et al.*, 2019; Rocha Román *et al.*, 2018; Wasserman *et al.*, 2003).

Es posible señalar que se esperaba encontrar niveles de mercurio en los tejidos evaluados, pues al ser muestreados únicamente individuos jóvenes, se destaca que en esta etapa de desarrollo es donde más se ha detectado consumo de peces (Figuroa *et al.*, 2012; Schneider *et al.*, 2009a; Souza, Araujo *et al.*, 2015), pero es imprescindible tener en cuenta los cambios en dinámicas ecológicas del territorio, por esta razón es preciso decir que aunque investigaciones que presentan datos relevantes sobre la alimentación de la tortuga *Podocnemis expansa* (Costa, 2012; Cunha *et al.*, 2020; Figuroa *et al.*, 2012; Figuroa *et al.*, 2013), ya que los datos obtenidos en la presente investigación no son suficientes para determinar la razón por la que los individuos analizados no presentaron concentraciones de mercurio.

En cuanto a las observaciones reportadas por Echeverri en los cambios de los pulsos de inundación y descenso de los ríos, se reconoce que afectan las dinámicas ecológicas de la población de *Podocnemis expansa*, ya que, al no estar estos pulsos sincronizados con la maduración de los frutos silvestres, interfieren en los hábitos alimenticios de la tortugas muestreadas, lo cual es una evidente influencia en la reproducción y alimentación de las tortugas como la de los peces, por las alteraciones de sus actividades de subsistencia, siendo de los cambios ambientales con mayor impacto, la precipitación y la estacionalidad (Echeverri, 2010; Figuroa *et al.*, 2012; ter Steege *et al.*, 2019).

La ausencia de acumulación de Hg en las tortugas *P. expansa* muestreadas puede ser por una baja biodisponibilidad ambiental del mercurio pero para poder afirmar esto es necesario hacer estudios de suelo agua sedimentos y de los recursos dietarios (Carvalho, 2012; Schneider *et al.*, 2009b), pues se sugiere que muy poco del mercurio metálico liberado directamente en el medio acuático por la extracción de oro se oxidará a mercurio mercúrico que se metilará, se ha evaluado que la quema de amalgamas liberará mercurio metálico a la atmósfera, donde se oxidará a mercurio mercúrico que es lixiviado a los suelos y ambientes acuáticos en el agua de lluvia, pero es necesario

recoger evidencia para la metilación en ambientes amazónicos (Ma *et al.*, 2019; Wasserman *et al.*, 2003).

Uno de los elementos en donde puede afectar también la acumulación de mercurio entre individuos se puede dar por diferencias sexuales en la alimentación entre machos y hembras, pues estos exhiben diversas demandas de nutrientes (como calcio para la formación de huevos en hembras reproductoras). Sin embargo, en este caso no fue posible realizar este tipo de análisis, teniendo en cuenta el tamaño de la muestra y la edad de los individuos capturados (juveniles todos), de manera que en este estudio lo único que se puede apreciar es que tales diferencias no ocurren en *P. expansa* durante la etapa de desarrollo de los individuos. La alimentación durante el estadio infantil y juvenil no satisface un comportamiento diferencial, por no haberse presentado aún la maduración sexual de los individuos, ya que es la etapa de reproducción la que contribuye a satisfacer una demanda de alimentos diferenciada entre sexos. (Bergeron *et al.*, 2007; Carvalho, 2012; Rendón *et al.*, 2014)

Además, según el sexo de los especímenes se presentan diferencias de eliminación de Hg debido a que las hembras tienen mecanismos de excreción en huevos (Sakai *et al.*, 2000b). No obstante, en este caso no fue posible visibilizar resultados, por tres razones, primero, no se encontraron muestras de mercurio, segundo, era mayor la cantidad de hembras que la de machos y para esta comparativa es necesario que ambos sexos sean muestreados por igual y tercero por la edad de los individuos, pues es imprescindible tener una representatividad de las diferentes etapas de desarrollo de las tortugas que se muestreen. Por esta razón, esta investigación resalta el potencial de realizar estudios diferenciando el sexo de las tortugas, pues hay discrepancias en el comportamiento entre machos y hembras que también podrían explicar las diferencias en la bioacumulación, una característica que apoya esta hipótesis es que las tortugas hembra también tienden a ser pesadas, lo que aumenta la probabilidad de acumulación organometálica. (Pignati, Pezzuti, Souza, *et al.*, 2018)

CONCLUSIONES

Debido a que los resultados arrojados en la evaluación de los tejidos de sangre, hígado, musculo, caparazón y uña de *Podocnemis expansa* no contenían mercurio en una concentración de mg/kg, y teniendo en cuenta que el número de individuos obtenidos para el muestreo no fue representativo, resulto ser homogéneo en el estadio de desarrollo y en la mayoría de casos

hembras, los datos obtenidos no pueden ser tomados como determinantes, por lo que resaltamos la importancia de realizar un nuevo estudio con un número de muestra que represente mejor la población de la tortuga charapa del bajo Caquetá en el Parque nacional Cahuinari.

