

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE MEDICINA VETERINARIA**



**Universidad de El Salvador**  
*Hacia la libertad por la cultura*

**“DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES DE METALES  
PESADOS EN SANGRE DE HEMBRAS ANIDANTES DE TORTUGAS  
CAREY (*Eretmochelys imbricata*) EN LA BAHÍA DE JIQUILISCO,  
DEPARTAMENTO DE USulután, EL SALVADOR”**

**POR:**

**FREDY ALEXANDER, LÓPEZ BARDALES.**

**MARÍA GABRIELA, QUIJADA BENAVIDES.**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**LICENCIADO (A) EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2016**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



Universidad de El Salvador

*Hacia la libertad por la cultura*

**“DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES DE METALES  
PESADOS EN SANGRE DE HEMBRAS ANIDANTES DE TORTUGAS  
CAREY (*Eretmochelys imbricata*) EN LA BAHÍA DE JIQUILISCO,  
DEPARTAMENTO DE USulután, EL SALVADOR”**

**POR:**

**FREDY ALEXANDER, LÓPEZ BARDALES.**

**MARÍA GABRIELA, QUIJADA BENAVIDES.**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2016**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR INTERINO:  
LIC. JOSE LUIS ARGUETA ANTILLON**

**SECRETARIA:  
DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**

**DECANO:  
ING. AGR. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA**

**SECRETARIO:  
ING. AGR. M. Sc LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO**

**JEFA DEL DEPARTAMENTO DE MEDICINA VETERINARIA:**

**MVZ. MARIA JOSE VARGAS ARTIGA**

---

**DOCENTES ASESORES:**

**PH. D. MICHAEL LILES**

---

**MVZ. OSCAR LUIS MELENDEZ CALDERON**

---

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION:**

**MVZ. OSCAR LUIS MELENDEZ CALDERON**

---

## Resumen

Cuatro especies de tortugas marinas, *Dermochelys coriácea*, *Lepidochelys olivácea*, *Chelonia mydas agasiizzi* y *Eretmochelys imbricata*, han sido documentadas en las islas de la Bahía de Jiquilisco, Departamento de Usulután, El Salvador. Esta área ha sido reconocida como prioritaria para la protección de los hábitats de anidación y desarrollo de estas especies. La contaminación de los ambientes oceánicos causada por el humano, someten a la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) y demás especies a problemas de contaminación por metales pesados, ya que estos no pueden ser degradados por las vías metabólicas en un lapso corto de tiempo impactando fuertemente en la salud del ecosistema y los organismos. El presente estudio tuvo como propósito analizar los niveles de concentración de los metales pesados (Pb, Hg y As) en tortuga Carey en seis sitios de anidación de la Bahía de Jiquilisco, El Salvador, utilizando la sangre de hembras anidantes como unidad de análisis, llevándose a cabo durante los meses de octubre a diciembre del 2013. En conjunto y con la colaboración de Iniciativa Carey del Pacífico Oriental (ICAPO) se obtuvieron muestras sanguíneas de 28 hembras anidantes, las cuales fueron enviadas y posteriormente procesadas en el Laboratorio de Diagnóstico de la Universidad de California en EE.UU., dicho análisis se realizó mediante la técnica de Espectroscopia de Absorción Atómica (AAS) con el uso de un generador de hidruros para arsénico y mercurio; el plomo fue determinado mediante horno de grafito. De los metales en estudio la mayor concentración fue de arsénico con 0.245 ppm encontrándose en todos los individuos (100 % de las muestras), plomo con 0.062 ppm y finalmente mercurio con 0.0195 ppm. Mediante la prueba de chi cuadrado se determinó que no existe relación de dependencia significativa entre la concentración de los metales pesados y las variables largo curvo del caparazón (LCC) y ancho curvo del caparazón (ACC) de las tortugas.

## INDICE

	Pag.
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. Revisión de literatura.....	3
2.1 La Tortuga marina .....	3
2.1.1 Anatomía de las tortugas marinas.....	3
2.1.2 Características de las tortugas marinas .....	4
2.1.3 Ciclo de vida de las tortugas marinas.....	5
2.1.4 Especies de tortugas marinas .....	6
2.1.4.1 Familia Dermochelyidae.....	6
2.1.5 Especies presentes en El Salvador.....	9
2.1.6 Tortuga Carey ( <i>Eretmochelys imbricata</i> ) .....	9
2.1.6.1 Características generales de la tortuga Carey.....	10
2.1.6.2 Tamaño.....	12
2.1.6.3 Hábitat y distribución geográfica .....	12
2.1.6.4 Hábitos alimenticios .....	13
2.1.6.5 Reproducción.....	14
2.1.6.6 Comportamiento.....	15
2.1.6.7 Estatus de Conservación .....	15
2.1.6.8 Amenazas .....	16
2.2 Los Metales.....	18
2.2.1 Generalidades.....	18
2.2.2 Clasificación de los metales.....	19
2.2.3 Metales Pesados .....	19
2.2.4 Plomo .....	21
2.2.4.1 Comportamiento en el medio ambiente.....	22
2.2.4.2 Fuentes de contaminación .....	22
2.2.4.3 Vías de absorción y efectos en los seres humanos .....	23
2.2.5 Mercurio .....	24
2.2.5.1 Comportamiento en el medio ambiente.....	25
2.2.5.2 Fuentes de contaminación .....	25
2.2.5.3 Vías de entrada y efectos en los seres humanos .....	26
2.2.6 Arsénico .....	27
2.2.6.1 Comportamiento en el medio ambiente.....	27

2.2.6.2 Fuentes de contaminación .....	28
2.2.6.3 Vías de entrada y efectos en los humanos .....	28
2.2.7 Efecto de la contaminación en el ecosistema marino.....	29
2.2.7.1 Los metales pesados y su efecto en las tortugas marinas.....	30
2.3 La Bahía de Jiquilisco-Xiriualtique .....	32
2.3.1 Generalidades.....	32
2.3.2 Reseña histórica .....	33
2.3.3 Características biofísicas de la región .....	34
2.3.3.1 Coordenadas geográficas (latitud / longitud) .....	34
2.3.3.2 Geología y geomorfología .....	34
2.3.3.3 Clima.....	35
2.3.3.4 Aspectos hidrológicos .....	35
2.3.4 Biodiversidad de la Bahía.....	36
2.3.4.1 Principales especies de flora:.....	37
2.3.4.2 Principales especies de fauna:.....	38
2.3.5 La Bahía de Jiquilisco y la tortuga Carey .....	38
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>40</b>
3.1 Descripción de la investigación .....	40
3.1.1 Localización de la investigación.....	40
3.1.2 Descripción del estudio.....	40
3.2 METODOLOGÍA DE CAMPO.....	41
3.2.1 Rutas de vigilancia .....	41
3.2.2 Tortugas en estudio .....	41
3.2.3 Toma de muestras de sangre .....	41
3.2.4 Registro e identificación de las tortugas.....	42
3.2.5 Traslado y envío de muestras.....	42
3.3 METODOLOGÍA DE LABORATORIO .....	42
3.4 METODOLOGÍA ESTADÍSTICA .....	43
3.4.1. Variables en estudio .....	43
3.4.2. Relación entre variables .....	43
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>43</b>
4.1 Presencia de metales pesados.....	44
4.1.1 Arsénico .....	44
4.1.2 Plomo .....	46

4.1.3. Mercurio .....	47
4.2 Largo Curvo del Caparazón (LCC) .....	49
4.3 Ancho Curvo del Caparazón (ACC).....	50
4.4 Relaciones entre variables .....	52
4.4.1 Relación entre largo curvo del caparazón y concentración de metales pesados...	52
4.4.2 Relación entre ancho curvo del caparazón y concentración de metales .....	56
4.5 Correlaciones .....	60
4.6 Comparación con otros estudios similares realizados en el Pacífico Oriental en tortugas Carey.....	61
5. CONCLUSIONES .....	<b>62</b>
6. RECOMENDACIONES .....	<b>63</b>
7. BIBLIOGRAFÍA.....	<b>63</b>
8. ANEXOS.....	<b>72</b>

#### INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de la especie <i>Eretmochelys imbricata</i> .....	11
Cuadro 2. Clasificación de los metales no férricos .....	19
Cuadro 3. Micronutrientes y macronutrientes para el óptimo funcionamiento de los organismos vivos .....	20
Cuadro 4. Estudios sobre las concentraciones de metales pesados en tortugas marinas.....	30
Cuadro 5. Concentraciones de arsénico encontradas en 28 tortugas Carey.....	45
Cuadro 6. Concentraciones de plomo encontradas en nueve tortugas Carey.....	46
Cuadro 7. Concentraciones de mercurio encontradas en siete tortugas Carey.....	48
Cuadro 8. Tallas de LCC de las tortugas Carey en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador. ....	50
Cuadro 9. Tallas de ACC de las tortugas Carey en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador. ....	51
Cuadro 10. Tallas de LCC y concentraciones de arsénico encontradas en las tortugas Carey. ....	53
Cuadro 11. Tallas de LCC y concentraciones de plomo encontradas en tortugas Carey. ....	54
Cuadro 12. Tallas de LCC y concentraciones de mercurio encontradas en las tortugas Carey. ....	56
Cuadro 13. Tallas de ACC y concentraciones de arsénico encontradas en las tortugas Carey. ....	57



Cuadro 14. Tallas de ACC y concentraciones de plomo encontradas en las tortugas Carey.	58
Cuadro 15. Tallas de ACC y concentraciones de mercurio encontradas en las tortugas Carey. .....	59
Cuadro 16. Correlaciones de Pearson entre largo y ancho curvo del caparazón de las tortugas Carey y las concentraciones de los metales pesados. ....	61

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escudos del caparazón de tortuga Carey.....	3
Figura 2. Estructura del plastrón de tortuga Carey.....	4
Figura 3. Ciclo de vida de la tortuga marina.....	5
Figura 4. Especies de tortugas marinas.....	9
Figura 5. Características morfológicas de la tortuga Carey.....	10
Figura 6. Dimorfismo sexual en individuos de la familia Cheloniidae.....	11
Figura 7. Distribución de <i>Eretmochelys imbricata</i> según Caribbean Conservation Corporation (2009).....	12
Figura 8. Áreas principales de anidación y forrajeo de la tortuga Carey en El Salvador (Liles, 2008-2010).....	13
Figura 9. Amenazas que afectan a la tortuga de Carey tanto en tierra como en mar.....	18
Figura 10. Elementos de la tabla periódica.....	21
Figura 11. Ciclo natural del Plomo.....	22
Figura 12. Cantones e islas de la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.....	33
Figura 13. Mapa hidrológico de la Bahía de Jiquilisco.....	36
Figura 14. Área de estudio del Pacífico oriental, con el total de anidaciones reportadas por país de tortuga Carey (2007-2009).....	39
Figura 15. Las áreas de forrajeo dentro de los esteros con manglares utilizados por 10 tortugas Carey en la Bahía Jiquilisco- Xiriualtique, El Salvador.. ..	40
Figura 16. Porcentaje general de la presencia de metales encontrados en las tortugas Carey en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.....	44
Figura 17. Concentraciones de arsénico en cada una de las tortugas Carey en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador. ....	45
Figura 18. Concentraciones de plomo en cada una de las tortugas Carey en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador. ....	47

Figura 19. Concentraciones de Mercurio en cada una de las tortugas Carey en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador. ....	48
Figura 20. Tallas de LCC de las tortugas Carey muestreadas. ....	50
Figura 21. Tallas de ACC de las tortugas Carey muestreadas. ....	51
Figura 22. Relación entre el largo curvo del caparazón de las tortugas Carey y las concentraciones de arsénico en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador. ....	53
Figura 23. Relación entre el largo curvo del caparazón de las tortugas Carey y las concentraciones de plomo en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador. ....	55
Figura 24. Relación entre el largo curvo del caparazón de las tortugas Carey y las concentraciones de mercurio en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador. ....	56
Figura 26. Relación entre el ancho curvo del caparazón de las tortugas Carey y las concentraciones de plomo en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador. ....	59
Figura 27. Relación entre el ancho curvo del caparazón de las tortugas Carey y la concentración de mercurio en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután El Salvador. ....	60
Figura A - 1. Principales sitios de anidación de la tortuga Carey en la Bahía de Jiquilisco....	72
Figura A - 2. Toma de muestra sanguínea en tortuga Carey.....	72
Figura A - 3. Muestra de sangre en vacutainer con heparina de litio como anticoagulante ..	73
Figura A - 4. Criotubos con el número de identificación de muestra.....	73
Figura A - 5. Termo de nitrógeno líquido .....	74
Figura A - 6. Puntos localizadores o señales para medidas estándar .....	74
Figura A - 7. Formas y tamaños (cm) de diferentes tipos de marcas de tortugas marinas (Tipo Monel e Inconel) .....	75
Figura A - 8. Marca Inconel Modelo 681C aplicada al sitio de marcado proximal en la aleta anterior.. .....	75
Figura A - 9. Embalaje de muestras con hielo seco .....	76
Figura A - 10. Muestras empacadas para el envío .....	76
Figura A - 11. Representación gráfica del coeficiente de variabilidad de los metales pesados encontrados en las tortugas Carey. ....	78

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hoja de registro de tortugas marinas .....	89
Anexo 2. Marchas de laboratorio .....	90

## 1. INTRODUCCIÓN

Las tortugas marinas y otros organismos del mar, son frecuentemente afectados por los contaminantes que los humanos desechan en el ambiente marino, pudiéndose observar los impactos inmediatos de contaminación en las zonas costeras; la ingesta de desechos como plástico y líneas de pesca, entre otros, son un problema de impacto inmediato en la mortalidad de las tortugas, mientras que desechos derivados de diferentes fuentes como son procesos industriales, uso común de componentes metálicos, desechos sólidos, excreciones de organismos vivos, uso de fertilizantes, etc. afectan tanto a la salud del ecosistema y de los organismos vivos incluida las tortugas marinas como al hombre (Wallace *et al.* 2011).

Entre dichos contaminantes que presentan mayor riesgo a las poblaciones de tortuga marina se puede mencionar los metales pesados los cuales han representado el mayor impacto en cuanto a contaminación se refiere, los que están asociados a un gran número de patologías que los organismos pueden desarrollar debido a una exposición prolongada (Cañizares, 2000).

Las tortugas marinas por sus características como talla, longevidad e interacción entre la interfaz agua-aire desempeñan el papel de “especies centinelas” las cuales proveen información esencial y temprana de posibles daños que dichos contaminantes podrían causar en el ambiente (Ley Quiñones, 2009).

Las tortugas Carey (*Eretmochelys imbricata*) están en peligro crítico de extinción a nivel mundial (Mortimer y Donnelly, 2008) y dicha especie en el Pacífico Oriental es una de las poblaciones más amenazadas en el mundo (Wallace *et al.* 2011). Durante los años 2008 - 2010 se reportaron 566 anidaciones en las tres áreas de anidación de El Salvador (Los Cóbanos, Reserva de Biosfera Bahía de Jiquilisco-Xiriualtique y Punta Amapala), con el 70% de toda la actividad reproductiva documentada en las playas de la Bahía de Jiquilisco (Liles *et al.* 2011). De las principales amenazas a las que se enfrentan estas tortugas en el Pacífico Oriental son su captura incidental en las pesquerías, la recolección de sus huevos para el consumo y la alteración de su hábitat crítico tanto de anidación como de alimentación (Gaos *et al.* 2010), las cuales son las principales amenazas también en El Salvador (Liles *et al.* 2011).

Con un área total de 63,500 hectáreas, la Bahía de Jiquilisco es considerada la expansión de bosque salado más grande de El Salvador (MARN, 2004), además de ser designada sitio RAMSAR en 2005 y nombrada Reserva de Biosfera por la UNESCO en 2007, la Bahía proporciona las condiciones necesarias de alimentación, reproducción y sirve como refugio alrededor del 80% de las especies marinas y de agua salobre del país (OIRSA, 2007). Las formaciones marinas de la Bahía y de la plataforma continental, con profundidades menores de 6 metros sobre el nivel del mar, son sumamente ricas en biodiversidad, siendo el hábitat de desarrollo de una variedad de especies de peces, crustáceos, moluscos y tortugas marinas incluyendo las cuatro de las siete especies de tortugas marinas que habitan el planeta tierra (OIRSA, 2007).

La población total de los 6 municipios que a los que pertenece la Bahía es de 147.549 habitantes según la Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC 1995; OIRSA, 2007), uno de los principales problemas es la contaminación especialmente en las zonas adyacentes a las comunidades con la mayor población por medio de la descarga de desechos orgánicos, químicos y sólidos disueltos (OIRSA, 2007), siendo importante la determinación de metales pesados que comprometen la salud no solo de los habitantes sino también de la población y las especies que alberga la Bahía.

La falta de estudios orientados a la determinación de los metales pesados plomo, mercurio y arsénico en sangre de las tortugas Carey que llegan anidar en las playas de la Bahía de Jiquilisco en El Salvador es evidente al momento de querer informarse del tema, por eso la iniciativa de investigar acerca de la determinación y concentraciones de los metales pesados en sangre en dicha región y de esa manera ampliar los conocimientos en los procesos de bioacumulación y los posibles efectos a la salud de las tortugas Carey.

Este estudio consistió en la determinación de concentraciones de los metales pesados plomo, arsénico y mercurio en hembras anidantes de tortuga Carey utilizando como unidad de estudio la sangre, pues esta se puede obtener como un método no letal, con el objetivo de establecer cuáles son los niveles de referencia y también para determinar si estos compuestos estaban presentes en concentraciones que podría tener un impacto real sobre el estado de salud de las tortugas Carey.

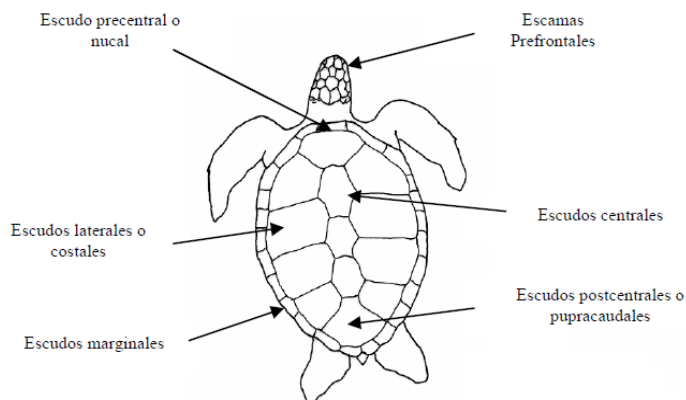
## 2. Revisión de literatura

### 2.1 La Tortuga marina

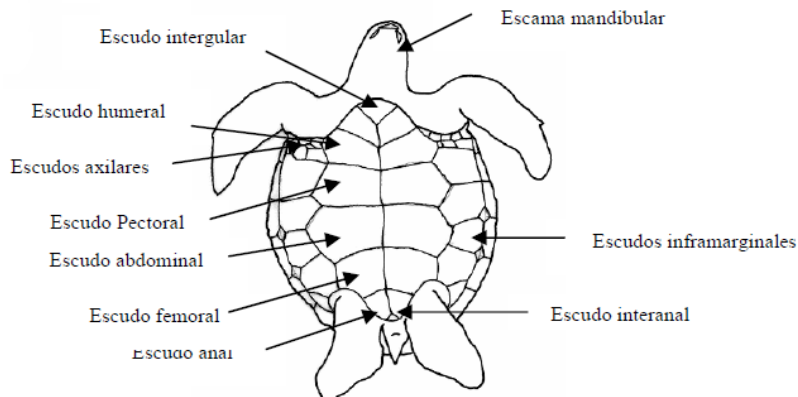
#### 2.1.1 Anatomía de las tortugas marinas

Vista desde fuera, en general la tortuga marina se caracteriza por tener un tronco largo con su cuerpo encerrado en una estructura dorsal convexa y rígida (caparazón). Vista de frente, sobresale una cabeza pesada junto con un cuello y dos patas delanteras, mientras que vista desde atrás se observa la cola con la cloaca y dos patas traseras que actúan como un timón. Las extremidades son pentadáctilas (cinco dedos), las extremidades pectorales están desarrolladas, son alargadas y modificadas en forma de aletas, lo cual les permite un fácil desplazamiento en el mar (Gerosa y Aureggi, 2005). Se encuentran bien adaptadas al medio marino gracias a un caparazón de forma hidrodinámica este, tiene una parte dorsal convexa, y una parte ventral casi plana, el plastrón, ambas partes unidas por ligamentos (APFFLT, 2010).

El caparazón y plastrón están cubiertos de escamas córneas, denominadas escudos (Figura 1 y 2), o con una piel gruesa (como sucede en el caso de la especie *Dermochelys coriácea*). El cráneo, que posee características distintivas primitivas y especializadas, es compacto, con una sola parte móvil, la mandíbula. Esta se mueve por medio de músculos fuertes localizados en unas anchas cavidades entre la parte superior del cráneo y la cámara ósea de la cavidad cerebral. La cabeza no es retráctil, tiene fuertes párpados, su oído no tiene abertura externa (Gerosa y Aureggi, 2005).



**Figura 1.** Escudos del caparazón de tortuga Carey.



**Figura 2.** Estructura del plastrón de tortuga Carey

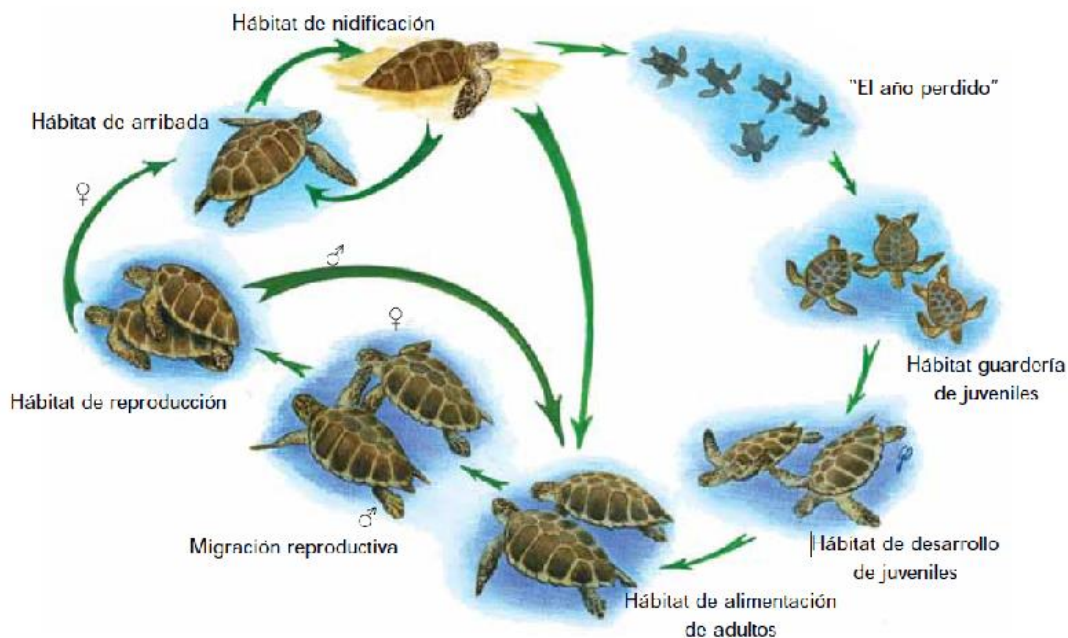
### 2.1.2 Características de las tortugas marinas

Las tortugas marinas habitan la Tierra desde hace más de 100 millones de años. Evolucionaron a partir de tortugas de agua dulce, aunque se diferencian de ellas al contar con aletas que unen sus dedos en vez de patas para su adaptación a una vida principalmente en el mar, aunque dependen de la tierra para completar una de las etapas más críticas de su ciclo de vida: su reproducción. Anidan en playas tropicales y subtropicales, ya que éstas poseen las características adecuadas para el desarrollo de sus nidos. En las costas tropicales de América existen gran cantidad de playas donde anidan seis de las siete especies de tortugas del mundo (Secretaría CIT, 2004).

Las tortugas marinas son animales de sangre fría y utilizan la luz solar para calentar sus cuerpos porque no son capaces de mantener una temperatura corporal constante (Poiquilotermos). Solamente la tortuga laúd es capaz de regular su temperatura corporal controlando su flujo sanguíneo, permitiéndole desplazarse hacia aguas más frías en busca de alimento. También, el gran contenido de grasa de su gruesa capa de piel actúa como un eficiente aislante térmico que previene la excesiva pérdida del calor acumulado. Las tortugas marinas respiran por medio de pulmones, emergiendo periódicamente para respirar. Son capaces de bucear a grandes profundidades, en especial la tortuga laúd, con una profundidad máxima registrada de hasta 1300 metros (Eckert, 1989). Durante la inmersión, las tortugas marinas bajan el ritmo cardíaco y su cerebro trabaja con concentraciones reducidas de oxígeno (Secretaría CIT, 2004). El desarrollo de las glándulas lacrimales les confiere la osmoregulación de fluidos corporales (Amorocho, 2009).

### 2.1.3 Ciclo de vida de las tortugas marinas

En sus primeros años se piensa que las tortugas marinas son solitarias, pero de juveniles y adultas se congregan en los sitios de forraje (alimentación), apareamiento y anidación. En términos generales las tortugas pasan la mayoría de su vida en el mar, aunque las hembras salen a la playa a poner sus huevos periódicamente (Figura 3). Los machos pueden también emerger a la playa esporádicamente para regular su temperatura o evitar encuentros con depredadores, aunque no existe absoluta certeza científica sobre estas razones.



**Figura 3.** Ciclo de vida de la tortuga marina

Todas las tortugas se reproducen por medio de fertilización interna. Luego de aparearse las hembras migran hacia las playas de anidación, generalmente a la misma playa donde nacieron. Se cree que ellas recuerdan su playa natal habiendo grabado en su memoria durante su recorrido del nido hacia el mar factores químicos, físicos y otros no conocidos hasta el momento. Cuando están listas para poner sus huevos, las hembras emergen en las playas tropicales, subtropicales o templadas, generalmente de noche. Con sus aletas hacen una cama para acomodar su cuerpo en la arena. Luego, con las aletas traseras excavan una cámara o hueco, en el cual, según la especie, ponen entre 50 y 200 huevos por nido. Una vez que terminan de depositarlos, los cubren con arena. Una hembra usualmente no anida en los años siguientes; tardará normalmente de dos a cuatro años en regresar, con la posible excepción de las tortugas lora (*Lepidochelys olivacea*). Según la especie, las crías tardan entre 45 y 75 días en nacer (Eckert y Beggs, 2006).



Los sexos de las crías se determinan por la temperatura de la arena durante la incubación. Cada especie tiene una “temperatura pivotal” o “umbral” característica que puede variar ligeramente con la latitud. Se denomina temperatura pivotal a la temperatura de incubación en la que se producen un 50% machos y un 50% hembras (Revuelta y Tomás, 2010). Si la temperatura media de la incubación es superior a la temperatura pivotal, es probable que las crías hembras prevaezcan (Harold y Eckert, 2005). Los neonatos salen de sus nidos al anochecer o amanecer y se dirigen directamente hacia el mar abierto, donde se refugian en las corrientes oceánicas, se sabe muy poco de esta etapa de su vida. La madurez sexual toma entre 10 a 50 años, dependiendo de la especie. No hay forma de determinar la edad de una tortuga marina por su apariencia física. Se cree que algunas especies pueden vivir más de 100 años (Secretaría CIT, 2004).

