



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

**CONCENTRACIÓN DE
DICLORODIFENILTRICLOROETANO (DDT) EN
POBLACIONES SILVESTRES DE COCODRILO
(*CROCODYLUS ACUTUS* Y *C. MORELETII*) EN LA
ZONA COSTERA DE MÉXICO**

Eleazar Loa Loza

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2007

La presente tesis titulada: **Concentración de Diclorodifeniltricloroetano (DDT) en Poblaciones Silvestres de Cocodrilo (*Crocodylus acutus* y *C. moreletii*) en la Zona Costera de México**, realizada por el alumno Eleazar Loa Loza, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

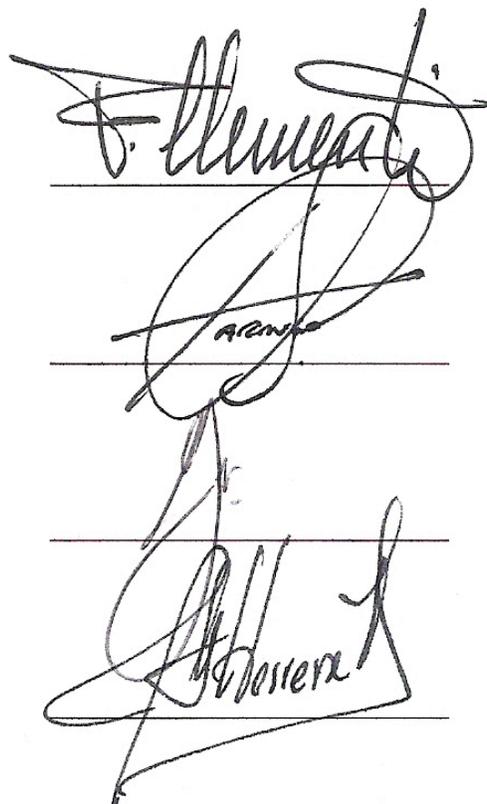
CONSEJO PARTICULAR:

Consejero: Dr. Fernando Clemente Sánchez

Asesor: Dr. Luis A. Tarango Arámbula

Asesor: Dr. Germán D. Mendoza Martínez

Asesor: Dr. José G. Herrera Haro



The image shows three handwritten signatures, each written on a horizontal line. The top signature is in cursive and appears to read 'F. Clemente'. The middle signature is also in cursive and appears to read 'L. Tarango'. The bottom signature is in cursive and appears to read 'G. Mendoza'. The signatures are written in black ink on a white background.

DEDICATORIA

A la memoria de mi madre y de mi padre. Para ambos con todo mi amor, ya que viviran por siempre dentro de mi corazón.

A mis hermanos Fernando, Rosa María, Patricia y Juan Carlos, quiénes sobre todas las situaciones me han apoyado en el curso de mi vida.

A mi esposa Norma Angélica, porque siempre me ha brindado todo su amor, comprensión, ternura y apoyo incondicional, lo que la hace ser el principal motivo de todo lo que yo he logrado.

"... la finalidad de nuestra escuela (...) consistiría (...) en enseñarle (al pueblo) a repensar lo pensado, a saber lo sabido y a dudar de su propia duda, que es el único modo de empezar a creer en algo."

Juan De Mairena

AGRADECIMIENTOS

Debido al gran número de personas que interactúan ayudando de diversas formas, suele ocurrir que en el esfuerzo de enlistarlas a todas, alguien puede involuntaria e inmerecidamente quedar fuera. Por ello, quiero agradecerles en primer lugar de manera genérica a todos los que hicieron posible la conclusión de este proyecto, pero en particular:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo financiero para la realización de mis estudios de Maestría en el Colegio de Postgraduados.

A la Comisión para la Cooperación Ambiental, de la Oficina México, por su apoyo económico para la realización del proyecto, especialmente al Dr. Hernando Guerrero C. y al Biol. José Manuel Galindo J., por la invitación a participar en este importante esfuerzo, la confianza depositada y por el apoyo brindado.

A los miembros de mi Consejo Particular, especialmente al Dr. Fernando Clemente Sánchez, por su apoyo i e impulso para que iniciara y concluyera mis estudios de Maestría.

Al Dr. Fernando Díaz B., Investigador del Laboratorio de Toxicología Ambiental, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luís Potosí por el procesamiento y análisis de las muestras de sangre colectadas.

Al Dr. Jorge F. Méndez Galván. Director del Programa de Prevención y Control de Enfermedades Transmitidas por Vector de la Secretaría de Salud, por su apoyo con la información proporcionada respecto a las cantidades de DDT aplicado y sus consejos que ayudaron a mejorar el enfoque de este trabajo.

A diferentes personas que en campo apoyaron para la colecta de las muestras, como son:

Biol. Jerónimo Domínguez L., Curador del Museo del Cocodrilo del Zomat, y sus colaboradores, quiénes apoyaron con la colecta de muestras en los estados de Oaxaca, Chiapas, Yucatán, Campeche, Quintana Roo y Tabasco;

Biol. Paulino Ponce Campos y Biol. Sara M. Huerta Ortega de la Asociación Civil Bosque Tropical, Investigación para la Conservación de la Naturaleza, quienes realizaron la colecta de muestras de cocodrilos en la Manzanilla, Jalisco;

Biol. Helios Hernández Hurtado, Reptilario Cipactli del Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

Biol. Juan Barnard, Playa Zihuatanejo, Guerrero, que apoyó la captura de cocodrilos;

Biol. Rafael Girón Botello, Área Natural Protegida “Estero El Salado”, Nuevo Vallarta; Personal de la Delegación Federal de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) en el Estado de Nayarit por su apoyo en la colecta de cocodrilos; Personal del CIV-Semarnat, Guadalajara, Jalisco;

Dr. Alejandro Fierro Cobos, Director de Medio Ambiente del Municipio de Tampico, Tamaulipas;

MVZ. Manuel Carrera, de Ciudad Victoria, Tamaulipas;

Tec. Pesq. Jesús Cota Fernández, encargado técnico del Criadero de Cocodrilos UMA El Cacahuatal;

A los pobladores de las comunidades de los distintos sitios de donde se realizó la colecta de ejemplares de cocodrilos.

A todos los investigadores y profesores del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo y Campus San Luís Potosí, por haber contribuido de manera fundamental a mi formación.

A mi profesor y amigo Jonathan Franco, por sus consejos en la realización de esta tesis.

A la Dirección General de Vida Silvestre de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), por su apoyo al otorgarme el permiso No. 05349 de fecha 6 de julio del 2004, para la captura de los cocodrilos y la colecta de sangre.

CONTENIDO GENERAL

| | |
|--|----|
| Resumen | 1 |
| Abstract | 2 |
| I. Introducción | 3 |
| Objetivo | 4 |
| Hipótesis | 4 |
| II. Revisión de Literatura | 5 |
| 2.1. Zona Costera de México | 5 |
| 2.2 Plaguicidas | 5 |
| 2.3. Efecto de los plaguicidas sobre los organismos | 5 |
| 2.4. Taxonomía de las especies de cocodrilos | 9 |
| 2.4.1. Cocodrilo de Río: <i>Crocodylus acutus</i> (Muller y Hellmich, 1940) | 10 |
| 2.4.2. Cocodrilo de Pantano: <i>Crocodylus moreletii</i> (Duméril y Duméril, 1851) | 13 |
| 2.5. El DDT y los cocodrilos | 16 |
| III. Materiales y Métodos | 21 |
| 3.1. Área de estudio | 21 |
| 3.2. Captura de cocodrilos | 24 |
| 3.3. Colecta y análisis de tejido sanguíneo | 29 |
| 3.4. Sistema de Información Geográfico (SIG) | 31 |
| 3.5. Análisis estadístico | 34 |
| IV. Resultados y discusión | 35 |
| V. Implicaciones de manejo | 54 |
| VI. Conclusiones | 55 |
| Literatura Citada | 57 |
| Anexo Único. Estudios de las diferentes especies de cocodrilos en relación con el DDT y sus metabolitos. Resultados Cuantitativos. | 66 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Ubicación de los sitios de muestreo para la detección de metabolitos de DDT en sangre de cocodrilos silvestres en la zona costera de México | 24 |
| Cuadro 2. Cuadro 2. Determinación de la clase de edad para los cocodrilos, de acuerdo a la longitud total corporal | 30 |
| Cuadro 3. Mapas temáticos utilizados en el SIG con los que se determinó las unidades ambientales de la zona costera de México | 31 |
| Cuadro 4. Niveles de aplicación e intervalos de las cantidades de DDT aplicadas en el ambiente | 32 |
| Cuadro 5. Medias y desviaciones estandar y valores máximos y mínimos para la longitud y peso de los cocodrilos y para las concentraciones de DDT y sus metabolitos en sangre | 35 |
| Cuadro 6. Medias de DDT total (Σ DDT) y su metabolitos en sangre, de acuerdo a la especie, sexo y clase de edad de los de cocodrilo | 40 |
| Cuadro 7. Medidas de tendencia central y desviaciones estandar para la longitud y peso de cocodrilo, y para las concentraciones de DDT y sus metabolitos, por especie | 40 |
| Cuadro 8. Medidas de tendencia central y desviaciones estandar para la longitud y el peso y las concentraciones de DDT y sus metabolitos en sangre de acuerdo al sexo de los cocodrilo. | 42 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Morfología externa de Cocodrilo de Río (<i>Crocodylus acutus</i>) | 10 |
| Figura 2. Distribución natural de <i>Crocodylus acutus</i> | 11 |
| Figura 3. Características Morfológicas de Cocodrilo de Pantano: <i>Crocodylus moreletii</i> | 14 |
| Figura 4. Distribución natural de <i>Crocodylus moreletii</i> | 15 |
| Figura 5. Sitios de colecta de cocodrilos para la toma de muestras de sangre para la detección de DDT y sus metabolitos | 21 |
| Figura 6. Localización de las Provincias Biogeográficas utilizadas en el estudio de detección de DDT y sus metabolitos | 22 |
| Figura 7. Localización de los sitios de muestreo por especie de cocodrilo | 25 |
| Figura 8. Modelo empleado para la delimitación y caracterización de las Unidades Ambientales utilizadas en los sitios de muestreo para la determinación de DDT y sus metabolitos | 32 |
| Figura 9. Provincias Biogeográficas (Unidades Ambientales) identificadas para el análisis cartográfico, indicando los sitios de muestreos de sangre de cocodrilos por especie | 33 |
| Figura 10. Gráfica de la concentración total de DDT en función de la longitud y el peso de los cocodrilos. Derecha ajustada por método inverso (Shepard) | 36 |
| Figura 11. Concentración media de DDT y sus metabolitos en muestras de sangre de cocodrilos | 36 |
| Figura 12. Relación de las variables de respuesta longitud y peso de los cocodrilos muestreados | 39 |
| Figura 13. Concentración media de DDT y sus metabolitos en muestras de sangre de dos especies de cocodrilo | 41 |
| Figura 14. Concentración media de DDT y sus metabolitos en muestras de sangre de cocodrilos de acuerdo al sexo | 43 |
| Figura 15. Concentración media de DDT y sus metabolitos en muestras de sangre de cocodrilos por clase de edad | 44 |
| Figura 16. Concentración de DDT y sus metabolitos en muestras de sangre por clase de edad de cocodrilos | 45 |
| Figura 17. Concentración media de DDT y sus metabolitos en muestras de sangre de cocodrilos por nivel de aplicación de DDT en el ambiente | 46 |
| Figura 18. Localización de las concentraciones de DDT y sus metabolitos en muestras de sangre de cocodrilos y el nivel de aplicación de DDT en el ambiente | 47 |
| Figura 19. Concentración media de DDT y sus metabolitos en muestras de sangre de cocodrilos por provincia biogeográfica | 48 |

| | |
|--|----|
| Figura 20. Figura 20. Concentración de DDE en función de la longitud y el peso de los cocodrilos (gráfica ajustada por método inverso -Shepard-). | 49 |
| Figura 21. Concentración total de DDT en función de la longitud y el peso de los cocodrilos machos (gráfica ajustada por método inverso -Shepard-) | 50 |

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

| | |
|--|----|
| Fotografía 1. Sujetador de acero empleado en la captura de cocodrilos para la toma de muestras de sangre para la determinación de metabolitos de DDT | 26 |
| Fotografía 2. Manejo de cocodrilos una vez que han sido atrapados con el sujetador de acero | 26 |
| Fotografía 3. Trampa con disparador manual empleado en la captura de cocodrilos. Trampa con mecanismo de disparo automático empleado en la captura de cocodrilos | 27 |
| Fotografía 4. Manejo y contención física del cocodrilo atrapado para la toma de muestra de tejido sanguíneo | 27 |
| Fotografía 5. Sexado de cocodrilos mediante la palpación del pene, y pesaje | 28 |
| Fotografía 6. Medida de la longitud total en cocodrilos que va de la punta de la cola a la punta de la nariz | 28 |
| Fotografía 7. Toma de muestra de sangre de la región caudal y la región postcranial en cocodrilos | 29 |
| Fotografía 8. Tubo Vacutainer® empleado en la colecta y transporte de la muestra de sangre de cocodrilos | 30 |

RESUMEN

Para determinar la concentración de DDT y sus metabolitos en ejemplares de cocodrilos (*Crocodylus acutus* y *C. moreletii*), durante el período de junio a diciembre de 2004 se tomaron 80 muestras de sangre en 37 localidades de 13 estados de la zona costera de México. En algunos de estos sitios, ha sido aplicado el DDT para el control del vector del paludismo. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio mediante cromatografía de gases con detector de captura de electrones. Se realizó un análisis de regresión lineal simple entre la longitud y el peso de los cocodrilos. Para comparar las concentraciones de DDT en sangre en función de la longitud y peso de los cocodrilos en las provincias biogeográficas, se realizó el análisis de varianza utilizando un modelo estadístico de efectos fijos con un solo criterio de clasificación y diferente número de observaciones, el cual incluyó cuatro provincias biogeográficas, el nivel de aplicación de DDT, de la clase de edad y la especie de cocodrilos. Las pruebas de comparación de medias se realizaron utilizando la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Los resultados mostraron la presencia de DDT en los cocodrilos de todos los sitios muestreados con un valor promedio estimado de para Σ DDT de 6.68 ng/mL, DDT 1.66 ng/mL, DDE 3.58 ng/mL y DDD 1.44 ng/mL. Se encontró una relación funcional entre la concentración de DDE en cocodrilos machos y Σ DDT con las variables de respuesta longitud y el peso en los cocodrilos ($\alpha=0.05$ y $R^2=37\%$ y $\alpha=0.05$ y $R^2=35\%$ respectivamente). Se encontró también una relación funcional del DDD ($P>0.05$), de lo cual se estableció un modelo de efectos fijos con tres criterios de clasificación, sin interacción. La presencia de DDT en la sangre indica exposiciones recientes en el medio ambiente, identificándose el metabolito DDE como el más persistente. La concentración detectada de metabolitos del DDT confirma que el pesticida usado para el control del vector del paludismo, aún persiste y está bioacumulado en los cocodrilos, sin daño aparente.

Palabras clave: Reptiles, *Crocodylus acutus*, *C. moreletii*, DDT, pesticidas, contaminación.

ABSTRACT

To determine DDT and its metabolites concentration in crocodiles (*Crocodylus acutus* and *C. moreletii*), 80 blood samples were taken from June to December 2004. These samples were taken at 37 localities of 13 states in the coastal zone of Mexico in areas where DDT was applied to control the vector of paludism. The samples were processed in the laboratory by means of gaschromatography with detector of electron capture. A simple linear regression analysis between the length and weight of the crocodiles was conducted. To compare the concentrations of DDT in blood as a function of length and weight of crocodiles in the biogeographical provinces, an analysis of variance was utilized. The tests of comparison of averages were made using the test of Tukey ($\alpha=0.05$). The results showed that DDT is present at all sample sites with an average of 6.68 Σ DDT of ng/mL, DDT 1.66 ng/mL, 3.58 DDE ng/mL and DDD 1.44 ng/mL. A functional relationship between DDE and Σ DDT concentrations and the variables length and weight in male crocodiles ($\alpha= 0.05$ y $R^2= 37\%$ y $\alpha=0.05$ y $R^2= 35\%$, respectively) was found. Using the same classification criterion, the minimum square averages (LS means) were obtained and they were compared using the Tukey-Kramer test, which is applied to adjusted means with different numbers of observations. Consequently a functional relationship of DDD ($P > 0.05$) was found; through which, a model of fixed effects with three criteria of classification without interaction was set up. The DDT traces in blood indicate recent exposures to the environment, being the DDE metabolite as the most persistent. The concentration of DDT metabolites confirms that the pesticide used to control the vector of paludism still persists, and it is bio-accumulated in the crocodiles without apparent damage.