En trabajos que se relacionan con entornos naturales y socioculturales tan complejos, es necesario generar conocimientos que respondan a las necesidades de las comunidades, para entender procesos y ciclos biológicos, como estos se ven afectados por las actividades antrópicas, de manera que estas poblaciones tengan los elementos que les permitan actuar de forma responsable frente al entorno natural.

Las dinámicas sociales y culturales establecidas en el territorio son componentes activos, para la comunidad del PANI tiene tanto valor que influyen de manera determinante en los alcances de la metodología y como consecuencia en los resultados, por lo tanto, las dinámicas del territorio y sus actores deben ser tenidos en cuenta en las futuras investigaciones en esta región. Ello implica un proceso de diálogo, retroalimentación y acuerdos de los objetivos y los métodos de recolección de datos.

Para futuros trabajos de investigación se sugiere tener en cuenta al momento de formular metodologías este proceso de diálogo con la comunidad nativa, lo que facilitara resolver algunas de las dificultades presentadas en este texto como la toma de una muestra más amplia en términos de cantidad, edad y distribución geográfica, y de esta manera obtener resultados representativos, y de esta manera arrojar más elementos a la discusión de la concentración de mercurio en las tortugas Charapa.

Referencias bibliográficas

Agudelo Calderón, C. A., Quiroz Arcentales, L., García ubaque, J. C., Robledo Martínez, R., &

García Ubaque, C. A. (2016). Evaluación de condiciones ambientales: Aire, agua y suelos

en áreas de actividad minera en Boyacá, Colombia. *Revista de Salud Pública*, 18, 50-60.

<https://doi.org/10.15446/rsap.v18n1.55384>

Almonacid, J. V. R., Carr, J. L., Russel A. Mittermeier, Maecha, J. V. R., Mast, R. B., Richard C.

Vogt, Andres G.J. Rhodin, Jaime de la Ossa Velasquez, Jose Nicolas Rueda, & Cristina Goettsch Mittermeier. (2007). *Las Tortugas y Cocodrilianos de los países andinos del Trópico*. Panamericana.

Alvarez, S., Jessick, A., Palacio, J., & Kolok, A. (2012). Methylmercury Concentrations in Six Fish Species from Two Colombian Rivers. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*, 88(1), 65-68. <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0458-x>

Alves, R. R. N., & Santana, G. G. (2008). Use and commercialization of *Podocnemis expansa* (Schweiger 1812) (Testudines: Podocnemididae) for medicinal purposes in two communities in North of Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 4, 3. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-4-3>

Amador, L. R. T., Martínez, F. D. G., Hernández, L. J. M., Vergara, L. A. W., & Suárez, J. N. C. (2015). Niveles de metales pesados en muestras biológicas y su importancia en salud. *Revista Nacional de Odontología*, 11(21). <https://doi.org/10.16925/od.v11i21.895>

Armenteras, D., Murcia, U., González, T. M., Barón, O. J., & Arias, J. E. (2019). Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. *Global Ecology and Conservation*, 17, e00567. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00567>

Asner, G. P., Llactayo, W., Tupayachi, R., & Luna, E. R. (2013). Elevated rates of gold mining in the Amazon revealed through high-resolution monitoring. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(46), 18454-18459. <https://doi.org/10.1073/pnas.1318271110>

Bergeron, C. M., Husak, J. E., Unrine, J. M., Romanek, C. S., & Hopkins, W. A. (2007).

Influence of feeding ecology on blood mercury concentrations in four species of turtles.