#### **2.1.4 Especies de tortugas marinas**

Durante su periodo evolutivo, las tortugas marinas perdieron la capacidad de retraer las extremidades (cabeza, aletas y cola) dentro del caparazón. En el periodo Cretácico se establecieron cuatro familias de tortugas marinas: las *Toxochelyidae*, *Protostegidae*, *Cheloniidae* y *Dermochelyidae*, de estas, las últimas dos son las únicas que sobreviven en el presente, dentro de las cuales los científicos reconocen siete especies distintas (Figura 4; Secretaría CIT, 2004).

##### **2.1.4.1 Familia *Dermochelyidae***

Son tortugas con caparazón sin placas o escamas; lo tienen cubierto por una gruesa capa de piel parecida al cuero. Hoy en día está representada por sólo una especie (CCC, 2002).

##### **Tortuga Laúd o Baule (*Dermochelys coriacea*)**

Es la más grande de todas las especies de tortugas marinas; puede llegar a medir hasta 3,0 m de largo total y pesar 1000 Kg. El “caparazón” no es duro, más bien blando, sin escudos o escamas y tiene una coloración negra con manchas blancas a lo largo del mismo con una mancha rosa sobre la cabeza. También se distinguen por tener siete “quillas”. Es la tortuga marina con la distribución más amplia: se encuentra en todos los océanos templados o tropicales y llega, incluso, a aguas tan frías de la sub-ártica. En las principales playas de anidación sus poblaciones se han visto reducidas hasta en un 90% durante la última década (Chacón y Aráuz, 2001).

### **Familia *Cheloniidae***

Son tortugas con caparazón, escudos o placas evidentes, representada por 6 especies y 1 subespecie (CCC, 2002).

#### **Tortuga Verde, Blanca o Negra (*Chelonia mydas*)**

El tamaño promedio de un adulto puede ser de unos 100 cm y contar con un peso desde los 100 hasta los 225 Kg. Su caparazón tiene un color verduzco y negro con cuatro escudos laterales, las escamas no son traslapadas y el plastrón es amarillento. Es la única especie herbívora entre las tortugas marinas y se alimenta de pastos marinos y algas. Debido a esta dieta, sus reservas de grasa son de color verde, de allí su nombre. Actualmente, según la Lista Roja, se encuentra en peligro de extinción (Secretaría CIT, 2004).

#### **Tortuga verde del Pacífico (*Chelonia mydas agassizzi*)**

Se encuentra en el Pacífico Oriental y es una variante de la tortuga verde con la excepción de que es más pequeña, mide entre 70 y 90 cm de longitud y pesa alrededor de 126 Kg. Es herbívora. Las principales zonas de anidación se encuentran en México y las Islas Galápagos (Chacón, 2002).

#### **Tortuga cabezona o caguama (*Caretta caretta*)**

Es conocida por su cabeza y mandíbulas de gran tamaño (aproximadamente 25 cm en adultos). Los adultos miden de 90 a 110 cm de longitud y pesan hasta 180 Kg. Su alimentación se basa en invertebrados marinos (cangrejos y mejillones, entre otros). Se distribuye en zonas templadas, tropicales y subtropicales de los Océanos Pacífico, Índico y Atlántico y anida en diversas áreas del mar Mediterráneo. La tortuga caguama prefiere las playas de zonas subtropicales para anidar y algunas de las principales playas se encuentran en la costa Este de los Estados Unidos. Es poco frecuente la anidación en playas centroamericanas (Secretaría CIT, 2004). Según la Lista Roja, se encuentra en peligro de extinción. No está presente en El Salvador.

#### **Tortuga golfina o lora (*Lepidochelys olivacea*)**

Esta es la especie más numerosa de todas las tortugas marinas. Es una tortuga pequeña, mide aproximadamente 65 cm y los adultos pueden alcanzar entre 35 y 45 Kg. El caparazón es casi redondo, de color verde oscuro. Se distingue por ser la única tortuga que sale a poner sus huevos en "arribada o anidación masiva" (miles salen en forma sincronizada a

depositar sus huevos en la misma playa). A lo largo de la costa Pacífica de Centroamérica existen varias playas donde ocurre este fenómeno. Es la especie más abundante de tortugas marinas en el Pacífico Oriental, pero se mantiene su estatus de especie en peligro de extinción, según la Lista Roja. Se les captura, en su mayoría, debido a la pesca incidental y al consumo de huevos (Chacón, 2002).

#### **Tortuga lora o kempi (*Lepidochelys kempii*)**

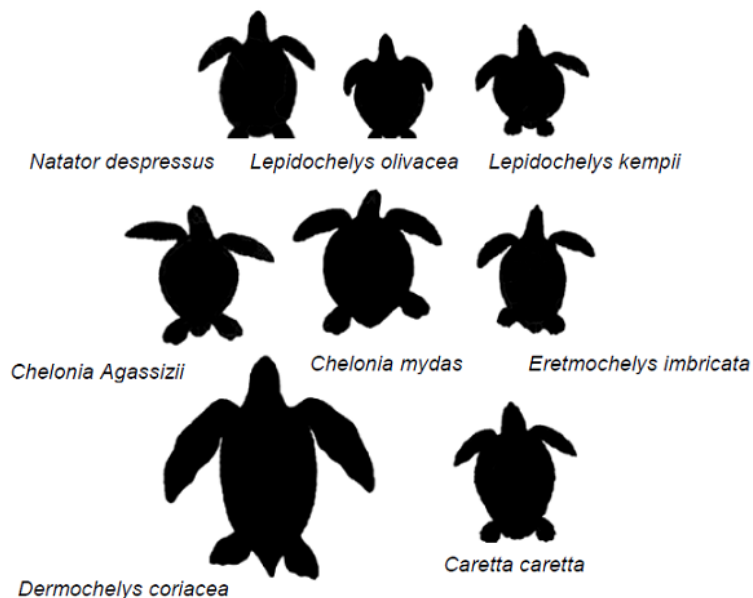
Al igual que la *L. olivacea*, desova en arribada. Alcanza una longitud de 70 cm y un peso de entre 35 a 50 Kg. Se alimenta principalmente de crustáceos (sobre todo cangrejos). Debido a que se le encuentra exclusivamente en el Golfo de México y en aguas tropicales del Atlántico, es la tortuga marina más escasa del mundo y está en peligro crítico de extinción, según la Lista Roja. Junto con la *L. olivacea*, es la más pequeña de todas las especies de tortugas marinas (Secretaría CIT, 2004).

#### **Tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*)**

Es conocida por su cabeza alargada y la forma de pico de su mandíbula superior. La Carey puede llegar a medir entre 65 y 90 cm y tener un peso de entre 45 y 80 kg. Su caparazón está formado por placas sobrepuestas de color café oscuro o café, amarillo ámbar pasando por los colores naranjas y tonalidades de rojo. Según la Lista Roja, se encuentra en peligro crítico de extinción ya que es capturada por la belleza de su caparazón y alto valor comercial en la elaboración de artesanías. Es la más tropical de las tortugas marinas y se distribuye en el Atlántico y el Pacífico (Secretaría CIT, 2005).

#### **Tortuga franca oriental o Kikila Australiana (*Natator depressus*)**

Como su nombre lo indica, sólo está presente en Australia y el Golfo de Nueva Guinea. (CCC, 2002). Llega a crecer hasta un metro de longitud y a pesar 90 Kg. Es carnívora y se alimenta de erizos de mar y medusas. La Kikila Australiana tiene el caparazón de forma muy aplanada. A diferencia del resto de las tortugas marinas, esta especie no es migratoria y cumple todo su ciclo de vida en las zonas próximas a sus playas de anidación (Secretaría CIT, 2005).



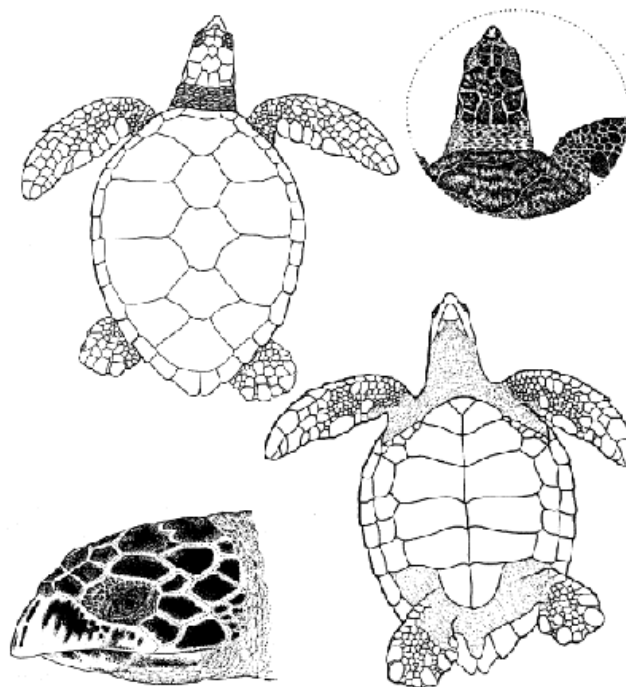
**Figura 4.** Especies de tortugas marinas

### 2.1.5 Especies presentes en El Salvador

De las siete especies existentes a nivel mundial y descritas anteriormente, cuatro se distribuyen en las costas salvadoreñas. Principalmente en la Reserva de la Biósfera Xiriualtique – Jiquilisco, mejor conocida como Bahía de Jiquilisco, se encuentran: Prieta/Negra, Carey, Golfina/Blanca y Baule, utilizando esta playa esencialmente para la anidación (UNESCO, 2007). Un descubrimiento reciente en la Bahía de Jiquilisco, es el hallazgo de una franja de aproximadamente 4 km de longitud de pasto marino, con dominancia de la especie *Halodule wrightii*, el cual sirve de sitio de descanso y alimento a las tortugas marinas de la especie *Chelonia mydas agassizii* (IV Informe, MARN, 2010).

### 2.1.6 Tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*)

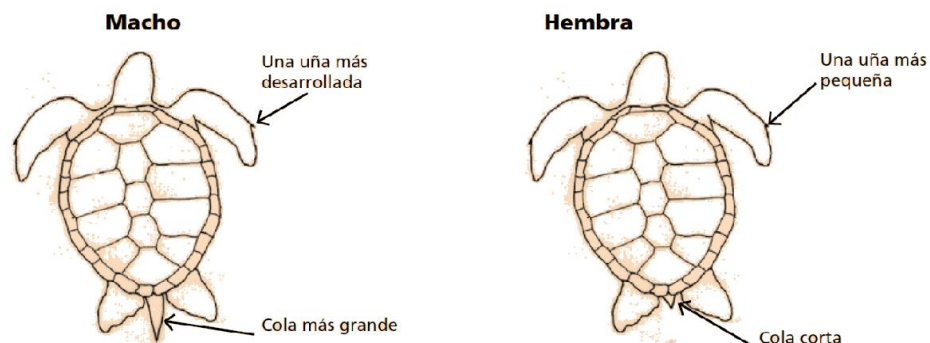
La tortuga Carey se encuentra distribuida a lo largo del cinturón tropical en las cuencas del Océano Pacífico, Atlántico e Índico; con base en criterios morfológicos, se caracterizó la divergencia de dos subespecies del complejo *Eretmochelys imbricata*: la tortuga Carey del Océano Atlántico, *E. imbricata*, y la tortuga Carey del Océano Pacífico *E. imbricata bissa*. Aunque hasta el momento no existe un estudio que defina el grado de diferencia de estas dos aparentes subespecies a nivel molecular (Carrión, 2010).



**Figura 5.** Características morfológicas de la tortuga Carey

#### **2.1.6.1 Características generales de la tortuga Carey**

Su nombre común significa “pico de halcón” (Hawksbill), debido a la forma de pico de su mandíbula superior. Tiene una cabeza relativamente angosta (aproximadamente 12 cm de ancho) con dos pares de escamas pre-frontales. Posee un caparazón que va de cardiforme (forma de corazón) a elíptico, con un margen posterior marcadamente aserrado y con escudos gruesos y traslapados (imbricados) a excepción en crías y en algunos adultos, los escudos superpuestos son una característica única de esta especie; llamados "bekko", "carey", o "concha de tortuga", esas espesas placas que recubren el caparazón están compuestas de queratina (Chacón-Chaverri, 2004). Cuenta con cuatro pares de escudos costales, cada uno con un borde posterior ligeramente rasgado. (Figura 5; APFFLT, 2010) La coloración del carapacho presenta dorsalmente café (claro a oscuro) en crías, con frecuencia presenta una fuerte pigmentación con vetas color ámbar y café en juveniles y en adultos más jóvenes; ventralmente matices de amarillo pálido a blanco, algunas veces con manchas negras (particularmente en especímenes del Pacífico) motivo por el cual esta especie es muy codiciadas comercialmente para elaborar artesanías. Su plastrón es de color amarillo pálido a blanco (Secretaría CIT, 2005).



**Figura 6.** Dimorfismo sexual en individuos de la familia Cheloniidae

Como en las otras especies de tortugas marinas, en individuos adultos existe dimorfismo sexual (Figura 6). Los machos presentan una cola de mayor tamaño que las hembras que sobresale del margen posterior del caparazón. Además, las uñas de las aletas de los machos son de mayor tamaño, más fuertes y curvadas. Gracias a ellas pueden sujetarse a las hembras durante la cópula. No existen diferencias externas entre sexos en los estadios de neonatos y juveniles (Revuelta y Tomás, 2010).

**Cuadro 1.** Descripción de la especie *Eretmochelys imbricata*

<b>Nombres comunes</b>	Carey
<b>Estado de conservación</b>	Peligro crítico de extinción (Lista Roja UICN)
<b>Largo curvo del caparazón (Promedio)</b>	80 cm
<b>Frecuencia de puesta (Promedio)</b>	3-5 veces/temporada
<b>Intervalo de puesta</b>	14-16 días
<b>Intervalo de re migración Promedio</b>	2-3 años
<b>Tamaño de nidada promedio</b>	160 huevos
<b>Profundidad/ancho de nido (Promedio)</b>	Aproximadamente 45 cm
<b>Tiempo de incubación (Promedio)</b>	60 días
<b>Temperatura pivote</b>	29.32 °C
<b>Ancho de la huella</b>	70-85 cm
<b>Simetría de huella</b>	Asimétrica

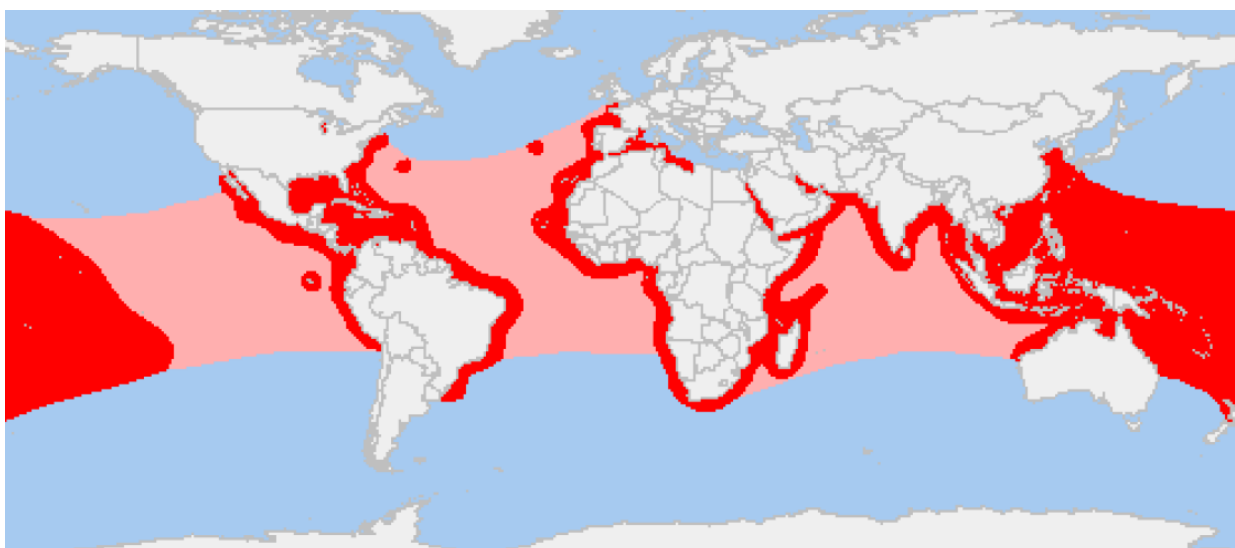
Fuente: Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT) (2008)

### 2.1.6.2 Tamaño

La tortuga Carey es una de las más pequeñas de todas las tortugas marinas, midiendo hasta 98 cm de longitud y alcanzando hasta 80 kg en promedio. Las crías tienen una longitud media de LCC de 4 cm y un peso promedio de 15 g. La talla de los escasos machos que se han podido registrar mide entre 71 y 85 cm (Revuelta y Tomás, 2010).

### 2.1.6.3 Hábitat y distribución geográfica

Se encuentra en áreas tropicales y subtropicales de los océanos Atlántico, Pacífico e Índico entre los 30° N y los 30° S. La anidación de tortuga Carey se ha documentado en 70 países (Figura 7). Esta especie se encuentra desde el sur de Estados Unidos a lo largo de toda la costa de América central hasta Brasil y a través de la Antillas mayores y menores (Revuelta, O., Tomás, J. 2010).



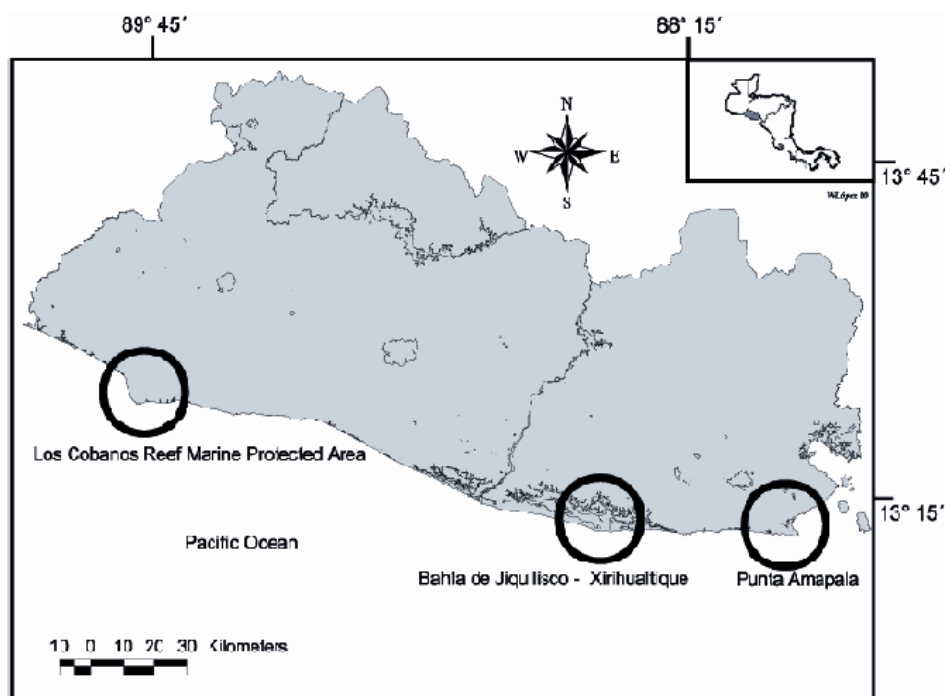
**Figura 7.** Distribución de *Eretmochelys imbricata* según Caribbean Conservation Corporation (2009). En rosa se muestran las áreas de avistamientos.

Revuelta, O. (2010) menciona que en el Océano Atlántico la tortuga Carey utiliza hábitats terrestres (playas), mar abierto, aguas costeras y arrecifes según las diferentes fases de su ciclo vital, en general se ha reportado que los adultos se encuentran principalmente en arrecifes de coral y hábitats rocosos.

En el Océano Pacífico Oriental los manglares de agua salada parecen ser el principal hábitat de las tortugas Carey adultas, lo cual difiere de la hipótesis que se sostenía que estas frecuentaban los arrecifes de coral (Gaos *et al.* 2012a). El uso de hábitats rocosos por parte de tortugas Carey en el Pacífico Oriental debe ser común, considerando la alta disponibilidad

de este tipo de hábitat a lo largo de la costa, y la baja disponibilidad y extensión de arrecifes de coral comparado con el Caribe (Carrión, 2010).

En El Salvador destacan tres áreas donde se ha registrado presencia de dicha especie (Figura 8), las cuales son los principales sitios de anidación y forrajeo, Área Marino Protegida Arrecife Los Cóbanos, Sonsonate ( $13^{\circ}31'26''\text{N}$   $89^{\circ}48'23''\text{O}$ ), Reserva de Biosfera Bahía de Jiquilisco-Xiritualtque, Usulután ( $13^{\circ}13'\text{N}$   $88^{\circ}32'\text{O}$ ) y Punta Amapala, La Unión ( $13^{\circ}9'$  y  $13^{\circ}20'\text{N}$ ,  $87^{\circ}45'$  y  $88^{\circ}00'\text{O}$ ) (Liles *et al.* 2011).



**Figura 8.** Áreas principales de anidación y forrajeo de la tortuga Carey en El Salvador (Liles, 2008-2010)

#### 2.1.6.4 Hábitos alimenticios

Por la forma que tienen la cabeza y la mandíbula superior en forma de pico esta especie se les facilita extraer comida de las grietas de los arrecifes. Son de hábitos carnívoros, las crías llevan una vida pelágica y se sabe que frecuentan zonas con acumulaciones de algas flotantes como *Sargassum* (Carr, 1987), en etapas posteriores se incluyen en su alimentación esponjas marinas principalmente, anémonas, medusas, caracoles, erizos, estrellas de mar, moluscos, algas, peces calamares y camarones (APFFLT, 2010).



Es importante destacar el hecho de que la diversidad de esponjas en el Pacífico Oriental es relativamente baja, en comparación al Caribe. Los contenidos estomacales de tortuga Carey en áreas de alimentación de Costa Rica presentaron esponjas en el 67% de los individuos estudiados, siendo *Geodia sp.* la principal presa encontrada en estos estudios (Carrión, 2010). Sin embargo, la tortuga Carey no es estrictamente esponjívora, pudiendo incluir en su dieta importantes cantidades de invertebrados como los corales *Zoanthus sociatus* y *Ricordea florida*, crustáceos de la subclase cirripedia y algunas algas (Revuelta Y Tomás, 2010).

Al ser una especie altamente selectiva en cuanto a su alimentación juega un rol importante en cuanto a la salud del ecosistema de los arrecifes coralinos ya que le permite a las demás especies competir por el espacio y los nutrientes disponibles (Secretaría CIT, 2005). En el Pacífico Oriental la alimentación de esta especie se asocia principalmente con los manglares y no con los arrecifes coralinos como menciona Revuelta, O., Tomás, J. (2010); por lo tanto su dieta varía y está compuesta por alimentos que se encuentran dentro de los manglares como por ejemplo: semillas de mangle, invertebrados, etc., (Gaos et al. 2012b).

#### **2.1.6.5 Reproducción**

Durante los periodos reproductivos, el apareamiento puede suceder durante la migración hacia las áreas de anidación. Cada especie tiene un propio modelo de cortejo, apareamiento y desove. En algunas especies, las hembras pueden guardar por más de una temporada el esperma en sus cuerpos; además, pueden ser receptivas a varios machos, de manera que los huevos de una sola nidada pueden presentar paternidad múltiple. Cada hembra muestra la capacidad de anidar varias veces en la misma temporada; a este fenómeno se le denomina reanidación. La reanidación puede suceder varias veces (de dos o más veces, según la especie) en una temporada. Las hembras que anidan por primera vez en su vida se les llama neófitas o primerizas (Secretaría CIT, 2008). Cuando una hembra regresa a anidar en temporadas subsecuentes, se le denomina remigrante. Estas remigrantes pueden tener ciclos anuales, bienales, trienales e incluso más largos (Liles et al. 2011).

Anidan en la noche, aunque se pueden observar pequeños grupos, lo más común es la anidación solitaria. El número de huevos por nido varía entre los 80 y 250 huevos, son de color blanco-rosado, aproximadamente esféricos, con forma de pelotas de ping-pong, y con una cáscara delgada y flexible cubierta por una secreción viscosa. El diámetro varía entre 32 y 36 mm, según áreas de anidación (Revuelta y Tomás, 2010).

#### **2.1.6.6 Comportamiento**

Por lo general durante su etapa juvenil, se le encuentra solitaria aunque puede estar agregada en pequeños grupos, se han descrito interacciones agresivas entre individuos en la competencia por alimento (Revuelta y Tomás, 2010) En estudios realizados por Gaos *et al*, se encontró que la Carey adulta permanece principalmente en áreas costeras, especialmente en canales menores a 50m de ancho. El hábitat de la tortuga está fuertemente asociado a los manglares de agua salada.

La evidencia histórica sugiere que las tortugas Carey han sido menos frecuentes que otras especies de tortugas marinas en el Pacífico Oriental. Esto es probablemente atribuible a que las especies han evolucionado en asociación con los tipos de hábitat (es decir, los arrecifes de coral) que son relativamente escasos en la región del Pacífico Oriental. Teniendo en cuenta que la región del Pacífico Oriental es la zona más recientemente colonizada por las tortugas Carey, la explotación de los estuarios de manglar como hábitat preferido representa probablemente una reciente adaptación y, posiblemente, una trayectoria evolutiva única para esta población (Gaos *et al.* 2012b).

#### **2.1.6.7 Estatus de Conservación**

La tortuga Carey se encuentra dentro de la lista de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2013) categorizada como especie “En Peligro Crítico”. También se encuentra incorporada en la lista del Anexo II del Protocolo de la “Convención de Cartagena” que incluye la protección de Áreas Naturales y Fauna Bajo Condición Especial (Protocolo SPAW), en el Apéndice I de la Convención Internacional para el Comercio de Especies de Fauna y Flora en Peligro (CITES) y en los Apéndices I y II de la Convención de Especies Migratorias (CMS, por sus siglas en ingles).

Antes del 2007, las tortugas Carey del Pacífico Oriental recibieron poca atención y publicaciones que destaquen datos cuantitativos sobre anidaciones y sitios de forrajeo eran casi inexistentes. La escasez de datos de las tortugas Carey en el Pacífico Oriental fue reconocida por el Grupo de Especialistas en Tortugas Marinas de la UICN como una de las principales barreras para la conservación de la especie. Las personas y organizaciones que trabajan en todo el Pacífico Oriental convocaron a un Primer Taller de la tortuga Carey en el Pacífico Oriental en Julio de 2008 en Los Cóbano, El Salvador. Los objetivos del taller fueron para compilar el conocimiento científico actual de la especie, identificar lugares y temas de investigación prioritarios, e identificar las principales amenazas. El Salvador fue

identificado como el país de máxima prioridad, debido al gran número de observaciones de especímenes, las presiones demográficas graves y otras amenazas (Gaos, *et al.*, 2010). Actualmente ya se cuenta con información cuantitativa y cualitativa fiable que nos indica el estado en que se encuentra la población de tortuga Carey en el Pacífico Oriental (ver Gaos *et al.* 2010, Altamirano *et al.* 2011, Liles *et al.* 2011, Gaos *et al.* 2012a, Gaos *et al.* 2012b).