Key words: Reptiles, *Crocodylus acutus*, *C. moreletii*, DDT, pesticide, pollution.

I. INTRODUCCIÓN

La costa de México se caracteriza por ser una zona de intensas interacciones físicas, ecológicas y sociales, donde una parte de tierra es afectada por su proximidad al mar, a la vez que se considera también como una parte del océano que es afectada por su adyacencia al continente. Las costas albergan a la mayoría de la población del mundo y contienen algunos de los ecosistemas más productivos del planeta con grandes reservas de biodiversidad, donde se encuentran los arrecifes de coral, los pastos marinos y los manglares, los cuales para su supervivencia han evolucionado siendo dependientes unos de otros. En México, la zona costera (Toledo, 1995) posee un litoral de 11,000 Km de longitud, plataforma continental de 500,000 Km²; con una superficie estuarina de 16,000 Km² y de lagunas costeras de 12,500 Km². Ésta constituye una extensa área con grandes posibilidades de aprovechamiento sustentable, derivadas de la riqueza biótica de sus aguas y de sus variados ecosistemas lagunares y costeros, tan complejos como frágiles.

La zona costera no es un sistema aislado, ya que sus sistemas fluviales pueden llevar contaminantes, que son resultado de las actividades humanas que se desarrollan tierra adentro derivadas en su mayoría de prácticas agrícolas, así como la deforestación que incrementan los niveles de sedimentos al medio ambiente marino, los cuales degradan la salud de los arrecifes de coral y transportan estos contaminantes hacia otros países a través de sus corrientes marinas.

Tal es el caso de los plaguicidas, donde a nivel mundial y particularmente en Estados Unidos de América desde el año de 1972 se ha prohibido la producción de plaguicidas persistentes, como el diclorodifeniltricloroetano (DDT) y el paratión, entre otros. Sin embargo, estos productos siguen teniendo impacto en el medio ambiente, donde grandes cantidades de sus residuos pueden permanecer retenidos en el suelo, lodo, atmósfera y biota. Por ello, es necesario obtener mayor información de la ocurrencia de residuos de los plaguicidas persistentes en varios componentes del medio ambiente, sobre todo en aquellas regiones o áreas con antecedentes de uso intensivo.

El DDT se ha dejado de utilizar en México desde el año 2000, pero las evidencias existentes indican que el riesgo a su exposición al DDT residual y a sus metabolitos no ha

disminuido. Mientras que el DDT exista en algunos componentes del ambiente, como sedimentos, suelo o agua, habrá la posibilidad de biomagnificación y bioacumulación en los organismos silvestres que integran las cadenas tróficas. Se esperaría que al paso del tiempo, los niveles de DDT en el ambiente disminuyan debido a su degradación, pero que paulatinamente aumente la exposición a su metabolito más estable: diclorodifeniletano (DDE).

Con la puesta en marcha de acciones encaminadas para lograr el objetivo del Plan de Acción Regional de América del Norte para el Manejo del DDT (PARAN-DDT), en México se han venido desarrollando proyectos para identificar organismos indicadores de exposición a DDT y sus metabolitos. El apartado que aún no ha sido abordado es el que se refiere al comportamiento que tiene el DDT en las cadenas alimenticias en el medio natural. Esta situación fue evidenciada en el Foro Nacional sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes realizado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México en el año 2001, donde las organizaciones sociales y académicas ahí reunidas externaron su preocupación por esta situación. El presente estudio es una respuesta a dicha necesidad y pretende a conocer el efecto de los procesos de bioacumulación y biomagnificación del DDT en las especies silvestres de cocodrilos en México.

Objetivo

Determinar la concentración de DDT y sus metabolitos en ejemplares de Cocodrilo de Río (*Crocodylus acutus*) y Cocodrilo de Pantano (*Crocodylus moreletii*), en la zona costera de México.

Hipótesis

- Existen diferencias en los residuos de DDT y sus metabolitos en cocodrilos que habitan la zona costera de Mexico, según la región biogeográfica, aplicación de DDT en al ambiente, especie, edad y sexo de los cocodrilos.
- La aplicación de DDT en las zonas costeras de México tiene un efecto sobre la longitud y peso total de los ejemplares de cocodrilo.
- La concentración de DDT en ejemplares de cocodrilos que habitan en las zonas costeras de México, afectan su longitud y peso total.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Zona Costera de México

Se han desarrollado algunos esfuerzos para ampliar el conocimiento de la zona costera, entre ellos destaca el realizado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), la cual en el año de 1998 elaboró un mapa del territorio nacional, donde identificó 70 regiones marinas prioritarias para la conservación de la biodiversidad costera y oceánica en México (43 en el Pacífico y 27 en el Golfo de México y Mar Caribe) (Arriaga *et al.*, 1998). Las regiones prioritarias definidas para el Pacífico equivalen a un poco más del 39%; mientras que las del Atlántico equivalen aproximadamente al 50% de la superficie total. Dichas zonas fueron prioritarias de acuerdo a su biodiversidad, actividades humanas y problemas que en ellas se identifican.

2.2. Plaguicidas

Se han reportado problemas serios de salud presumiblemente por efectos de la contaminación de los recursos naturales por plaguicidas (García, 1977), lo que se manifiesta por la presencia de enfermedades en algunas poblaciones humanas, como es el caso de la Comarca Lagunera, México, en los cuales se han reportado alergias, cáncer en la piel y deformaciones corporales, entre otras.

O'Brien (1990) menciona que se conoce poco acerca de los cambios que un plaguicida experimenta en el medio ambiente, pero de algunos se conoce que se descomponen en sustancias más peligrosas; por ejemplo: el organoclorado Heptacloro se transforma en Heptacloro Epóxido, el cual es una sustancia sumamente tóxica para organismos vegetales y animales.

La Campaña de la Red de Acción de Plaguicidas de la "docena trágica" (los doce compuestos químicos más peligrosos) ha tenido como objetivo eliminar el uso de químicos peligrosos a escala mundial, entre estos compuestos químicos se encuentra el DDT.

2.3. Efecto de los plaguicidas en los organismos

O'Brien (1990) reporta que solo una de cada 1,000 especies de insectos llega a convertirse en plaga; sin embargo, la mayoría de los insecticidas matan a muchas de dichas

especies. En el agua, concentraciones de plaguicidas de sólo una parte por billón matan fácilmente a algunas especies de peces. Al respecto, Ferrando *et al.* (1992) estudiaron la toxicidad del Lindano, Endosulfan, Pentaclorofenol, 3,4 Dicloroanelina y sulfato de cobre, para determinar su letalidad en dos especies de invertebrados (*Daphnia magna* y *Brachionus calyciflorus*), donde *D. magna* fue más sensitiva que *B. calyciflorus* a los tóxicos probados, excepto para el sulfato de cobre. El 3, 4-dicloroanelina fue el compuesto más tóxico para *D. magna*, seguido en orden decreciente de toxicidad por el sulfato de cobre, pentaclorofenol, Endosulfan y Lindano. El sulfato de cobre fue el producto más tóxico para los rotíferos *B. calyciflorus*, seguido por el pentaclorofenol, Endosulfan, Lindano y 3, 4-dicloroanelina.

Hendricks *et al.* (1995) monitorearon la concentración de plaguicidas en cadenas alimenticias terrestres, muestras de suelo, lombrices de tierra (*Lumbricus rubellus*) y musarañas (*Crocidura russula*, *Sorex araneus*). Encontraron residuos de Clorobifenil en grasa de lombriz de tierra cuyo contenido fue de 0.10 a 3.5 veces mayor que la concentración detectada en la materia orgánica del suelo; mientras que para otros plaguicidas organoclorados el contenido de residuos varió. La concentración de plaguicidas organoclorados en lípidos de musarañas vivas fue de 13 veces más que los residuos en la grasa de las lombrices de tierra.

Para los peces, los compuestos como los azinfos metálico, endosulfan, diazinon, paration, clordano, malation, dinoseb y DDT son muy tóxicos. Así mismo, azinfos metálico, diazinon, clordano, endosulfan, paration, DDT y fention, lo son para las aves. Azinfos metálico, diazinon, clorpirifos, paration metílico, fenitrition, lindano y malation, lo fueron para invertebrados como abejas y otros insectos polinizadores (Cicoplafest, 1998).

En el mundo existen cada día más evidencias sobre los efectos negativos de las sustancias químicas tóxicas sobre muchas especies silvestres¹. Las poblaciones de delfines y focas en el mar Mediterráneo y Báltico han sido afectadas por sustancias químicas al igual que en aguas de los Estados Unidos, la costa oeste de África y otras partes del mundo. Las ballenas en todos los océanos del mundo tienen concentraciones de 1,2-Dibromo-3-

¹ (<http://www.worldwildlife.org/toxics/globaltoxics/toxchemwild.htm>)

Chloropropane (DBCP), dioxinas y otros contaminantes equivalentes a los que producen enfermedades a los humanos. Las poblaciones de águila calva y águila marina de cola blanca que se alimentan de peces, tienen problemas reproductivos en áreas de su distribución natural que han sido industrializadas. Los albatros que anidan en la isla Midway, en el Pacífico Norte y los osos polares en el Circulo Polar Ártico, presentan concentraciones elevadas de sustancias químicas sintéticas. Las ballenas Beluga en la desembocadura del Río Saint Lawrence en Canadá, presentan niveles peligrosos de PCB. En 1996, una población de 20,000 halcones de Swainson que pasaron el invierno en Argentina, murieron a causa del pesticida monocrotofos. Los cocodrilos machos del Lago Apopka en Florida, sufren de anomalías genitales externas conspicuas y tienen dificultad para reproducirse; estudios recientes han revelado problemas similares en otras partes de Florida.

Las especies acuáticas, son especialmente sensibles a los plaguicidas debido a que su sistema respiratorio implica filtrar grandes cantidades de agua a través de su organismo. Lo anterior es de suma importancia si consideramos que la baja polaridad de los compuestos organoclorados, les dá la propiedad de ser muy poco solubles en agua y por el contrario una alta solubilidad en los lípidos; debido a esto, dichos compuestos son rápidamente removidos del agua y concentrados en las grasas, llegando a acumularse en altos niveles en los organismos filtradores. Otro mecanismo de ingestión de insecticidas en peces e invertebrados acuáticos es a través de sus alimentos contaminados.

O'Brien (1990) menciona que algunos plaguicidas organoclorados (DDT, Heptacloro, Clordano) son considerados como plaguicidas persistentes; otras clases como el herbicida Dipyridilo Paraquat y el fungicida (carbamato) Benomyl, pueden persistir también mucho tiempo. Estos plaguicidas pueden acumularse, a través de los años en el suelo y en el fondo de los estanques para ser después absorbidos por las plantas o liberados por organismos del suelo. La vida media del plaguicida organoclorado Toxafeno es de 15 años en el suelo, lo que significa que a 15 años de aplicarlo, la mitad del plaguicida permanece y después de 30 años, aún su cuarta parte.

Edwards (1976) menciona que aunque los plaguicidas se apliquen como aspersiones aéreas, espolvoreados al follaje, o directamente en el suelo, grandes cantidades de éstos finalmente llegan al suelo, el cual actúa como un reservorio de esos productos, donde se mueven hacia invertebrados, o pasando por el aire o agua. Asimismo, menciona que los cultivos disminuyen la volatilización de insecticidas organoclorados desde el suelo; ya que se ha demostrado que estos productos químicos persisten mucho más en la superficie de un suelo con cultivo que en la de un suelo descubierto. Cuando está debajo del suelo, el plaguicida puede difundirse hacia la superficie o por la humedad ser transportado hacia abajo antes de que pueda escapar a la atmósfera.

Voerman *et al.* (1986) estudiaron los residuos de Dieldrin, Lindano, DDT y Paratión en un suelo arenoso durante 15 años. El DDT y el Dieldrin analizados a una profundidad de entre 10 y 60 cm fueron mucho más persistentes que el Lindano, por el contrario el Paratión desapareció muy pronto. Por debajo de los 20 cm solamente se encontraron trazas de Dieldrin y DDT.

Por otra parte, Albert *et al.* (1989) indican contaminación irreversible de los suelos de los mantos freáticos y de aguas continentales y costeras, la acumulación de los plaguicidas en las cadenas tróficas y el desarrollo de resistencia en los organismos tales como insectos, hongos o roedores. En México, no hay suficientes estudios que permitan estimar la magnitud real o potencial de estos daños ambientales. Sin embargo, algunos indicios de contaminación son los residuos de plaguicidas encontrados en aguas de deshielo del Volcan Popocatepetl. Por otro lado, las aves migratorias que pasan el invierno en México, contienen mayores concentraciones de plaguicidas que las residentes en Norteamérica.

Guan *et al.* (1991) analizaron las aguas de los ríos de la Península de Malasia para identificar la presencia de pesticidas organoclorados. Otros plaguicidas organoclorados fueron identificados en las muestras de agua, sin embargo, los niveles estuvieron por debajo de los niveles críticos para la vida acuática. Kucklck *et al.* (1994) estudiaron el agua y biota del Lago Baikal, en Siberia con el objetivo de investigar la presencia de contaminantes organoclorados. Los niveles de contaminantes organoclorados en agua fueron similares a los reportados para los Grandes Lagos (E.U.A.), con excepción del

Clordano que fue dos veces menor. El Toxafeno disuelto y el DDT promediaron 64 y 87 pg/L, respectivamente.

2.4. Taxonomía de las especies de cocodrilos (ITIS, 2005)

| | |
|-----------|--|
| Reino | Animalia |
| Phylum | Chordata |
| Subphylum | Vertebrata |
| Clase | Reptilia Laurenti, 1768) |
| Orden | Crocodylia |
| Familia | Crocodylidae |
| Genero | Crocodylus (Laurenti, 1768) |
| Especies | <i>Crocodylus acutus</i> (Cuvier, 1807)- Nombre común: American Crocodile, Caiman de la Costa, Central American alligator, Cocodrilo, Cocodrilo Americano, Lagarto <i>Crocodylus moreletii</i> (Dumeril and Dumeril, 1851) Nombre común: Belize Crocodile, Central American Crocodile, Cocodrilo de Moreleti, Morelet's crocodile |

Orden Crocodylia

En el mundo existen 23 especies de cocodrilos, con tres Familias y ocho Géneros. En México hay tres especies: *Caimán crocodilus chiapasius* (caimán huesudo de Chiapas, pululo, talulón o lagarto chato), único representante de la Familia Alligatoridae. La Familia Crocodylidae está representada en México por dos especies: *Crocodylus acutus*, que se distribuye en gran parte de las costas del Océano Pacífico desde el norte de Sinaloa hasta Chiapas y en la vertiente del Atlántico, a lo largo del litoral del Golfo de México y del Caribe; y *Crocodylus moreletii*, conocido como lagarto o cocodrilo de pantano, que sólo se distribuye de manera natural del lado del Atlántico desde el estado de Tamaulipas en las costas del Golfo de México hasta Guatemala.

2.4.1. Cocodrilo de Río: *Crocodylus acutus* (Cuvier, 1807)

Según el Instituto Nacional de Ecología (INE, 1999) en su clasificación cuenta con algunos sinónimos como *Crocodylus biscutatus de Cuvier* en 1807, *Alligator lacordairei* de Borre en 1868, *Crocodylus mexicanos*, *Crocodylus pacificus* y *Crocodylus lewyanus* de Duméril y Bocourt en 1870, *Crocodylus floridanus* de Hornaday en 1875 y *Crocodylus americanus* de Boulenger en 1889. En México se le denomina de diferentes formas (caimán, lagarto real, lagarto amarillo, lagarto fino, cocodrilo de río, cocodrilo picudo) dependiendo de la región. Los aztecas lo llamaban *acuetzpalín* y los Mayas *itzam can ain*. En Centroamérica tiene varios nombres, entre los más comunes lagarto y caimán, éste último también se utiliza en Cuba y Colombia. En Sudamérica es caimán picudo y para los Estados Unidos es “*American crocodile*”.

Descripción de la especie. Presenta un hocico notablemente alargado, su longitud es 1.75 a 2.5 veces más grande que el ancho basal; los animales muy viejos, como regla general, poseen una joroba media preorbitaria; 5 dientes premaxilares, 13 maxilares y 15 mandibulares, la longitud media de los premaxilares es de 1.3 a 1.5 veces más grande que el ancho combinado de ambos huesos, la sutura premaxilo- maxilar se presenta en forma de "V". Las escamas tienen osteodermos arreglados en 16 ó 17 hileras transversales y 4 ó 5 longitudinales con quillas poco definidas, en los costados las escamas de la hilera transversal regularmente alineadas y usualmente poco aquilladas; por lo general no hay pliegue gular y cuando esta presente es poco desarrollado (Figura 1).