Environmental Toxicology and Chemistry, 26(8), 1733-1741. <https://doi.org/10.1897/06-594r.1>

Betancur, M. S. B. (2019). *Minería del oro, territorio y conflicto en Colombia*.

https://co.boell.org/sites/default/files/2019-12/20190612_Mineri%CC%81a%20del%20oro%2C%20territorio%20y%20conflicto%20en%20colombia%20para%20web.pdf

Bezerra, M. F., Lacerda, L. D., Lima, E. H. S. M., & Melo, M. T. D. (2013). Monitoring mercury in green sea turtles using keratinized carapace fragments (scutes). *Marine Pollution Bulletin*, 77(1), 424-427. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.09.020>

Bridges, C. C., & Zalups, R. K. (2010). Transport of Inorganic Mercury and Methylmercury in Target Tissues and Organs. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 13(5), 385-410. <https://doi.org/10.1080/10937401003673750>

Burgos N, S., Marrugo N, J., Navarro F, A., & Urango C, I. (2014). Mercury in *Pelecanus occidentalis* of the Cispatá bay, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 19(2), 4168-4174.

Cano, A. P., & Malagon, M. S. (2016). *Evaluación de trazas de mercurio en el tramo Caña Brava- Buenos Aires del Río Cotuhé, asociados a la actividad minera artesanal de oro en el Amazonas colombiano* [Universidad de la Salle].

<http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/20431>

Cardenas, J. D. (2020, marzo 12). Ex-FARC Mafia expulsa guardaparques de la Amazonía de Colombia. *InSight Crime*. <https://es.insightcrime.org/noticias/noticias-del-dia/guardaparques-colombia-amazonia/>

Carvalho, J. L. (2012). *Ecotoxicologia do mercúrio (Hg) em «Podocnemis expansa» (Schweigger, 1812) (Testudines, Podocnemididae) do Tabuleiro de Monte Cristo no rio Tapajós, Pará, Brasil* [Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia,

Universidade Federal do Oeste do Pará]. Área de concentração: Estudos e manejos de ecossistemas amazônicos. http://www2.ufopa.edu.br/ufopa/academico/pos-graduacao/banco-de-teses/ppg-rna/2010/carvalho-josue-linhares/at_download/file

Casas, I. C., Gómez, E., Rodríguez, L. M., Girón, S. L., & Mateus, J. C. (2015). Hacia un plan nacional para el control de los efectos del mercurio en la salud en Colombia. *Biomédica*, 35(Sup2), 30-37. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2458>

Casini, S., Caliani, I., Giannetti, M., Marsili, L., Maltese, S., Coppola, D., Bianchi, N., Campani, T., Ancora, S., Caruso, C., Furi, G., Parga, M., D'Agostino, A., & Fossi, M. C. (2018). First ecotoxicological assessment of *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758) in the Mediterranean Sea using an integrated nondestructive protocol. *Science of The Total Environment*, 631-632, 1221-1233. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.111>

Castillo, V. S., Murcia, E. A. T., Mejía, C. A. R., Ortiz, E., & Fajardo, M. Y. (2017b). La explotación de oro en la vereda Sombrederos, río Caquetá: De la ilusión a la desolación. *REVISTA FACCEA*, 7(2), 117-130.

Cogua, P., Campos Campos, N. H., & Duque, G. (2012). Total mercury and methylmercury concentration in sediment and seston of Cartagena bay, Colombian caribbean. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 41(2), 267-285.

Cordoba, H., Dario, O., Castro Herrera, F., & Paez Melo, M. (2013). Mercury Bioaccumulation on Tadpoles of a Gold Mining Zone in Dagua River, Buenaventura, Valle del Cauca, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 18(2), 341-348.

Córdoba, J. I. M., Solarte, M. C. B., Bravo, J. E. R., & Sepúlveda, M. V. (2008). *Agenda ambiental. Departamento de Amazonas Directivos y Ejecutivos de Corpoamazonia*. 91.

- Costa, G. M. D. (2012). *Padrões alimentares durante um período de seca e investigação de endozoocoria por Podocnemis expansa (Testudines: Podocnemididae) na reserva biológica do rio trombetas, pa, Brasil*. 70.
- Cunha, F., Bernhard, R., & Vogt, R. (2020). Diet of an Assemblage of Four Species of Turtles (Podocnemis) in the Rio Uatumã, Amazonas, Brazil. *Copeia*, 108, 103.
<https://doi.org/10.1643/CE-18-117>
- Day, R. D., Christopher, S. J., Becker, P. R., & Whitaker, D. W. (2005). Monitoring mercury in the loggerhead sea turtle, *Caretta caretta*. *Environmental Science & Technology*, 39(2), 437-446. <https://doi.org/10.1021/es049628q>
- Dáz Arriaga, F. A. (2014). Mercurio en la minería del oro: Impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano. *Revista de Salud Pública*, 16(6), 947-957.
<https://doi.org/10.15446/rsap.v16n6.45406>
- De Solla, S., Fernie, K., & 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 (Barking, Essex : 1987)*, 153, 529-536.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.09.017>
- Diez, L. C. L., & Alzate, L. R. (2016a). *Mercurio total en sangre de tortuga hicoitea del Caribe (Trachemys callirostris) en el departamento de Córdoba y sus posibles implicaciones en la salud pública*. 67.
- Dranguet, P., Flück, R., Regier, N., Cosio, C., Le Faucheur, S., & Slaveykova, V. I. (2014). Towards Mechanistic Understanding of Mercury Availability and Toxicity to Aquatic Primary Producers. *Chimia*, 68(11), 799-805. <https://doi.org/10.2533/chimia.2014.799>