#### **2.1.6.8 Amenazas**

La principal causa de la disminución de las poblaciones de tortuga Carey a nivel mundial ha sido la explotación directa por parte del hombre (Revuelta y Tomás, 2010). La tortuga Carey, es un caso único entre las tortugas vivas por tener escamas superpuestas en el caparazón siendo la principal amenaza la explotación comercial de los juveniles y adultos por la belleza de su caparazón, con el cual se elaboran artesanías como peines, peinetas, gafas y otros objetos (Gaos *et al.* 2010).

En cuanto a la comercialización del caparazón y derivados de este, durante el período de 1970 a Junio de 1989, más de un cuarto de millón de tortugas Carey caribeñas fueron sacrificadas para el comercio de su caparazón con Japón. Otros países también participaron en este comercio, de forma que estos datos representan sólo una parte del volumen del comercio (Harold y Eckert, 2005). Las amenazas a las que está expuesta esta especie se pueden agrupar en dos grupos: los que afectan directamente a los individuos y aquellos que afectan su hábitat (Figura 10).

Dentro del primer grupo se pueden mencionar la recolección de huevos, el saqueo de nidos, captura dirigida o accidental, comercio de productos derivados (carne, piel, aceite, etc.) y depredación de animales domésticos. La recolección de huevos para el consumo humano es común en muchas de las áreas de anidación de esta especie; en algunas regiones del sudeste asiático, esta recolección puede ser del 100 % de los huevos. En estudios llevados a cabo en Nicaragua, el consumo fue del 75% de las nidadas. (Revuelta y Tomás, 2010) En el caso de El Salvador en el 2011 se perdieron 204 nidos de tortuga Carey (66% del total) se cree que para consumo; el gobierno Salvadoreño prohibió recientemente la recolección y venta de productos de tortugas marinas para fines distintos de la conservación (Liles *et al.* 2011).

Existen numerosas evidencias de la depredación sobre las tortugas Carey en las diferentes etapas de su vida por distintas especies. En la playa, los huevos son presa de crustáceos y

algunos mamíferos. Las crías, son depredadas por crustáceos, aves marinas, peces y tiburones. En su etapa juvenil y adulta las tortugas pueden ser atacadas por diferentes especies de tiburones (Revuelta y Tomás, 2010).

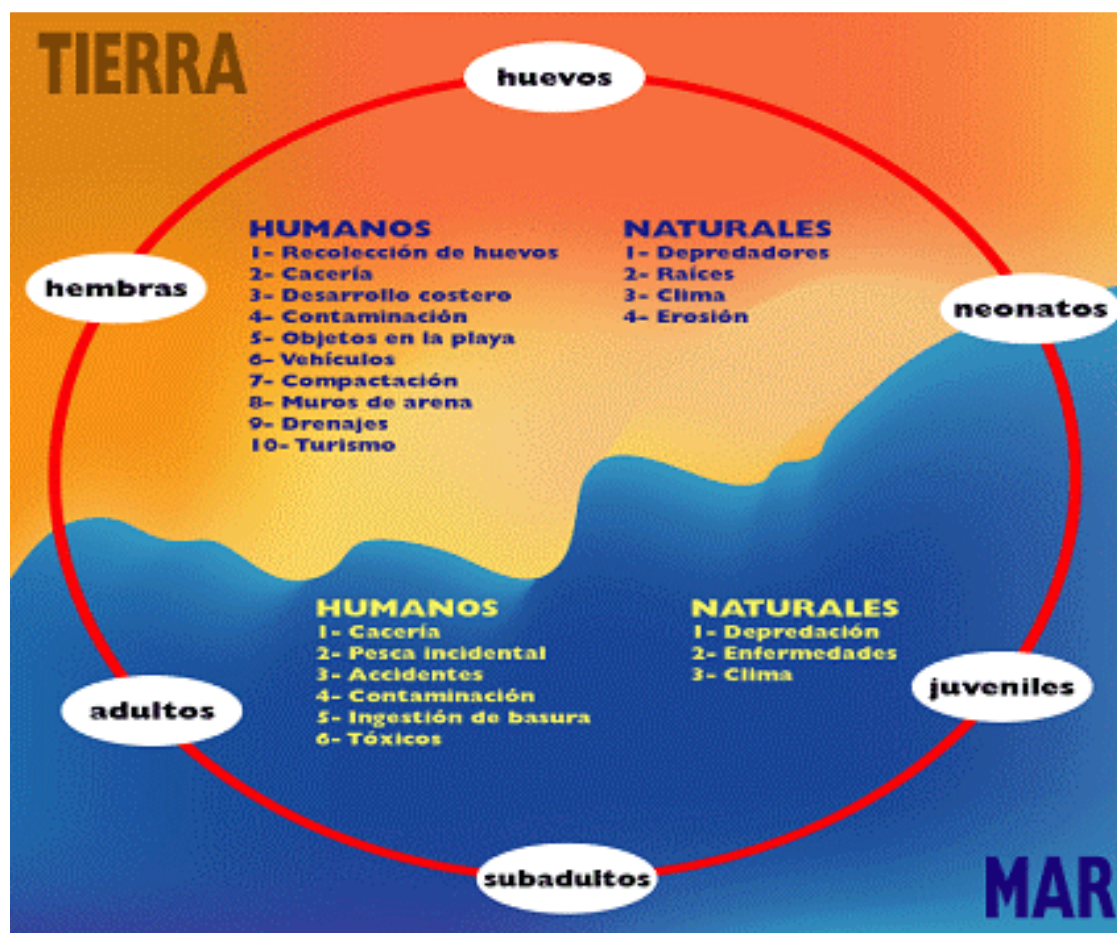
Entre los factores indirectos esta la destrucción de hábitats críticos para su supervivencia debido a los cambios climáticos, aumentos en sedimentos y nutrientes que afectan negativamente a los arrecifes de coral; desarrollo de centros turísticos y costeros, contaminación y desechos, erosión de las playas de anidación, calentamiento global, entre otros (Harold y Eckert, 2005).

La conversión de zonas costeras vírgenes en áreas turísticas de desarrollo urbano provoca que las tortugas que acuden anidar a estas playas se encuentren con barreras en el mar, paseos marítimos, luces y otras obstrucciones antropogénicas que les impiden acceder a las zonas altas de la playa y les disuaden de realizar sus puestas. Debido a la preferencia que tienen algunas hembras de tortugas Carey por anidar en la zona de vegetación de las playas, la eliminación de la vegetación natural a lo largo de la costa puede causar el aumento de la temperatura de incubación de los nidos y, como consecuencia, alterar la proporción natural de sexos de los neonatos (Revuelta y Tomás, 2010).

Las tortugas Carey son particularmente susceptibles a enredarse en las redes de trasmallo y a ser capturadas en la pesca con anzuelos. En las aguas del norte de Australia, el 47% de todas las tortugas atrapadas en redes de pesca abandonadas y otros aparejos de pesca desechados procedentes de barcos de pesca son juveniles de tortuga Carey. En aguas de Venezuela, de 66 tortugas capturadas en redes, 20 eran de esta especie (Revuelta y Tomás, 2010).

La pesca con explosivos es una práctica selectiva y destructiva que puede tener amplias implicaciones para los hábitats marinos y la biodiversidad de estos; esta práctica captura peces para alimento en un instante, pero es peligrosa para los pescadores y devasta peces y arrecifes coralinos y a pesar de que está prohibida en la mayoría de los países, todavía es usada en arrecifes coralinos de Asia, África, el Pacífico Sur e incluso el Caribe (Harold y Eckert, 2005).

Liles *et al.* 2011 subraya a la pesca con explosivos como una amenaza importante para la tortuga Carey en los ecosistemas de manglares de la Bahía de Jiquilisco, a pesar de su prohibición en aguas territoriales sigue siendo común dicha práctica por parte de los pescadores de la zona, esta práctica está clasificada como una grave violación a la ley salvadoreña (República de El Salvador, 2007).



**Figura 9.** Amenazas que afectan a la tortuga de Carey tanto en tierra como en mar

## 2.2 Los Metales

### 2.2.1 Generalidades

Los metales son materiales con múltiples aplicaciones y se han utilizado desde hace muchos años, son elementos simples cuyas propiedades los convierten en uno de los materiales más importantes en la industria y en la sociedad.

### 2.2.2. Clasificación de los metales

Suelen clasificarse dependiendo de su densidad, el tipo de elemento y su concentración los cuales se pueden apreciar en el cuadro 2.

- **Ligeros:** Son aquellos que transportan cationes en un medio acuoso y necesarios para la formación de algunos tejidos y el funcionamiento fisiológico (Sodio, Calcio, Potasio, Zinc y Cromo).

-**Esenciales de transición:** Son aquellos como el Hierro, Cobre y Aluminio, los cuales son necesarios en el organismo para llevar a cabo los metabolismos celulares, como son la síntesis de proteínas, participar en la elaboración de energía en la mitocondrias, el ciclo de Krebs, en el metabolismo de los carbohidratos, entre otros procesos fisiológicos trascendentales y necesarios en el organismo animal, aunque hay que recalcar que un excedente en sus concentraciones resulta perjudicial a la salud de los organismos.

-**Metales Tóxicos:** Son aquellos que el organismo no requiere para los procesos fisiológicos y aun en bajas concentraciones pueden resultar perjudiciales para la salud, como por ejemplo el Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio (Ley Quiñonez, 2009).

**Cuadro 2.** Clasificación de los metales no férricos

Tipo	Características	Ejemplo de metal no férrico
Pesados	Su densidad es igual o mayor de 5 kg/dm <sup>3</sup>	Estaño, cobre, cinc, plomo, cromo, níquel, wolframio y cobalto.
Ligeros	Su densidad está comprendida entre 2 y 5 kg/dm <sup>3</sup>	Aluminio y titanio.
Ultraligeros	Su densidad es menos de 2 kg/dm <sup>3</sup>	Magnesio y berilio

Fuente: Siegel, 2002

### 2.2.3 Metales Pesados

El término “metales pesados” (MP), o como también suele encontrarse en la literatura “elementos trazas o metales trazas” son un grupo de elementos químicos de la serie de transición de la tabla periódica que tienen una densidad igual o superior a 5/gr/cm<sup>3</sup> y un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg), (Figura 10; Cañizares, 2000). Los metales pesados son componentes naturales de la corteza terrestre, no pueden ser

degradados o destruidos, constituyen un grupo de 65 elementos con características físicas, químicas y biológicas muy heterogéneas (Gadd, 1992). De acuerdo a su interrelación con los seres vivos, se distinguen dos grupos dentro de los metales pesados como se puede observar en el cuadro 3:

**Oligoelementos o micronutrientes**, que se requieren en pequeñas cantidades trazas para el funcionamiento de sistemas enzimáticos, dentro de los que se encuentran el Cobre, Hierro, Cromo, Manganeso, Selenio y Zinc, entre otros, que a su vez pueden ser tóxicos si se incrementa la concentración a la cual se exponen los organismos (Valls y De Lorenzo, 2002).

**Metales pesados sin función biológica conocida**, los cuales pueden originar efectos tóxicos a partir de determinadas concentraciones; este grupo tiene la propiedad de ser persistentes en el ambiente y bioacumularse, haciendo que su concentración en un organismo vivo, tienda con el tiempo, a superar la concentración del elemento en el ambiente; en este grupo se encuentra: Cadmio, Antimonio, Cromo, Plomo, Mercurio y Talio. Suele además incluirse el Arsénico a pesar que es un semimetal y relativamente ligero debido a su particular toxicidad (Galán *et al.* 2006).

Una forma opcional de nombrar a este grupo es como “elementos tóxicos”, los cuales, de acuerdo a la lista de contaminantes prioritarios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), incluyen a los siguientes elementos: arsénico, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, plata, cadmio, mercurio, titanio, selenio y plomo; sin embargo es importante aclarar que aunque los términos metales pesados y metales o elementos tóxicos se utilicen como sinónimos, solo algunos de los metales pesados son tóxicos (Goyer, 1997).

**Cuadro 3.** Micronutrientes y macronutrientes para el óptimo funcionamiento de los organismos vivos

Metales pesados micronutrientes esenciales (mg o µg/día)	As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn
Otros micronutrientes esenciales	F, I, Si
Macronutrientes (100 mg o más por día)	Ca, Cl, Mg, P, K, Na, S
Metales pesados no esenciales*	Be, Cd, Hg, (Ni), Pb, Sb,(Sn), Ti

\*Los metales en paréntesis pueden ser esenciales - Fuente: Siegel, 2002

La imagen muestra una tabla periódica de los elementos con una leyenda de clasificación por color. La leyenda indica las siguientes categorías:

- Metales alcalinos (azul claro)
- Metales alcalinotérreos (púrpura)
- Metales de transición (gris)
- Lantánidos (rojo oscuro)
- Actínidos (rojo oscuro)
- Otros metales (verde)
- No metales (amarillo)
- Gases nobles (naranja)

La tabla periódica muestra los elementos con sus símbolos y números atómicos, y está organizada en grupos (IA a VIIIA) y períodos (1 a 7). Los elementos de la tabla periódica están coloreados de acuerdo con la leyenda.

**Figura 10.** Elementos de la tabla periódica

### 2.2.4 Plomo

El plomo (Pb), situado en el número 82 de la tabla periódica, es un metal gris-azulado que ocurre naturalmente en pequeñas cantidades en la corteza terrestre, es uno de los metales más pesados que se encuentran con una densidad de  $11.34 \text{ gr/cm}^3$ , punto de fusión  $327.5^\circ \text{ C}$  y punto de ebullición de  $1740^\circ \text{ C}$ . Es 11 veces más denso que el agua, se obtiene de la galena (sulfuro de plomo) que es la forma más abundante de este elemento en la naturaleza y se encuentra generalmente asociada a diversos minerales de zinc y en pequeñas cantidades, con cobre, cadmio y fierro, entre otros. El plomo, en las cadenas tróficas, está presente en dos grupos de especies químicas, las inorgánicas, de mayor trascendencia y, las orgánicas, con características diferentes (ATSDR, 2007).

Existen muchos tipos de compuestos de plomo que de acuerdo a sus características, se emplean en diferentes aplicaciones como materiales de construcción, pigmentos para cerámicas, tubos de suministro de agua, municiones, pinturas, películas protectoras, manufactura de baterías, aditivo de gasolina, cosméticos, espermicidas y preservativo de vinos por su propiedad de detener la fermentación. La amplitud de sus usos favorece que los humanos se expongan al plomo y sus derivados por los alimentos el agua y la inhalación (Florea y Dietrich, 2006).

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE. UU. (EPA, por sus siglas en inglés) prohibió el uso del plomo como aditivo para gasolina en el año 1996 en Estados Unidos.



### 2.2.4.1 Comportamiento en el medio ambiente

Cuando el plomo es liberado al aire (antiguamente por el uso de gasolina con plomo), puede ser transportado largas distancias para luego caer al suelo y depositarse en el mismo, luego de acuerdo a condiciones como la lluvia puede ser arrastrado hacia aguas superficiales, acumularse en los sedimentos o ser absorbido por las plantas e introducirse en la cadena alimentaria. Aunque el plomo elemental no se disuelve en agua, sus formas orgánicas si lo hacen, haciendo que el plomo proveniente de minería y el plomo residual, proveniente de calles, tuberías y suelos, puedan llegar a contaminar el agua que posteriormente sea utilizada para consumo humano o irrigación de terrenos (Philip, R. 2001).

### 2.2.4.2 Fuentes de contaminación

Las fuentes de contaminación pueden ser naturales o antropogénicas, como es habitual en estos metales tóxicos. El aporte de plomo a la fuente natural de contaminación es debida fundamentalmente al proceso de biomovilización a partir de sus depósitos naturales, al propio proceso de erosión de las rocas y al vulcanismo (ATSDR, 2007) (Figura 11).

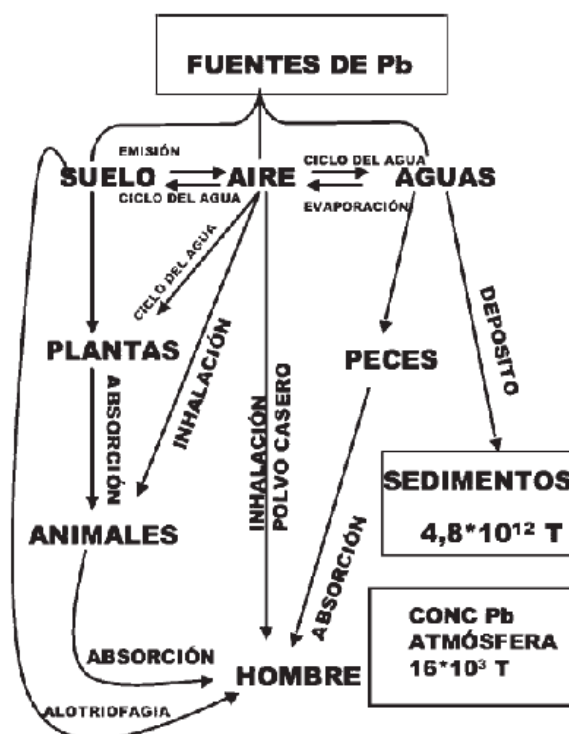


Figura 11. Ciclo natural del Plomo

Se pueden distinguir tres tipos de fuentes antropogénicas:

- Estacionarias. Debidas a la minería, el refinado y fundición de metales y a otros procesos industriales.

- Móviles. Uso de las gasolinas con plomo en vehículos a motor.
- Químicas. Por contaminación de fertilizantes, plaguicidas y desechos orgánicos (Doadrio, 2006).

También, se pueden clasificar las fuentes antropogénicas según su uso en:

- Uso industrial. Fábricas de baterías, de vidrio, de pinturas y barnices; imprentas; minería; vertidos y desechos
- Uso doméstico. Pinturas; conservas (soldaduras de plomo), red doméstica de cañerías, revestimientos vitrificados, baterías de coches, combustión de gasolinas y humo de tabaco.
- Uso agrícola. Fungicidas, herbicidas y pesticidas (Doadrio, 2006).

#### **2.2.4.3 Vías de absorción y efectos en los seres humanos**

El plomo se absorbe por las vías: gastrointestinal, respiratoria y dérmica. (Doadrio, 2006). En la inhalación del plomo ambiental, ya sea este orgánico e inorgánico, se deposita en las vías aéreas y se absorbe parcialmente en el tracto gastrointestinal; las partículas que llegan a depositarse en los alveolos son absorbidos y alcanzan el tracto respiratorio inferior pasando por el torrente sanguíneo (Florea y Dietrich, 2006).

Las especies inorgánicas del plomo son bastante absorbibles por vía digestiva, dependiendo de su solubilidad y representa un porcentaje menor del plomo absorbido por vía respiratoria. La absorción cutánea sólo tiene importancia ante el contacto con compuestos orgánicos del plomo, el plomo que es absorbido es transportado por la sangre en donde establece un rápido equilibrio entre eritrocitos y plasma, distribuyéndose en diversos órganos y tejidos y depositándose principalmente en los huesos (ATSDR, 1999). Por su parte, los compuestos orgánicos liposolubles se absorben por las tres vías, lo que les hace potencialmente peligrosos (ATSDR, 1999).

Los efectos tóxicos del plomo dependen en gran medida de su concentración en sangre, magnitud de la exposición y del tipo y edad de la población. La primera manifestación toxicológica del plomo es una anemia, ya que impide la formación de la hemoglobina inhibiendo la actuación de tres enzimas: AAL sintetasa, AAL dehidrasa y hemosinetasa. La consecuencia es la no formación de la hemoglobina, con eliminación de tres metabolitos por

orina: AAL, PBG y PPIX, que pueden ser identificados y servir de indicadores de la intoxicación de plomo (Doadrio, 2006).

También afecta varios órganos dentro de los que se incluyen el sistema nervioso, hematopoyético, renal, endocrino y musculo esquelético. En dosis elevadas, el plomo da lugar a manifestaciones neurológicas, pudiendo llegar a encefalopatías mortales (Goyer, 2007).

### **Secuencia de signos y síntomas asociados con la toxicidad de Plomo en humanos:**

La toxicidad leve por exposición al plomo puede producir mialgia o parestesia, fatiga leve, irritabilidad, letargo, molestias abdominales ocasionales.

Los signos y síntomas asociados a una toxicidad moderada son artralgia, fatiga general, dificultad para concentrarse, agotamiento muscular, temblor, cefalea, dolor abdominal difuso, vómitos, pérdida de peso, estreñimiento.

Los signos y síntomas de toxicidad grave son paresis o parálisis, encefalopatía, que puede producir de forma repentina convulsiones, alteraciones de la consciencia, coma y la muerte, ribete azul (gris azulado) en las encías, (intermitentes o cólicos abdominales graves).

El plomo es un contaminante ambiental, conocido por causar efectos adversos a la salud humana, con exposiciones a largo plazo aún a dosis bajas (Castelli. *et al.* 2005).

### **2.2.5 Mercurio**

En su forma pura se le conoce como mercurio "elemental" o "metálico"  $\text{Hg} (0)$  o  $\text{Hg}0$ , es un metal pesado que ocurre en forma natural en el ambiente y que tiene varias formas químicas. El mercurio metálico es un líquido inodoro, de color blanco-plateado brillante. Al calentarlo se transforma en un gas inodoro e incoloro. Posee una densidad de  $13.6 \text{ gr/cm}^3$ . Es el único elemento metálico que es líquido a temperatura ambiente (ATSDR, 1999).

Se presenta en las cadenas tróficas, en dos grupos de especies químicas, inorgánicas y orgánicas, con características toxicológicas diferentes.

De las especies orgánicas, la que más interés tiene es el metil mercurio  $(\text{CH}_3) \text{Hg}^+$ , ya que es la forma más tóxica del mercurio y es acumulado por los animales marinos, y por tanto incorporado a las cadenas tróficas con facilidad (PNUMA, 2005).

El mercurio ambiental proviene de emisiones naturales originadas por los volcanes, de la evaporación a partir de la corteza terrestre y el océano, y de su presencia como constituyente primario de las rocas; también se deriva de diferentes actividades antrópicas, especialmente procesos industriales, minería del oro y uso de combustibles fósiles (Doadrio, 2004).

El mercurio, no es un metal abundante en la corteza terrestre, su concentración se estima en unas 0,5 ppm. Además, hay que destacar, que dentro de las cadenas tróficas, el mercurio sufre procesos de bioconcentración, principalmente en los animales marinos y en los cereales, lo que hay que tener en cuenta como fuente de contaminación accidental (PNUMA, 2005).

#### **2.2.5.1 Comportamiento en el medio ambiente**

Al ingresar al agua, el mercurio metálico se combina con las partículas sólidas, se deposita en el fondo y se acumula en los sedimentos del lecho, su movilidad es baja y varía de acuerdo a la presencia de corrientes de agua. El mercurio no sufre ninguna transformación si el ambiente acuático es de tipo oxidante, sin embargo, la presencia de condiciones que favorezcan la metilación (presencia de materia orgánica, microorganismos del sedimento corrientes de baja energía) permiten su transformación en metilmercurio, el cual es bioacumulado por las algas y el fitoplancton que posteriormente son ingeridos por los peces, en los cuales se bioconcentra, llegando finalmente a ser consumidos por el hombre, incrementando el riesgo de toxicidad por metilmercurio (De Azevedo, F. 2003).

#### **2.2.5.2 Fuentes de contaminación**

Las emisiones de mercurio se pueden agrupar en dos categorías:

Fuente natural es cuando ocurren liberaciones debidas a la movilización natural del mercurio tal como se encuentra en la corteza terrestre, como la actividad volcánica o la erosión en las rocas (PNUMA, 2005).

Fuentes antropogénicas son varias; la utilización del mercurio como fungicida, herbicida y conservante de semillas en agricultura; las papeleras, la industria electroquímica, su uso en pinturas y pilas, la industria de los catalizadores, la combustión de carbones, los vertidos industriales y por las alcantarillas, son las más importantes (Wenddroff, 1990).

Cualquier fuente de mercurio al ambiente implica un elevado riesgo para la salud humana, especialmente la acumulación de compuestos de mercurio inorgánico en el ecosistema acuático ya que pueden darse las condiciones propicias para la metilación del mercurio inorgánico, el cual ingresa a la cadena alimenticia al ser ingerido y bioacumulado en los peces, incrementando el riesgo de toxicidad humana por consumo de pescado contaminado (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

### **2.2.5.3 Vías de entrada y efectos en los seres humanos**

El mercurio puede ingresar al organismo por inhalación, ingestión o por vía dérmica.

Para los compuestos inorgánicos (se disuelven fácilmente en el plasma, sobre todo el  $\text{Hg}^{2+}$ ) y para el mercurio elemental la principal vía de absorción es la inhalatoria. Del total que ingresa en el organismo por esta vía un alto porcentaje se absorbe debido a su gran volatilidad y solubilidad en tejido graso. Por ingestión los compuestos inorgánicos tienen poca absorción, al contrario de los compuestos orgánicos cuya absorción es completa (particularmente la dieta a base de pescados y mariscos) A través de la piel, el mercurio puede ingresar cuando existe la presencia de alguna excoriación o solución de continuidad; sin embargo el ingreso por la piel intacta es difícil (De Azevedo, F. 2003).

Los compuestos orgánicos (metabolización intracelular) también tienen buena absorción por vía inhalatoria y a nivel de tracto gastrointestinal, teniendo en cuenta que su absorción por esta vía puede ser variable. Por último, es importante destacar la difícil absorción dérmica de las especies inorgánicas de mercurio (Smith, D.1990).

El nivel de toxicidad del mercurio en seres humanos y otros organismos varía según la forma química, la cantidad, la vía de exposición y vulnerabilidad, por lo tanto, los síntomas y signos varían según se trate de exposición al mercurio elemental, a los compuestos inorgánicos de mercurio, o a los compuestos orgánicos de mercurio (ATSDR,1999).

En el caso de exposición a compuestos orgánicos de mercurio la principal manifestación es la presencia de alteraciones neurológicas permanentes, las cuales pueden aparecer después de un periodo de latencia de semanas o meses, sin embargo también pueden presentarse síntomas gastrointestinales, temblor, dificultad respiratoria y dermatitis (Cañizares, 2000).

### **2.2.6 Arsénico**

El arsénico (As) es un metaloide del grupo V A de la Tabla Periódica, con un número atómico 33 y peso atómico de 74.9216 (ATSDR, 2003).

Es un elemento natural ampliamente distribuido en la corteza terrestre, encontrado en la atmosfera, suelo, rocas, aguas naturales y organismos. Es movilizado en el medio ambiente a través de una combinación de procesos naturales como reacciones ambientales, actividades biológicas y emisiones volcánicas.

El arsénico ha sido clasificado químicamente como un metaloide, con propiedades tanto de metal como de elemento no-metálico; sin embargo, se le refiere frecuentemente como un metal. El arsénico elemental (llamado también arsénico metálico) es un material sólido de color gris acero. Sin embargo, en el ambiente el arsénico generalmente se encuentra combinado con otros elementos como por ejemplo oxígeno, cloro y azufre, al arsénico combinado con estos elementos se le conoce como arsénico inorgánico. El arsénico combinado con carbono e hidrógeno se conoce como arsénico orgánico. Generalmente se considera que el arsénico inorgánico es más tóxico.