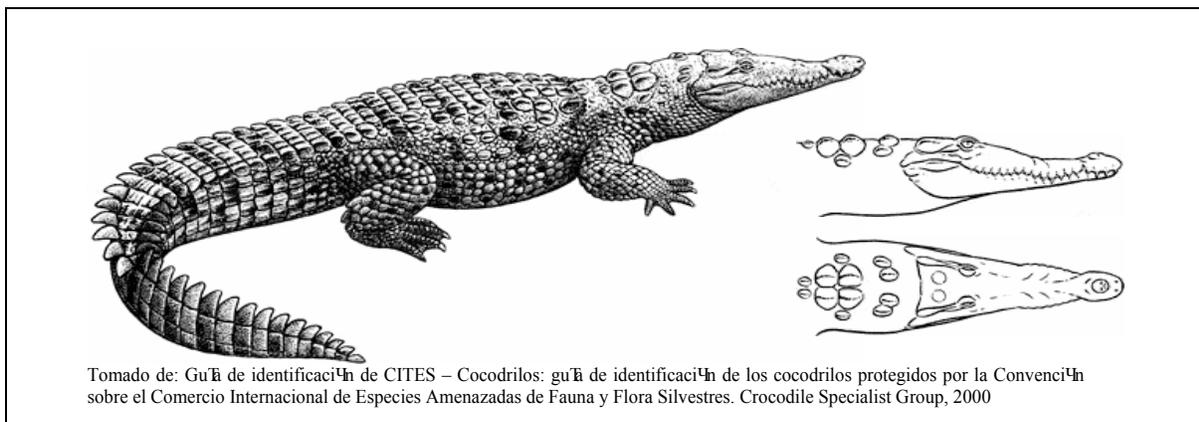


Figura 1. Morfología externa del Cocodrilo de Río (*Crocodylus acutus*).

En los animales viejos, la coloración dorsal es café olivo o verde olivo, muy brillante, siendo más clara en juveniles; presentan flecos y manchas oscuras y el vientre no presenta marcas. Llega a medir hasta 7.5 metros, en promedio se puede encontrar en vida libre con tallas de alrededor de 3 metros, los recién nacidos miden entre 25 y 30 centímetros.

Estatus. Esta especie se encuentra listada en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 bajo Protección Especial (Semarnat, 2002).

Distribución. Se distribuye de manera natural por las costas del Pacífico y el Atlántico desde los Estados Unidos de Norteamérica y México (Figura 2) hasta Colombia a través del Caribe y la Isla de Pinos. En México ha sido reportado para los estados de Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Veracruz, Chiapas, Yucatán y Quintana Roo. Vive en ríos caudalosos, lagos y lagunas profundas y posiblemente se le puede encontrar en pantanos, aguas salobres y saladas, como en lagunas costeras, esteros, marismas, canales, manglares e incluso en las costas y mar abierto.

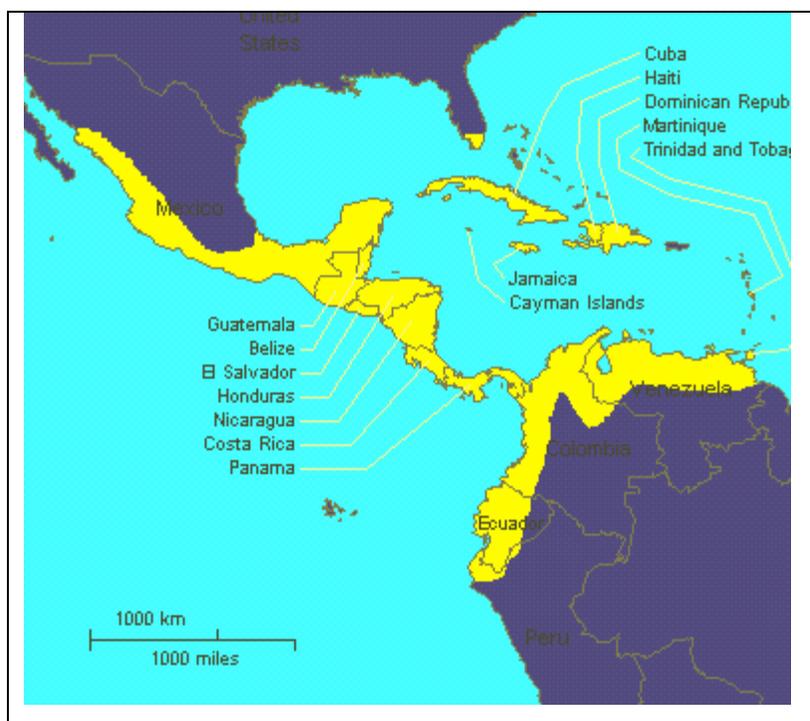


Figura 2. Distribución natural de *Crocodylus acutus* (Tomado de http://www.flmnh.ufl.edu/natsci/herpetology/brittoncrocs/cst_cacu_dh_map.htm).

Migraciones. Estos organismos pueden realizar ciertos movimientos aunque no son precisamente migratorios, ya sea de una charca a otra en la época de secas o en la época de anidación; las hembras viajan distancias variadas en busca de un lugar para construir el nido. También se tienen reportes de organismos vistos en el mar, probablemente moviéndose de un cuerpo de agua a otro. Esta actividad principalmente se lleva a cabo de noche, en viajes que pueden llegar a ser de varios kilómetros de distancia.

Población. Se han realizado algunas evaluaciones de poblaciones puntuales como la de Lazcano *et al.* (1988), en la Laguna de SICARTSA, Lázaro Cárdenas, Michoacán. En la costa de Jalisco, Valtierra (2000) realizó conteos sistemáticos desde 1996 de la población presente en la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala. Casas y Méndez de la Cruz (1992) lo han hecho para toda la costa del mismo estado. Huerta *et al.* (2002) realizaron conteos sistemáticos donde la presencia de ejemplares de la especie ha sido reportada. En Colima, Castillo (1997) realizó una evaluación de dos poblaciones silvestres y en Michoacán, Cedeño (1995) llevó a cabo un estudio sobre la distribución y la situación de la especie en el estado, así como Navarro (1998), hizo recorridos en la parte sur del estado localizando poblaciones silvestres de la especie, haciendo una correlación de estas y las modificaciones del hábitat para definir sitios de urgente atención. Sigler (1995), ha realizado evaluaciones en el estado de Chiapas, y Lazcano *et al.* (1990) lo hicieron para Quintana Roo. Para el estado de Sinaloa, León *et al.* (citado por DGVS, 1999) trabajaron en la Laguna de Chiricahueto haciendo la evaluación de la población, además colectaron huevos para incubarlos en condiciones controladas liberando en el mismo sitio a los neonatos.

Dimorfismo Sexual. Ambos sexos son similares externamente, por lo que para determinar el sexo en ejemplares, es necesario realizar maniobras para detectar el pene dentro de la cloaca (machos). En esta especie, la madurez sexual se presenta después de los ocho años de edad, cuando miden entre 2.10 y 2.75 m de longitud total (INE, 1999).

Anidación. La época de anidación varía a lo largo del rango de su distribución original. En Colombia se lleva a cabo entre enero y febrero; en Chiapas entre marzo y mayo, en Jalisco entre los meses de abril y mayo. La hembra cava el nido por lo general

entre matorrales o árboles en las playas arenosas y en los márgenes pedregosos de los ríos, en sitios abiertos y bien drenados. El nido generalmente se hace en la misma zona cada año. La hembra después de depositar los huevos, los cubre con arena y materia orgánica. Las hembras que viven en pantanos donde no hay playas arenosas, cavan un hoyo superficial para depositar los huevos y amontonan materia orgánica para cubrirlo. Las dimensiones del nido son muy variables, la profundidad va de 30, 40 ó hasta 50 cm y diámetros de 40 a 70 cm. Los huevos son de color blanco, con apariencia de porcelana, el cascarón es duro y muy poroso; sus dimensiones van de 70 x 42.2 a 87.5 x 50 mm. El número de huevos también es variable, las hembras depositan entre 15 y 75 huevos, dependiendo del tamaño de la hembra (INE, 1999).

2.4.2. Cocodrilo de Pantano: *Crocodylus moreletii* (Duméril y Duméril, 1851)

La especie *Crocodylus moreletii*, tiene como sinónimos, *Alligator lacordaire* de Borre en 1869, *Crocodylus moreletii de Bocourt* en 1870, *Crocodylus americanus moreletii* Günther en 1885 y *Crocodylus moreletii de Boulenger* de 1889. En México, el nombre que comúnmente se utiliza para describir a esta especie es lagarto o cocodrilo negro, pardo o de pantano, también en nahuátl se denominaba *acuetzpalin* y en maya *itzam can ain*. En Centroamérica suelen llamarlo lagarto, lagarto del Petén, caimán o Alligator. Para los Estados Unidos de América es Morelet's crocodile, Belize crocodile o Central American crocodile (Casas y Guzmán, 1970; Powell, 1971; Alvarez del Toro, 1974; Lazcano, 1990, 1993; Martínez y Guzmán, 1991; Casas y Méndez, 1992; Casas y Trujillo, 1994; Sigler, 1995).

Descripción. El hocico es redondeado en la punta y relativamente corto, con 13 o 14 dientes maxilares y 15 dientes mandibulares. La sutura interpremaxilar considerablemente más corta que el ancho sumado de los premaxilares, la sutura entre el premaxilar y maxilar esta en forma transversal. Tienen una hilera de 4 a 6 escamas post-occipitales, dos pares de escamas nucales en tándem, la primera hilera con cuatro y la segunda con dos, las escamas del tronco separadas de las nucales; las primeras poseen osteodermos más o menos regulares, arreglados en 16 o 17 hileras transversales y de 4 a 6 longitudinales; las hileras laterales de las extremidades son lisas y aplanadas; poseen un

fleco escamoso distintivo sobre los márgenes de ambos pares de extremidades (Figura 3) (INE, 1999).

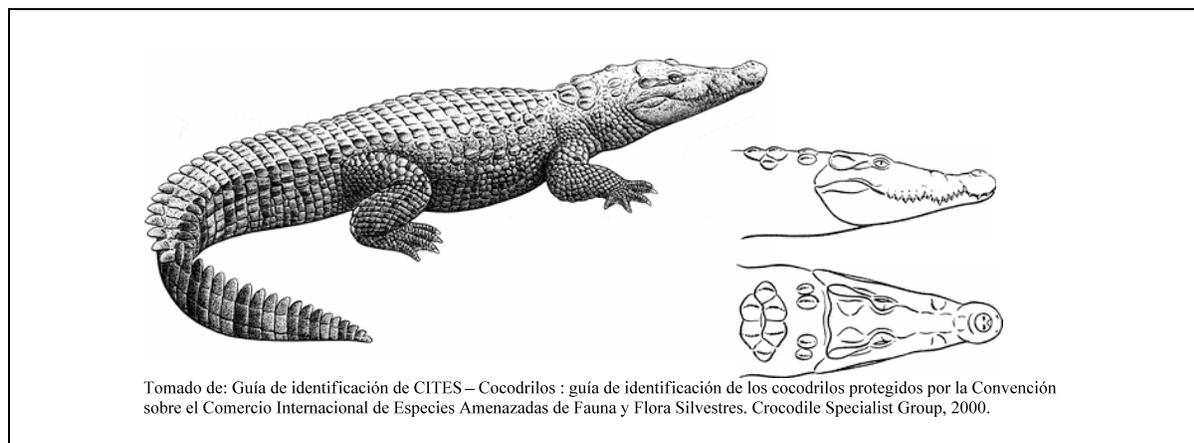


Figura 3. Características Morfológicas del Cocodrilo de Pantano (*Crocodylus moreletii*)

La superficie dorsal de los adultos es generalmente amarillo-verdosa y puede llegar a ser casi negra. En los juveniles se presentan pequeños flecos amarillentos formando bandas cruzadas y la superficie ventral es blanca amarillenta sin marcas. Se distingue fácilmente de *C. acutus*, debido a su color y la forma del ocico, además de presentar en la cola verticilos intercalados en su parte ventral.

El tamaño máximo aproximado de esta especie es de 4.50 m; con promedio de 2.00 a 2.50 m. Las crías cuando nacen miden de 22 a 29 cm de longitud. Se tienen registros aislados de la edad máxima que alcanza la especie; un ejemplo de esto es el dato de una hembra capturada en estado adulto que ha vivido por más de 25 años en el zoológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (INE, 1999).

Estatus. Está dentro de la lista de especies con categoría de Protección Especial en la NOM-059-ECOL-2001 (Semarnat, 2002).

Distribución. El cocodrilo de pantano se puede encontrar de manera natural en la vertiente del Golfo de México y el Caribe desde el centro y posiblemente norte de Tamaulipas hasta Belice y norte de Guatemala pasando por la Península de Yucatán (Figura 4). En México ha sido reportado para los estados de Campeche, Chiapas, Quintana

Roo, San Luis Potosí, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (Alvarez del Toro, 1974, Remolina, 1990, CITES, 1995); en los estados de Sinaloa, Colima y Oaxaca se le puede encontrar como especie introducida en Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA).

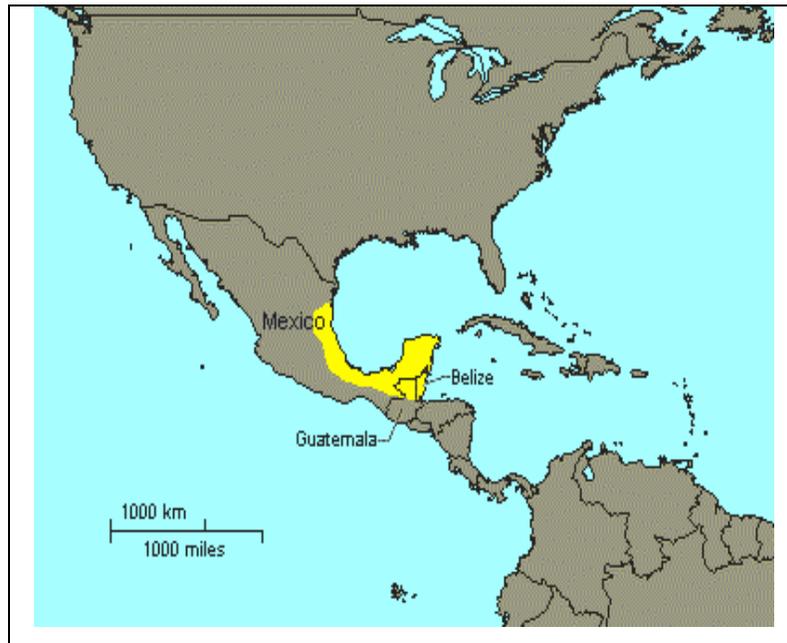


Figura 4. Distribución natural de *Crocodylus moreletii*
(Tomado de http://www.flmnh.ufl.edu/natsci/herpetology/brittoncrocs/cst_cacu_dh_map.htm)

Habita en arroyos, ciénegas, lagunas dentro de bosques y selvas, en ríos de corriente lenta y muy raras veces en ríos caudalosos, existen algunos reportes verbales de pescadores de su presencia en aguas salobres. Es común encontrarlo en aguas estancadas claras o turbias, con abundante vegetación acuática enraizada o flotante y poco profundas, pero que no estén sujetas a cambios bruscos de temperatura (INE, 1999).

Movimientos. Al igual que *C. acutus*, realizan el mismo tipo de desplazamientos, y de igual forma se le ha visto en el mar yendo de un cuerpo de agua a otro.

Estudios de Población. Existen evaluaciones hechas por diferentes autores sobre todo en lo que se refiere a las poblaciones. En el estado de Tabasco, algunos investigadores han realizado evaluaciones de las poblaciones silvestres del *C. moreletii*, como Remolina (1990) quien trabajó en los ríos Usumacinta y San Pedro. En la Laguna de las Ilusiones en

Tabasco, Gómez (1995) evaluó la población de cocodrilos y consideró aspectos de su biología reproductiva. Investigadores de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT, 1991) realizaron una evaluación de las poblaciones silvestres en ese estado. En Quintana Roo, Lazcano *et al.* (1990) monitorearon las poblaciones en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, y Remolina (1990) hizo lo mismo en el norte de la entidad. Por último en Yucatán, Powell (1971) determinó el estatus poblacional de esta especie.

Dimorfismo Sexual. Los dos sexos se asemejan externamente, maduran sexualmente después de los cinco años de edad. La reproducción se inicia en febrero y concluye en mayo, en esta época se acentúa el instinto de territorialidad entre los machos, asegurando así la selección de los reproductores y el incremento a los ciclos de actividad glandular necesarios para el apareamiento, evitando con sus enfrentamientos la reproducción de animales enfermos o débiles (INE, 1999).