- Echeverri, J. A. (2010). Percepciones y efectos de cambio climático en grupos indígenas de la Amazonía Colombiana. *Folia Amazónica*, 19(1-2), 85-93.
<https://doi.org/10.24841/fa.v19i1-2.344>
- Eggins, S., Schneider, L., Krikowa, F., Vogt, R. C., Da Silveira, R., & Maher, W. (2015). Mercury concentrations in different tissues of turtle and caiman species from the Rio Purus, Amazonas, Brazil. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(12), 2771-2781.
<https://doi.org/10.1002/etc.3151>
- Farina, M., Aschner, M., & Rocha, J. B. T. (2011). Oxidative stress in MeHg-induced neurotoxicity. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 256(3), 405-417.
<https://doi.org/10.1016/j.taap.2011.05.001>
- Figeroa, C., Fachín, A., & Duque, S. (2012). Componentes alimenticios de *Podocnemis unifilis* y *P. expansa* (testudines: Podocnemididae) en el resguardo curare los ingleses, Amazonas, Colombia. *Rev. Colombiana cienc. Anim.*
- Figuerola, I. C., Fachín-Terán, A., & Duque, S. R. (2013). Hábitat, uso y estructura poblacional de las tortugas acuáticas *Podocnemis unifilis* y *Podocnemis expansa* (Testudines: Podocnemididae) en el resguardo Curare-Los Ingleses, La Pedrera, Amazonas, Colombia. *Mundo Amazónico*, 4(0), 153-173.
- Fossi, M., Pedà, C., Compa, M., Tsangaris, C., Alomar, C., Claro, F., Ioakeimidis, C., Galgani, F., Hema, T., Deudero, S., Romeo, T., Battaglia, P., Andaloro, F., Caliani, I., Casini, S., Panti, C., & Bainsi, M. (2018). Bioindicators for monitoring marine litter ingestion and its impacts on Mediterranean biodiversity. *Environmental Pollution*, 237, 1023-1040.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.019>
- Franco, R. (2012). *Cariba malo: Episodios de resistencia de un pueblo indígena aislado del Amazonas* (Primera edición). Universidad Nacional de Colombia.

- Gaioli, M., Amoedo, D., & González, D. (2012). Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente. *Archivos argentinos de pediatría*, 110(3), 259-264.
- García Angela. (2015). Evaluación de la contaminación por vertimiento de mercurio en la zona minera, Pacarní—San Luis departamento del Huila. *Revista de Tecnología*, 12.
<https://doi.org/10.18270/rt.v12i1.653>
- García, C., Juan, Muñoz, D. A., & Morales, J. P. A. (2015). Evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores, Quinchía, Colombia. *Acta Agronómica*, 64(2), 165-177.
<https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.40639>
- Giraldo, A. (2012). Biología y Conservación de las Tortugas Continentales de Colombia. *Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia - IAvH*.
http://www.academia.edu/5218340/Biologia_y_Conservaci%C3%B3n_de_las_Tortugas_Continetales_de_Colombia
- Golet, W. J., & Haines, T. A. (2001). Snapping turtles (*Chelydra serpentina*) as monitors for mercury contamination of aquatic environments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 71(3), 211-220. <https://doi.org/10.1023/a:1011802117198>
- Green, A. D., Buhlmann, K. A., Hagen, C., Romanek, C., & Gibbons, J. W. (2010). Mercury contamination in turtles and implications for human health. *Journal of Environmental Health*, 72(10), 14-22.
- Grima, N., & Singh, S. J. (2019). How the end of armed conflicts influence forest cover and subsequently ecosystem services provision? An analysis of four case studies in biodiversity hotspots. *Land Use Policy*, 81, 267-275.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.10.056>