#### **2.2.6.1 Comportamiento en el medio ambiente**

El arsénico ocurre naturalmente en el suelo y en minerales y por lo tanto puede entrar al aire, al agua y al suelo en polvo que levanta el viento; las erupciones volcánicas constituyen otra fuente importante de arsénico.

El arsénico no puede ser destruido en el ambiente, solamente puede cambiar de forma o puede adherirse o separarse de partículas.

Muchos compuestos comunes de arsénico pueden disolverse en agua. Por lo tanto, el arsénico puede pasar a lagos, ríos o al agua subterránea disolviéndose en el agua de lluvia o la nieve o en desagües industriales. Cierta cantidad de arsénico se adherirá a partículas en el agua o a sedimento del fondo de lagos o ríos, mientras que otra porción será arrastrada por el agua. Al final, la mayor parte del arsénico termina en el suelo o en el sedimento. Aunque algunos peces y mariscos incorporan arsénico que puede acumularse en los tejidos, la mayor parte de este arsénico se encuentra en una forma orgánica llamada arsenobetaina (llamada comúnmente arsénico de pez) que es mucho menos toxica (ATSDR, 2003).

### **2.2.6.2 Fuentes de contaminación**

La liberación del arsénico al ambiente es el resultado tanto de las actividades humanas como de las actividades naturales. La principal fuente natural los constituyen las rocas de origen volcánico cuyo proceso de erosión libera este elemento; también se encuentra en rocas marítimas sedimentarias, yacimientos hidrometales y combustibles fósiles, incluyendo carbón y petróleo.

Las fuentes más comunes de arsénico encontradas en el suelo son minerales como la arsenopirita y el oropimente, los cuales son el punto de partida para la introducción de arsénico en el agua.

Las fuentes antropogénicas han alterado el ciclo global del arsénico en el medio ambiente elevando su concentración. En el suelo el arsénico es usado en un gran número de compuestos en la agricultura como agente contra parásitos, malezas; también ha tenido impacto en la presencia de subproductos de minería y fundición de metales no ferrosos, procesamiento y quema de combustibles fósiles, conservadores de madera, entre otros, provocando que se deposite gradualmente en el suelo, contaminando las aguas subterráneas (Narváez Suarez, 2009).

### **2.2.6.3 Vías de entrada y efectos en los humanos**

Las principales vías de ingreso al organismos en orden de importancia son la digestiva relacionada con el consumo de agua y alimentos, la inhalatoria y la vía cutánea especialmente tratándose de cloruro de arsénico (OCHIAI, E. 1985).

La introducción del arsénico inorgánico y sus compuestos en los seres humanos, ocurre principalmente por la ingestión, luego de la absorción a través del tracto gastrointestinal, el arsénico se distribuye rápidamente por la sangre hacia todos los órganos y tejidos, excepto cabello y uñas, en donde si hay una mayor retención, aunque después de la exposición puede concentrarse más en el hígado, riñón, corazón y pulmones (Foá, et al, 1987). En bajas cantidades es almacenado en musculo y tejido nervioso, este metal ha sido considerado como un carcinógeno principalmente relacionado con cáncer del pulmón, riñón, vesícula biliar y piel (EPA, 2007).

La toxicidad del arsénico depende básicamente del tipo de compuesto (orgánico o inorgánico) y de su estado de oxidación; en general los compuestos del arsénico inorgánicos son más tóxicos que los orgánicos. Los efectos del arsénico pueden ser inmediatos si la dosis es alta o a largo plazo si la dosis es baja.

### **Signos y síntomas asociados con la toxicidad del arsénico en humanos**

Toxicidad por rápida absorción de una gran cantidad de producto puede producir:

- Cuadro neurológico paralítico sin presentar vómitos ni diarrea. Intoxicación aguda aparece un cuadro gastrointestinal: vómitos, diarreas, intensos dolores abdominales, fiebre, insomnio, anemia, hepatomegalia, melanosis, alteraciones cardiacas, pérdida de sensibilidad del sistema nervioso (síntoma más frecuente).
- Intoxicación crónica o por dosis repetidas produce alteraciones de piel como melanosis, hiperqueratosis, conjuntivitis, necrosis corneal, gangrena de extremidades, perforación del tabique nasal, alteraciones hepáticas y cardiovasculares.
- Intoxicación crónica produce efectos multisistémicos tales como: fatiga, gastroenteritis, leucopenia, anemia, elevación de transaminasas, hipertensión portal, neuropatía periférica \ sensoriomotora, insuficiencia vascular periférica.

### **2.2.7 Efecto de la contaminación en el ecosistema marino**

El planeta es fundamentalmente acuático en donde el océano cubre más de dos terceras partes de la superficie de la Tierra y contienen vida animal que compara con la de los bosques tropicales en su diversidad de especies (CICEANA, 2008).

Los pastos marinos y los arrecifes de coral que se encuentran cercanos a la costa están expuestos a sedimentos y contaminantes, los cuales se acumulan encima de ellos, ahogándolos y creando barreras que impiden la penetración de la luz, fuente vital de vida para estos organismos.

Esto ocasiona la destrucción de los arrecifes de coral y los pastos marinos, que son recursos importantes para la alimentación y la protección de las diferentes especies marinas, incluyendo a las tortugas marinas. Adicionalmente, estos hábitats también están siendo



afectados por los efectos del calentamiento global, en especial porque aumenta el nivel de los océanos y la temperatura de las aguas, provocando lo que se llama blanqueamiento de corales, que ocasiona la muerte de estos organismos (IFAW, 2011).

### 2.2.7.1 Los metales pesados y su efecto en las tortugas marinas

Como menciona Ley Quiñonez, 2009 dependiendo del tipo de elemento y su concentración pueden ser clasificados en ligeros, de esencial transición y en tóxicos. Mientras que unos son necesarios para la formación de algunos tejidos, otros son indispensables para ciertos procesos metabólicos del organismo, mientras que los últimos no son requeridos para procesos fisiológicos y aun en bajas concentraciones pueden ser perjudiciales para la salud.

Entre las partes más estudiadas de los animales para el muestreo de metales pesados se cita el hígado, riñón, masa encefálica y el hueso principalmente, sin embargo, obtener este tipo de muestras implica casi en la totalidad de los casos, el sacrificar a los individuos, de ahí la necesidad de recurrir a tejidos u otros productos metabólicos para la obtención de la muestra sin dañar el organismo (Ley Quiñonez, 2009).

En el cuadro 4 se muestran diferentes estudios realizados en tortugas marinas para con el fin de determinar las concentración de metales pesados y las muestras procesadas.

**Cuadro 4.** Estudios sobre las concentraciones de metales pesados en tortugas marinas.

Especie	Autor	Zn	Pb	Cd	Ni	As	Mn	Cu	Se
HIGADO									
<b>C. mydas</b>	<b>Aguirre et al. (1994)</b>	NA	ND	9.30	NA	NA	NA	17.90	NA
	<b>Gardner et al. (2006)</b>	62.04	ND	14.35	0.01	NA	0.06	60.04	NA
	<b>Storelli et al. (2005)</b>	29.30	0.16	3.36	NA	NA	NA	7.69	3.54
<b>C. caretta</b>	<b>Cardner et al (2006)</b>	69.14	ND	1.75	0.35	NA	1.29	33.94	NA
	<b>Saeki et al (2000)</b>	NA	NA	NA	NA	4.94	NA	NA	NA
<b>E. imbricata</b>	<b>Gardner et al. (2006)</b>	25.89	ND	0.49	2.48	NA	0.74	2.47	NA
	<b>Frias-Espericueta (2006)</b>	NA	3.32	3.28	NA	NA	NA	8.20	NA
<b>L. olivácea</b>	<b>Cardner et al. (2006)</b>	47.14	ND	17.89	0.58	NA	0.10	36.73	NA
RINON									
<b>C. mydas</b>	<b>Sakai et al. (2000)</b>	22.80	0.18	38.50	0.61	NA	1.21	2.15	NA
	<b>Cardner et al. (2006)</b>	128.0	0.01	121.0	1.15	NA	0.31	5.67	NA
	<b>Storelli et al. (2005)</b>	23.10	0.12	8.36	NA	NA	NA	1.21	2.20

<b>C. caretta</b>	<b>Gardner et al. (2006)</b>	32.47	0.03	73.11	0.04	NA	0.00	4.35	NA
	<b>Saeki et al. (200)</b>	NA	NA	NA	NA	8.63	NA	NA	NA
<b>E. imbricata</b>	<b>Gardner et al. (2006)</b>	82.15	0.03	4.20	0.02	NA	7.62	3.89	NA
	<b>Frias-Espericueta (2006)</b>	NA	4.46	5.28	NA	NA	NA	6.40	NA
<b>L. olivácea</b>	<b>Gardner et al. (2006)</b>	6.85	ND	60.03	1.61	NA	65.31	4.86	NA
MUSCULO									
<b>C. mydas</b>	<b>Sakai et al. (2000)</b>	3.30	<0.03	0.05	<0.03	NA	5.28	0.353	NA
	<b>Gardner et al. (2006)</b>	38.26	0.01	0.01	0.03	NA	0.003	0.03	NA
	<b>Storelli et al. (2005)</b>	27.9	0.04	0.07	NA	NA	NA	0.59	1.65
<b>C. caretta</b>	<b>Gardner et al. (2006)</b>	31.11	0.01	0.01	0.01	NA	0.84	0.41	NA
	<b>Saeki et al. (200)</b>	NA	NA	NA	NA	23.1	NA	NA	NA
<b>E. imbricata</b>	<b>Cardner et al. (2006)</b>	102.0	0.38	1.02	ND	NA	1.78	1.28	NA
	<b>Frias-Espericueta (2006)</b>	NA	1.78	2.60	NA	NA	NA	3.10	NA
<b>L. olivácea</b>	<b>Gardner et al. (2006)</b>	85.78	ND	0.18	0.01	NA	0.77	3.68	NA

Nota: Concentraciones en  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; ND= No Detectado; NA= No Analizado

Fuente: Ley Quiñonez, 2009

Aunque no se conoce con certeza cuáles son los efectos nocivos de la contaminación del mar y de la zona costera, se sabe que en algunos mamíferos marinos y también en las tortugas marinas, la presencia de plaguicidas y de metales pesados disminuye la capacidad de estos animales para enfrentar enfermedades, pues se afecta el sistema inmunológico, que es el encargado de producir las “defensas” del organismo. Estudios recientes también indican que la enfermedad que causa tumores en las tortugas, conocida como fibropapilomas, puede estar relacionada con la contaminación de las aguas costeras o incluso del mar abierto (IFAW, 2011).

Todas las etapas del ciclo de vida de las tortugas marinas puede verse afectadas seriamente por los efectos dañinos de la exploración y explotación petrolera y de los desechos provenientes de los barcos, debido no solo a que entran en contacto directo con las tortugas, sino también porque destruyen sus ambientes naturales. Teniendo en cuenta registros de varamientos, las tortugas carey son más propensas a verse afectadas por el alquitrán y aceites que otras especies de tortugas marinas. Estas sustancias pueden ser ingeridas e interferir con la función intestinal causando serios problemas de toxicidad; también pueden adherirse externamente, disminuyendo la movilidad de las aletas y provocando necrosis y desprendimiento del tejido (Revuelta y Tomás, J. 2010).

## **2.3 La Bahía de Jiquilisco-Xiriualtique**

### **2.3.1 Generalidades**

El estuario o laguna costera es conocido oficialmente como Bahía de Jiquilisco (MARN, 2004) constituye la mayor extensión de agua salobre (mezcla de agua dulce y salada) y bosque salado de El Salvador, está formada por numerosos esteros y canales, barras de arena y playas, un numeroso conjunto de islas de diverso tamaño, un complejo lagunar de agua dulce y bosques estacionalmente saturados conectados con el manglar. (OIRSA, 2007)

Una de las razones para considerar este ecosistema como laguna costera es la influencia que ríos como el Lempa y Grande de San Miguel, además de otros de menor caudal, provocan al desembocar sus aguas en la Bahía; esto genera una mezcla de aguas dulces y saladas, lo que suscita una gama de hábitat en los que se da una mayor diversidad (MARN, 2003).

Constituye el hábitat de la gran mayoría de aves marino-costeras del país, así como el único sitio de anidación para algunas de ellas (Quezada, L. 1996). Se han identificado especies de fauna en peligro de extinción local, a la vez cumple una función muy importante como prevención de catástrofes naturales por qué sirve como una barrera de amortiguamiento en caso de fuertes vientos y mareas, terremotos; las raíces de los manglares contribuyen a la estabilización del suelo y evitan su erosión (OIRSA, 2007).

El área natural protegida pertenece al departamento de Usulután y se adscribe política y administrativamente a los municipios de Jiquilisco (83,39 habitantes/Km<sup>2</sup>), Puerto El Triunfo (98,38 habitantes/Km<sup>2</sup>), Usulután (447 habitantes/Km<sup>2</sup>), San Dionisio (87,29 habitantes/Km<sup>2</sup>), Concepción Batres (136 habitantes/Km<sup>2</sup>) y Jucuaran (54,42 habitantes/Km<sup>2</sup>), los cuales pertenecen al mismo departamento (Figura 13). Los municipios a la vez se dividen en cantones, siendo 31 los que se encuentran en contacto con la zona húmeda. La superficie del Humedal comprende 31,699 hectáreas a una altitud de 0 m.s.n.m. Su región hidrográfica se encuentra entre los ríos Lempa y Grande de San Miguel y la situada entre estos (Díaz, I et al. 2003).



**Figura 12.** Cantones e islas de la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.

La Bahía de Jiquilisco fue declarada Humedal de Importancia Internacional por la Convención Ramsar el 31 de Octubre de 2005, convirtiéndose así en el segundo humedal para El Salvador y el número 1586 para la Convención Ramsar, ya que constituye la mayor extensión perenne de hábitats de humedales en El Salvador (La Convención de Ramsar y su misión. 2012) También fue declarada Reserva de la Biosfera por la UNESCO en el 2007.

### 2.3.2 Reseña histórica

La Bahía de Jiquilisco, se enmarca en lo que históricamente fue la gran región habitada por el grupo Poton (Lenca-salvadoreño), uno de los principales grupos etnolingüísticos que habitaban el territorio salvadoreño al momento de la conquista, la cual abarcaba el territorio al oriente del país. Antiguamente la bahía era conocida como Xiriualtique, que en idioma poton, significa “lugar en la bahía de las estrellas”; proviene de xiri, estrella; ual, agua, río, bahía; y tique, cerro, sufijo de lugar (Díaz, I et al. 2003).

Aunque el nombre original del Municipio de Jiquilisco era en potonXiquilisco, “hombres del xiquilit”; de las raíces xiquilit, índigo, jiquilite (planta de la cual se extrae la tinta de añil), durante el auge del cultivo y comercialización del añil en este lugar y en la región no se

extendió dicha planta. El Jiquilite fue cultivado en zona norte de la cordillera Tecapa-Chimaneca. La palabra “Jiquilisco” es traducida como el “pueblo de los hombres que cultivan el índigo y benefician el añil”. (Blandón de Grajeda, F.1999).

Históricamente la bahía de Jiquilisco ha tenido una gran importancia para la economía del país, tanto por la producción agrícola como por la extracción de los productos del mar: sal, camarón y peces. Constituyo una de las zonas más importantes para la producción de sal en El Salvador y Centroamérica.

A partir de 1950 la parte costera de Jiquilisco caracterizada por su alto riesgo de inundaciones, experimentó un cambio en el uso del suelo y se dedicó a la expansión del cultivo de algodón provocando así una fuerte migración de campesinos desde la zona norte de El Salvador hacia la zona costera. Los municipios de Jiquilisco y Jucuarán, eran consideradas las principales zonas productoras de algodón de El Salvador (Chávez-Molina, L.M. et al. 2012).

La expansión del algodón provocó cambios importantes en la economía y medio ambiente del país atribuyéndosele la disminución de la producción pesquera en la década de los setentas (MARN, 2003).

### **2.3.3 Características biofísicas de la región**

#### **2.3.3.1 Coordenadas geográficas (latitud / longitud)**

Se ubica al costado Sur-oriente de El Salvador en el Departamento de Usulután en las coordenadas: 13° 13´ Latitud Norte y 88° 32´ Longitud Oeste en la parte central, 13° 15´ Latitud Norte y 88° 49´ Longitud Oeste en el Sur occidente y 13° 15´ Latitud Norte y 88° 21´ Longitud Oeste en el extremo nororiental (MARN, 2004; OIRSA, 2007).

#### **2.3.3.2 Geología y geomorfología**

Se encuentra situada en la llanura aluvial costera. La topografía de la Bahía y la llanura aluvial costera a la cual pertenece es plana o poco ondulada y ha sido formada por el depósito de materiales arrastrados por el agua lluvia o por la acción del viento.

Esta topografía pasa de plana a ondulada o montañosa en la parte de la cordillera meridional costera (Cordillera de Jucuarán)

Las formaciones geológicas presentes en la zona son las siguientes: (MARN, 2003)

- Depósito de estuario con o sin manglares
- Depósito sedimentarios del Cuaternario
- Efusivas básicas intermedias
- Efusivas básicas-intermedias, piroclásticas volcánicas subordinadas (estratos no diferenciados y edificios volcánicos)
- Efusivas básicas intermedias
- Epiclástitas volcánicas y piroclásticas, localmente efusivas básicas-intermedias intercaladas
- Piroclásticas ácidas, epiclástitas volcánicas (tobas color café )
- Piroclásticas ácidas, epiclástitas volcánicas: localmente efusivas básicas intermedias
- Playa: barra costera con nivel antiguo de costa
- Suelo anmoor

#### **2.3.3.3 Clima**

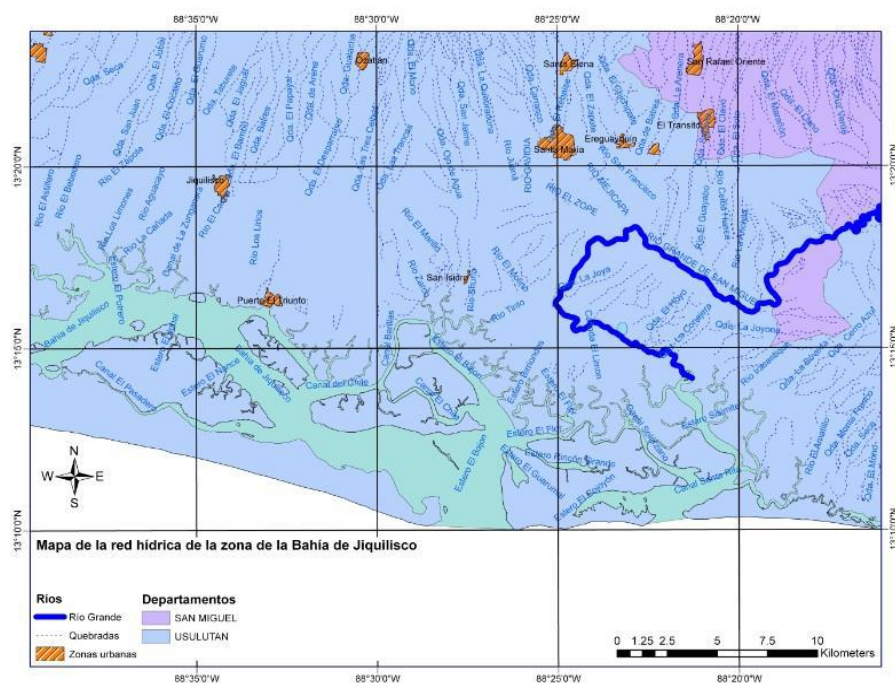
La Reserva de la Biosfera Xiriualtike - Jiquilisco pertenece a la zona climática de los trópicos semi-húmedos. Según la clasificación climática de Köppen pertenece a la Sabana Tropical Caliente, que corresponde a una altitud de 0 a 800 m (UNESCO, 2007).

Los datos climáticos corresponden a los registros recogidos en tres estaciones meteorológicas situadas en el área: Puerto Parada, San Juan del Gozo, Puerto El Triunfo. La época de lluvias está más o menos bien definida con dos máximos en los meses de junio y septiembre, existiendo normalmente una canícula a finales de julio. Las precipitaciones pueden oscilar entre 1,660 mm en puerto Parada y 2,019mm en Jiquilisco. Los vientos que soplan normalmente en la zona alcanzan una velocidad promedio de 7 km/h. clasificado como muy débil. Las temperaturas medias anuales son de 28.3°C con un máximo de 36°C y siempre con temperaturas medias mensuales superiores a los 20°C. La humedad relativa en el área es de un 68% y la luz solar es de 7.8 h/día. (Jiménez y Sánchez 2012).

#### **2.3.3.4 Aspectos hidrológicos**

En referencia a la hidrología de la Bahía de Jiquilisco se puede decir que drena una gran cantidad de cuencas hidrográficas que van desde la desembocadura del Río Lempa y las cuencas que forman la bahía, a parte de la del Río Grande de San Miguel.

Estas cuencas hidrográficas se dividen en tres: La del río Lempa (la subcuenca de la desembocadura que es la que afecta directamente a la Bahía de Jiquilisco posee una superficie de 10674.125 has), la comprendida entre el río Lempa y el Grande de San Miguel (formada por varias cuencas); y la del río Grande de San Miguel (superficie de 2,246.8 km<sup>2</sup> y su curso principal mide 126.5 Km) (Figura 14; MARN, 2004).



**Figura 13.** Mapa hidrológico de la Bahía de Jiquilisco  
(Fuente: Sistema de Información Geográfica. 2010)

### 2.3.4 Biodiversidad de la Bahía

La biodiversidad de la Bahía de Jiquilisco abarca una amplia variedad de seres vivos y patrones naturales que la conforman, resultado de millones de años de evolución según procesos naturales y también de la influencia creciente de las actividades del ser humano.

Se encuentra formando parte del Gran Paisaje de la Planicie Costera, subunidad de Usulután y del Gran Paisaje de la Cadena Costera, subunidad Macizo de Jucuaran dentro de la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical Caliente (Díaz, I et al. 2003).

De los 17 tipos de vegetación descritos para el Salvador según la clasificación de la UNESCO (1973) adoptada por la CCAD-MARN en 2001 en la Bahía de Jiquilisco se encuentran los siguientes:

- Vegetación Cerrada principalmente siempre verde, Manglar. (18.720 ha);
- Vegetación cerrada principalmente siempre verde tropical ombrófila estacionalmente Saturada (569,3 ha.);
- Vegetación Abierta Predominantemente Decidua con árboles y arbustos de Costa o Playa (Marina o Dulceacuícola) (400 ha);
- Vegetación Cerrada Principalmente Siempre verde Tropical Ombrofila Riparia (40 ha);
- Áreas de escasa vegetación en acumulaciones arenosas Duna Costera-Litoral de muy pequeña extensión (se desconoce su área total) (Díaz, I et al. 2003).

Las formaciones marinas de la bahía y de la plataforma continental, con profundidades menores de 6 metros sobre el nivel del mar, y que incluyen el lecho marino y la masa acuática sobre el mismo son sumamente ricas en biodiversidad, siendo el hábitat de desarrollo, alimento y refugio de especies de peces, crustáceos, moluscos y tortugas (OIRSA, 2007).

#### **2.3.4.1 Principales especies de flora:**

Formaciones de Manglar: Las especies que conforman el manglar de Jiquilisco son el “mangle colorado” (*Rhizophora mangle*), “mangle rojo” (*Rhizophora racemosa*), (*Rhizophora harrizinii*), “madresal” (*Avicennia germinans*), (*Avicennia bicolor*), “botoncillo” (*Conocarpus erecta*), e “istaten” (*Laguncularia racemosa*) (Quezada, L. 1996; Díaz, I et al. 2003).

En los bosques estacionalmente saturados destaca el mangle de agua dulce (*Bravaisia integerrima*), especie amenazada (Díaz, I et al. 2003).

En la Vegetación Abierta Predominantemente Decidua con árboles y arbustos de Costa o Playa, destacan el papaturro (*Coccoloba floribunda*, *Coccoloba caracassana*) ojo de venado (*Mucunaholtonii*), mongollano (*Pithecellobium dulce*) y carbón (*Prosopis juliflora*) (Díaz, I et al. 2003).

En la Vegetación Cerrada Principalmente Siempre verde Tropical Ombrofila se encuentran diversas especies de *Ficus sp.*, “hule” (*Castilla elastica*), “iscanal” (*Acacia hindsii*), “aguijote” (*Erythrina glauca*), “huesito” (*Phyllanthus brasiliensis*), “huiscoyol” (*Bactris sub globosa*), que se ven amenazadas por la presión que se ejerce sobre este ecosistema (Díaz, I et al. 2003).



### 2.3.4.2 Principales especies de fauna:

Las especies más representativas de la Bahía de Jiquilisco son:

- Tres especies de bivalvos del género *Anadara*: curil (*A. similis*), concha negra (*A. tuberculosa*) y casco de burro (*A. grandis*), con un alto valor comercial y de los cuales, el casco de burro, está considerado en peligro de extinción por sobreexplotación (MARN, 2003; Díaz, I et al. 2003).
- De las 12 especies de anfibios reportadas para esta área 4 se encuentran amenazadas: *Hylarobertmertensi*, *Leptodactylus melanonotus*, *Physalaemus pustulosus*, *Rana forreri*.
- En las playas de la península de San Juan del Gozo, Isla San Sebastián, Isla Madresal y El Espino se ha confirmado el anidamiento de tortuga verde, tortuga carey, tortuga golfina y tortuga baule. Todas ellas consideradas en peligro de extinción por el “Listado oficial de las especies de fauna vertebrada amenazada y en peligro de extinción en El Salvador” de 2011. Las cuatro especies sufren sobrepredación de huevos en toda la bahía, mortandad de adultos en la franja costera por los barcos camaroneros arrastreros y pérdida de hábitat de anidación en lugares como El Espino (Díaz, I et al. 2003).
- La bahía de Jiquilisco sirve como refugio de dos especies de *Crocodylia* catalogados como en peligro de extinción en el país: el cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) y el caimán (*Caiman crocodilus*) (Listado Oficial, 2011).
- Los bosques aluviales de Normandía, Chahuantique y el Tercio, junto con sus manglares cercanos o aledaños sirven como uno de los últimos refugios de la única especie de primate neotropical presente en El Salvador: el mono araña (*Ateles geoffroyi*) (Jiménez, I. y L. Sánchez-Mármol, 2004).