Anidación. Las nidadas de esta especie son grandes llegando a ovopositar en promedio 36 huevos. Normalmente ovopositan una vez al año; la incubación depende de la temperatura y humedad. Durante este período es posible que la madre cuide el nido celosamente hasta que las crías nacen. La temperatura a la que se lleva la incubación oscila entre los 28-32 °C, con humedad relativa promedio del 90%, se ha observado que durante la incubación la temperatura interna del nido no permanece constante e influye en el desarrollo embrionario y la determinación del sexo (INE, 1999).

2.5. El DDT y los cocodrilos

Los reptiles debido a su historia de vida, son especies cruciales para el funcionamiento apropiado de muchos procesos ecológicos y tienen diversos e importantes papeles en las cadenas alimenticias. De éstos, los cocodrilos son componentes integrales de ecosistemas acuáticos (humedales y marinos-estuarinos). Como ejemplo, el *Alligator mississippiensis* es reconocido como una especie clave en los ecosistemas de los Everglades de Florida (Campbell, 2003), de los cuales depende la presencia de otras especies de reptiles. Las cuevas y pozas que los cocodrilos forman, son sitios donde se encuentran comunidades únicas de plantas y animales, que son una fuente de alimento durante la época de sequía para muchas otras especies.

Campbell (2003) realizó una revisión sobre los estudios ecotoxicológicos en cocodrilos del mundo, donde recomienda la inclusión de estas especies en estudios de contaminación y evaluación del riesgo ecológico. Identificó que de las 23 especies de cocodrilos que existen, el *A. mississippiensis* es la especie más estudiada en relación al tema de bioacumulación de contaminantes orgánicos e inorgánicos (mercurio y radionucleótidos); por el contrario las especies de *Crocodylus cataphractus* y *Osteolaemus tetraspis* (África), *C. intermedius* (Sudamérica), *C. mindorensis* (Filipinas), *C. novaeguinae* (Nueva Guinea), *C. palustris* (India), *C. siamensis* (Asia del Sur), y *Gavialis gangeticus* han sido las menos estudiadas en este sentido. Este estudio destaca que todas las especies de cocodrilos son magníficos indicadores de contaminantes ambientales (orgánicos y metales pesados) que se biomagnifican a lo largo de la cadena alimenticia, debido a sus características biológicas como un largo ciclo de vida y ecológicas ya que son carnívoros ubicados en el último eslabón de la cadena alimenticia y con un área de actividad restringida.

Respecto a las tres especies que habitan naturalmente en México, se han realizado 15 estudios relacionados con la contaminación. La especie *C. acutus* es la más estudiada, con tres estudios sobre bioacumulación de contaminantes orgánicos, dos sobre contaminantes inorgánicos y dos sobre mercurio. Para *C. moreletii* hay cuatro estudios (tres sobre bioacumulación de contaminantes orgánicos y uno sobre mercurio); por último, la especie de caiman *Caiman crocodylus chiapasus* con cuatro estudios sobre bioacumulación de contaminantes (uno sobre contaminantes orgánicos, dos sobre inorgánicos y uno sobre mercurio). Sin embargo, de los 15 estudios realizados sobre estas especies, ninguno ha sido realizado en territorio Mexicano, sino en otras áreas de su distribución natural como son los Estados Unidos de América (*C. acutus*) y Centroamérica (*C. moreletii* y *C. crocodylus*). Estos estudios relacionaron la bioacumulación de DDT y sus metabolitos en huevo, grasa o músculo.

De los estudios sobre contaminación en cocodrilos se citan y describen a continuación de manera resumida, algunos que a nivel mundial se han realizado con respecto al DDT y sus metabolitos en las diferentes especies de cocodrilos en áreas de

distribución natural. Los resultados cuantitativos de dichos estudios, se citan en el anexo de este trabajo.

Billing y Phelps (1972) estudiaron en varias localidades en Zimbabwe, Mwenda River, Sinamwenda, en el Lago Karib en África, al *Crocodylus niloticus*, y determinaron concentraciones de DDT y sus metabolitos diclorodifenildicloroetileno y diclorodifenildicloroetano (DDE y DDD, respectivamente) en huevos y embriones como resultado del amplio uso de este insecticida. De manera similar, en terrenos comunales de África en la misma especie ambos autores en 1972, determinaron las concentraciones de DDT y sus metabolitos en grasa abdominal, obteniendo promedio (base húmeda) de DDD 0.79 ppm, DDE, 3.68 ppm y DDT de 2.10 ppm; así como rangos de DDE de 3.57–3.79 ppm y DDT de 2.00–2.20 ppm.

Best (1973) en un estudio realizado en el Territorio Norte de Australia, en la especie *Crocodylus porosus*, determinó bajas concentraciones de DDE en grasa intraperitoneal con valores individuales de 0.10 ppm (base grasa).

Ogden *et al.* (1974) estudió la concentración de DDT y sus metabolitos (DDD y DDE), en la especie *Crocodylus acutus* en el Este de la Bahía de Florida, Parque Nacional Everglades, E.U.A; analizó huevos de esta especie de cocodrilo (con excepción del cascarón), donde obtuvieron valores promedio de DDD de 0.107 ppm (base húmeda) con rango de 0.055-0.16 ppm.

Hall *et al.* (1979) en un estudio realizado en huevos (yema y clara) de la especie *Crocodylus acutus* en el Parque Nacional Everglades, Florida, EUA, detectaron valores promedio de DDD de 0.03 ppm (base húmeda) con rango de <0.01–0.07 ppm; DDE con promedio de 1.16 ppm y rango de 0.37–2.90 ppm y DDT con promedio de 0.07 ppm en rango de 0.02–0.23 ppm. Las concentraciones de DDD y DDT fueron bajas en comparación con las reportadas por Ogden (1974) para el mismo sitio 5 años antes, lo que implica que declinaron los niveles de contaminantes en 5 años.

Wessels *et al.* (1980) en varios sitios de Africa estudiaron a la especie *Crocodylus niloticus* en cuanto a los metabolitos de DDT en huevos (base seca). Los residuos de DDT fueron muy bajos en áreas aisladas en donde no existen indicios de humanos, lo cual se fue incrementando en sitios habitados y sitios cercanos o adyacentes a las zonas agrícolas. Al parecer estas concentraciones no afectaron la reproducción de los cocodrilos, pero se indica la necesidad de realizar más estudios en este sentido. Al comparar sus resultados con los obtenidos por Billing y Phelps nueve años antes, no encontraron incremento en los niveles detectados.

Phelps *et al.* (1986) en un estudio realizado en localidades en Zimbabwe, África, en la especie *Crocodylus niloticus*, determinaron las concentraciones (base seca) de DDT y sus metabolitos en huevo (sin incluir al cascaron). En el mismo se mencionó que las grandes cantidades de DDE encontradas fueron un indicador del uso de grandes cantidades de DDT en el pasado.

También Phelps *et al.* (1989) en un estudio realizado en localidades de la costa norte y este del Lake Kariba, Zimbabwe, Africa, en la especie *Crocodylus niloticus*, determinaron en grasa corporal, las concentraciones de DDT y sus metabolitos.

Por otra parte, Woodward (1995) en un trabajo realizado en varios lagos de la parte central de Florida, EUA, en la especie *Alligator mississippiensis*, determinó en huevos las concentraciones de DDT y sus metabolitos; obteniendo en el Lake Orange concentraciones no detectables de DDD, el DDE en rango desde no detectable–0.60 ppm con promedio de 0.09 ppm, DDT en rango desde no detectable–7.69 ppm con promedio de 3.30 ppm. En el Lake Apopka, el DDD estuvo en un rango desde no detectable–1.80 ppm y media de 0.50 ppm, DDE en rango de 0.54–5.26 ppm y media de 2.19 ppm, DDT en rango desde no detectable–11.42 ppm y media de 1.63 ppm. En el Lake Griffin, el DDD no fue detectable, mientras que el DDE estuvo en un rango desde no detectable–1.30 ppm y media de 0.31 ppm y el DDT en un rango desde no detectable–7.35 ppm con valor promedio de 1.05 ppm.

De igual forma Heinz, *et al.* (1991) en otro estudio realizado en varios lagos de la parte central de Florida, EUA en la especie *Alligator mississippiensis*, determinaron, concentraciones de DDT y sus metabolitos (base seca) en huevo.

Skaare *et al.* (1991) en un estudio realizado en el Lake Baringo, Kenia, África, en la especie *Crocodylus niloticus*, determinaron la concentración de DDT en huevos de esta especie encontrando un valor promedio de 0.55 ppm DDT (incluido 80% DDE) en un rango de 0.35–0.75 ppm (base húmeda).

Delany *et al.* (1998), en otro estudio realizado en 1985, en varios lagos de Florida, EUA en la especie *Alligator mississippiensis*, determinaron en músculo de la cola (extracto de grasa), las concentraciones promedio de DDT y sus metabolitos (ppm).

El único estudio realizado en plasma sanguíneo de cocodrilo de ambos sexos de la especie *Alligator mississippiensis*, es el reportado por Guillete *et al.* (1999), en varios lagos de la parte central de Florida, EUA. Dicho estudio se enfocó a establecer el efecto del DDT y sus metabolitos en aspectos endocrinológicos y la determinación del sexo en cocodrilos. El efecto está dado principalmente por el DDE, el cual bajo ciertas condiciones, puede variar o revertir el sexo de los embriones de cocodrilo.

Wu *et al.* (2000) realizaron en varios ríos y riachuelos del sur de Belice en la especie de *Crocodylus moreletii*, análisis en huevos de cocodrilo. En este estudio se detectaron altas concentraciones de DDE, lo que implica que existió una reciente exposición al DDT de hembras, ya que el DDE es el metabolito más persistente del DDT.

Si bien muchos de los estudios aquí analizados reportan la presencia de DDT y sus metabolitos en los cocodrilos o sus huevos, muy poco se establece respecto del efecto de este contaminante en los individuos y mucho menos sobre sus poblaciones. Sin embargo, de este análisis se puede suponer que los cocodrilos son indicadores útiles para determinar contaminación ambiental, sobre todo si se comparan los resultados en la concentración de DDT y sus metabolitos a través del tiempo y entre localidades.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Area de estudio

El área de estudio comprendió la costa del Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe (Figura 5). Los estados de la costa del Pacífico considerados fueron Nayarit, Colima, Jalisco, Guerrero, Oaxaca y Chiapas; en el Golfo de México, Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán; y en el Caribe, Quintana Roo. Las áreas de colecta fueron tomadas al azar dentro de la distribución natural de cocodrilos. Estos sitios se ubicaron por debajo de los 1200 m.s.n.m., en un rango de precipitación media anual de los 800 a 1200 mm, con clima predominantemente subhúmedos y temperaturas cálidas y semicálidas; muy cálidos y cálidos subhúmedos, con poca oscilación de temperaturas (García, 1988). El tipo de vegetación es de bosques tropicales caducifolios, perennifolios y subcaducifolios, así como vegetación acuática, donde se incluyen esteros y lagunas costeras. Las lagunas costeras son cuerpos de agua litoral que tienen comunicación permanente o efímera con el mar y son el encuentro de dos masas de agua de diferentes características; en contraste los esteros, son semejantes a las lagunas solo que éstos tiene ubicación perpendicular a la línea de la costa (De la Lanza, G. 1991 y Emery, K. O. y E. Stevenson, 1957).

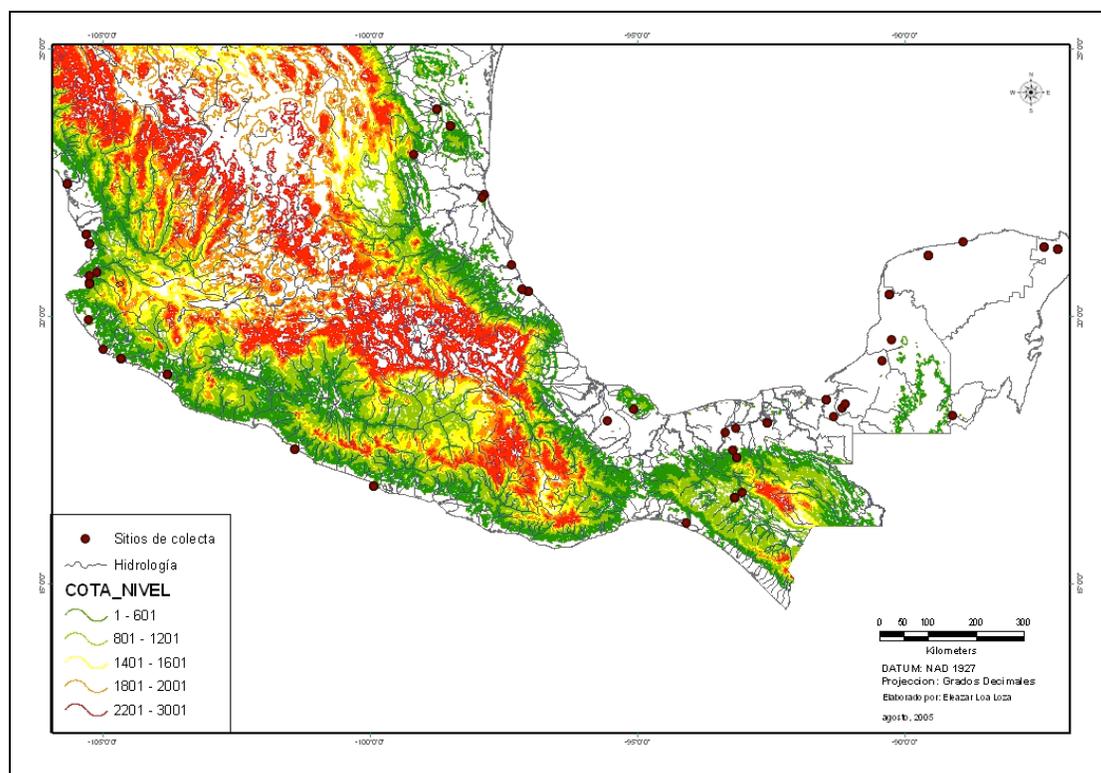


Figura 5. Sitios de colecta de cocodrilos para la toma de muestras de sangre para la detección de DDT y sus metabolitos.

El área de estudio quedó representada por las provincias biogeográficas (Figura 6): Costa del Pacífico, Golfo de México, Petén y Yucatán (Conabio, 1997), las cuales se caracterizan de la siguiente manera.

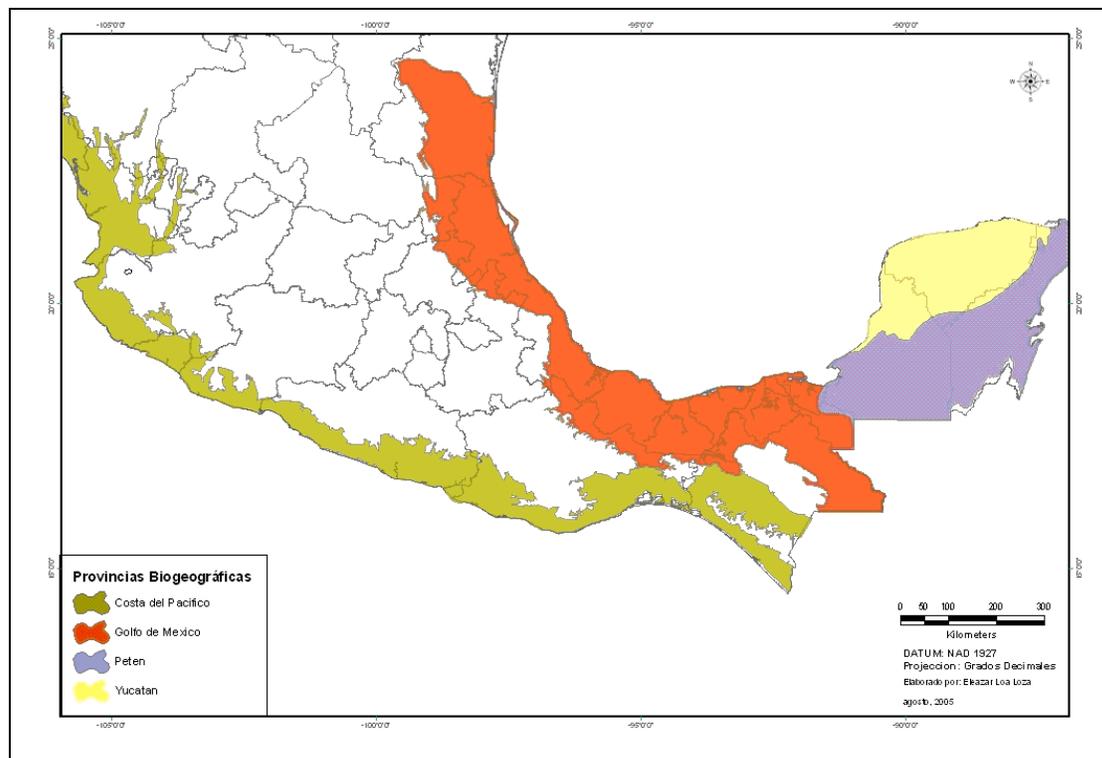


Figura 6. Localización de las Provincias Biogeográficas utilizadas en el estudio de detección de DDT y sus metabolitos.