- Guerra, F. M., Trujillo, F., Herrera, D. C., & Callejas, S. M. (2015). Indicios de biomagnificación de Mercurio total (Hg) en las especies del género *Inia* (Cetartiodactyla: Iniidae) en los ríos Amazonas y Orinoco (Colombia). *Momentos de Ciencia*, 12(2).
<http://www.udla.edu.co/revistas/index.php/momentos-de-ciencia/article/view/496>
- Güiza, L., & Aristizabal, J. D. (2013). Mercury and gold mining in Colombia: A failed state. *Universitas Scientiarum*, 18(1), 33-49.
- Guzmán D., Ruíz, J. F., & Cadena M. (2014). *Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través análisis de componentes principales (ACP)*.
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21141/Regionalizacion+de+la+Precipitacion+Media+Mensual/>
- Hopkins, B. C., Hepner, M. J., & Hopkins, W. A. (2013). Non destructive techniques for biomonitoring of spatial, temporal, and demographic patterns of mercury bioaccumulation and maternal transfer in turtles. *Environmental Pollution*, 177, 164-170.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.018>
- ICONTEC. (2007). *Norma técnica Colombiana NTC 1322*. <https://docplayer.es/46201488-Norma-tecnica-colombiana-1322.html>
- Jiménez Gómez, A. M. (2005). *Interacción del mercurio con los componentes de las aguas residuales* [Engd, Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales].
<http://bdigital.unal.edu.co/1125/>
- Kahhat, R., Parodi, E., Larrea-Gallegos, G., Mesta, C., & Vázquez-Rowe, I. (2019). Environmental impacts of the life cycle of alluvial gold mining in the Peruvian Amazon rainforest. *The Science of the Total Environment*, 662, 940-951.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.246>

- Litter, M. I., Armienta, M. A., & Farías, S. S. (2009). *Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos*. 14.
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Lopez Siangas. (2005). Bioacumulacion y biomagnificacion de mercurio en diferentes poblaciones de peces de la Amazonía boliviana. *Poissons [034BIOVER01]*.
<http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010036900>
- Ma, M., Du, H., & Wang, D. (2019). A New Perspective is Required to Understand the Role of Forest Ecosystems in Global Mercury Cycle: A Review. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 102(5), 650-656. <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02569-2>
- Machado, L. G., Ospina, J. H., Henao, N. A., & Marín, F. D. (2010). *Problemática ambiental ocasionada por el mercurio proveniente de la minería aurífera tradicional, en el corregimiento de Providencia, Antioquia* [Universidad de Antioquia].
<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/handle/10495/1301>
- Madero, A., & Marrugo, J. (2011). Detección de metales pesados en bovinos, en los valles de los rios Sinú y San Jorge, departamento de Córdoba, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 16(1). <http://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/revistamvz/article/view/298>
- Mancera Rodríguez, N. J., & Álvarez León, R. (2006). Estado Del Conocimiento De Las Concentraciones De Mercurio Y Otros Metales Pesados En Peces Dulceacuícolas De Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3-23.
- Martínez Callejas, S. J., Durán-Prieto, C., Páez, V., Fernando Trujillo, & Trujillo Pérez, A. (2016). Reptiles amenazados de Colombia | Biodiversidad. En *Charapa Podocnemis*

expansa En peligro Crítico (p. 136). Instituto Humboldt.

<http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/assets/docs/2016/2/201/libro-rojo-de-reptiles/30-Podocnemis%20expansa.pdf>

Montoya, A. J., Lena, J. C., & Windmöller, C. C. (2019). Adsorption of gaseous elemental mercury on soils: Influence of chemical and/or mineralogical characteristics.

Ecotoxicology and Environmental Safety, 170, 98-106.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.054>

Morales Betancourt, M. A., Carlos A. Lasso, Vivian P. Páez, & Brian C. Bock. (2015). *Libro rojo de reptiles de Colombia (2015)*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://www.humboldt.org.co/es/estado-de-los-recursos-naturales/item/905-libro-rojo-reptiles>

Mosquera Martínez, Y. (2017a). *Concentracion de mercurio total (Hg-T) de Trachemys c.*

Callirostris en las cuencas de los rios Sinú y San jorge, en el departamento de Cordoba, Colombia [Masters, Universidad Nacional de Colombia].

<http://bdigital.unal.edu.co/61238/>

Mosquera Martínez, Y. (2017b). *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. [Universidad Nacional de Colombia].