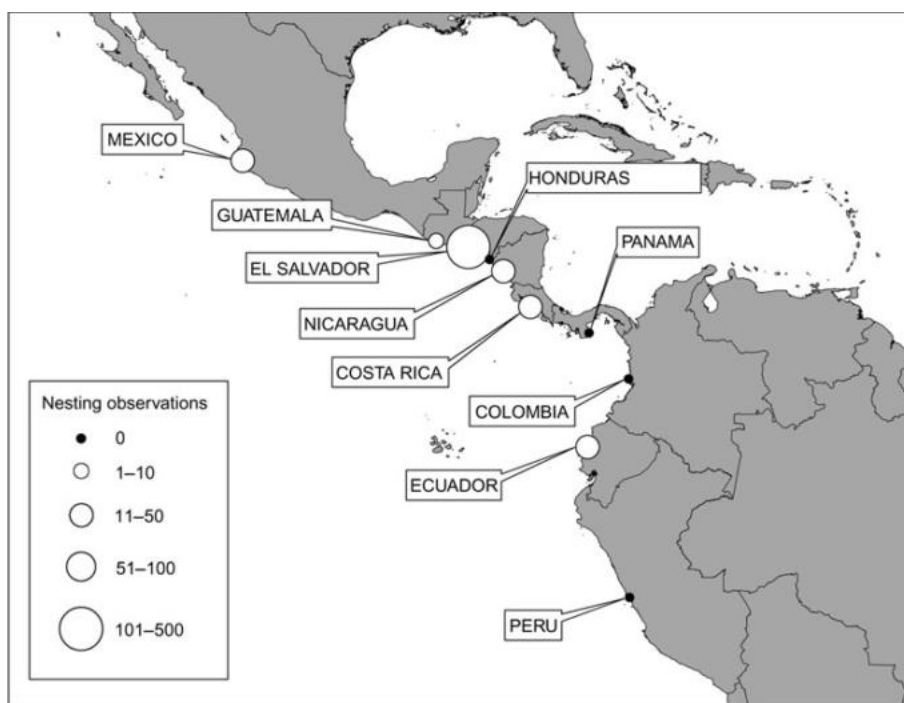
### 2.3.5 La Bahía de Jiquilisco y la tortuga Carey

Las tortugas carey se encuentran raramente o incluso están ausentes en la mayoría de los sitios del Pacífico Oriental. Por muchos años, se creyó que la población estaba a punto de extinguirse. Sin embargo, varios nuevos descubrimientos han identificado sitios importantes de anidación en El Salvador, Nicaragua, y Ecuador. Juntos, estos sitios tienen entre 400 y 600 nidos por año (Liles et al. 2011).

En El Salvador, específicamente la Bahía de Jiquilisco, hábitat de una gran diversidad de especies terrestres vinculadas a los cuerpos acuáticos y aéreas costeras, se ha corroborado que cuatro de las siete especies de tortugas marinas conocidas mundialmente visitan la bahía para su anidación, dentro de ellas la tortuga carey. Los 37 kilómetros de extensión de

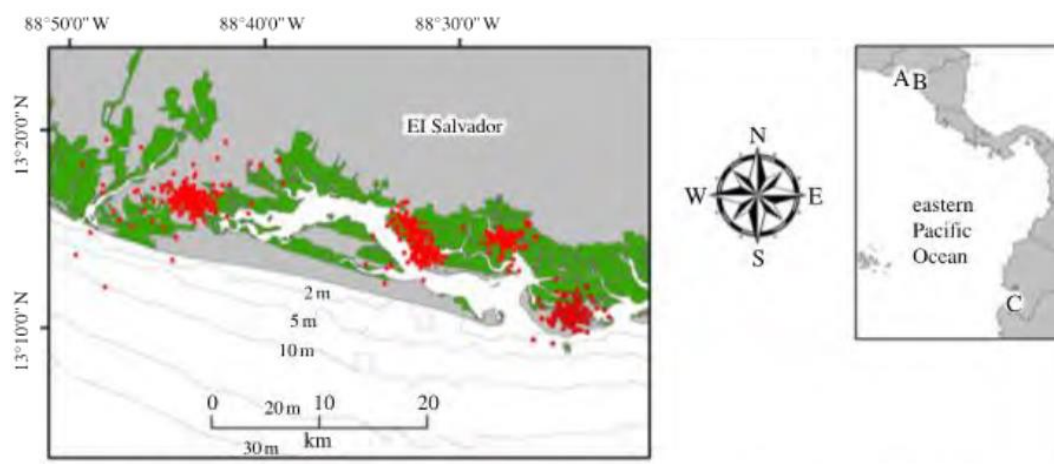
hábitat de anidación de tortugas carey en el Bahía incluye 5 playas de fina arena y abundante vegetación, de las cuales 4 son insulares. La mayoría de las playas son poco profundas inclinada y estrecha, con la excepción de Isla Madresal e Isla San Sebastián, respectivamente (Liles, et al, 2011).

Teniendo en cuenta los registros desde el 1 de Enero de 2007 al 31 mayo de 2009, El Salvador acoge la mayoría de la actividad conocida sobre anidaciones de la tortuga Carey en el Pacífico Oriental, con el 79,6% de todos los registros de observación de anidación (Gaos, et al, 2010). En 2008, un total de 310 eventos de anidación de tortuga Carey se registraron a lo largo de la costa salvadoreña, siendo la Bahía, por mucho, la zona más frecuentada de tortuga, que contiene 61,9% de todos los nidos (Liles, et al, 2011), aunque para el año 2009 este número se redujo casi en un 50% siendo el total de anidaciones de 195 (Altamirano, E. J. et al 2010). Pero durante el 2012, solo en la Bahía de Jiquilisco, se reportaron datos record con respecto a otros años, referentes al número de nidos protegidos (185), tasa de eclosión (59%), número de neonatos producidos (17,836) y número de hembras anidantes marcadas (36) (Liles, M. 2012).



**Figura 14.** Área de estudio del Pacífico oriental, con el total de anidaciones reportadas por país de tortuga Carey (2007-2009)

Las tortugas Carey no solo visitan las aguas de la Bahía de Jiquilisco en busca de alimento sino que también utilizan sus costas como principal sitio de anidación en todo el Pacífico Oriental. (Gaos, et al, 2010)



**Figura 15.** Las áreas de forrajeo dentro de los esteros con manglares utilizados por 10 tortugas Carey en la Bahía Jiquilisco- Xiriualtique, El Salvador. Las áreas con sombra verde se refieren a esteros con manglares y los puntos rojos son avistamientos de carey.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Descripción de la investigación

##### 3.1.1 Localización de la investigación

Este estudio se realizó en seis sitios de anidación ubicados en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador (Figura 1). Se muestrearon 28 hembras de tortuga Carey anidantes de la zona, 21 de la Isla Punta San Juan, tres la Isla Las Isletas, dos de la Isla San Sebastián, una de la Isla El Icaco, y una de la Isla Rancho Teja.

La Bahía de Jiquilisco está ubicada al costado Sur-oriente de El Salvador en las coordenadas: 13° 13' Latitud Norte y 88° 32' Longitud Oeste en la parte central, 13° 15' Latitud Norte y 88° 49' Longitud Oeste en el Sur occidente y 13° 15' Latitud Norte y 88° 21' Longitud Oeste en el extremo nororiental, a 90 metros sobre el nivel del mar (MARN, 2004).

##### 3.1.2 Descripción del estudio

El estudio fue realizado durante los meses de Octubre a Diciembre del año 2013, consistió en la determinación de la presencia de tres metales pesados: plomo, mercurio y arsénico en muestras de sangre tomadas de hembras anidantes de tortugas Carey a través de la medición de la concentración de dichos metales, mediante la técnica de Espectroscopia de

Absorción Atómica (AAS) con el uso de un generador de hidruros para arsénico y mercurio; el plomo fue determinado mediante horno de grafito.

## **3.2 METODOLOGÍA DE CAMPO**

### **3.2.1 Rutas de vigilancia**

Se utilizó como centro de operaciones las instalaciones de Iniciativa Carey del Pacífico Oriental (ICAPO) ubicada en la Pirraya dentro de la Isla San Sebastián, a partir de ahí se realizaron rutas de vigilancia nocturnas y monitoreos desde las 18:00 a las 06:00 en las Islas San Sebastián, Isla Madre Sal y Punta San Juan del Gozo con la colaboración de careyeros y habitantes de la zona. Para el desplazamiento se hizo uso de lanchas en caso de que fuese notificado un avistamiento de tortuga en las otras islas: Las Isletas, El Icaco y Rancho Teja. En el caso de que el espécimen no estuviese identificada se procedió al marcaje, luego de que dicha tortuga depositara los huevos y se procedió a la toma de la muestra sanguínea y demás datos.

### **3.2.2 Tortugas en estudio**

Se muestrearon 29 hembras de tortuga Carey anidantes de la zona, 22 de Punta San Juan, tres de Las Isletas, dos de San Sebastián, una de El Icaco, y una de Rancho Teja.

### **3.2.3 Toma de muestras de sangre**

Para la extracción de la muestra sanguínea de las tortugas se utilizaron jeringas de 3 ml con agujas de calibre 21 x 1 ½ pulgadas, tubos tipo vacutainer® con vacío, conteniendo heparina de litio como agente anticoagulante, el momento de la toma de la muestra fue posterior a la ovoposición, además se muestrearon las hembras que por algún motivo no ovopositaron. Se desinfecto cuidadosamente el cuello con alcohol etílico al 90%, la aguja se introdujo de manera inclinada (45 grados con respecto al plano del cuello) evitando en lo posible mover la aguja para no provocar un daño innecesario en el tejido (Eckert *et al.*, 2000). El volumen de la muestra sanguínea extraído fue de un mililitro, tomado del seno cervical dorsal, ubicado paralelamente a la columna vertebral de las tortugas. Consecutivamente las muestras fueron etiquetadas con el número de identificación correspondiente a cada espécimen, la primera muestra fue la 2013001 y así sucesivamente hasta lograr el total de muestras, luego fueron depositadas en hielera a una temperatura de 4 - 6°C procurando no perder la cadena de frío por medio de gel refrigerante. Posteriormente la muestra sanguínea fue depositada en criotubos de 1 ml los cuales fueron almacenados en un termo con nitrógeno líquido hasta ser

enviadas al Laboratorio de Diagnóstico de la Universidad de California en EE.UU para su análisis.

#### **3.2.4 Registro e identificación de las tortugas**

Las medidas de largo curvo del caparazón (LCC) y ancho curvo del caparazón (ACC) (Anexo A -6) se tomaron preferiblemente al momento de culminación del desove. Para obtener estos datos se removió la arena del caparazón de la tortuga y se utilizó una cinta métrica flexible. En el caso que las tortugas que no contaran con un registro previo por parte de ICAPO se procedió al marcaje de las mismas con placas metálicas externas que tienen códigos únicos para su identificación (Inconel) (Figura A - 7). El sitio para el marcado fue en ambas aletas anteriores, en la segunda escama grande del borde posterior de la aleta (Figura A - 8). Además se tomaron en cuenta otros registros como fecha, lugar y hora de anidación, si era tortuga neófita o remigrante, número total de huevos puestos y, observaciones morfológicas del espécimen tales como cicatrices, parásitos, tumores entre otros (Anexo 1).

#### **3.2.5 Traslado y envío de muestras**

Semanalmente las muestras eran transportadas en el termo con nitrógeno líquido al Centro de Investigación y Desarrollo en Salud de la Universidad de El Salvador (CENSALUD) en donde eran almacenadas en un congelador a 4 – 8 °C. Al completar el total de muestras estas por medio del número de identificación fueron verificadas nuevamente para evitar cualquier error. Con anticipación se realizó el papeleo y permisos en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales para sacar las muestras del país (Figura A - 10) una vez que todo estuvo listo se colocaron las muestras sanguíneas en bolsas tipo ziploc® debidamente selladas e identificadas, en una hilera con cuatro libras de hielo seco (Figura A - 11).

### **3.3 METODOLOGÍA DE LABORATORIO**

Las muestras fueron enviadas vía aérea al Laboratorio de Diagnóstico de la Universidad de California en Estados Unidos con un rango de espera para ser analizadas de un día para no perder las características de cada una de las muestras.

Una vez situadas en el lugar del análisis, se determinó arsénico y mercurio por espectroscopia de absorción atómica (AAS) y plomo con el uso de la generación de hidruro (800 Aanalyst AA, Perkin Elmer). Las técnicas se describen en Anexo 2.

### 3.4 METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

Con el propósito de organizar la información obtenida para el análisis estadístico, de las variables en estudio largo curvo del caparazón, ancho curvo del caparazón y concentración de los metales arsénico, plomo y mercurio se utilizó el método descriptivo, cuadros de análisis, tablas de contingencia, utilizando las medidas de tendencia central (la media) además de correlaciones y análisis de chi cuadrado para determinar si existió relación entre las variables estudiadas, para ello se hizo uso del programa SPSS versión 20.

#### 3.4.1. Variables en estudio

- **Largo curvo del caparazón (LCC):** Es una medida expresada en centímetros que se tomó directamente a la tortuga a lo largo de su caparazón haciendo el uso de una cinta métrica.
- **Ancho curvo del caparazón (ACC):** Medida expresada en centímetros que se tomó directamente a la tortuga a lo ancho de su caparazón haciendo el uso de una cinta métrica.
- **Concentración de metales:** Medida expresada en partes por millón (ppm).

#### 3.4.2. Relación entre variables

Relación de LCC con:

- Arsénico
- Plomo
- Mercurio

Relación de ACC con:

- Arsénico
- Plomo
- Mercurio

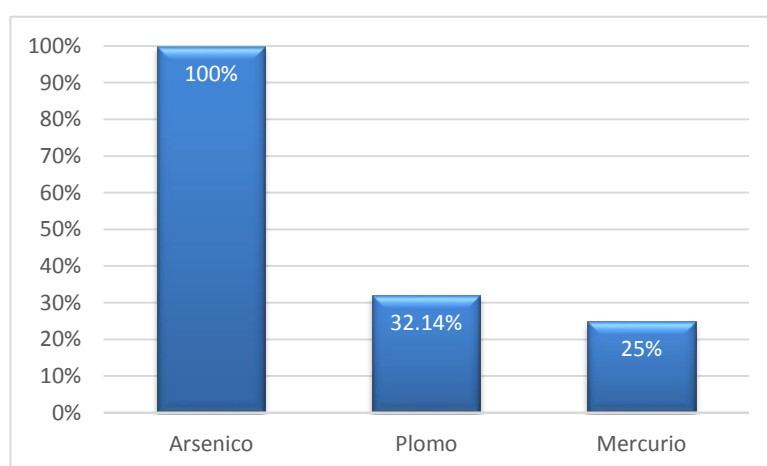
## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de resultados se realizó tomando como población de estudio un total de 28 tortugas ya que el volumen sanguíneo de una de las 29 tortugas muestreadas (Muestra 2013001) resulto ser insuficiente para practicar los análisis respectivos.

#### 4.1 Presencia de metales pesados

Las concentraciones de los metales tóxicos no esenciales detectados en la presente investigación, fueron: arsénico (Ar), plomo (Pb) y mercurio (Hg), según las concentraciones promedio en la sangre de los individuos muestreados.

El arsénico fue el metal más abundante, encontrándose en todos los individuos (100 % de las muestras analizadas). El plomo fue el segundo metal con mayor concentración promedio en los individuos con un porcentaje general del 32.14 %, y para el mercurio se reportó un 25 % del total de las muestras analizadas (Figura 16).



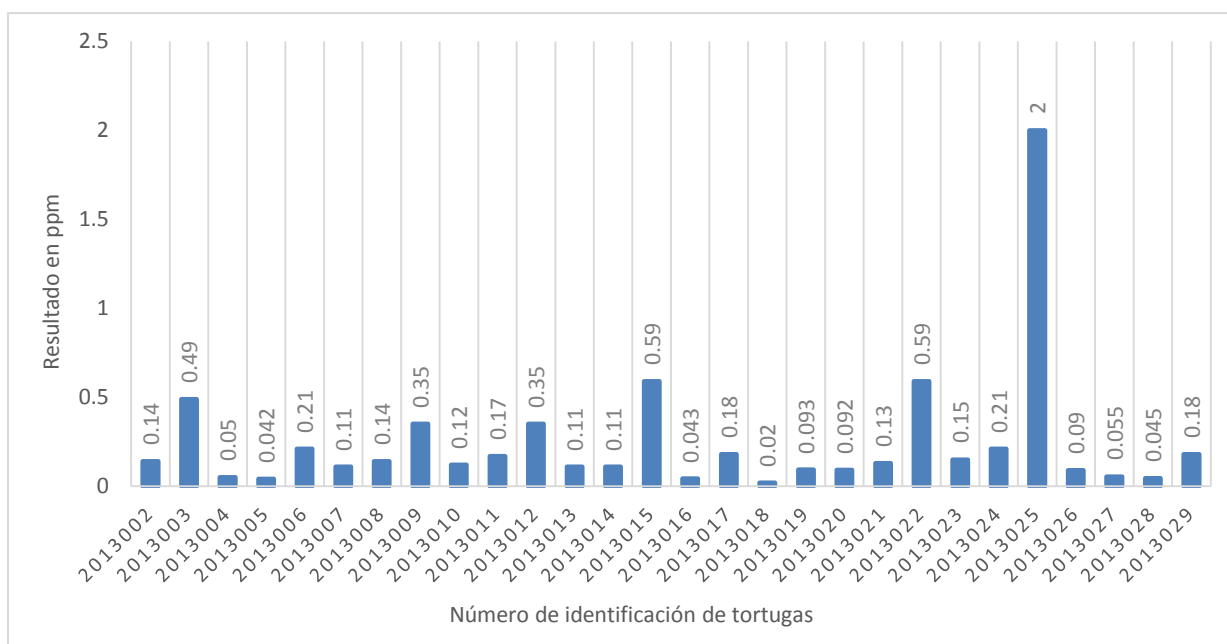
**Figura 16.** Porcentaje general de la presencia de metales encontrados en las tortugas Carey en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.

##### 4.1.1 Arsénico

Según los análisis realizados para la determinación de arsénico se cuantificaron valores que oscilaron entre 0.02 ppm y 2.00 ppm para las localidades Punta San Juan y Las Isletas respectivamente (Figura 17 y cuadro 5). La media aritmética obtenida fue de 0.24 ppm con una desviación típica de 0.38 ppm (Cuadro A – 1) y un coeficiente de variabilidad de 154% (Cuadro A - 2), lo cual indica que el comportamiento de dicho metal en sangre es altamente heterogéneo.

**Cuadro 5.** Concentraciones de arsénico encontradas en 28 tortugas Carey.

N° ID	Resultado ppm	N° ID	Resultado ppm	N° ID	Resultado ppm
2013002	0.14	2013011	0.17	2013021	0.13
2013003	0.49	2013012	0.35	2013022	0.59
2013004	0.05	2013013	0.11	2013023	0.15
2013005	0.042	2013014	0.11	2013024	0.21
2013006	0.21	2013015	0.59	2013025	2
2013007	0.11	2013016	0.043	2013026	0.09
2013008	0.14	2013017	0.18	2013027	0.055
2013009	0.35	2013018	0.02	2013028	0.045
2013010	0.12	2013019	0.093	2013029	0.18
2013011	0.17	2013020	0.092		

**Figura 17.** Concentraciones de arsénico en cada una de las tortugas Carey en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.

La concentración de arsénico presente en sangre de todas la tortugas carey analizadas en este estudio superaron los límites de cuantificación obtenidos según California Animal Health & Food Safety Laboratory System, el cual es 0.010 ppm. Es de sugerir que la presencia de este metal en las tortugas puede estar relacionado con la contaminación en el ambiente marino como son la minería por el volumen de sus descargas y por el vertimiento de los



metales tóxicos, a la vez la industria metalúrgica y pesquera, así como las descargas de desechos humanos en los océanos.

Gracias a la interferencia humana el ciclo del arsénico se ha ampliado, grandes cantidades terminan en el ambiente y en organismos vivos, muchos compuestos comunes de este metal pueden disolverse en agua, por lo tanto, puede pasar a lagos, ríos o al agua subterránea disolviéndose en el agua de lluvia, o en desagües industriales; cierta cantidad de arsénico se adherirá a partículas en el agua o al sedimento del fondo de lagos y ríos, mientras que otra porción será arrastrada por el agua. Al final, la mayor parte del arsénico termina en el suelo o en el sedimento.

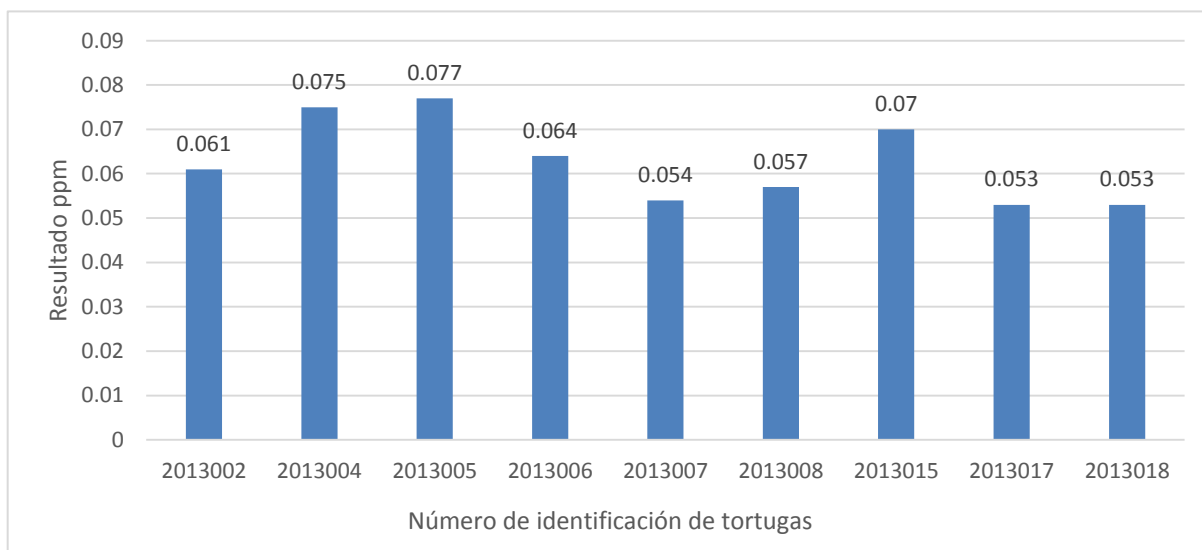
Este metal presenta una forma orgánica llamada arsenobetaina (comúnmente llamado “arsénico de los peces”) que también se adhiere a invertebrados en pequeñas partículas, esto sugiere que la alimentación de moluscos y crustáceos de *E. imbricata* puede ser el reflejo de las concentraciones de arsénico en la especie (ATSDR, 2003).

#### 4.1.2 Plomo

Se encontró que el 32.14% de las tortugas muestreadas presentaron algún grado de contaminación por plomo. El valor mínimo para este metal fue de 0.053 ppm para tortugas encontradas en las localidades de Rancho Teja y Punta San Juan, mientras que el valor máximo fue de 0.077 ppm para otra tortuga encontrada así mismo en Punta San Juan (Figura 18 y cuadro 6). La media aritmética fue de 0.06 ppm, con una desviación típica de 0.009 ppm (Cuadro A - 1) y el coeficiente de variación fue de 15% (Cuadro A - 2). Por lo tanto se puede mencionar que los datos obtenidos de la concentración de este metal en sangre tienen un comportamiento más homogéneo.

**Cuadro 6.** Concentraciones de plomo encontradas en nueve tortugas Carey.

N° ID	Resultado PPM
2013002	0.061
2013004	0.075
2013005	0.077
2013006	0.064
2013007	0.054
2013008	0.057
2013015	0.07
2013017	0.053
2013018	0.053



**Figura 18.** Concentraciones de plomo en cada una de las tortugas Carey en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.

Se sabe que las formas orgánicas del plomo son hidrosolubles haciendo que el este metal proveniente de minería y el plomo residual proveniente de calles, tuberías y suelos pueden llegar a contaminar el agua siendo arrastrada hacia aguas superficiales, acumularse en el sedimento y ser absorbido por las plantas, organismos acuáticos y de esta manera introducirse en la cadena alimenticia. Según los resultados del límite de cuantificación del equipo (0.05 ppm), y al contrastarse con la concentración media obtenida (0.06 ppm) se denota que supera dicho límite, lo que traería como consecuencia la exposición de las tortugas a cierto grado de contaminación de este metal en las islas donde anidan dichas tortugas.

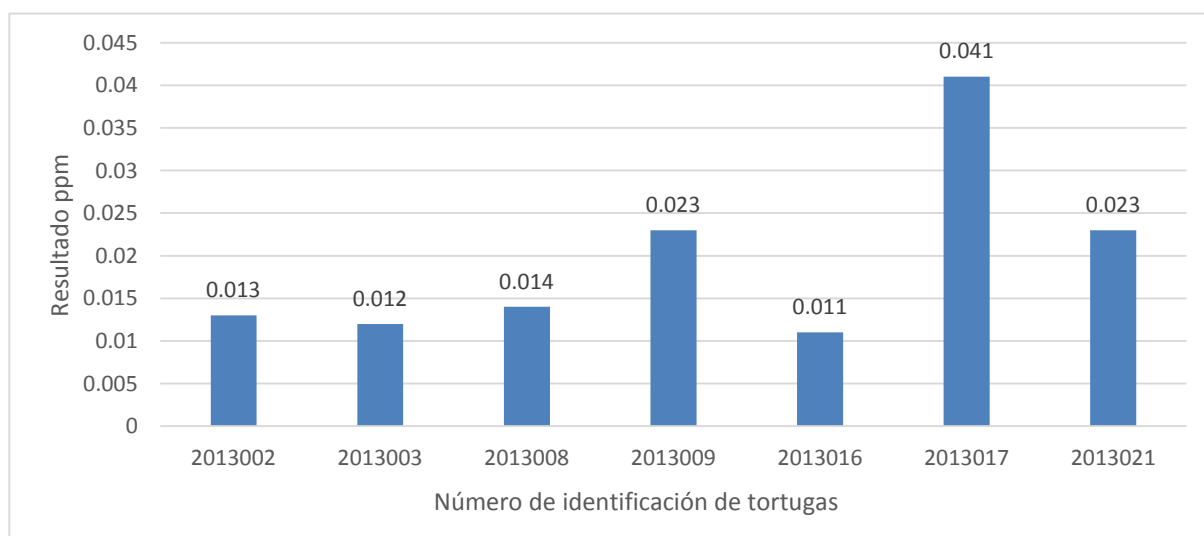
#### 4.1.3. Mercurio

Se encontró que el 25% de las tortugas muestreadas presentaron algún grado de contaminación por mercurio considerando el límite de cuantificación del equipo que es 0.010 ppm según California Animal Health & Food Safety Laboratory System. El valor mínimo para este metal fue de 0.011 ppm para una tortuga encontrada en la localidad de Punta San Juan, mientras que el valor máximo fue de 0.041 ppm para otra tortuga encontrada en Rancho Teja (Figura 19 y cuadro 7). La media aritmética fue de 0.019 ppm, con una desviación típica de

0.010 ppm (Cuadro A – 1) y el coeficiente de variación fue de 54.7% (Cuadro A - 2), es decir, mostrando un comportamiento homogéneo.

**Cuadro 7.** Concentraciones de mercurio encontradas en siete tortugas Carey

N° ID	Resultado PPM
2013002	0.013
2013003	0.012
2013008	0.014
2013009	0.023
2013016	0.011
2013017	0.041
2013021	0.023



**Figura 19.** Concentraciones de Mercurio en cada una de las tortugas Carey en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.