Provincia Costa del Pacífico. Esta provincia incluye parte de los estados de Sinaloa, Nayarit, Colima, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas y se caracteriza por la presencia de los bosques tropicales caducifolios con excepción de la Depresión del Balsas, hasta una altitud aproximada de 2,500 m.s.n.m y donde predominan los climas subhúmedos (w0,w1,w2) y temperaturas cálidas y semicálidas. Esta amplia provincia puede ser definida con base en la distribución natural de la especie *Sciurus colliae* (ardilla collie) y de las distintas subespecies de *Orthogeomys grandis*. *Bursera excelsa* es típica de esta provincia, pero no exclusiva. Algunas especies de aves endémicas reportadas son *Ortalis wagleri*, *Callipepla douglasi*, *Forpus cyanopygius*, *Amazona finschi*, *Glaucidium palmarum* y *Nyctiphrynus mcleodii*, entre otras.

Golfo de México. Abarca las llanuras costeras del Golfo de México dominadas por vegetación perennifolia y subperennifolia con excepción de las tierras de la Península de Yucatán con límite en el partaguas occidental del río Candelaria en Campeche, por abajo de los 1,500 m.s.n.m., predominando las altitudes de 0 a 200 m.s.n.m. Los climas dominantes son muy cálidos y cálidos subhúmedos, con temperaturas de poca oscilación. La vegetación típica está formada de bosques tropicales, principalmente perennifolios y subcaducifolios, así como vegetación acuática a lo largo del sistema lagunar costero del Golfo de México, donde sobresale la presencia de *Bursera simaruba* como una especie característica, mas no endémica y donde *Scheelea liebmanii* es una planta que se distribuye sobre toda esta provincia. Hay dos subespecies de mamíferos, *Caluromys derbianus aztecus* y *Peromyscus leucopus incensus* y diez especies de aves *Caprimulgus maculicaudus*, *Electrón carinatus*, *Centurus pucherani*, *Glyphorhynchus spirurus*, *Taraba major*, *Ornithion semiflavum*, *Deltarhynchus flammulatus*, *Cotinga amabilis*, *Arremon aurantirostris* y *Psarocolius wagleri*.

Petén. Se extiende desde la porción Sureste de la Península de Yucatán, en los estados de Campeche y Quintana Roo con bosques tropicales perennifolios y subperennifolios, abarcando las tierras por debajo de los 500 m.s.n.m. de las cuencas de los ríos Usumazinta y Belice. El clima es predominantemente subhúmedo y húmedo con temperatura cálida.

Yucatán. Incluye las tierras de la porción Noroeste de la Península, menor a los 200 m.s.n.m., con dominio de bosques tropicales caducifolios y subcaducifolios. El clima típico es cálido subhúmedo con marcha de temperatura isotermal, con excepción de una pequeña franja con clima semiárido, en la costa Noroeste de la península. La vegetación dominante son los bosques tropicales desde caducifolios al Noroeste de la península hasta los subcaducifolios.

3.2. Captura de cocodrilos

La colecta de sangre de cocodrilos (80 muestras) se realizó en las especies *C. acutus* y *C. moreletii* durante los meses de junio a diciembre del 2004, en 37 sitios (localidades) que se enlistan en el Cuadro 1, y que se ubican geográficamente por especie en la Figura 7. Los sitios se georreferenciaron con un geoposicionador satelital (GPS) marca Garmin, Tipo GPS III Plus.

Cuadro 1. Ubicación de los sitios de muestreo para la detección de metabolitos de DDT en sangre de cocodrilos silvestres en la zona costera de México

| No. | Estado | Sitio de Colecta | No. | Estado | Sitio de Colecta |
|-----|----------|---------------------------|-----|--------------|--------------------------------|
| 1 | Campeche | Arroyo El Mango | 20 | Nayarit | Estero de la Palma (Tobara) |
| 2 | Campeche | Arroyo El Pital | 21 | Oaxaca | Loma Bonita |
| 3 | Campeche | Champotón | 22 | Quintana Roo | Caobas |
| 4 | Campeche | Chumpam | 23 | Quintana Roo | Xcaret |
| 5 | Campeche | El Remate | 24 | Quintana Roo | Yum Balam |
| 6 | Campeche | Champotón | 25 | Tabasco | La Venta |
| 7 | Chiapas | Allende | 26 | Tabasco | Laguna de las Ilusiones |
| 8 | Chiapas | Cañón del Sumidero | 27 | Tamaulipas | Ciudad Madero |
| 9 | Chiapas | El Manguito | 28 | Tamaulipas | Presa Vicente Guerrero |
| 10 | Chiapas | Estación Juárez | 29 | Tamaulipas | Río Guayalejo |
| 11 | Colima | Laguna Colorada | 30 | Tamaulipas | Villa De Casas |
| 12 | Guerrero | Loma Linda | 31 | Veracruz | Bahía Cochinos |
| 13 | Jalisco | Las Palmas | 32 | Veracruz | Catemaco |
| 14 | Jalisco | Marina Puerto Vallarta | 33 | Veracruz | Rancho Cacahutal |
| 15 | Jalisco | Reserva Cuitzmala Chamela | 34 | Veracruz | Tuxpan |
| 16 | Jalisco | Río Tomatlan | 35 | Yucatán | Dziliam de Bravo |
| 17 | Jalisco | Estero El Salado | 36 | Yucatán | El Cuyo |
| 18 | Jalisco | La Manzanilla | 37 | Yucatán | Reserva Ecológica Sisal |
| 19 | Nayarit | Estero Calistra | | | |

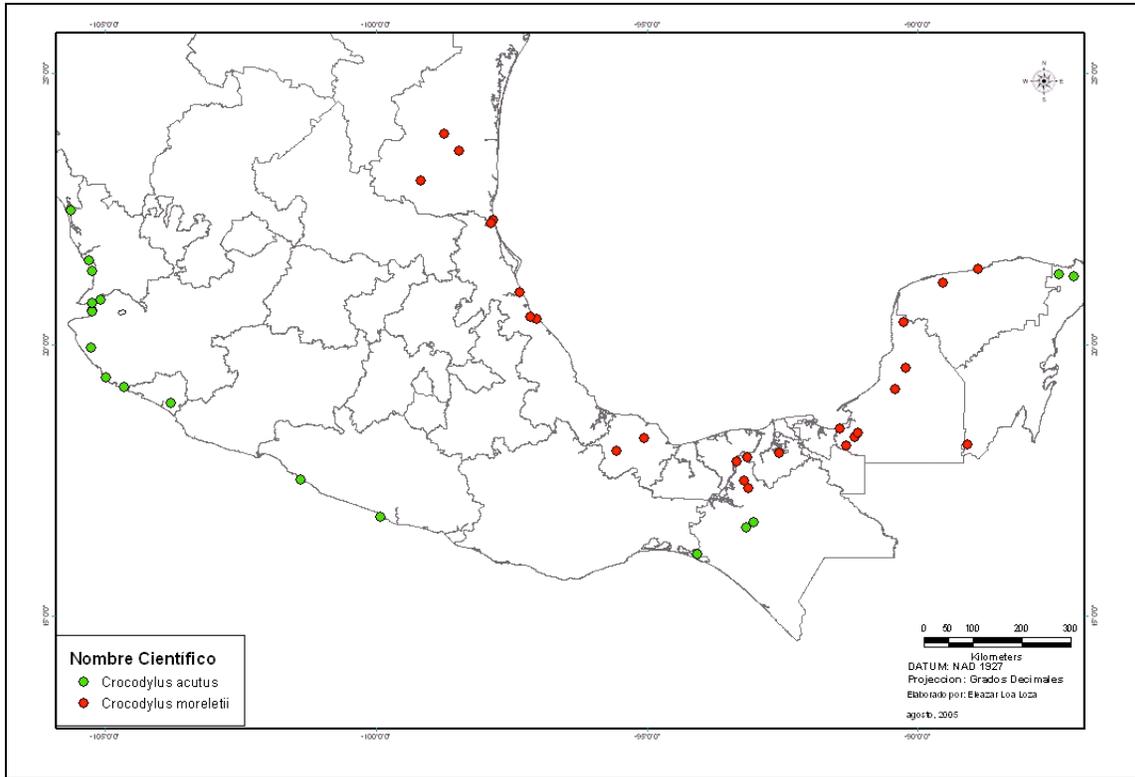
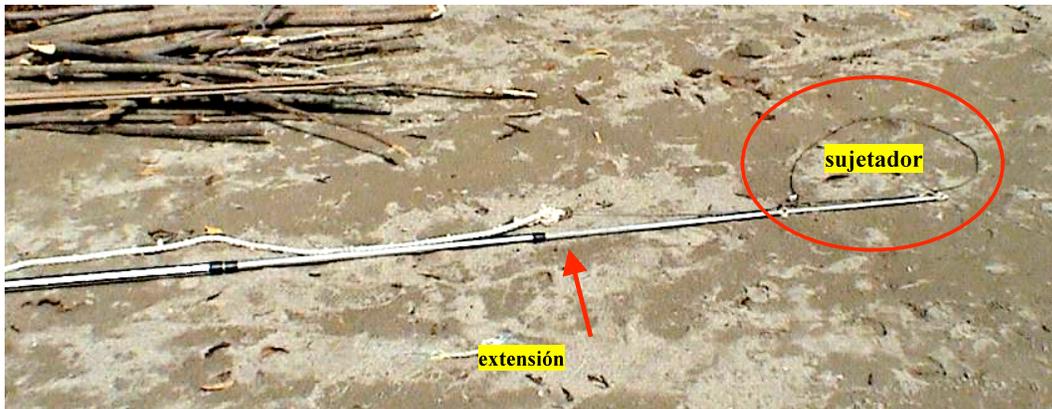


Figura 7. Localización de los sitios de muestreo por especie de cocodrilo.

Los cocodrilos fueron capturados utilizando dos métodos: 1) a la busca con sujetador de acero y 2) por trampeo. Las capturas se realizaron al medio día y por la noche entre las 20:00 hrs y 5:00 hrs del día siguiente, lo cual dependió de las condiciones logísticas y las características físicas del sitio de muestreo.

Método a la busca con sujetador de acero. Este método consistió en hacer recorridos en lancha o a pié para localizar a los cocodrilos. Por la noche, se utilizó una lámpara de cabeza de pila seca, para ubicar a los cocodrilos usando para ello el brillo de los ojos al reflejar la luz. Una vez localizados, se hizo el acercamiento lento a una distancia que permitiera usar el sujetador, el cual consiste de un cable de acero a manera de aro, que cuelga de una extensión de aluminio tubular de aproximadamente 2.5 m de longitud (Fotografía 1). El cable se fijó al tubo con cinta adhesiva lo que permitió su fácil desprendimiento una vez que alguna de las partes del animal estuviera dentro del aro. El cable en el otro extremo, quedó sujeto a una cuerda para contener a los animales. Sujetado el cocodrilo, este se traslado hacia una orilla fuera del agua para su manejo y toma de muestra sanguínea (Fotografía 2).

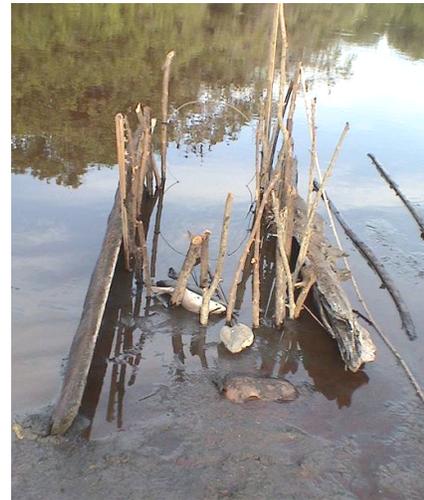


Fotografía 1. Sujetador de acero empleado en la captura de cocodrilos para la toma de muestras de sangre para la determinación de metabolitos de DDT.



Fotografía 2. Manejo de los cocodrilos una vez que han sido atrapados con el sujetador de acero.

Método de Trampeo. En este caso, el método consistió en una trampa elaborada con palos principalmente (Fotografía 3). Las trampas fueron armadas ensamblando un “corredor” por donde entró el cocodrilo, dos palos paralelos en el fondo de la trampa sujetaron un aro de acero donde el cocodrilo entró para tomar el cebo (pescado fresco) que se colocó en el extremo de la trampa sujeto al suelo. El cocodrilo una vez dentro del aro se atrapó por medio de un disparador activado manualmente por un observador escondido a una distancia de 15-20 m de la trampa. El disparador también podía ser activado de forma automática por el cocodrilo, una vez que este jaló el cebo.



Fotografía 3. Trampa con disparador manual empleado en la captura de cocodrilos (izquierda). Trampa con mecanismo de disparo automático empleada en la captura de cocodrilos (derecha).

Capturados los cocodrilos por cualquiera de los dos métodos descritos, fueron inmovilizados para su identificación, sexado, medición (longitud total) y pesado (Fotografías 4 y 5).

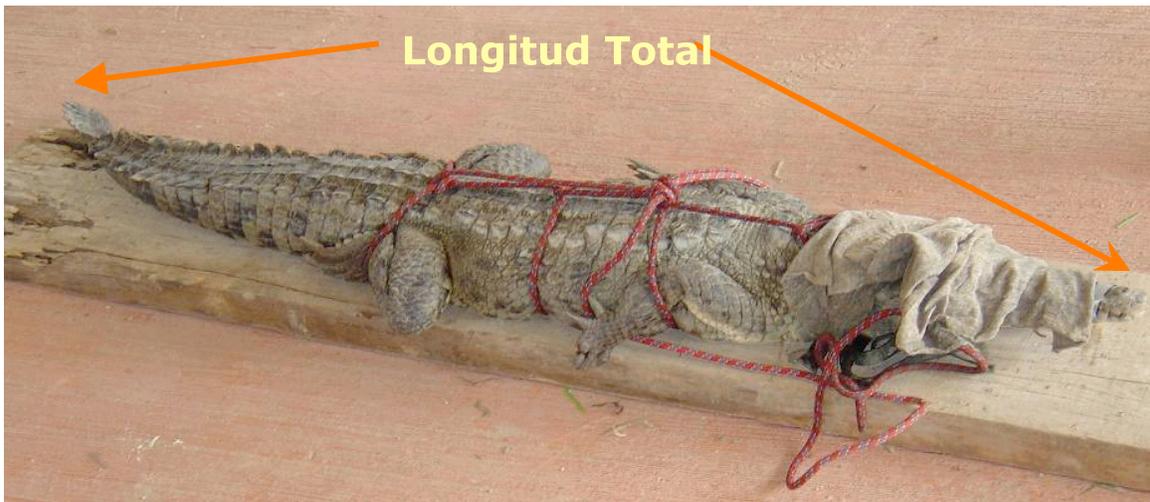


Fotografía 4. Manejo y contención física del cocodrilo atrapado para la toma de muestra de tejido sanguíneo.



Fotografía 5. Sexado de cocodrilos mediante la palpación del pene (izquierda), y pesaje (derecha).

La longitud total se tomó de la punta de la nariz a la punta de la cola a todo lo largo del lomo del cocodrilo (Fotografía 6) utilizando una cinta flexible (0.01 m). El peso fue tomado mediante el uso una balanza Romana (0.1 Kg). El sexo fue determinado por palpación de la cloaca, de acuerdo a lo establecido por Brazaitis (1969). Todos los datos fueron anotados en hoja de registro elaborada para tal fin.



Fotografía 6. Medida de longitud total de cocodrilos, de la punta de la cola a la punta de la nariz.