<http://oatd.org/oatd/record?record=oai%5C%3Awww.bdigital.unal.edu.co%5C%3A61238>

8

Norma oficial Mexicana. (1994). *NOM-117-SSA1-Determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica*. <http://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC013506/>

- Núñez Avellaneda, M., Agudelo, E., & Dimelsa Gil-Manrique, B. (2014). Un análisis descriptivo de la presencia de mercurio en agua, sedimento y peces de interés socio-económico en la Amazonia Colombiana. *Revista Colombia Amazónica*.
- Ortiz Riomalo, J. F., & Rettberg, A. (2018). Minería de oro, conflicto y criminalidad en los albores del siglo XXI en Colombia: Perspectivas para el posconflicto colombiano. *Colombia Internacional*, 93, 17-63. <https://doi.org/10.7440/colombiaint93.2018.02>
- Páez Osuna, F., & Osuna Martínez, C. (2011). Biomonitores de la contaminación costera con referencia a las costas mexicanas: Una revisión sobre los organismos utilizados. *Hidrobiológica*, 21(3), 229-238.
- Páez, V. P., Morales-Betancourt, M. A., Lasso, C. A., Castaño-Mora, O. V., Bock, B. C., & Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2012). *Biología y conservación de las tortugas continentales de Colombia*.
- Pignati, M. T., Pezzuti, J. C. B., de Souza, L. C., Lima, M. de O., Pignati, W. A., & Mendes, R. de A. (2018). Assessment of Mercury Concentration in Turtles (*Podocnemis unifilis*) in the Xingu River Basin, Brazil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph15061185>
- Pinedo, D. L. R., Lázaro, W. R., & Torres, L. P. (2013). *Presencia de mercurio en cuenca del río Napo*. <https://doi.org/10.33017/reveciperu2012.0023/>
- PNNC. (2010). *Regimen especial de manejo*.
- PNNC. (2016). *Articulando esfuerzos alrededor de las áreas protegidas Amazónicas Avances en la gestión de la Dirección Territorial Avances en la gestión de la Dirección Territorial Amazonia*. Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- PNNC. (2018a). *Parque Nacional Natural Cahuinari plan de riesgo público actualización 2018*.

- PNNC. (2018b). *Parques Nacionales Naturales de Colombia Dirección Territorial Amazonia. Contenido de Mercurio en las comunidades étnicas de la subregión planicie en la Amazonia Colombiana Resultados de Estudio*. Dirección Territorial Amazonia de Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- PNNC. (2018c). *Programa de Monitoreo Parque Nacional Natural Cahuinari Parques Nacionales Naturales de Colombia*.
- PNNC. (2018d). *Parque Nacional Natural Cahuinari. Régimen especial de manejo*.
- PNUMA. (2008). El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala. *Programa mundial de modalidades de asociación sobre el mercurio*.
https://ige.org/archivos/IGE/mercurio_en_la_Mineria_de_Au.pdf
- Powell, A. L. (2009). *Mercury contamination in freshwater turtles of eastern oklahoma: Evaluation of non-destructive sampling techniques*. 67.
- Racero Casarrubia, J., Pinedo Hernández, J., Ballesteros-Correa, J., Marrugo Negrete, J., Racero Casarrubia, J., Pinedo-Hernández, J., Ballesteros-Correa, J., & Marrugo-Negrete, J. (2017). Metales pesados en especies de murciélagos (Quiróptera) asociados a una finca bajo manejo silvopastoril en el departamento de Córdoba, Colombia. *Acta zoológica mexicana*, 33(1), 45-54.
- Ramírez, A. V. (2008). Intoxicación ocupacional por mercurio. *Anales de la Facultad de Medicina*, 69(1), 46-51.
- Rendón, B. V., Zapata, L. M., Bock, B. C., Páez, V. P., & Palacio, J. A. (2014). Niveles de mercurio en huevos, embriones y neonatos de *Trachemys callirostris* (testudines, emydidae). *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 499-506.
<https://doi.org/10.15446/abc.v19n3.42382>