El mercurio entra en el ambiente como resultado de la ruptura de minerales de rocas y suelos a través de la exposición al viento y agua. Algunas formas de actividades humanas liberan Mercurio directamente al suelo o al agua, por ejemplo la aplicación de fertilizantes en la agricultura y los vertidos de aguas residuales industriales. Todo el mercurio que es liberado al ambiente eventualmente terminará en suelos o aguas superficiales.

Según el PNUMA (2005), el metil mercurio es el elemento que dentro de las especies orgánicas cobra mayor relevancia ya que es de fácil acumulación en las especies marinas y por lo tanto de facilidad de incorporación en la cadena trófica, dicha forma es la más toxica del metal y sufre procesos de bioconcentración principalmente en especies marinas, algas y fitoplancton; por lo que se esperaría que las tortugas analizadas en algún momento de su vida puedan ser expuestas a estos efectos.

La información de los límites tolerables de metales pesados en reptiles para que se presenten efectos a la salud son en gran parte desconocidos, particularmente en el caso de las tortugas marinas, pues los parámetros de salud pueden variar de región en región; sin embargo con el fin de obtener un panorama de los posibles efectos a la salud de las tortugas y el consumo de sus huevos incluso de ellas mismas por parte de las comunidades humanas costeras.

#### **4.2 Largo Curvo del Caparazón (LCC)**

Los valores registrados para LCC oscilaron entre 70 y 92 cm, con una media de 84.047 cm y una desviación típica de 5.989 cm (Cuadro A – 1) encontrándose dentro de los rangos normales reportados por Liles, M (2012).

Es interesante destacar que ambas tortugas que presentaron menor y mayor LCC fueron muestreadas en la zona de la isla Punta San Juan.

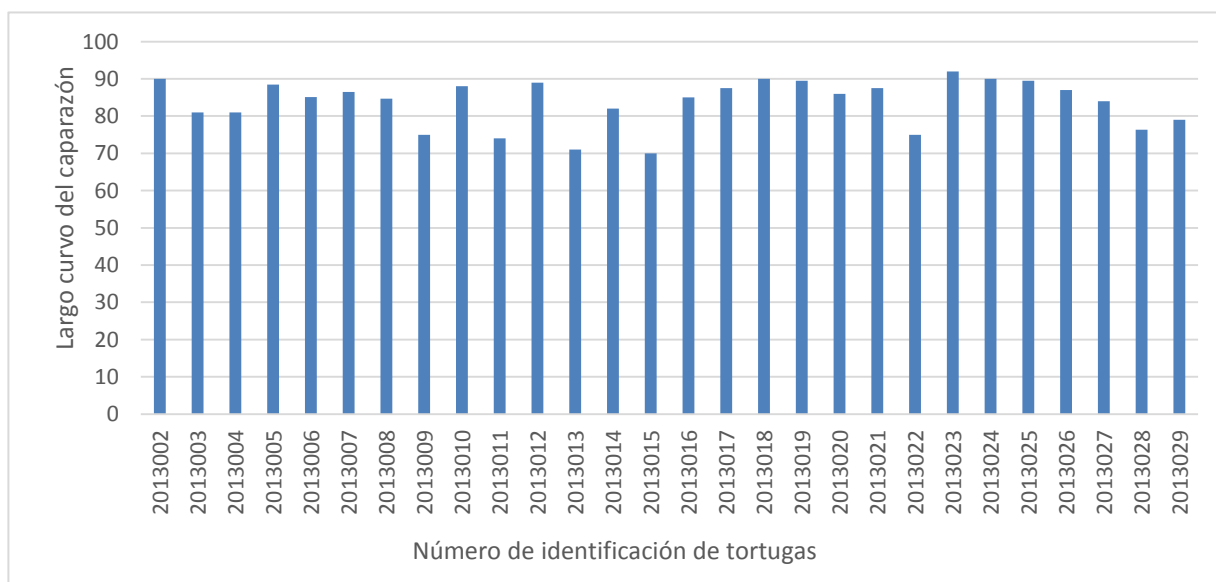
Lo que coincide con Revuelta (2010) el cual menciona que esta especie es una de las más pequeñas de todas las tortugas marinas llegando a medir hasta 98 cm de longitud.

**Cuadro 8.** Tallas de LCC de las tortugas Carey en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.

N° ID	LCC (cm)	N° ID	LCC (cm)	N° ID	LCC (cm)
2013002	90	2013012	89	2013022	75
2013003	81	2013013	71	2013023	92
2013004	81	2013014	82	2013024	90
2013005	88.5	2013015	70	2013025	89.5
2013006	85.1	2013016	85	2013026	87
2013007	86.5	2013017	87.5	2013027	84
2013008	84.7	2013018	90	2013028	76.3
2013009	75	2013019	89.5	2013029	79
2013010	88	2013020	86		
2013011	74	2013021	87.5		

\* LCC: Largo Curvo del Caparazón

\* N° ID: Número de identificación



**Figura 20.** Tallas de LCC de las tortugas Carey muestreadas.

#### 4.3 Ancho Curvo del Caparazón (ACC)

Para la variable ACC se obtuvieron tallas que fluctuaron entre 59 y 78 cm, con una media de 71.713 cm y una desviación típica de 4.983 cm (Cuadro A – 1) Al igual que en el caso del LCC se encontraron dentro de los rangos normales de esta especie mencionados por Liles,

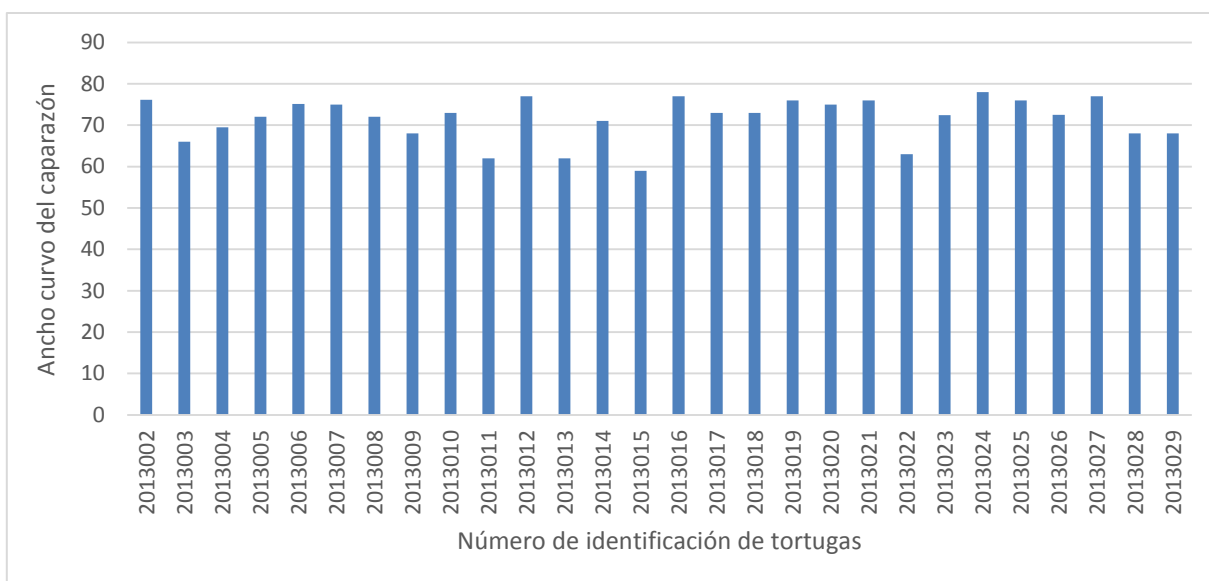
M (2012). Ambas tortugas que presentaron menor y mayor ACC fueron localizadas en la isla Punta San Juan.

**Cuadro 9.** Tallas de ACC de las tortugas Carey en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.

N° ID	ACC (cm)	N° ID	ACC (cm)	N° ID	ACC (cm)
2013002	76.1	2013012	77	2013022	63
2013003	66	2013013	62	2013023	72.4
2013004	69.5	2013014	71	2013024	78
2013005	72	2013015	59	2013025	76
2013006	75.1	2013016	77	2013026	72.5
2013007	75	2013017	73	2013027	77
2013008	72	2013018	73	2013028	68
2013009	68	2013019	76	2013029	68
2013010	73	2013020	75		
2013011	62	2013021	76		

\* ACC: Ancho Curvo del Caparazón

\* N° ID: Número de identificación



**Figura 21.** Tallas de ACC de las tortugas Carey muestreadas.

#### **4.4 Relaciones entre variables**

##### **4.4.1 Relación entre largo curvo del caparazón y concentración de metales pesados**

Esta variable busca determinar la relación de dependencia del LCC y la concentración de metales pesados es decir, aquella relación que permita explicar si los metales pesados estarán en correspondencia con las mayores manifestaciones de la variable involucrada.

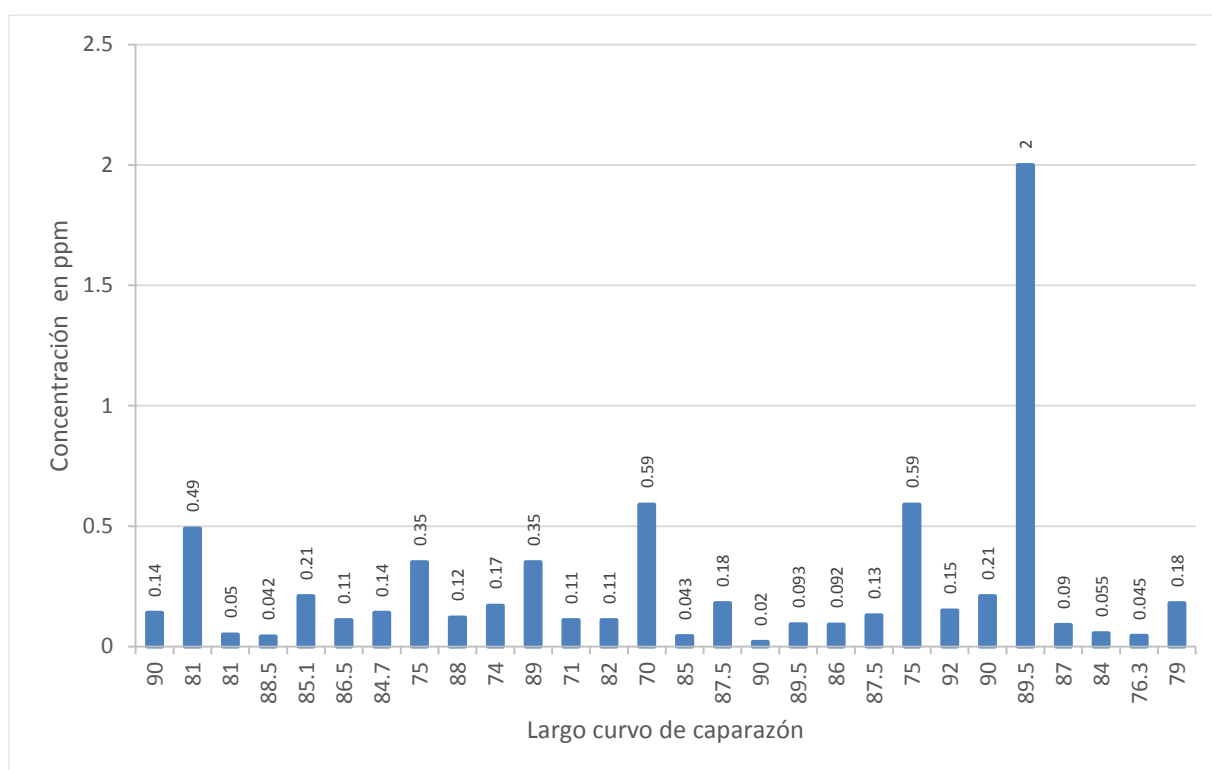
Según el análisis estadístico mediante la prueba de chi cuadrado no se presentaron relaciones de dependencia significativas entre los metales y la variable en estudio. El análisis marcó un valor de 20.010 con un nivel de significancia de 0.998, aceptándose la hipótesis nula y demostrando que no hay dependencia o relación entre las variables LCC y la concentración de los metales arsénico, mercurio y plomo reportados en sangre (Cuadro A - 4).

Lo anterior desvirtúa la hipótesis que establece que estos contaminantes se acumulan a lo largo de toda la vida de las tortugas, es de esperar que animales de más edad, presenten mayores concentraciones de estos metales que animales más jóvenes. La presencia de metales pesados para el caso de las tortugas sujetas de este estudio, es independiente de las mediciones obtenidas en el largo curvo del caparazón y posiblemente de la edad de las tortugas. Se ha documentado que animales más viejos son más sensibles a los metales pesados debido a que sus mecanismos de desintoxicación enzimáticos son menos eficaces que en animales más jóvenes (Cañizares, 2000); sin embargo en las condiciones de este estudio no se pudo determinar esta situación ya que tortugas consideradas de mayor edad debido al largo de su caparazón registraron concentraciones inferiores a la media.

Al determinar las tortugas que presentaron la menor y mayor expresión de LCC, en cada uno de los metales pesados, se determinó para el caso del Arsénico que la tortuga con el número de identificación 2013023, presentó el mayor valor de LCC con 92 cm; mientras que el menor valor lo presentó la tortuga 2013015 con 70 cm (Figura 22 y cuadro 10); por otra parte el promedio de LCC de las 28 tortugas muestreadas que presentaron niveles de arsénico en sangre fue de 83.71 cm, con una desviación típica de 6.30 cm (Cuadro A – 1) y un coeficiente de variabilidad de 7.52 % (Cuadro A-2), indicando homogeneidad en las dimensiones de LCC con respecto a la presencia de arsénico.

**Cuadro 10.** Tallas de LCC y concentraciones de arsénico encontradas en las tortugas Carey.

LCC (cm)	Resultado ppm	LCC (cm)	Resultado ppm	LCC (cm)	Resultado ppm
90	0.14	71	0.11	90	0.21
81	0.49	82	0.11	89.5	2
81	0.05	70	0.59	87	0.09
88.5	0.042	85	0.043	84	0.055
85.1	0.21	87.5	0.18	76.3	0.045
86.5	0.11	90	0.02	79	0.18
84.7	0.14	89.5	0.093		
75	0.35	86	0.092		
88	0.12	87.5	0.13		
74	0.17	75	0.59		
89	0.35	92	0.15		



**Figura 22.** Relación entre el largo curvo del caparazón de las tortugas Carey y las concentraciones de arsénico en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.



Para el caso del metal Plomo la tortuga con número de identificación 2013023 fue la que presentó el mayor valor de LCC con 92 cm; mientras que el valor menor lo presentó la tortuga 2013015 con 70 cm (Figura 23 y cuadro 11); por otra parte el promedio de LCC de la población de las tortugas positivas a plomo fue de 84.81 cm, con una desviación típica de 6.24 cm (Cuadro A-1) y un coeficiente de variación de 7.36% (Cuadro A-2), indicando homogeneidad en las dimensiones de LCC con respecto a la presencia de plomo.

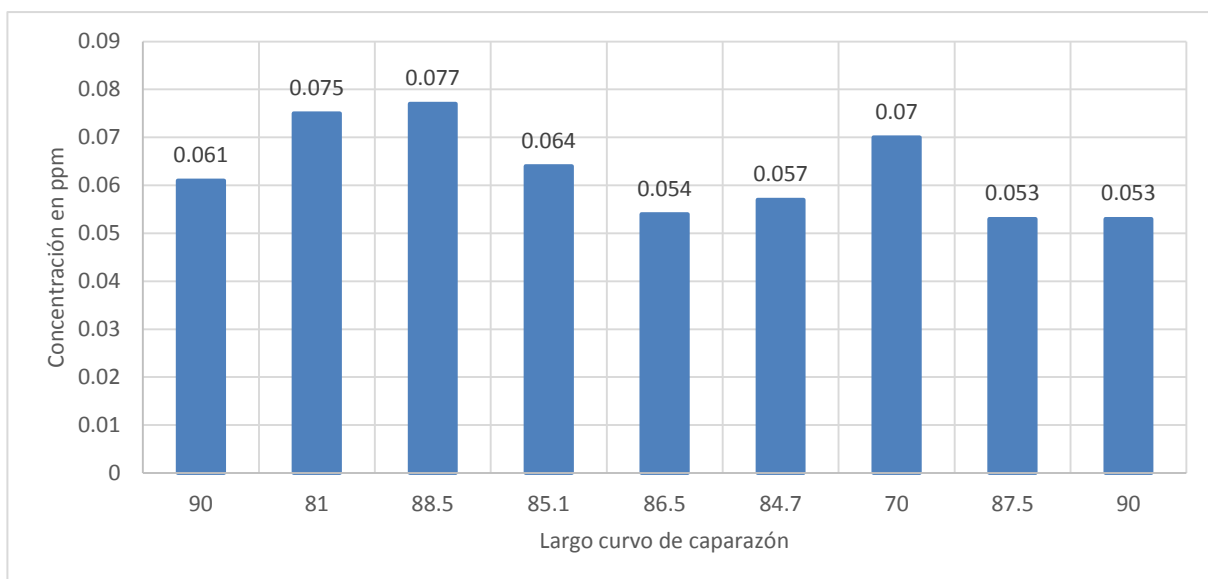
Particularmente y para el caso del plomo, los niveles presentados no se detectaron en 19 muestras de sangre lo que coincide con lo establecido por Gardner et al, (2006) y Godley et al, (1999) quienes no encontraron valores por encima del límite de detección. El plomo se detecta fácilmente en todas las muestras de tejidos recolectados de los seres vivos terrestres, de tal manera que muestras negativas significan ausencia completa o niveles inferiores a los mínimos detectables del equipo.

Storelli et al. (2005) describieron una disminución significativa de concentraciones de plomo en tejidos con respecto a un estudio previo realizado 10 años antes en la misma zona (Mar Adriático), atribuyendo que esta caída se debió principalmente a la reducción en el uso de la gasolina con plomo en muchos países europeos desde 1970.

Por lo tanto se puede inferir que no existe relación alguna entre el largo curvo del caparazón expresado en centímetros con la concentración de plomo reportado en sangre.

**Cuadro 11.** Tallas de LCC y concentraciones de plomo encontradas en tortugas Carey.

LCC (cm)	Resultado ppm plomo
90	0.061
81	0.075
88.5	0.077
85.1	0.064
86.5	0.054
84.7	0.057
70	0.07
87.5	0.053
90	0.053

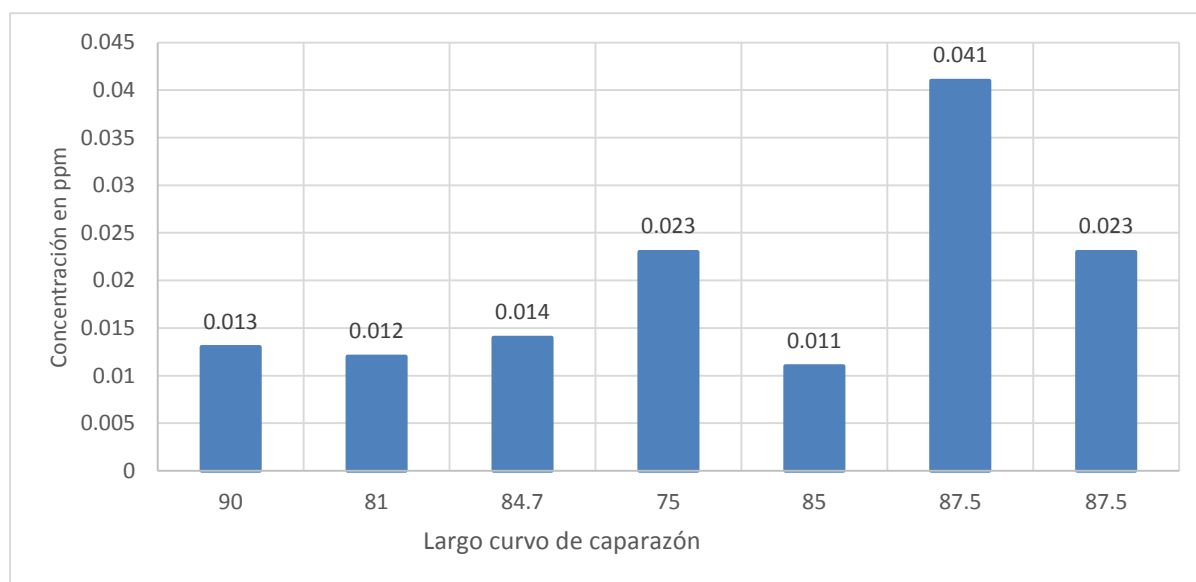


**Figura 23.** Relación entre el largo curvo del caparazón de las tortugas Carey y las concentraciones de plomo en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.

Para el caso del Mercurio, las tallas de LCC de las siete tortugas en las que fue posible detectar este metal presentaron una media de 84.39 cm. La tortuga con número de identificación 2013023 fue la que presentó el mayor valor con 92 cm; mientras que el valor menor lo presentó la tortuga 2013015 con 70 cm (Figura 24 y cuadro 12). En cuanto a la desviación típica indico 5.015 cm y un coeficiente de variabilidad de 5.93 % (Cuadro A-2), indicando homogeneidad en las dimensiones de LCC con respecto a la presencia de mercurio.

**Cuadro 12.** Tallas de LCC y concentraciones de mercurio encontradas en las tortugas Carey.

LCC (cm)	Resultado ppm
90	0.013
81	0.012
84.7	0.014
75	0.023
85	0.011
87.5	0.041
87.5	0.023



**Figura 24.** Relación entre el largo curvo del caparazón de las tortugas Carey y las concentraciones de mercurio en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.

#### 4.4.2 Relación entre ancho curvo del caparazón y concentración de metales

Esta variable busca determinar la relación de dependencia del ACC y la concentración de los metales pesados es decir, aquella relación que permita entender si estos metales estarán en correspondencia con las mayores manifestaciones de la variable involucrada.

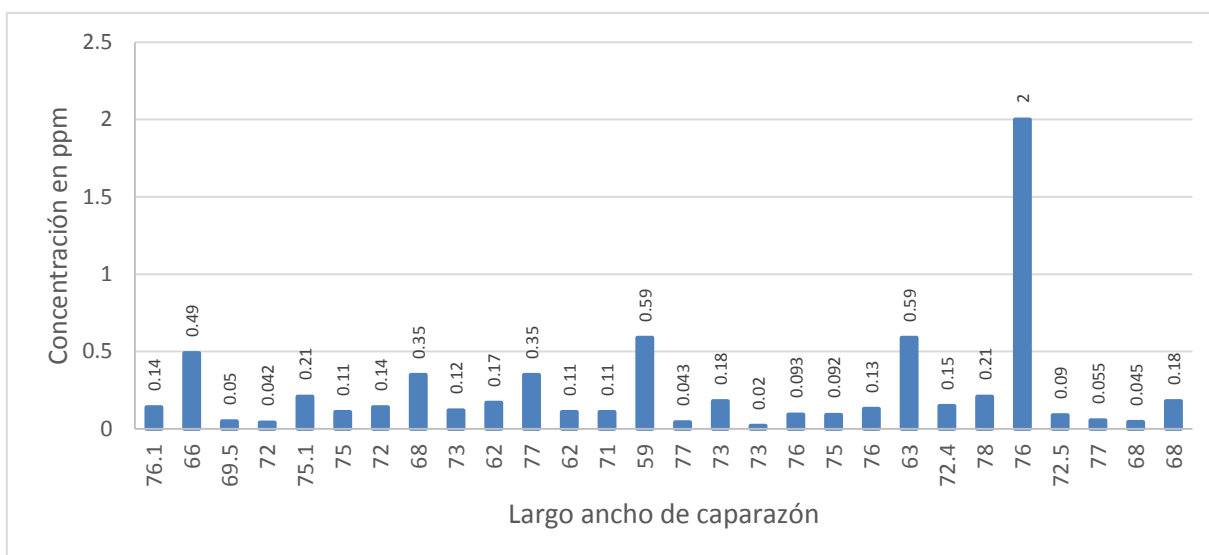
Con respecto al análisis estadístico, la prueba de chi cuadrado no reportó relaciones de dependencia significativas entre los metales y la variable ancho curvo del caparazón. El

análisis marcó un valor de 17.003 con un nivel de significancia de 0.986, demostrándose que no existe relación alguna entre dichas variables. (Cuadro A - 6)

En cuanto a las mediciones de ACC en relación con el arsénico se registró una media de 71.52 cm, encontrándose el valor más alto en la tortuga 2013 con 78 cm, y el más bajo en la tortuga 2013015 con 59 cm (Figura 25 y cuadro 13), con una desviación típica de 5.24 y un coeficiente de variación de 7.32 % (Cuadro A-2).

**Cuadro 13.** Tallas de ACC y concentraciones de arsénico encontradas en las tortugas Carey.

ACC (cm)	Resultado ppm	ACC	Resultado ppm	ACC (cm)	Resultado ppm
76.1	0.14	71	0.11	72.5	0.09
66	0.49	59	0.59	77	0.055
69.5	0.05	77	0.043	68	0.045
72	0.042	73	0.18	68	0.18
75.1	0.21	73	0.02		
75	0.11	76	0.093		
72	0.14	75	0.092		
68	0.35	76	0.13		
73	0.12	63	0.59		
62	0.17	72.4	0.15		
77	0.35	78	0.21		
62	0.11	76	2		

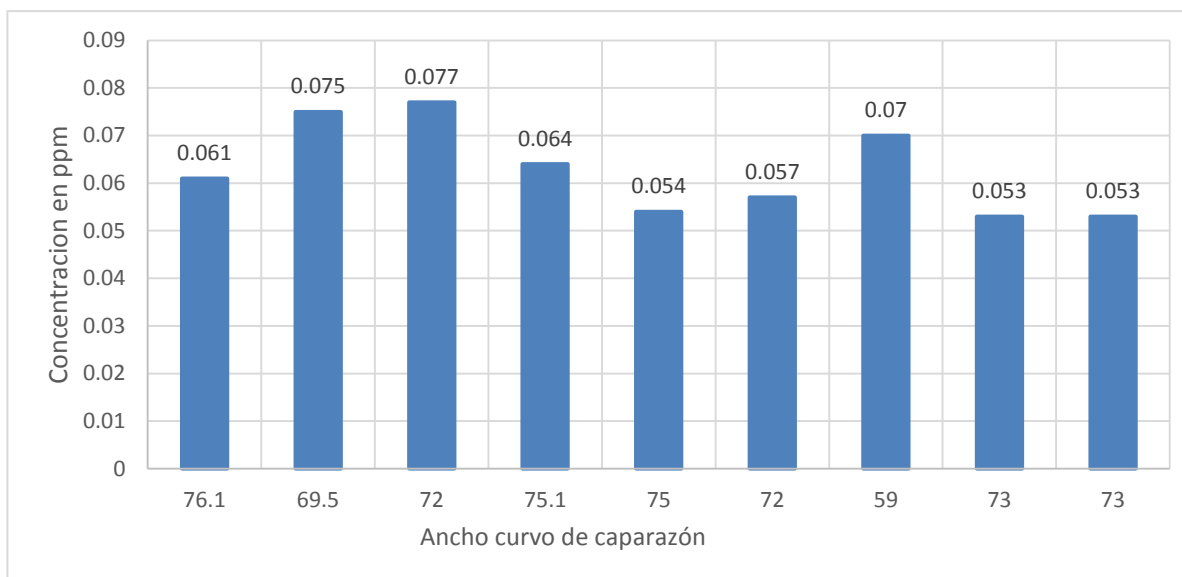


**Figura 9.** Relación entre el ancho curvo del caparazón de las tortugas Carey y las concentraciones de arsénico en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.