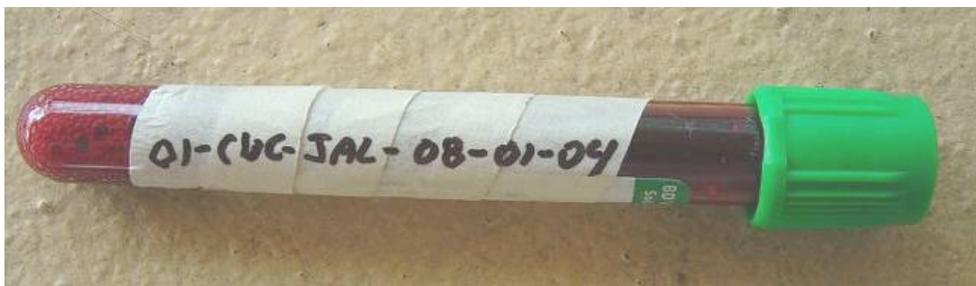
3.3. Colecta y análisis de tejido sanguíneo

De las 80 muestras de sangre tomadas en la zona costera de México, 39 muestras fueron del Pacífico, 24 muestras del Golfo de México y 17 del Caribe. La toma de muestras de sangre se realizó de manera inmediata una vez que fue atrapado y contenido el cocodrilo. La extracción se tomó de la vena o arteria de la región caudal en animales juveniles, de entre 0.9 y 1.49 m de longitud, o de la vena o arteria a la altura de la primera vértebra cervical postcranial en animales adultos, mayores de 1.50 m (Fotografía 7).



Fotografía 7. Toma de muestra de sangre de la región caudal (izquierda) y la región postcranial (derecha) en cocodrilos.

La sangre (5 ml) se extrajo utilizando equipo Vacutainer® con heparina sódica (Milnes, *et al.* 2002), donde se conservó hasta su análisis (Fotografía 8). Los tubos fueron etiquetados usando una clave para su identificación y control. Los datos de cada organismo y su muestra, fueron anotados en la hoja de registro correspondiente. Las muestras colectadas, fueron mantenidas en refrigeración a $\pm 2^{\circ}\text{C}$ y transportadas posteriormente en una hielera al Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, donde se realizaron los análisis para la detección de DDT y sus metabolitos.



Fotografía 8. Tubo Vacutainer® empleado en la colecta y transporte de la muestra de sangre de cocodrilos.

Para el análisis de sangre, las muestras fueron agrupadas de acuerdo a las variables de clasificación: especie, sexo, clase de edad (CE), provincia biogeográfica (PB), y cantidad de DDT aplicada en las áreas de muestreo. La clase de edad fue determinada conforme a lo establecido por Lazcano (1988), el cual se basó en la longitud total corporal (Cuadro 2) y la cantidad de DDT aplicada fue tomada de los datos proporcionados por la Secretaría de Salud para el período de 1988 a 1999 en las campañas de control de vector de paludismo. La variable de respuesta fue el nivel de DDT y sus metabolitos encontrados en sangre (ng/mL).

Cuadro 2. Determinación de la clase de edad para los cocodrilos, de acuerdo a la longitud total corporal.

| Clave | Clase de Edad | Talla Metros (rango) | Rango edad aproximado (meses) |
|-------|-------------------|----------------------|-------------------------------|
| 1 | Crías | 0.25-0.50 | 0 - 10 |
| 2 | Crías Potenciales | 0.51-0.75 | 10 - 12 |
| 3 | Juveniles | 0.76-1.00 | 12 - 24 |
| 4 | Preadultos | 1.01-1.50 | 24- 36 |
| 5 | Subadultos | 1.51-1.80 | 36 - 60 |
| 6 | Adultos | 1.80 - adelante | 60 - adelante |

Fuente: Lazcano, 1988.

El método utilizado en el laboratorio para la determinación de DDT y sus metabolitos fue por cromatografía de gases con detector de electrones, a partir de la extracción de plasma como lo describe Voiz *et al.* (2002), con modificaciones hechas por Díaz-Barriga (en preparación).

3.4. Sistema de Información Geográfico (SIG)

Se desarrolló un sistema de información geográfico (SIG) para caracterizar ambientalmente desde el punto de vista físico y biológico los sitios definidos como Unidades Ambientales (UA) de donde se tomaron las muestras de sangre. Los datos que se utilizaron en el SIG, fueron principalmente de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (<http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto>), el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Estos datos corresponden a cartografía digital disponible a través de metadatos cartográficos, utilizando la estructura del FGDC (Federal Geographic Data Committee) y NBII (National Biological Information Infraestructura). Las proyecciones que se presentan de acuerdo al tipo de cartografía son: cónica conforme de Lambert, coordenadas UTM y coordenadas geográficas. La cartografía utilizada fue la que se indica en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Mapas temáticos utilizados en el SIG con los que se determinó las unidades ambientales de la zona costera de México.

| Aspectos Físicos | Aspectos Biológicos | Aspectos Sociales |
|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| Climas | Regiones Hidrológicas Prioritarias | Cabeceras Municipales |
| Hidrografía | Regiones Terrestres Prioritarias | División Política Estatal |
| Cuencas Hidrológicas | Provincias Biogeográficas de México | Límite Nacional |
| Subcuencas Hidrológicas | Uso del Suelo y Vegetación (Conabio) | Localidades |
| Precipitación Media Anual | ----- | Red de Carreteras |
| Temperatura Media Anual | ----- | ----- |
| Topografía | ----- | ----- |

Para el desarrollo del SIG y la realización de los análisis cartográficos y la generación de la cartografía resultante, se utilizó el programa ArcMap 8.1 de ESRI, para lo cual se desarrolló el modelo que se muestra en la Figura 8. Por medio del análisis cartográfico, se caracterizaron ambientalmente las zonas de muestreo y su relación con la contaminación del DDT. Con base en lo anterior, se definieron las Unidad Ambientales (UA) para su análisis espacial, quedando establecidas como Provincias Biogeográficas (Conabio, 1997) y los rangos de los niveles de aplicación del DDT en el ambiente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Niveles de aplicación e intervalos de las cantidades de DDT aplicadas en el ambiente.

| Intervalos (Toneladas totales aplicadas durante el período 1988-1999) | Intervalo para el Análisis | Nivel de Aplicación |
|---|----------------------------|---------------------|
| 0-0 – 22.17 | Utilizado | 3 |
| 22.18 – 83.33 | Utilizado | 2 |
| 83.34 – 142.24 | No utilizado | -- |
| 142.25 – 254.81 | No utilizado | -- |
| 254.82 – 1023.38 | Utilizado | 1 |

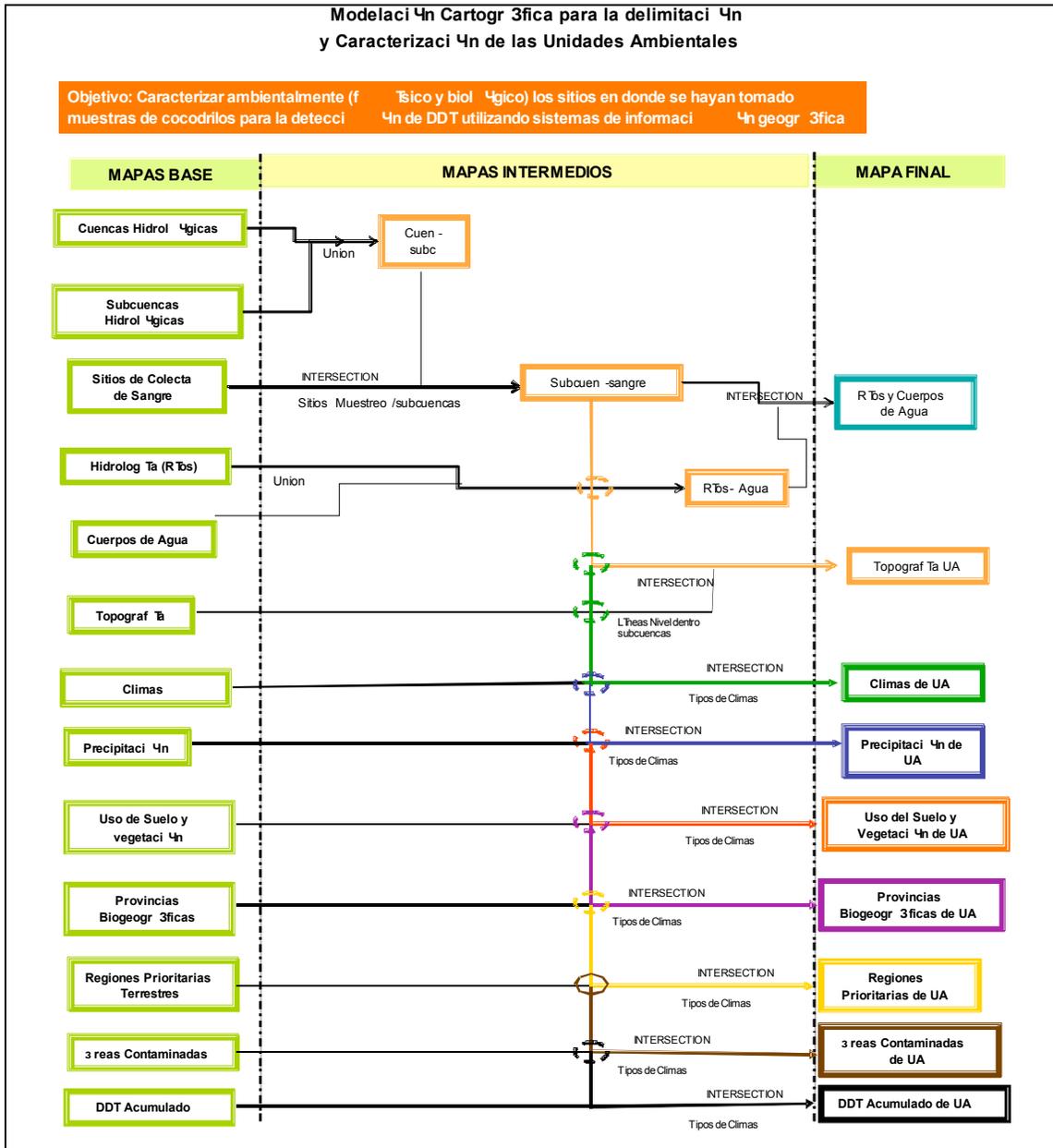


Figura 8. Modelo empleado para la delimitación y caracterización de las Unidades Ambientales utilizadas en los sitios de muestreo para la determinación de DDT y sus metabolitos.

De los niveles de aplicación de DDT, solo se usaron tres de los rangos de concentración resultantes, ya que fueron los que coincidieron (intersectaron) con las Provincias Biogeográficas en donde se colectaron las muestras de sangre.

Los datos que se integraron al SIG sobre las aplicaciones de DDT son los reportados por estado y cantidades totales de DDT aplicadas durante un período de doce años (1988 a 1999), en las campañas para el control del vector del paludismo. Estos datos fueron generados por la Secretaría de Salud (Programa de Prevención y Control de Enfermedades Transmitidas por Vector) y proporcionados por la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). Las aplicaciones y fueron hechas en su mayoría en sitios por debajo de los 1000 msnm, dado el rango de distribución del mosquito del paludismo. Para mapear el DDT aplicado en las UA, se utilizó el SIG donde se asignaron tres rangos (1, 2, 3) definidos por la cantidad de DDT total esparcido durante el período ya citado. Para definir las UA en el presente estudio (Figura 9), se empleó la cartografía de las Provincias Biogeográficas de México (escala 1:4'000,000) elaborado por Conabio, (Morrone, 2002).

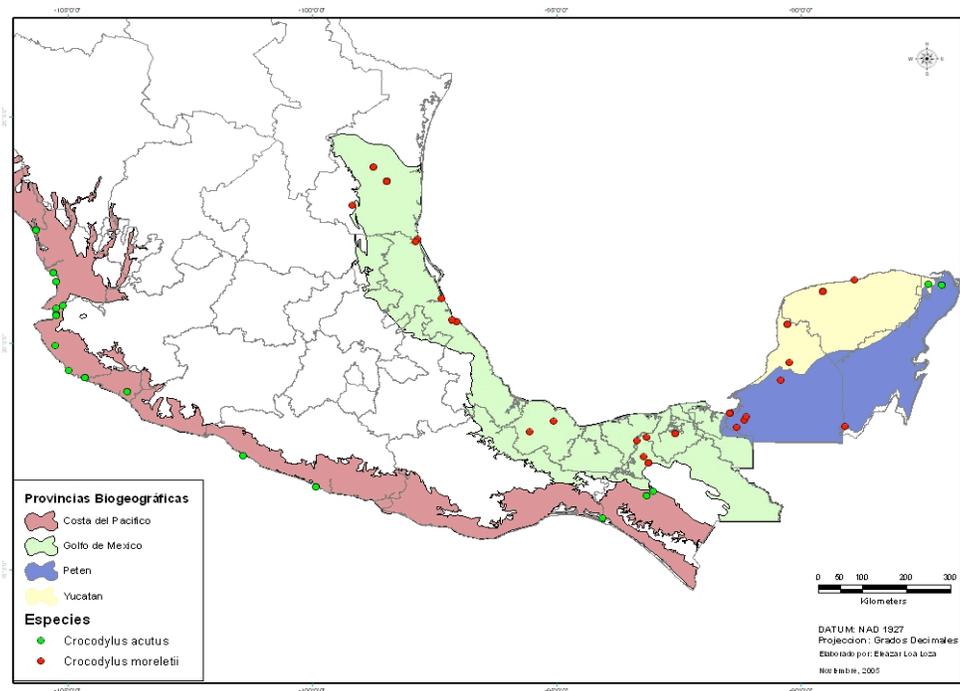


Figura 9. Provincias Biogeográficas (Unidades Ambientales) identificadas para el análisis cartográfico, indicando los sitios de muestreo de sangre de cocodrilos por especie.

3.5. Análisis estadístico

Se utilizaron 80 muestras de sangre a las cuales se determinó la concentración (ng/mL) de DDT y sus metabolitos (DDD y DDE), representando éstos datos junto con la longitud y el peso de los cocodrilos las variables de respuesta. Las variables de clasificación para las muestras fueron la especie, sexo, clase de edad, nivel de DDT aplicado al medio, y provincia biogeográfica.

Para las variables en estudio, se obtuvieron los estadísticos descriptivos: media, desviación estandar y los valores máximos y mínimos. Para analizar la relación existente entre la longitud y el peso de los cocodrilos, se realizó un análisis de regresión lineal simple. Para comparar ($P < 0.05$) las concentraciones de DDT en sangre, según la longitud y peso de los cocodrilos en las diferentes provincias biogeográficas, se realizó un análisis de varianza utilizando un modelo estadístico de efectos fijos con un solo criterio de clasificación y diferente número de observaciones, el cual incluyó las cuatro provincias biogeográficas: Costa Pacífico, Golfo de México, Petén, y Yucatán; el nivel de aplicación de DDT, la clase de edad y las especies de los cocodrilos.

La expresión algebraica del modelo estadístico es la siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + P_i + N_j + A_k + S_l + \varepsilon_{ijkl} \quad \text{donde:}$$

Y_{ijklm} = Concentración de DDT en sangre, longitud y peso

μ = Media general

P_i = Efecto de la i -ésima Provincia ($i = 1, 2, 3, 4$)

N_j = Nivel de Aplicación de DDT en el medio ($j = 1, 2, 3$)

A_k = Clase de edad ($k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$)

S_l = Efecto de la k -ésima especie de cocodrilo ($l = 1, 2$)

ε_{ijk} = Error aleatorio

Las pruebas de comparación de medias se realizaron utilizando la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) (Steel, Torre and Dickey, 2000); utilizando el Paquete Estadístico SAS v.8 para Windows (SAS, 1988).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 80 cocodrilos muestreados, su longitud total presentó una variación muy amplia, en consecuencia la variación en su peso también fue muy grande. En promedio, la longitud fue de $1.80 \pm 0.82\text{m}$ y el peso de $40.02 \pm 47.72\text{Kg}$. Lo anterior indica que la mayoría de los cocodrilos capturados, correspondieron a ejemplares adultos, ya que su longitud promedio se encontró dentro del rango de la clase de edad de los adultos ($\geq 1.80\text{ m}$). Las medidas de tendencia central para las variables de respuesta del total de la muestra, se expresan en el Cuadro 5.

Todas las muestras de sangre de cocodrilos presentaron alguna cantidad de DDT total (ΣDDT) y de sus metabolitos.