- Rengifo, V. M. M. (2016). Estrategia para la prevención control y manejo de las actividades mineras de la Dirección Territorial Amazonia. En *Articulando esfuerzos alrededor de las áreas protegidas Amazonicas Avance en la gestion de la Direccion Terrotorial Amazonia 2016*.
- Rocha Román, L., Olivero-Verbel, J., & Caballero-Gallardo, K. R. (2018). Impacto de la minería Del Oro asociado con la Contaminación por mercurio en suelo superficial De San Martín De Loba, Sur De Bolívar (colombia). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1), 93-102.
- Rodriguez, C. A. B., Bezerra, M. F., Rezende, C. E. D., Bastos, W. R., Lacerda, L. D. D., Rodriguez, C. A. B., Bezerra, M. F., Rezende, C. E. D., Bastos, W. R., & Lacerda, L. D. D. (2019). Mercury and methylmercury in carapace of the marine turtle *Caretta caretta*, in northeastern Brazil and its potential for environmental monitoring. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 91(2). <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180672>
- Rodríguez, P. M. M., & Herrera, M. J. V. (2016). *Actores armados ilegales y parques nacionales naturales (PNN) en Colombia. Una mirada posacuerdo de paz de la Habana 2016*. Universidad distrital Francisco Jose De Caldas.
- Rubiano Galvis, S. (2019). *El bioma amazónico frente a la contaminación por mercurio. Balance de flujos comerciales, ciencia y políticas en los países Amazónicos*. WWF. https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/reporte_eng_1.pdf
- Sakai, H., Saeki, K., Ichihashi, H., Suganuma, H., Tanabe, S., & Tatsukawa, R. (2000a). Species Specific Distribution of Heavy Metals in Tissues and Organs of Loggerhead Turtle (*Caretta caretta*) and Green Turtle (*Chelonia mydas*) from Japanese Coastal Waters. *Marine Pollution Bulletin*, 40(8), 701-709. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00008-4](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00008-4)

Salazar Camacho, C., Salas Moreno, M., Marrugo Madrid, S., Marrugo Negrete, J., & Díez, S.

(2017). Dietary human exposure to mercury in two artisanal small-scale gold mining communities of northwestern Colombia. *Environment International*, 107, 47-54.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.06.011>

Salazar Cardona, C. A., Riaño Martínez, A., Reyes Bonilla, M. A., Riaño, E., Castañeda

Hernández, W., Rubiano, S., & Rodríguez, C. (2019). *Minería Impactos sociales en la Amazonia*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.

[https://www.sinchi.org.co/files/publicaciones/novedades%20editoriales/pdf/Mineri%CC%81a%20en%20la%20Amazonia%20\(LowRes\).pdf](https://www.sinchi.org.co/files/publicaciones/novedades%20editoriales/pdf/Mineri%CC%81a%20en%20la%20Amazonia%20(LowRes).pdf)

Sánchez, O. E. (2010). *Bioacumulación y biomagnificación de mercurio y selenio en peces pelágicos mayores de la costa occidental de baja California sur, México*. Instituto politécnico nacional centro interdisciplinario de ciencias marinas.

Sánchez Rodríguez, L. H. (2009). *Comparación de dos métodos de determinación de mercurio total en cabello por espectroscopias de absorción atómica con generador de hidruros y diferencial de efecto zeeman con pirolizador*.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70320>

Sanz, P. C. (2011). *Recogida de muestras para el laboratorio ¿Qué, cómo, cuál, cuánto? 8*.

Schneider, L., Belger, L., Burger, J., & Vogt, R. (2009a). Mercury bioaccumulation in four tissues of *Podocnemis erythrocephala* (Podocnemididae: Testudines) as a function of water parameters. *Science of The Total Environment*, 407(3), 1048-1054.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.09.049>

Schneider, L., Belger, L., Burger, J., & Vogt, R. C. (2009b). Mercury bioaccumulation in four tissues of *Podocnemis erythrocephala* (Podocnemididae: Testudines) as a function of

water parameters. *The Science of the Total Environment*, 407(3), 1048-1054.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.09.049>

Schneider, L., Eggins, S., Maher, W., Vogt, R. C., Krikowa, F., Kinsley, L., Eggins, S. M., & Da Silveira, R. (2015a). An evaluation of the use of reptile dermal scutes as a non-invasive method to monitor mercury concentrations in the environment. *Chemosphere*, 119, 163-170. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.05.065>

Schneider, L., Eggins, S., Maher, W., Vogt, R. C., Krikowa, F., Kinsley, L., Eggins, S. M., & Da Silveira, R. (2015b). An evaluation of the use of reptile dermal scutes as a non-invasive method to monitor mercury concentrations in the environment. *Chemosphere*, 119, 163-170. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.05.065>