En cuanto al plomo, se determinó que la tortuga con el número de identificación 2013015 presento el ACC más bajo con 59 cm, mientras que la talla más alta se encontró en la tortuga 2013002 la cual reportó 79.1 cm (Figura 26 y cuadro 14). La media para ACC fue de 71.63 cm en las nueve muestras de sangre positivas a dicho metal. Así mismo la desviación típica fue de 5.14 cm y coeficiente de variación de 7.18% (Cuadro A-2).

**Cuadro 14.** Tallas de ACC y concentraciones de plomo encontradas en las tortugas Carey.

ACC (cm)	Resultado ppm
76.1	0.061
69.5	0.075
72	0.077
75.1	0.064
75	0.054
72	0.057
59	0.07
73	0.053
73	0.053

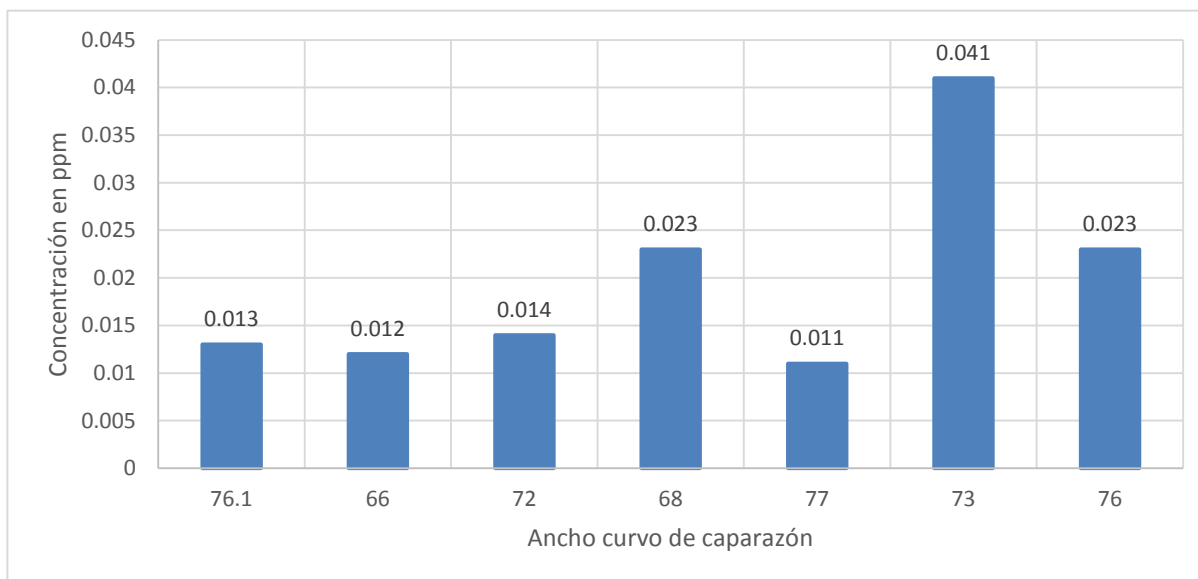


**Figura 25.** Relación entre el ancho curvo del caparazón de las tortugas Carey y las concentraciones de plomo en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.

Para el mercurio, se determinó que la tortuga con el número de identificación 2013027 presento el mayor valor de ACC con 77 cm; mientras que el menor valor lo presentó la tortuga 2013003 con 66 cm (Figura 27 y cuadro 15); por otra parte el promedio de ACC de las tortugas muestreadas positivas a mercurio fue de 72.59 cm, con una desviación típica de 4.25 cm y un coeficiente de variabilidad de 5.85 % (Cuadro A-2).

**Cuadro 15.** Tallas de ACC y concentraciones de mercurio encontradas en las tortugas Carey.

ACC (cm)	Resultado ppm
76.1	0.013
66	0.012
72	0.014
68	0.023
77	0.011
73	0.041
76	0.023



**Figura 26.** Relación entre el ancho curvo del caparazón de las tortugas Carey y la concentración de mercurio en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután El Salvador.

Debido a que no existen métodos fiables en tortugas marinas para determinar la edad (Bjorndal et al., 1998), se utilizó el largo curvo del caparazón y ancho curvo del caparazón para evaluar las variaciones en las concentraciones de elementos traza o metales pesados en relación al crecimiento de las mismas. No obstante, los resultados no permitieron relacionar directamente el efecto de los metales sobre la variable largo curvo y ancho curvo del caparazón, debido a que se carece de mediciones en tortugas negativas a la presencia de dichos metales y su relación con tamaño y edad.

#### 4.5 Correlaciones

Según el coeficiente de correlación para las variables largo curvo del caparazón y ancho curvo del caparazón se detectó un valor 0.878\*\* resultando altamente significativo es decir, que se esperaría que al existir mayores valores para el LCC existirá de manera proporcional y positiva un ACC mayor.

Lo anterior expresa que será conveniente considerar la medición de una sola de las variables en mediciones subsiguientes.

**Cuadro 16.** Correlaciones de Pearson entre largo y ancho curvo del caparazón de las tortugas Carey y las concentraciones de los metales pesados.

CORRELACIONES		CONCENTRACION DE METALES	LCC	ACC
Concentración	Correlación de Pearson	1	-0.42	-0.07
	Sig. (bilateral)		0.786	0.65
	N°	44	44	44
LCC	Correlación de Pearson	-0.42	1	0.878**
	Sig. (bilateral)	0.786		0
	N°	44	44	44
LAC	Correlación de Pearson	-0.07	.878**	1
	Sig. (bilateral)	0.65	0	
	N°	44	44	44

\*\* La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral)

ACC: Ancho Curvo del Caparazón

LCC: Largo Curvo del Caparazón

N°: Número de casos validos

#### **4.6 Comparación con otros estudios similares realizados en el Pacífico Oriental en tortugas Carey**

Como se mencionó anteriormente se desconoce información acerca de los límites tolerables de metales pesados en tortugas marinas los cuales puedan representar efectos nocivos en la salud de estos especímenes; por lo que no es posible determinar con exactitud el grado de contaminación por metales a los que están expuestas las hembras anidantes que llegan a la Bahía de Jiquilisco.



En el año 2009 se realizó un estudio en Baja California, México en el cual se determinaron metales pesados en sangre de cinco tortugas Carey siendo el promedio para el caso de arsénico  $3.936 \mu\text{g g}^{-1}$ ; en cuanto al plomo y mercurio estos no pudieron ser detectados debido a sus valores fueron inferiores al límite permisible del equipo. Las tortugas en esa región presentaron mayores niveles de contaminación de arsénico en sangre que las anidantes en las islas de la Bahía de Jiquilisco cuyo promedio fue de 0.245 ppm. Por el contrario en nuestro estudio un 32.14% fueron positivas a plomo y 25% a mercurio.

## 5. CONCLUSIONES

La tendencia encontrada de arsénico, plomo y mercurio resultó independiente uno del otro con una presencia del 100% de arsénico (n=28 tortugas carey) plomo con 32.14% (n=9 tortugas carey) y 25% mercurio (n=7 tortugas carey), lo cual denota una heterogeneidad entre las concentraciones de los metales pesados en estudio.

Se observó una diferencia entre los valores detectados para plomo y mercurio con valores en sangre de las tortugas Carey superiores al límite de cuantificación del equipo utilizado.

La población de tortuga carey hembras que anidan en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador sufren problemas de contaminación por arsénico, plomo y mercurio.

El uso de una muestra de sangre sirve para evaluar los niveles de exposición a los metales pesados convirtiéndose en una opción factible para estudios sobre la salud de las tortugas carey.

Hacen falta estudios que permitan tener un panorama más amplio respecto a la forma en que se comportan los metales pesados en el organismo de las tortugas marinas, con información más completa habrá mayores posibilidades de contribuir a su conservación.

## 6. RECOMENDACIONES

Con el fin de emplear el conocimiento de los metales pesados en las tortugas marinas y su comportamiento en los procesos fisiológicos en el organismo es necesario ampliar los estudios sobre:

- Los efectos sobre la respuesta inmunológica y lo que en si afecta la salud de las tortugas marinas.
- Establecer medidas de salud para las poblaciones de tortugas marinas.
- Realizar estudios sobre el entorno en el ambiente y las concentraciones de metales pesados en el lecho marino, sedimentos y la alimentación propia de las tortugas en la región de la Bahía de Jiquilisco y otras zonas de El Salvador.
- Informar a la población sobre los riesgos a la salud tanto de las tortugas como también a la salud humana por el consumo de los huevos de tortugas marinas.
- Evaluar concentraciones de metales pesados en sangre y huevos de tortugas Carey en sus áreas de alimentación y en cautiverio.
- Canalizar mejor los desechos toxico que se descargan en los ríos, lagos y océanos a través de las industrias.
- Se recomienda que la información presentada en este estudio servirá para evaluar la influencia de la contaminación ambiental en la salud de las tortugas Carey anidantes en El Salvador para ser utilizada y/o discutida por profesionales dedicados a la clínica de tortugas marinas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 2007. Perfil Toxicológico del Plomo (en inglés). Sección 3. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.
2. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 1999. Perfil Toxicológico del Mercurio (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.

3. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 2003. Perfil Toxicológico del Arsénico (en inglés). Sección 3. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.
4. Aguirre, A. A. y P. Lutz. 2004. "Marine turtles as sentinels of ecosystem health: Is Fibropapilomatosis an indicator?" *Eco Health* 1: 275- 283.
5. Altamirano, E. J. et al 2010. Informe Final de Proyecto de Conservación de Tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) en la RN Estero Padre Ramos, Temporada 2010. Nicaragua.
6. APFFLT, 2010. (Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos). Conservación de Tortugas Marinas, con énfasis en *Eretmochelys imbricata*, Campamento Tortuguero Chenkan, Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Disponible en: <http://www.conanp.gob.mx/acciones/fichas/carey/info/info.pdf>
7. Bjorndal, K.A., Whetherrall, J.A., Bolten, A., Mortimer, J.A., 1998. Twenty six years of green turtle nesting at Tortuguero Costa Rica: an encouraging trend. *Conservation Biology* 13, 126±134.
8. Blandón de Grajeda, F. (1999). Bienvenidos a Jiquilisco. Monografía Municipal. Editado por: Fundación Nacional para el Desarrollo, FUNDE. Primera edición. San Salvador, El Salvador. CA.
9. Cañizares R., 2000. Bioabsorción de metales pesados mediante el uso de biomasa. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42: 131-143.
10. Caribbean Conservation Corporation (CCC). 2002. Tortugas Marinas: Guía Educativa Segunda Edición en Español. Costa Rica. Disponible en: <http://www.cccturtle.org/edufrom.htm>
11. Carr, A. 1987. New perspectives on the pelagic stage of sea turtle development. *Conserv. Bio.* 1:103-121.

12. Carranza, C.C., D.M. Maldonado y C.L. Romero. 2004. "Impacto ambiental en sedimentos marinos superficiales por residuos líquidos industriales y urbanos". Instituto de Investigación. Fac. minas metalcienc. Geogr 7 no. 14: 15-22.
13. Carrión Cortez, J. A. 2010. Área de actividad local, dieta e intensidad de uso del hábitat de forrajeo de la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) en el pacífico norte de Costa Rica. Tesis Maestro en Ciencias Marinas y Costeras La Paz, Baja California Sur, Universidad Autónoma de Baja California Sur. 88 p.
14. Castelli, B. Rossi, F. Corsetti, A. Mantovani, G. Spera, C. Lubrano, L. Silvestroni, M. Patriarca, F. Chiodo, A. Menditto. "Levels of cadmium and lead in blood: an application of validated methods in a group of patients with endocrine/metabolic disorders from the Rome area". *MicrochemicalJournal*. Vol. 79. 2005. pp. 349- 355.
15. Chacón, D. 2002. Diagnóstico sobre el comercio de las tortugas marinas y sus derivados en el istmo Centroamericano. Red Regional para la Conservación de las Tortugas Marinas en Centroamérica (RCA). San José, Costa Rica. 55 p.
16. Chacón, D. y Aráuz, R. 2001. Diagnóstico Regional y planificación estratégica para la conservación de las Tortugas Marinas en Centroamérica. Red Regional para la Conservación de las Tortugas Marinas en Centroamérica. 9-13 pp.
17. Chacón-Chaverri, D. 2004 Tortuga carey del Caribe; biología, distribución y estado de conservación. Asociación ANAI/WIDECAST. Costa Rica. 6 p.
18. Chávez-Molina, L.M. et al. (2012) Evaluación del índice de calidad de agua en la Bahía de Jiquilisco, definición de metodologías de muestreo, validación y cuantificaciones analíticas para agua salada. Tesis (Ingeniero Químico). El Salvador: Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos.
19. CICEANA, A.C. (Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América) Disponible en: [www.ciceana.org.mx](http://www.ciceana.org.mx)
20. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies (CITES) 2009. Listado Oficial de Especies de Vida silvestre, amenazadas o en peligro de extinción (en línea). San Salvador. ESA. Consultado el 3 Mayo 2012. Disponible en [www.cites.org/esp](http://www.cites.org/esp)

21. De Azevedo, F. Toxicología do Mercurio. Capítulos 5 (Pag 106), 9 (Pags 179 – 183) y 10 (Págs. 194 –196). Intertox. Rima Editora. 2003.
22. Deem, S.L., E.S. Dierenfeld, G.P. Sounguet, A.R. Alleman, C. Cray, R.H. Poppenga, T.M. Norton & W. Karesh. 2006. Blood values in free-ranging nesting leatherback sea turtles (*Dermochelys coriacea*) on the coast of the Republic of Gabon. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 37: 464-471.
23. Diaz, I. I. Jiménez Pérez, M.J Lope Franco, E.G. Sánchez, L. Sánchez-Mármol Gil. 2003. Plan de Manejo Área Natural Bahía de Jiquilisco. El Salvador. UCA Editores, 200-215 p.
24. Doadrio Villajero, Antonio L. (2004) Ecotoxicología y acción toxicológica del mercurio.
25. Doadrio Villajero, Antonio L. 2006. Ecotoxicología y acción toxicológica del plomo (en línea). Madrid. Consultado 2 Mayo 2013. Disponible en <http://www.analesranf.com>
26. Eckert, K. L. y J. Beggs. 2006. Mercado de Tortugas Marinas. Un Manual de Métodos Recomendados. Red de Conservación de Tortugas Marinas del Gran Caribe (WIDECAS) Trad. Joana Hancock. Informe Técnico No. 2. Edición Revisada. Beaufort, North Carolina USA. 40 pp.
27. Eckert, K. L., Bjorndal, K. A., Abreu-Grobois, F. A. and Donnelly, M. (Eds.) 2000 (Traducción al español). Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE Publicación No. 4. Washington, DC: 235 p.
- 28.
29. Eckert, S.A., Eckert K.A., Ponganis, P., and Kooyman, G.L. 1989. Diving and foraging behaviour of leatherback sea turtles *Dermochelys coriacea*, *Can. J. Zool.*, 67, p.2834-2840.
30. Environmental Protection Agency (EPA). 2007
31. Florea, A. Dietrich, B. Occurrence, use and potential toxic effects of metals and metal compounds. *BioMetals* (2006) 19:419–427

32. Foá, A. Colombi, M. Maroni y M. Buratti. 1987. Indicadores biológicos para la valoración de la exposición humana a compuestos químicos industriales: Arsénico, Bruselas Luxemburgo, pp 35-40.
33. Gadd G. (1992) Heavy metals pollutants: environments and biotechnological aspects. Academic Press Inc., 9: 174-185.
34. Galán Huertos, E., Romero Baena, Antonio. 2006. Contaminación de Suelos por Metales Pesados. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Apartado 553. Universidad de Sevilla. Sevilla.
35. Gaos A. R., R.L. Lewison, I.L. Yañez, B.P. Wallace, M.J. Liles, W.J. Nichols, A. Baquero, C.R. Hasbún, M. Vasquez, J. Urteaga, J.A. Seminoff. 2012b. spatial ecology of critically endangered hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata*: implications for management and conservation. Vol. 450: 181–194, 2012 doi: 10.3354/meps09591.
36. Gaos et al. 2012b. Spatial ecology of critically endangered hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata*: implications for management and conservation. Vol. 450: 181–194, 2012 doi: 10.3354/meps09591
37. Gaos, A. R., F.A. Abreu-Grobois, J. Alfaro-Shigueto, D. Amorocho, R. Arauz, A. Baquero, R. Briseño, D. Chacón, C. Dueñas, C. Hasbun, M. Liles, G. Mariona, C. Muccio, J .P. Munoz, W.J. Nichols, M. Peña, J.A. Seminoff, M. Vasquez, J. Urteaga, B. Wallace, I.L. Yañez And P. Zarate. 2010. Signs of hope in the eastern Pacific: international collaboration reveals encouraging status for a severely depleted population of hawksbill turtles *Eretmochelys imbricate*. *Fauna& Flora International, Oryx*, 44(4), 595–601.
38. Gaos, A.R., R.L. Lewison, I.L. Yañez, B.P. Wallace, M.J. Liles, W.J. Nichols, A. Baquero, C.R. Hasbún, M. Vasquez, J. Urteaga, J.A. Seminoff. 2012a. Shifting the life-history paradigm: discovery of novel hábitat use by hawksbill turtles. *Biol. Lett.* (2012) 8, 54–56 doi:10.1098/rsbl.2011.0603.
39. Gerosa, G. y Aureggi M. 2005. Guía para Pescadores sobre el Manejo de las Tortugas Marinas Manual del Profesor. Programa de Investigación y Conservación de las Tortugas Marinas (CHELON) Trad. Inmaculada Concepción. 8 p.

40. Godley, B.J., Broderick, A.C., Moraghan, S., 1999. Short term effectiveness of Passive Integrated Transponders (PITs) used in the study of Mediterranean marine turtles. *Chelonian Conservation and Biology* 3, 477-479.
41. Goyer, R. (1997) Toxic and essential metal interactions *Annu. Rev. Nutr.* pp17:37–50
42. Harold, Sera y Karen L. Eckert. 2005. Tortugas Marinas del Caribe en Peligro: Un Manual para Educadores. Red de Conservación de Tortugas Marinas en el Gran Caribe (WIDECAS) Trad. Hedelvy J. Guada (CICTMAR) y Adriana Humanes Schumann. Informe Técnico No. 3. Beaufort, North Carolina. 42-81 pp.
43. International Fund for Animal Welfare (IFAW). 2011. Tortugas Marinas: Una lucha por la supervivencia Estados Unidos. Consultado 20 de Abril 2013 Disponible en <http://www.ifaw.org/espanol>.
44. Informe Nacional al Convenio sobre Diversidad Biológica (2010) El Salvador, C.A.
45. Jiménez, I. y L. Sánchez-Mármol (2004) Complejo Bahía de Jiquilisco. Propuesta de Sitio Ramsar. MARN/AECI. San Salvador. El Salvador C.A. (MARN/ AECI 2004)
46. La Convención de Ramsar y su misión. Disponible en: [http://www.ramsar.org/cda/es/ramsarwwd12index/main/ramsar/1%5E25573\\_4000\\_2](http://www.ramsar.org/cda/es/ramsarwwd12index/main/ramsar/1%5E25573_4000_2). Citado: 25 de febrero de 2012. La Convención de Ramsar.
47. Ley Quiñones, C. P. 2009. Determinación de metales pesados en tortugas marinas en el noreste de México. Tesis (Maestría en recursos naturales y medio ambiente). Sinaloa, México: Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Medio Ambiente del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR)
48. Liles, M. J. 2008-2010. Conservación de la Tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) en sus Playas de Anidación de El Salvador 2008-2010. Reporte Final.

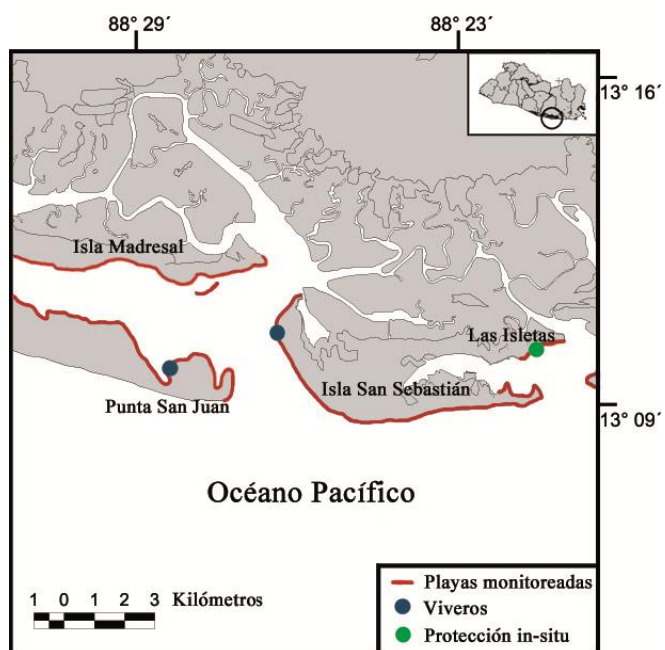
49. Liles, M. J. 2012. Investigación y Conservación de la Tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) en la Bahía de Jiquilisco, El Salvador. Informe Final.
50. Liles, M. J., M. V. Jandres, W. A. López, G. I. Mariona, C. R. Hasbun J. A. Seminoff. 2011. Hawksbill turtles *Eretmochelys imbricate* in El Salvador: nesting distribution and mortality at the largest remaining nesting aggregation in the eastern Pacific Ocean. Vol. 14: 23–30.
51. MARN. 2003 Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial Propuesta de Sitio Ramsar. MARN/AECI. San Salvador. El Salvador C.A. 30-48 p.
52. MARN. 2004. Plan de manejo del área natural y humedal bahía de Jiquilisco. San Salvador, El Salvador UCA Editores. 258 pp
53. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Manejo de Mercurio en la Minería de Oro en Colombia con fines preventivos. Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible.2007.
54. Mortimer, J. A., Donnelly, M. 2008. *Eretmochelys imbricata*. En: IUCN Red List of Threatened Species. Consultado 30 Abril 2013 IUCN. 35p. Disponible en: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org).
55. Narvaez Suarez, D. A. (2009) Evaluacion de zeolitas sintetizadas a partir de residuos de carbon, en la remocion de arsenico en agua para consumo humano. Tesis (Maestro en Ciencias en Medio Ambiente y Desarrollo Integrado) Mexico, D.F Instituto Politecnico Nacional, Secretaria de Investigación y Posgrado. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios Sobre Medio Ambiente y Desarrollo.
56. Ochiai, E. 1985. "Química Bioinorgánica del medio ambiente". In: Química Bioinorgánica. Editorial Reverté. Barcelona. pp 472-479.
57. OIRSA (Organización Interregional para la Salud Agropecuaria). 2007. Descripción de Lagunas Costeras de El Salvador; Bahía de Jiquilisco. San Salvador, El Salvador. Consultado el 15 de mayo 2013. Disponible en [www.oirsa.org/.../LagunasCosterasElSalvador.pdf](http://www.oirsa.org/.../LagunasCosterasElSalvador.pdf).