Cuadro 5. Medias, desviaciones estándar y valores máximos y mínimos para la longitud y peso de los cocodrilos y para las concentraciones de DDT y sus metabolitos en sangre.

| Variable | Media | Desviación Estandar | Mínimo | Máximo |
|--------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------|
| Longitud | 1.80 (m) | ± 0.82 | 0.33 (m) | 3.87 (m) |
| Peso | 40.72 (kg) | ± 47.72 | 0.10 (kg) | 240 (kg) |
| ΣDDT | 6.68 (ng/mL) | ± 7.90 | 0.74 (ng/mL) | 49.54 (ng/mL) |
| DDT | 1.66 (ng/mL) | ± 2.98 | 0.01 (ng/mL) | 18.64 (ng/mL) |
| DDE | 3.58 (ng/mL) | ± 4.60 | 0.05 (ng/mL) | 26.95 (ng/mL) |
| DDD | 1.44 (ng/mL) | ± 2.25 | 0.01 (ng/mL) | 17.29 (ng/mL) |

Al estudiar los valores promedio y rangos de concentraciones de ΣDDT , DDT, DDE y DDD (Cuadro 5), fue posible estimar, que de los metabolitos analizados, el DDE representó el 53%, el DDT el 25% y DDD el 22%, lo cual está expresado en sus valores promedio (ng/mL) en la Figura 11. Así mismo, en la Figura 10 se han graficado los valores de la longitud total y peso de los cocodrilos (valores de X y Z respectivamente) y las concentraciones de ΣDDT para todas las muestras obtenidas.

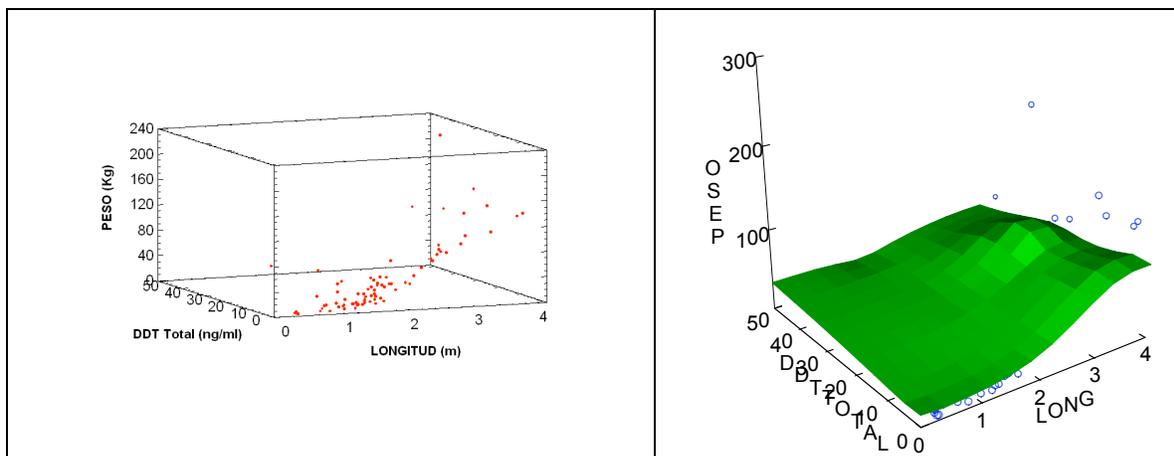


Figura 10. Gráfica de la concentración total de DDT en función de la longitud y el peso de los cocodrilos. Derecha ajustada por método inverso (Shepard).

Los resultados anteriores pueden dar indicios de que en general el DDT se dejó de aplicar a nivel nacional a partir de su prohibición en el año 2000 (Cicoplafest, 1998), dado que los niveles medios de DDT presente en los organismos estudiados, presentaron valores bajos en comparación con su metabolito DDE; de no haber sido así, el DDT hubiera permanecido en niveles superiores a los de su metabolito. Lo anteriormente descrito fue congruente con lo reportado por otros autores (Mora, 1995) en estudios de monitoreo de DDT en tejidos de fauna silvestre.

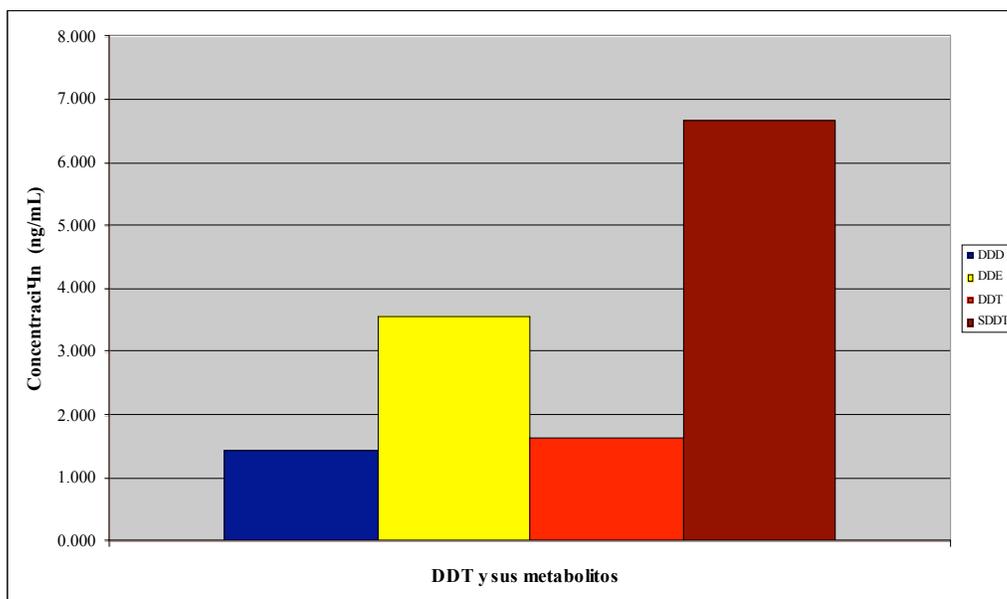


Figura 11. Concentración media de DDT y sus metabolitos del total de las muestras de sangre de cocodrilos

Los sitios donde se detectaron mayores concentraciones de DDT y sus metabolitos en sangre de cocodrilos, se ubicaron en el sureste del país, en los estados de Tabasco (Laguna de Las Ilusiones, Villahermosa) con el mayor registro en una hembra de *Crocodylus moreletii*, de 1.58 m de longitud (Σ DDT de 49.54 ng/mL, DDE 13.61; DDD 17.29 y DDT 18.64). El segundo sitio correspondió a una hembra de *Crocodylus moreletii* en Chiapas, de longitud 1.75 m, con una concentración de Σ DDT de 33.20 ng/mL (DDE 10.32, DDD 10.28 y DDT 12.60). En el mismo estado, se detectó otra hembra de *Crocodylus acutus*, en la localidad de El Manguito, Arriaga, de 3.15 m de longitud con una concentración de Σ DDT 31.45 ng/mL (DDE 26.95, DDD 0.11 y DDT 4.39). Estos resultados son congruentes con las elevadas cantidades de DDT rociadas en las campañas contra paludismo en los estados de Tabasco (648,905 toneladas) y Chiapas (1'527,440 toneladas) durante el período del 1988 a 1999.

En contraposición, los sitios donde se detectó la menor concentración de DDT y sus metabolitos en sangre de cocodrilos, se ubicaron también en Chiapas, en donde un macho de *Crocodylus acutus* de 2.0 m de longitud le fueron detectados niveles de Σ DDT de 0.74 ng/mL (DDE 0.59, DDD 0.15 y DDT 0.01). Otro organismo colectado en Yum Balam, Quintana Roo, macho de *Crocodylus acutus* de 1.68 m de longitud registró una concentración de Σ DDT de 1.26 ng/mL (DDE 0.62, DDD 0.26 y DDT 0.38). Por último, en La Manzanilla, Municipio de La Huerta, Jalisco, un *Crocodylus acutus*, macho de 3.35 m de longitud, registró una concentración de Σ DDT de 1.30 ng/mL (DDE 0.27, DDD 0.62 y DDT 0.41). En estos casos, y no obstante que las cantidades de DDT aplicadas fueron elevadas, los resultados mostraron los niveles más bajos registrados de DDT y sus metabolitos, lo que podría indicar que ya no se ha aplicado DDT en esos sitios por lo menos desde hace 10 años, lo que ha sido suficiente para que dicho compuesto haya sido metabolizado en el medio y se haya ido excretando por los cocodrilos.

Al comparar los resultados obtenidos con los reportados por otros autores, se pudo evidenciar que los valores promedio de DDD y DDT superan en más de un 100% los reportados para la especie *Alligator mississippiensis* (Guillete, *et al.* 1999) en tres sitios de Florida (Lake Woodruff, Lake Apopka y Orange Lake). En tanto que para DDE son más altos que para dos de los sitios reportados en Florida (Lake Woodruff, Lake Apopka), pero

inferiores al nivel encontrado en uno de esos sitios (Orange Lake). Al ser el DDE el compuesto con mayor concentración, resulta congruente con lo reportado en otros estudios (Guillette, *et al.* 1996), dada su mayor persistencia. Esto evidencia la posibilidad de que las cantidades de DDT aplicado en México, fueron superiores a los aplicados en esos sitios de Florida, EUA.

Los resultados obtenidos de la concentración de DDT y sus metabolitos en las muestras de sangre de cocodrilos, hace suponer que estos compuestos pudieron haberse acumulado en los cocodrilos por diversas vías, como pueden ser durante la formación del huevo (Guillette, *et al.* 1999) y por el consumo de alimento contaminado durante su desarrollo. Lo anterior, considerando que los cocodrilos son carnívoros ubicados en el último nivel trófico de su cadena alimenticia, por lo que bioacumulan y biomagnifican los contaminantes que se encuentran presentes en organismos de niveles inferiores (Skaare, *et al.*, 1991 y Guillette, *et al.* 1999), además de que los metabolitos pueden ser absorbidos directamente del medio, donde el DDE resulta ser el más persistente y estable (Guillette, *et al.* 1996).

Para mostrar la relación que existe entre la longitud y el peso de los cocodrilos, se realizó un análisis de regresión lineal simple (Figura 12) que mostró un coeficiente de determinación $R^2=0.79$ ($P < 0.0001$) el cual indicó que la mayor variación en el peso es explicada por la longitud del animal. Lo anterior resulta congruente por la tendencia del crecimiento de los cocodrilos y el consecuente aumento de peso, ya que en organismos menores de 0.50 m, como lo establece Huerta (1986), se presenta una mayor pendiente en la ecuación de crecimiento, mientras que en organismos entre 1.0 y 3.0 m de longitud el coeficiente de determinación es cercano a 1.0; a partir de este rango, los ejemplares empiezan a disminuir su crecimiento. La situación respecto a la variación no explicada por la longitud de los cocodrilo, puede deberse al tipo (disponibilidad) y cantidad consumida de alimento por cada individuo en su lugar de distribución (Milnes, *et al.* 2002), así como la temperatura ambiente (Turton *et al.*, 1997), sobre todo en los primeros años de vida de los cocodrilos.

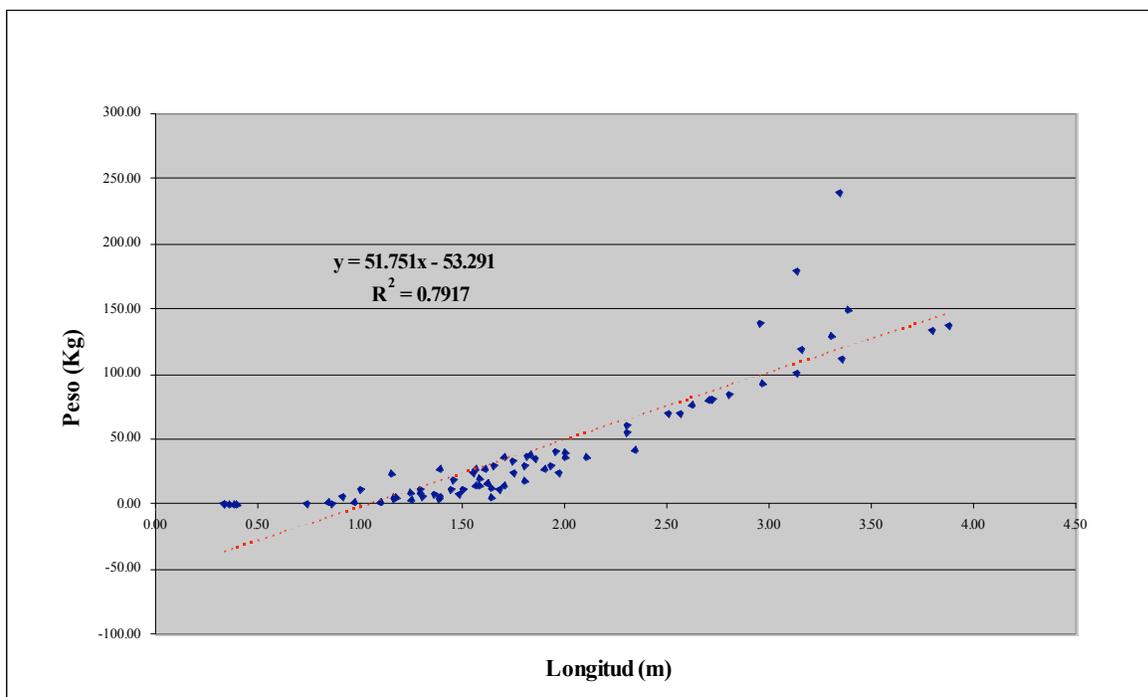


Figura 12. Relación de las variables de respuesta longitud y peso de los cocodrilos muestreados.

Se realizó el análisis específico por cada una de las variables de clasificación y de respuesta, en el cual se consideró la distribución natural de las especies (en las provincias biogeográficas). En primera instancia se ejecutó para las especies de cocodrilo, su sexo y la clase de edad en relación a las concentraciones de DDT.

Derivado de lo anterior, se identificó que el valor promedio más elevado de Σ DDT correspondió a las hembras de la especie *C. moreletii*, de la clase de edad 5 (subadultos 1.51 a 1.80 m de longitud); en tanto que el menor lo fue para los machos de la especie *C. acutus* de la clase de edad 4 (preadultos de 1.01 a 1.50 m de longitud). Sin embargo, para el caso del metabolito DDE el valor promedio máximo y mínimo, correspondió a las hembras de *C. acutus* de clase de edad 6 y a los machos de la especie *C. moreletii* de la clase de edad 1, respectivamente (Cuadro 6).

Cuadro 6. Medias de DDT total (Σ DDT) y sus metabolitos en sangre, de acuerdo a la especie, sexo y clase de edad de los cocodrilos.

| Especie | Sexo | Clase de Edad | No. Muestra (n) | Concentración media de DDT y metabolitos (ng/mL) | | | | | | | |
|---------------------|--------|---------------|-----------------|--|------|-----------|------|-----------|------|--------------|-------|
| | | | | DDD | | DDE | | DDT | | Σ DDT | |
| | | | | \bar{y} | DE | \bar{y} | DE | \bar{y} | DE | \bar{y} | DE |
| <i>C. acutus</i> | Hembra | 5 | 2 | 0.79 | 0.52 | 1.25 | 1.19 | 0.77 | 0.17 | 2.81 | 0.50 |
| | | 6 | 9 | 0.96 | 0.54 | 7.98 | 8.08 | 1.48 | 1.32 | 10.42 | 8.94 |
| | Macho | 4 | 5 | 0.38 | 0.35 | 1.23 | 0.72 | 0.56 | 0.41 | 2.17 | 0.62 |
| | | 5 | 3 | 0.92 | 0.57 | 1.39 | 1.22 | 0.97 | 0.56 | 3.28 | 1.95 |
| | | 6 | 11 | 0.72 | 0.39 | 3.83 | 6.21 | 1.19 | 1.35 | 5.74 | 7.00 |
| <i>C. moreletii</i> | Hembra | 1 | 3 | 1.35 | 0.96 | 0.50 | 0.33 | 0.74 | 0.21 | 2.60 | 1.14 |
| | | 2 y 3 | 2 | 0.62 | 0.28 | 2.75 | 1.09 | 0.18 | 0.01 | 3.55 | 1.35 |
| | | 4 | 7 | 1.67 | 1.66 | 2.86 | 1.60 | 1.03 | 1.36 | 5.57 | 3.88 |
| | | 5 | 10 | 3.98 | 5.50 | 4.67 | 4.76 | 3.99 | 6.32 | 12.65 | 15.95 |
| | Macho | 1 | 2 | 0.71 | 0.29 | 0.74 | 0.11 | 0.35 | 0.19 | 1.79 | 0.59 |
| | | 3 | 2 | 1.76 | 1.27 | 3.77 | 0.01 | 0.59 | 0.56 | 6.11 | 1.84 |
| | | 4 | 7 | 1.18 | 0.79 | 2.08 | 2.03 | 0.97 | 0.94 | 4.23 | 2.90 |
| | | 5 | 2 | 1.85 | 0.01 | 1.68 | 0.13 | 0.56 | 0.51 | 4.09 | 0.64 |
| | | 6 | 11 | 1.41 | 0.96 | 3.90 | 3.92 | 2.70 | 4.31 | 8.00 | 6.64 |