Seltzer, M., & Berry, K. (2005a). Laser ablation ICP-MS profiling and semiquantitative determination of trace element concentrations in desert tortoise shells: Documenting the uptake of elemental toxicants. *The Science of the Total Environment*, 339(1-3), 253-265. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.07.027>

Seltzer, Michael D., & Berry, Kristin H. (2005b). Laser ablation ICP-MS profiling and semiquantitative determination of trace element concentrations in desert tortoise shells: Documenting the uptake of elemental toxicants. *Science of The Total Environment*, 339(1), 253-265. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.07.027>

Siangas, E. I. L. (2005). *Bioacumulacion y biomagnificacion de mercurio en diferentes poblaciones de peces de la Amazonía boliviana* [TÉSIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAGISTER OF SCIENTIAE EN ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN]. Universidad mayor de San Andrés facultad de ciencias puras y naturales postgrado en ecología y conservación.

- Sol C. Mogollones, Diego J. Rodríguez, Omar Hernández, & Guillermo R. Barreto. (2010). A Demographic Study of the Arrau Turtle (*Podocnemis expansa*) in the Middle Orinoco River, Venezuela. *Chelonian Conservation and Biology*, 9(1), 79-89.
<https://doi.org/10.2744/CCB-0778.1>
- Souza, Araujo, 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), 106-111.
<https://doi.org/10.1590/1519-6984.01514BM>
- ter Steege, H., Henkel, T. W., Helal, N., Marimon, B. S., Marimon-Junior, B. H., Huth, A., Groeneveld, J., Sabatier, D., Coelho, L. de S., Filho, D. de A. L., Salomão, R. P., Amaral, I. L., Matos, F. D. de A., Castilho, C. V., Phillips, O. L., Guevara, J. E., Carim, M. de J. V., Cárdenas López, D., Magnusson, W. E., ... Melgaço, K. (2019). Rarity of monodominance in hyperdiverse Amazonian forests. *Scientific Reports*, 9.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-50323-9>
- Toni, M., Dalla Valle, L., & Alibardi, L. (2007). Hard (Beta-)Keratins in the Epidermis of Reptiles: Composition, Sequence, and Molecular Organization. *Journal of Proteome Research*, 6(9), 3377-3392. <https://doi.org/10.1021/pr0702619>
- Trujillo, F., Lasso, C. A., Diazgranados, M. C., Farina, O., & Pérez, L. E. (2004). *Evaluación de la contaminación por mercurio en peces de interés comercial y de la concentración de organoclorados y organofosforados en el agua y sedimentos de la Orinoquia*. 17.
- 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.
<https://doi.org/10.1007/s10646-011-0718-x>

UNODC. (2016). *Colombia Explotación de oro de aluvión Evidencias a partir de percepción remota*.

https://www.unodc.org/documents/colombia/2016/junio/Explotacion_de_Oro_de_Aluvion.pdf

US EPA, O. (2018, octubre 17). *Methodology for Deriving Ambient Water Quality Criteria for the Protection of Human Health (2000) Documents* [Reports and Assessments]. US EPA.

<https://www.epa.gov/wqc/methodology-deriving-ambient-water-quality-criteria-protection-human-health-2000-documents>

Vargas Betancourt, M. L., & Quiroz Palacio, C. M. (2011). Alteraciones neuropsicológicas en escolares de un municipio con niveles elevados de vapor de mercurio medioambiental, Colombia, 2008-2009. *instname: Universidad de Antioquia*.

<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/handle/10495/5184>

Villegas, A. V., & Solarte, J. C. M. (2012). *Evidencia científica, normativa y técnica sobre la problemática del mercurio en Colombia revisión sistemática de la literatura*. 447, 106.

Wasserman, J. C., Hacon, S., & Wasserman, M. A. (2003). Biogeochemistry of mercury in the Amazonian environment. *Ambio*, 32(5), 336-342. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-32.5.336>

Wilson, D., Tracy, C., & Tracy, R. (2009). Estimating age of turtles from growth rings: A critical evaluation of the technique. *Herpetologica*. *Herpetologica*, 59, 178-194.

[https://doi.org/10.1655/0018-0831\(2003\)059\[0178:EAOTFG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1655/0018-0831(2003)059[0178:EAOTFG]2.0.CO;2)

Zapata Restrepo, L., Bock, B., & Palacio, J. (2014). Mercury Concentrations in Tissues of Colombian Slider Turtles, *Trachemys callirostris*, from Northern Colombia. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 92. <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1198-5>

1198-5