58. Philip, R. (2001) *Ecosystems and Human Health. Toxicology and Environmental Hazards*. Capítulo 6. Páginas 148–150. Segunda Edición. Lewis Publishers. Hazards. USA. Boca Ratón.
59. PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (2005) *Evaluación Mundial sobre el Mercurio*. Ginebra, Suiza.
60. Quezada, L. 1996. Composición florística de la vegetación de manglar de la Bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador. *Simposium Ecosistemas de Manglares en el Pacífico Centroamericano*. El Salvador. Consultado 10 Mayo 2013. Disponible en [http://www.marn.gob.sv/phocadownload/ramsar\\_complejo\\_jiquilisco.pdf](http://www.marn.gob.sv/phocadownload/ramsar_complejo_jiquilisco.pdf)
61. República de El Salvador. 2011. *Diario Oficial No. 240. Tomo No. 353, 19 Diciembre 2001. Ley general de ordenación y promoción de pesca y acuicultura*. San Salvador. ESA.
62. Revuelta, O., Tomás, J. 2010. Tortuga carey – *Eretmochelys imbricata*. En: *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Salvador, A., Marco, A. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. España Disponible en: <http://www.vertebradosibericos.org/>
63. Rudy Sanders, 2009. *Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América*. Consultado 30 de Marzo 2013. Disponible en: [www.ciceana.org.mx](http://www.ciceana.org.mx)
64. Secretaria Pro Tempore de la Convención Inter-americana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT). 2004. *Una Introducción a las Especies de Tortugas Marinas del Mundo (en línea)*. Trad. Belinda Dick. San José, CR. Consultado 10 Marzo. 2013. Disponible en : <http://www.iacseaturtle.org>
65. Secretaria Pro Tempore de la Convención Inter-americana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT). 2005. *La Tortuga Carey (Eretmochelys imbricata)* Trad. Belinda Dick. San José, Costa Rica. Consultado 10 Marzo. 2013. Disponible en: <http://www.iacseaturtle.org>

66. Secretaria Pro Tempore de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT) 2008. Manual sobre técnicas de manejo y conservación de las tortugas marinas en playas de anidación de Centroamérica (en línea). Trad. Belinda Dick. San José, CR. Consultado 10 Marzo. 2013. Disponible en: <http://www.iacseaturtle.org>.
67. Smith, D., Scurry, J. 1990. Topical mercurials. *J. Am. Acad. Dermatol.* 25, 1097.
68. Storelli, M. M. y G.O. Marcotrigiano. 2003. Heavy metal residues in tissues of marine turtles. Consultado: 2 Abril 2013. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12705911>
69. UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2007. Programa el Hombre y la Biosfera (en línea). Lima, Perú. Consultado 15 de Marzo. 2013. Disponible en <http://www.unesco.org/new/es>
70. Valls M., De Lorenzo V. (2002) Exploiting the genetic and biochemical capacities of bacteria for the remediation of heavy metal pollution. *FEMS Microbiology Reviews*, 26: 327-338.
71. Wallace BP, DiMatteo AD, Bolten AB, Chaloupka MY, Hutchinson BJ, et al. 2011. Global Conservation Priorities for Marine Turtles. *PLoS ONE* 6(9): e24510. doi:10.1371/journal.pone.0024510
72. Wenddroff, A. P. *Nature*, 347, 623 (1990)

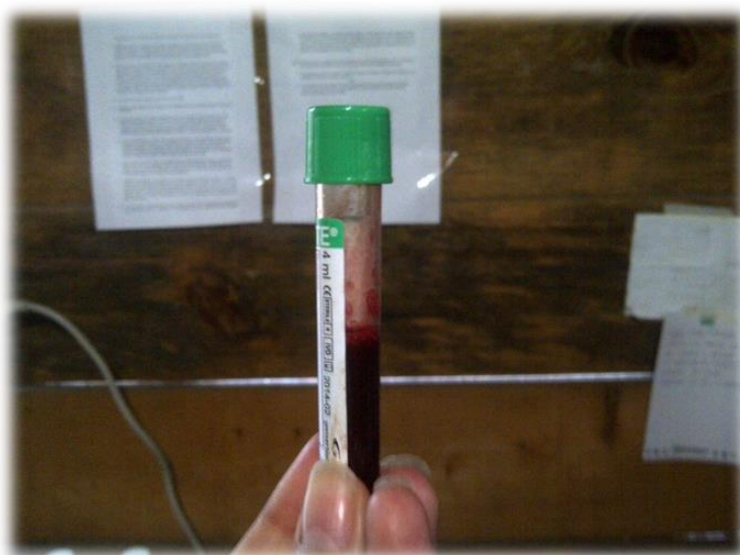
## 8. ANEXOS



**Figura A - 1.** Principales sitios de anidación de la tortuga Carey en la Bahía de Jiquilisco



**Figura A - 2.** Toma de muestra sanguínea en tortuga Carey.



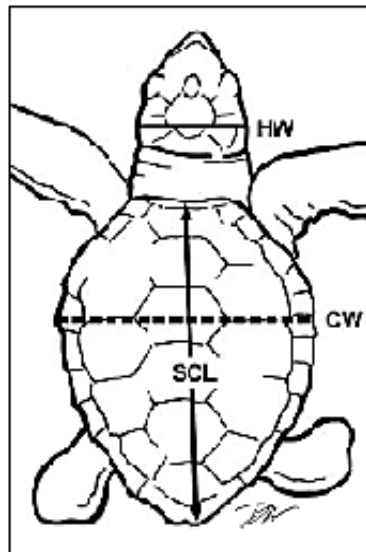
**Figura A - 3.** Muestra de sangre en vacutainer con heparina de litio como anticoagulante



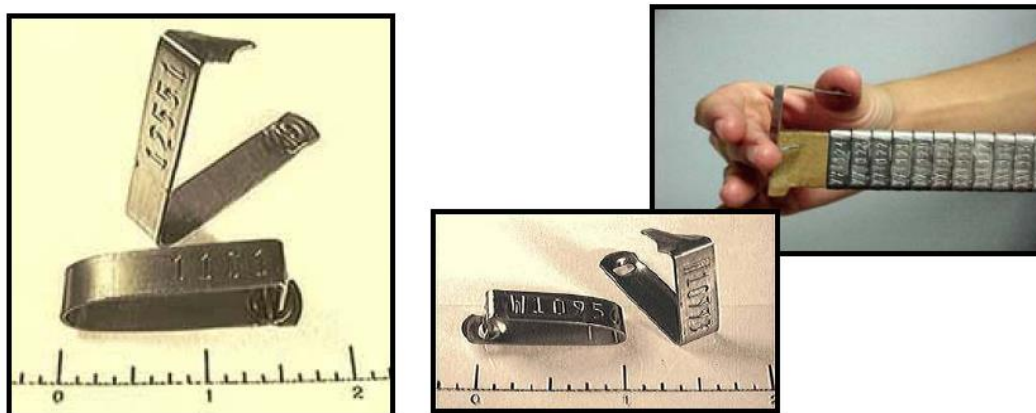
**Figura A - 4.** Criotubos con el número de identificación de muestra



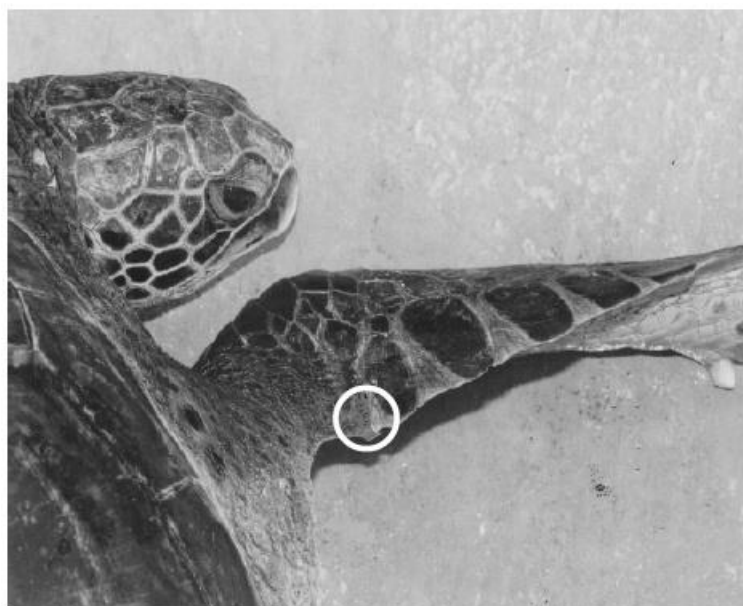
**Figura A - 5.** Termo de nitrógeno líquido



**Figura A - 6.** Puntos localizadores o señales para medidas estándar



**Figura A - 7.** Formas y tamaños (cm) de diferentes tipos de marcas de tortugas marinas (Tipo Monel e Inconel)



**Figura A - 8.** Marca Inconel Modelo 681C aplicada al sitio de marcado proximal en la aleta anterior. El sitio de punción de la marca el proximal y adyacente a la primera escama grande del borde posterior de la aleta.



**Figura A - 9.** Embalaje de muestras con hielo seco



**Figura A - 10.** Muestras empacadas para el envío

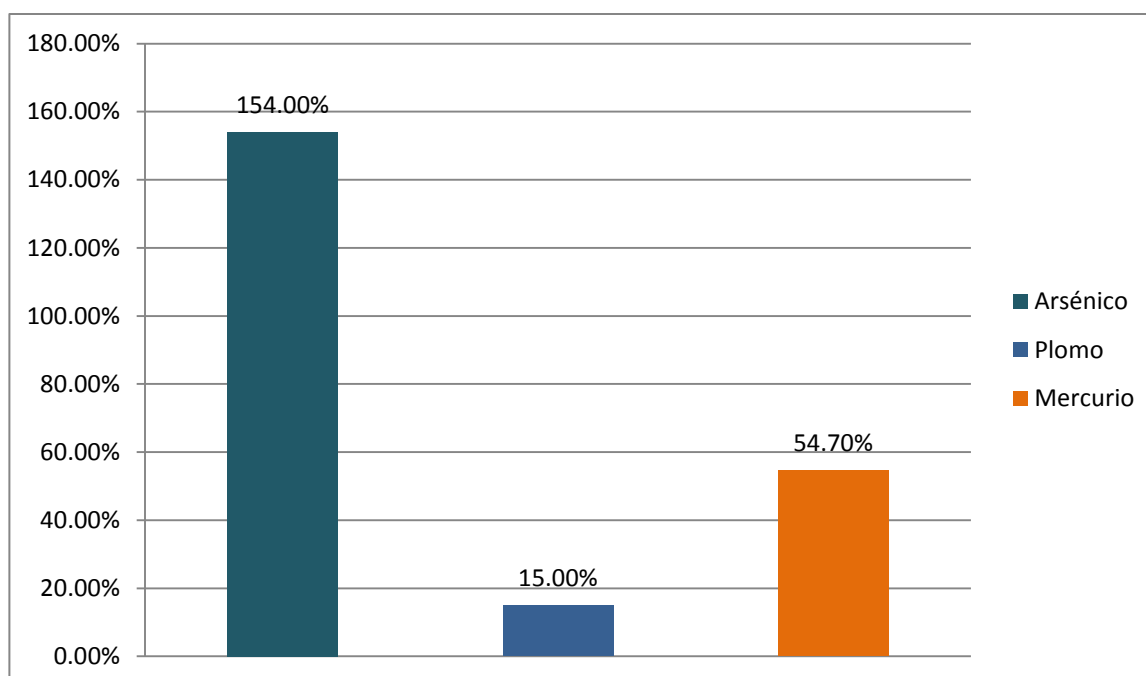
**Cuadro A - 1.** . Resumen descriptivo de los datos analizados de los metales pesados en tortugas Carey en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.

Metal		LCC	ACC	Concentración
Arsénico	Media	83.7179	71.5214	0.245
	N	28	28	28
	Desv. Tip.	6.29892	5.2411	0.3775445
	Mediana	85.55	72.75	0.135
	Mínimo	70	59	0.02
	Máximo	92	78	2
Mercurio	Media	84.3857	72.5857	0.019571
	N	7	7	7
	Desv. Tip.	5.01578	4.25066	0.010706
	Mediana	85	73	0.014
	Mínimo	75	66	0.011
	Máximo	90	77	0.041
Plomo	Media	84.8111	71.6333	0.062667
	N	9	9	9
	Desv. Tip.	6.24028	5.14125	0.0094207
	Mediana	86.5	73	0.061
	Mínimo	70	59	0.053
	Máximo	90	76.1	0.077
Total	Media	84.0477	71.7136	0.17141
	N	44	44	44
	Desv. Tip.	5.98997	4.98358	0.3151009
	Mínimo	70	59	0.011
	Máximo	92	78	2



**Cuadro A - 2.** Coeficiente de variabilidad para largo y ancho curvo del caparazón y concentración de los metales pesados en tortugas Carey en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador.

Metal	LCC	ACC	Concentración
Arsénico	7.52%	7.32%	154.00%
Plomo	7.36%	7.18%	15.00%
Mercurio	5.93%	5.85%	54.70%



**Figura A - 11.** Representación gráfica del coeficiente de variabilidad de los metales pesados encontrados en las tortugas Carey.

**Cuadro A - 3.** Tabla de Contingencia de Largo Curvo del Caparazón y Metal (LCC X METAL)

LCC X METAL			Metal			Total
			Arsénico	Mercurio	Plomo	
LCC	70	Recuento	1	0	1	2
		% del total	2.3 %	0.0 %	2.3 %	4.5%
	71	Recuento	1	0	0	1
		% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
	74	Recuento	1	0	0	1
		% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
	75	Recuento	2	1	0	3
		% del total	4.5%	2.3 %	0.0 %	6.8%
	76.3	Recuento	1	0	0	1
		% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
	79	Recuento	1	0	0	1
		% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
	81	Recuento	2	1	1	4
		% del total	4.5%	2.3 %	2.3 %	9.1 %
	82	Recuento	1	0	0	1
		% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
	84	Recuento	1	0	0	1
% del total		2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %	
84.7	Recuento	1	1	1	3	
	% del total	2.3 %	2.3 %	2.3 %	6.8 %	
85	Recuento	1	1	0	2	
	% del total	2.3 %	2.3 %	0.0 %	4.5 %	
85.1	Recuento	1	0	1	2	
	% del total	2.3 %	0.0 %	2.3 %	4.5 %	
86	Recuento	1	0	0	1	
	% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %	
86.5	Recuento	1	0	1	2	
	% del total	2.3 %	0.0 %	2.3 %	4.5 %	

	87	Recuento % del total	1 2.3 %	0 0.0 %	0 0.0 %	1 2.3 %
	87.5	Recuento % del total	2 4.5%	2 4.5%	1 2.3 %	5 11.4 %
	88	Recuento % del total	1 2.3 %	0 0.0 %	0 0.0 %	1 2.3 %
	88.5	Recuento % del total	1 2.3 %	0 0.0 %	1 2.3 %	2 4.5%
	89	Recuento % del total	1 2.3 %	0 0.0 %	0 0.0 %	1 2.3 %
	89.5	Recuento % del total	2 4.5%	0 0.0 %	0 0.0 %	2 4.5%
	90	Recuento % del total	3 6.8%	1 2.3 %	2 4.5%	6 13.6 %
	92	Recuento % del total	1 2.3 %	0 0.0 %	0 0.0 %	1 2.3 %
Total		Recuento % del total	28 63.6 %	7 15.9%	9 20.5 %	44 100 %

**Cuadro A - 4.** Prueba de chi-cuadrado para largo curvo del caparazón y concentración de los metales pesados en las tortugas Carey.

LCC X METAL	Valor	GL	Sig. Asintótica (bilateral)
chi - cuadrado de Pearson	20.010 <sup>a</sup>	42	0.998
Razón de verosimilitudes	24.335	42	0.987
N° de casos validos	44		

66 casillas (100.0%) tiene una frecuencia inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es .16.

**Cuadro A - 5.** Tabla de contingencia de Ancho Curvo del Caparazón por Metal (ACC X METAL)

ACC X METAL			Metal			Total
			Arsénico	Mercurio	Plomo	
ACC	59	Recuento	1	0	1	2
		% del total	2.3 %	0.0 %	2.3 %	4.5%
	62	Recuento	2	0	0	2
		% del total	4.5%	0.0 %	0.0 %	4.5%
	63	Recuento	1	0	0	1
		% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
	66	Recuento	1	1	0	2
		% del total	2.3 %	2.3 %	0.0 %	4.5%
	68	Recuento	3	1	0	4
		% del total	6. 8%	2.3 %	0.0 %	9.1 %
	69.5	Recuento	1	0	1	2
		% del total	2.3 %	0.0 %	2.3 %	4.5%
	71	Recuento	1	0	0	1
		% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
	72	Recuento	2	1	2	5
		% del total	4.5%	2.3 %	4.5%	11.4 %
	72.4	Recuento	1	0	0	1
		% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
	72.5	Recuento	1	0	0	1
		% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
	73	Recuento	3	1	2	6
		% del total	6. 8%	2.3 %	4.5%	13.6 %
	75	Recuento	2	0	1	3
		% del total	4.5%	0.0 %	2.3 %	6. 8%
	75.1	Recuento	1	0	1	2
		% del total	2.3 %	0.0 %	2.3 %	4.5%
	76	Recuento	3	1	0	4
		% del total	6. 8%	2.3 %	0.0 %	9.1 %
		Recuento	1	1	1	3

	76.1	% del total	2.3 %	2.3 %	2.3 %	6.8 %
	77	Recuento	3	1	0	4
		% del total	6.8 %	2.3 %	0.0 %	9.1 %
	78	Recuento	1	0	0	1
		% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
Total		Recuento	28	7	9	44
		% del total	63.6 %	15.9 %	20.5 %	100 %

**Cuadro A - 6.** Prueba de chi-cuadrado para ancho curvo del caparazón y concentración de los metales pesados en tortugas Carey.

ACC X METAL	Valor	GL	Sig. Asintótica (bilateral)
chi - cuadrado de Pearson	17.003 a	32	0.986
Razón de verosimilitudes	21.929	32	0.909
N° de casos validos	44		

51 casillas (100.0%) tiene una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es .16.

**Cuadro A - 7** Tabla de Contingencia para Concentración por Metal

CONCENTRACION X METAL			Metal			Total
			Arsénico	Mercurio	Plomo	
Concentración	0.011	Recuento	0	1	0	1
		% del total	0.0 %	2.3 %	0.0 %	2.3 %
	0.012	Recuento	0	1	0	1
		% del total	0.0 %	2.3 %	0.0 %	2.3 %
	0.013	Recuento	0	1	0	1
		% del total	0.0 %	2.3 %	0.0 %	2.3 %
	0.014	Recuento	0	1	0	3
% del total		0.0 %	2.3 %	0.0 %	6.8 %	
		Recuento	1	0	0	1

	0.02	% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
		Recuento	0	2	0	2
	0.023	% del total	0.0 %	4.5%	0.0 %	4.5%
		Recuento	0	1	0	1
	0.041	% del total	0.0 %	2.3 %	0.0 %	2.3 %
		Recuento	1	0	0	1
	0.042	% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
		Recuento	1	0	0	1
	0.043	% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
		Recuento	1	0	0	1
	0.045	% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
		Recuento	1	0	0	1
	0.05	% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
		Recuento	0	0	2	2
	0.053	% del total	0.0 %	0.0 %	4.5%	4.5 %
		Recuento	0	0	1	1
	0.54	% del total	0.0 %	0.0 %	2.3 %	2.3 %
		Recuento	1	0	0	1
	0.055	% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %
		Recuento	0	0	1	1
	0.057	% del total	0.0 %	0.0 %	2.3 %	2.3 %
		Recuento	0	0	1	1
	0.061	% del total	0.0 %	0.0 %	2.3 %	2.3 %
		Recuento	0	0	1	1
	0.064	% del total	0.0 %	0.0 %	2.3 %	2.3 %
		Recuento	0	0	1	1
	0.07	% del total	0.0 %	0.0 %	2.3 %	2.3 %
		Recuento	0	0	1	1
	0.075	% del total	0.0 %	0.0 %	2.3 %	2.3 %
		Recuento	0	0	1	1
	0.077	% del total	0.0 %	0.0 %	2.3 %	2.3 %
		Recuento	1	0	0	1
	0.09	% del total	2.3 %	0.0 %	0.0 %	2.3 %

	0.092	Recuento % del total	1 2.3 %	0 0.0 %	0 0.0 %	1 2.3 %
	0.093	Recuento % del total	1 2.3 %	0 0.0 %	0 0.0 %	1 2.3 %
	0.11	Recuento % del total	3 6.8%	0 0.0 %	0 0.0 %	3 6.8%
	0.12	Recuento % del total	1 2.3 %	0 0.0 %	0 0.0 %	1 2.3 %
	0.13	Recuento % del total	1 2.3 %	0 0.0 %	0 0.0 %	1 2.3 %
	0.14	Recuento % del total	2 4.5%	0 0.0 %	0 0.0 %	2 4.5%
	0.15	Recuento % del total	1 2.3 %	0 0.0 %	0 0.0 %	1 2.3 %
	0.17	Recuento % del total	1 2.3 %	0 0.0 %	0 0.0 %	1 2.3 %
	0.18	Recuento % del total	2 4.5%	0 0.0 %	0 0.0 %	2 4.5%
	0.21	Recuento % del total	2 4.5%	0 0.0 %	0 0.0 %	2 4.5%
	0.35	Recuento % del total	2 4.5%	0 0.0 %	0 0.0 %	2 4.5%
	0.49	Recuento % del total	1 2.3 %	0 0.0 %	0 0.0 %	1 2.3 %
	0.59	Recuento % del total	2 4.5%	0 0.0 %	0 0.0 %	2 4.5%
	2	Recuento % del total	1 2.3 %	0 0.0 %	0 0.0 %	1 2.3 %
Total		Recuento % del total	28 63.6 %	7 15.9%	9 20.5 %	44 100 %

**Cuadro A - 8.** Prueba de Chi-cuadrado para concentración por metal pesado en tortugas Carey.

CONCENTRACION X METAL	Valor	GL	Sig. Asintótica (bilateral)
chi - cuadrado de Pearson	88.000 <sup>a</sup>	68	0.05
Razón de verosimilitudes	76.612	68	0.159
N de casos validos	44		

105 casillas (100.0%) tiene una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es .16.

**Cuadro A - 9.** Resultados obtenidos según California Animal Health & Food Safety Laboratory System, medidas de LCC y ACC y sitio de toma de muestra.

Espécimen	ppm Arsénico	LCC	ACC	Sitio Geográfico
2013002	0.14	90	76.1	El Bajón, Las Isletas
2013003	0.49	81	66	Punta San Juan
2013004	0.05	81	69.5	Punta San Juan
2013005	0.042	88.5	72	Punta San Juan
2013006	0.21	85.1	75.1	Punta San Juan
2013007	0.11	86.5	75	Punta San Juan
2013008	0.14	84.7	72	Pajarito, La Pirraya
2013009	0.35	75	68	Punta San Juan
2013010	0.12	88	73	Punta San Juan
2013011	0.17	74	62	Punta San Juan
2013012	0.35	89	77	Punta San Juan
2013013	0.11	71	62	Punta San Juan
2013014	0.11	82	71	Punta San Juan
2013015	0.59	70	59	Punta San Juan
2013016	0.043	85	77	Punta San Juan
2013017	0.18	87.5	73	Rancho Teja



2013018	0.02	90	73	Punta San Juan
2013019	0.093	89.5	76	Punta San Juan
2013020	0.092	86	75	La Pirraya
2013021	0.13	87.5	76	Punta San Juan
2013022	0.59	75	63	Punta San Juan
2013023	0.15	92	72.4	Punta San Juan
2013024	0.21	90	78	Punta San Juan
2013025	2	89.5	76	El Bajón, Las Isletas
2013026	0.09	87	72.5	Las Isletas
2013027	0.055	84	77	Punta San Juan
2013028	0.045	76.3	68	Punta San Juan
2013029	0.18	79	68	El Icaco

**Nota:** ND = No Detectado

<b>Espécimen</b>	<b>ppm Plomo</b>	<b>LCC</b>	<b>ACC</b>	<b>Sitio Geográfico</b>
2013002	0.061	90	76.1	El Bajón, Las Isletas
2013003	ND	81	66	Punta San Juan
2013004	0.075	81	69.5	Punta San Juan
2013005	0.077	88.5	72	Punta San Juan
2013006	0.064	85.1	75.1	Punta San Juan
2013007	0.054	86.5	75	Punta San Juan
2013008	0.057	84.7	72	Pajarito, La Pirraya
2013009	ND	75	68	Punta San Juan
2013010	ND	88	73	Punta San Juan
2013011	ND	74	62	Punta San Juan
2013012	ND	89	77	Punta San Juan
2013013	ND	71	62	Punta San Juan
2013014	ND	82	71	Punta San Juan
2013015	0.07	70	59	Punta San Juan
2013016	ND	85	77	Punta San Juan
2013017	0.053	87.5	73	Rancho Teja
2013018	0.053	90	73	Punta San Juan
2013019	ND	89.5	76	Punta San Juan

2013020	ND	86	75	La Pirraya
2013021	ND	87.5	76	Punta San Juan
2013022	ND	75	63	Punta San Juan
2013023	ND	92	72.4	Punta San Juan
2013024	ND	90	78	Punta San Juan
2013025	ND	89.5	76	El Bajón, Las Isletas
2013026	ND	87	72.5	Las Isletas
2013027	ND	84	77	Punta San Juan
2013028	ND	76.3	68	Punta San Juan
2013029	ND	79	68	El Icaco

**Nota:** ND = No Detectado

<b>Espécimen</b>	<b>ppm Mercurio</b>	<b>LCC</b>	<b>ACC</b>	<b>Sitio Geográfico</b>
2013002	0.013	90	76.1	El Bajón, Las Isletas
2013003	0.012	81	66	Punta San Juan
2013004	ND	81	69.5	Punta San Juan
2013005	ND	88.5	72	Punta San Juan
2013006	ND	85.1	75.1	Punta San Juan
2013007	ND	86.5	75	Punta San Juan
2013008	0.014	84.7	72	Pajarito, La Pirraya
2013009	0.023	75	68	Punta San Juan
2013010	ND	88	73	Punta San Juan
2013011	ND	74	62	Punta San Juan
2013012	ND	89	77	Punta San Juan
2013013	ND	71	62	Punta San Juan
2013014	ND	82	71	Punta San Juan
2013015	ND	70	59	Punta San Juan
2013016	0.011	85	77	Punta San Juan
2013017	0.041	87.5	73	Rancho Teja
2013018	ND	90	73	Punta San Juan
2013019	ND	89.5	76	Punta San Juan
2013020	ND	86	75	La Pirraya
2013021	0.023	87.5	76	Punta San Juan

2013022	ND	75	63	Punta San Juan
2013023	ND	92	72.4	Punta San Juan
2013024	ND	90	78	Punta San Juan
2013025	ND	89.5	76	El Bajón, Las Isletas
2013026	ND	87	72.5	Las Isletas
2013027	ND	84	77	Punta San Juan
2013028	ND	76.3	68	Punta San Juan
2013029	ND	79	68	El Icaco

**Nota:** ND = No Detectado

**Anexo 1.** Hoja de registro de tortugas marinas

Fecha: \_\_\_\_\_

Lugar: \_\_\_\_\_

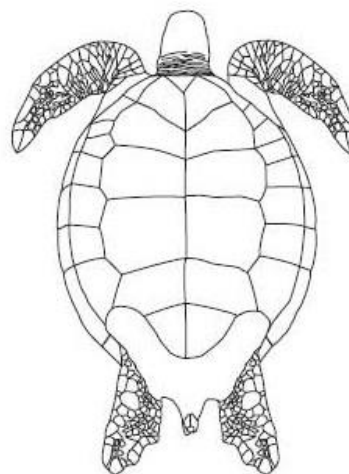
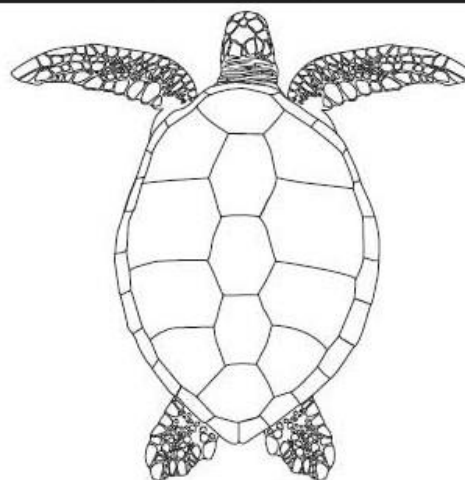
LCC: \_\_\_\_\_

ACC: \_\_\_\_\_

Código: \_\_\_\_\_

Aleta Derecha: \_\_\_\_\_

Aleta Izquierda: \_\_\_\_\_

**RESULTADOS DEL EXAMEN****Mark damage on diagrams below****Observaciones:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **Anexo 2. Marchas de laboratorio**

### **Técnica de absorción atómica con generación de hidruros**

Permite cuantificar en el orden de ppm (partes por millón) el Arsénico y el Mercurio, para esto las muestras de sangre se mezclaron con ácido clorhídrico y un agente reductor, esta mezcla produjo reacciones con los dos metales para formar hidruros volátiles, el boro hidruro de sodio es el reductor que se utilizó para procesar las muestras, los hidruros volátiles son arrastrados por un gas portador como nitrógeno a una celda de cuarzo, que es calentada por una llama de aire - acetileno a una temperatura optimizada para producir la atomización del analito, cuando los gases pasan a través de un tubo calentado, ocurre una descomposición térmica y se liberan los átomos de cada elemento del metal.

Al pasar la luz emitida por la lámpara a través del conjunto de átomos, la absorción crece a medida que estos se producen, llega a un máximo y cae al consumirse el analito y agotarse los átomos de la celda de absorción.

La cuantificación se realizó a través del cambio de las condiciones de formación de los hidruros como tiempos de reacción y reactivos específicos.

Al final lo que se obtuvo es una lectura específica por cada muestra de sangre, y por cada metal expresados en partes por millón (ppm).

### **Técnica por horno de grafito**

El plomo se determinó por horno de grafito (AAAnalyst 800, Perkin-Elmer). A partir de muestras de sangre y estándares de concentración conocida, se obtienen átomos de plomo en estado elemental; se hace pasar a través de éstos un haz de luz de 283.3 nm y se mide la cantidad de luz absorbida, que es proporcional al número de átomos presentes; para ello:

Se acondicionaron las muestras de sangre, colocándose de forma individual y automatizada en una plataforma de temperatura estable, instalada en un tubo de grafito pirolítico; se sometieron a un tratamiento térmico inducido por resistencia eléctrica; se hizo pasar a través de una nube atómica obtenida, un haz de luz generado por lámparas específicas de cátodo hueco o de descarga sin electrodo; se obtiene la respuesta instrumental de absorbancia integrada, usando un corrector de fondo, y se compara la absorbancia de muestras y estándares para obtener la concentración de plomo en la sangre estudiada (Deem et al., 2006).