Por otra parte, con respecto a la variable de clasificación “especie de cocodrilo”, el número de observaciones fueron 32 para *C. acutus* y de 48 para *C. moreletii*. Las medidas de tendencia central para las variables de respuesta son las que se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Medidas de tendencia central y desviaciones estandar para la longitud y peso de cocodrilo, y para las concentraciones de DDT y sus metabolitos, por especie.

| Especie | Variable | Media | Desviación Estandar | Mínimo | Máximo |
|---------------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|---------------|
| <i>C. acutus</i> | Longitud | 2.29 (m) | ± 0.86 | 1.00 (m) | 3.87 (m) |
| | Peso | 66.76 (Kg) | ± 59.25 | 2.42 (Kg) | 240.00 (Kg) |
| | Σ DDT | 6.33 (ng/mL) | ± 6.87 | 0.74 (ng/mL) | 31.45 (ng/mL) |
| | DDT | 1.22 (ng/mL) | ± 1.15 | 0.01 (ng/mL) | 4.39 (ng/mL) |
| | DDE | 4.40 (ng/mL) | ± 6.09 | 0.16 (ng/mL) | 26.95 (ng/mL) |
| | DDD | 0.72 (ng/mL) | ± 0.48 | 0.01 (ng/mL) | 1.51 (ng/mL) |
| <i>C. moreletii</i> | Longitud | 1.48 (m) | ± 0.61 | 0.33 (m) | 2.71 (m) |
| | Peso | 22.19 (Kg) | ± 26.49 | 0.10 (Kg) | 140.00 (Kg) |
| | Σ DDT | 6.92 (ng/mL) | ± 8.59 | 1.32 (ng/mL) | 49.54 (ng/mL) |
| | DDT | 1.96 (ng/mL) | ± 3.73 | 0.11 (ng/mL) | 18.64 (ng/mL) |
| | DDE | 3.03 (ng/mL) | ± 3.22 | 0.05 (ng/mL) | 13.61 (ng/mL) |
| | DDD | 1.93 (ng/mL) | ± 2.78 | 0.04 (ng/mL) | 17.29 (ng/mL) |

Cabe hacer notar que se los valores medios de Σ DDT para *C. moreletii* fueron mayores que para *C. acutus*, lo cual puede deberse a que el uso de DDT en los sitios de distribución de *C. acutus*, fue cancelado hace más tiempo, y que en consecuencia hay todavía mayor cantidad de DDT en las zonas de distribución natural de *C. moreletii*. Esta

suposición se ve apoyada por el hecho de que los valores medios de DDE en *C. acutus* son mayores que los de *C. moreletii* (Figura 13). En el caso de *C. acutus*, el DDE se presentó en un 66% del total y para *C. moreletii* en un 48%.

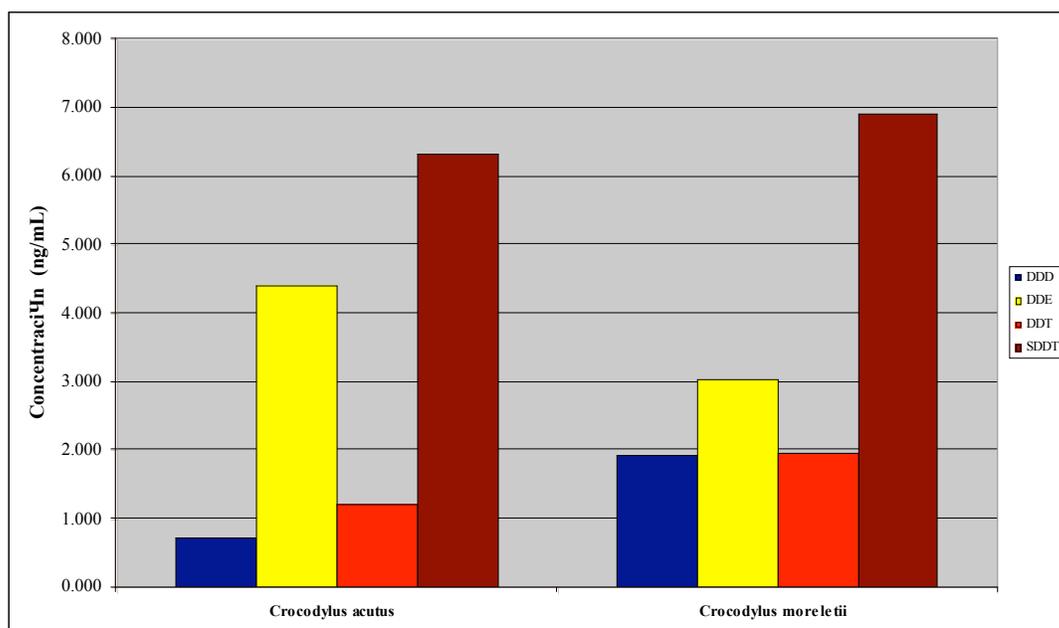


Figura 13. Concentración media de DDT y sus metabolitos en muestras de sangre de dos especies de cocodrilo.

Al considerar la variable “sexo de los cocodrilos”, de las 80 muestras colectadas, 36 correspondieron a hembras (13 de *C. acutus* y 23 de *C. moreletii*) y 44 a machos (19 de *C. acutus* y 25 de *C. moreletii*). Considerando ambas especies, el rango de longitud (mínima y máxima) de los cocodrilos machos fue de 0.34 m y 3.87 m con promedio de 1.97 ± 0.87 m, es decir animales adultos. Con respecto a su peso, los cocodrilos machos presentaron un rango de 0.10 a 240.00kg y un promedio de 48.18 ± 55.41 kg. La longitud para los ejemplares de cocodrilo hembras estuvo en un rango de 0.33 a 3.38m con un promedio de 1.60 ± 0.71 m; en tanto que el peso, el rango fue de 0.11kg y 150.00kg, y promedio de 30.05 ± 34.41 kg. Los valores de tendencia central de acuerdo al sexo y especie, se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Medidas de tendencia central y desviaciones estandar para la longitud y el peso y las concentraciones de DDT y sus metabolitos en sangre de acuerdo al sexo de los cocodrilo.

| Sexo | Variable | Media | Desviación Estandar | Mínimo | Máximo |
|---------|----------|--------------|---------------------|--------------|---------------|
| Hembras | Longitud | 1.60 (m) | ± 0.71 | 0.33 (m) | 3.38 (m) |
| | Peso | 30.05 (Kg) | ± 34.41 | 0.11 (Kg) | 150.00 (Kg) |
| | ΣDDT | 8.54 (ng/mL) | ± 10.03 | 1.32 (ng/mL) | 49.54 (ng/mL) |
| | DDT | 2.05 (ng/mL) | ± 3.60 | 0.11 (ng/mL) | 18.64 (ng/mL) |
| | DDE | 4.55 (ng/mL) | ± 5.27 | 0.25 (ng/mL) | 26.95 (ng/mL) |
| | DDD | 1.94 (ng/mL) | ± 3.20 | 0.02 (ng/mL) | 17.29 (ng/mL) |
| Machos | Longitud | 1.97 (m) | ± 0.87 | 0.34 (m) | 3.87 (m) |
| | Peso | 48.18 (Kg) | ± 55.41 | 0.10 (Kg) | 240.00 (Kg) |
| | ΣDDT | 5.16 (ng/mL) | ± 5.51 | 0.74 (ng/mL) | 24.39 (ng/mL) |
| | DDT | 1.34 (ng/mL) | ± 2.37 | 0.01 (ng/mL) | 14.01 (ng/mL) |
| | DDE | 2.78 (ng/mL) | ± 3.85 | 0.05 (ng/mL) | 20.29 (ng/mL) |
| | DDD | 1.04 (ng/mL) | ± 0.76 | 0.01 (ng/mL) | 3.80 (ng/mL) |

Considerando la variable “sexo” de los cocodrilos, las concentraciones promedio de Σ DDT (ng/mL) y sus metabolitos en sangre, los machos tuvieron un rango de 0.74 ng/mL y 24.39 ng/mL, con promedio de 5.16 ± 5.51 ng/mL (el promedio de los metabolitos de DDD fue 1.04 ng/mL, DDE 2.78 ng/mL y DDT 1.34 ng/mL). Para las hembras, el rango osciló entre 1.32 ng/mL y 49.54 ng/mL, y promedio de 8.54 ± 10.03 ng/mL (para los metabolitos el valor medio fue de DDD 1.94 ng/mL, DDE 4.55 ng/mL, DDT 2.05 ng/mL, Figura 14). Lo anterior puede ser evidencia de la mayor tendencia a acumular DDT en los ejemplares de cocodrilos hembras. Esto no puede ser explicado por medio de este estudio, si tenemos en cuenta que los hábitos alimenticios de las hembras y machos son similares entre si y para ambas especies, por lo que esta diferencia puede ser atribuida a otros factores. También ambos sexos presentan una mayor concentración promedio de DDE en comparación con los otros compuestos, siguiéndole el DDT (53% del Σ DDT).

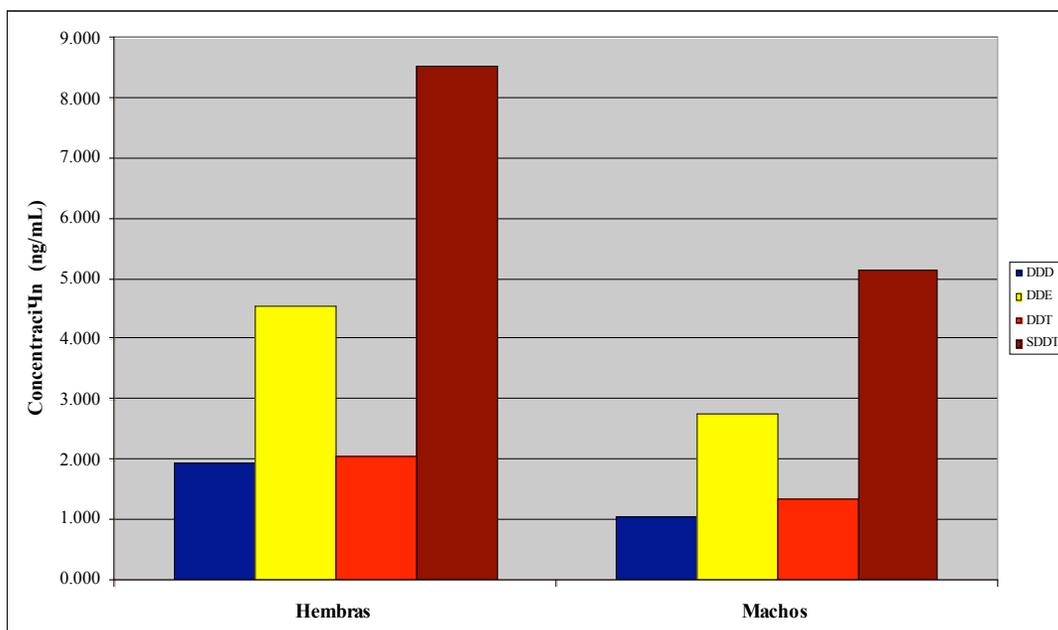


Figura 14. Concentración media de DDT y sus metabolitos en muestras de sangre de cocodrilos de acuerdo al sexo.

Del análisis de la variable de “clase de edad” (CE) de los cocodrilos, los valores detectados de Σ DDT (ng/mL) y sus metabolitos en sangre, fueron para la CE-1 (n=5) un rango de 1.32 y 3.50 ng/mL, con promedio de 2.27 ± 0.97 ng/mL (el promedio de los metabolitos fue DDD 1.09 ng/mL, DDE 0.60 ng/mL y DDT 0.58 ng/mL). Para la CE-2 (n=2) un rango de 1.60 y 2.59 ng/mL, con promedio de 2.10 ± 0.70 ng/mL (el promedio de los metabolitos fue DDD 0.62 ng/mL, DDE 1.01 ng/mL y DDT 0.46 ng/mL). Sin embargo, dado que los valores se han derivado de solo dos muestras de cocodrilos, será necesario continuar con la colecta de un mayor número de muestras de estas clases de edad. Para la CE-3 (n=4) el rango fue de 4.50 y 11.79 ng/mL, con promedio 7.13 ± 3.37 ng/mL (promedio de los metabolitos fue DDD 1.13 ng/mL, DDE 4.92 ng/mL y DDT 1.08 ng/mL). Los valores detectados de Σ DDT (ng/mL) para la CE-4 (n=20) tuvieron un rango de 1.33 y 13.66 ng/mL, con promedio de 4.35 ± 3.14 ng/mL (promedio de los metabolitos fue DDD 1.09 ng/mL, DDE 2.30 ng/mL y DDT 0.95 ng/mL).

En el caso de la CE-5 (n=17) el rango fue de 1.26 y 49.54 ng/mL, con promedio de 8.83 ± 12.88 ng/mL (promedio de los metabolitos fue DDD 2.81 ng/mL, DDE 3.34 ng/mL y DDT 2.68 ng/mL). La CE-6 (n=32) el rango fue de 0.74 ng/mL y 31.45 ng/mL, con promedio de 7.92 ± 7.36 ng/mL (promedio de los metabolitos fue DDD 1.08 ng/mL, DDE 4.96 ng/mL y DDT 1.88 ng/mL, Figura 15).

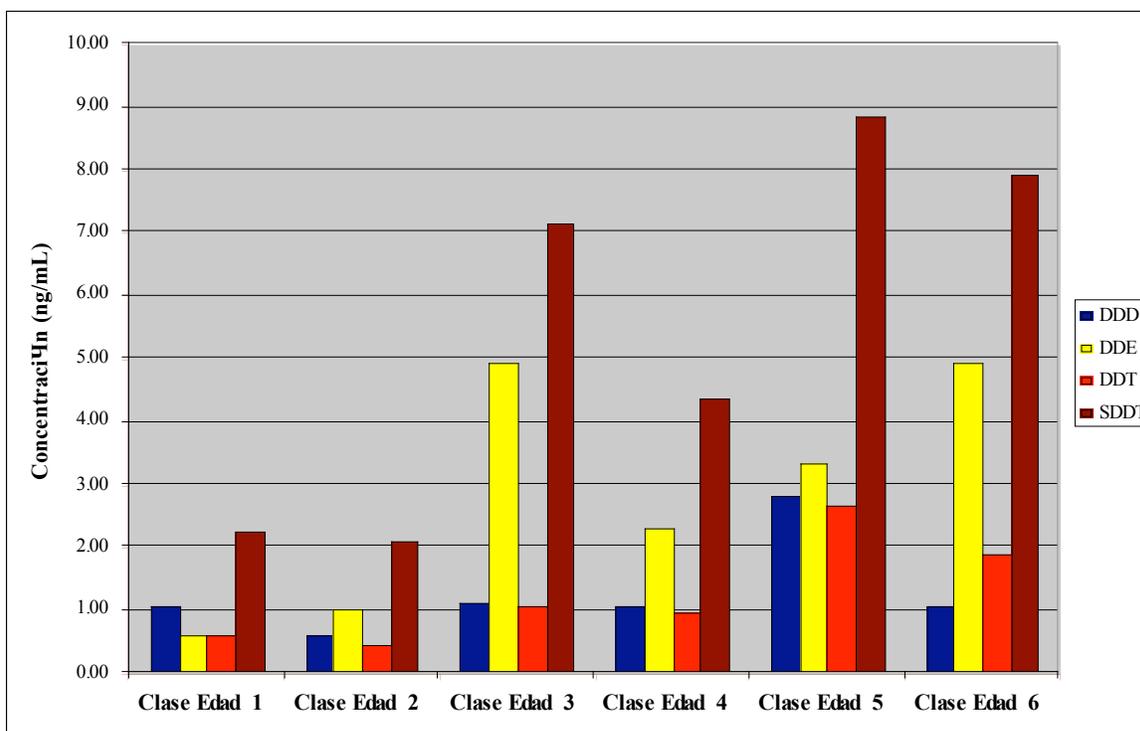


Figura 15. Concentración media de DDT y sus metabolitos en muestras de sangre de cocodrilos por clase de edad.

También para este caso, las CE 4, 5 y 6 mostraron que la concentración promedio de DDE fue mayor en comparación con los otros metabolitos, siguiéndole el DDD en las CE 4 y 5, y el DDT en la CE 6. La concentración promedio del Σ DDT fue mayor en la CE 5. Tanto para la CE 4 y 6, el DDE se presentó en un 53% y 61% del total, respectivamente. Lo anterior evidencia que los individuos de CE 5 (los cuales en su mayoría son hembras), son los que han acumulado mayor cantidad de DDT, lo que haría suponer que el DDT ha sido aplicado hace tiempo y que ha permanecido en el ambiente o dentro de los cocodrilos un tiempo suficiente para ser detectado (Figura. 16).

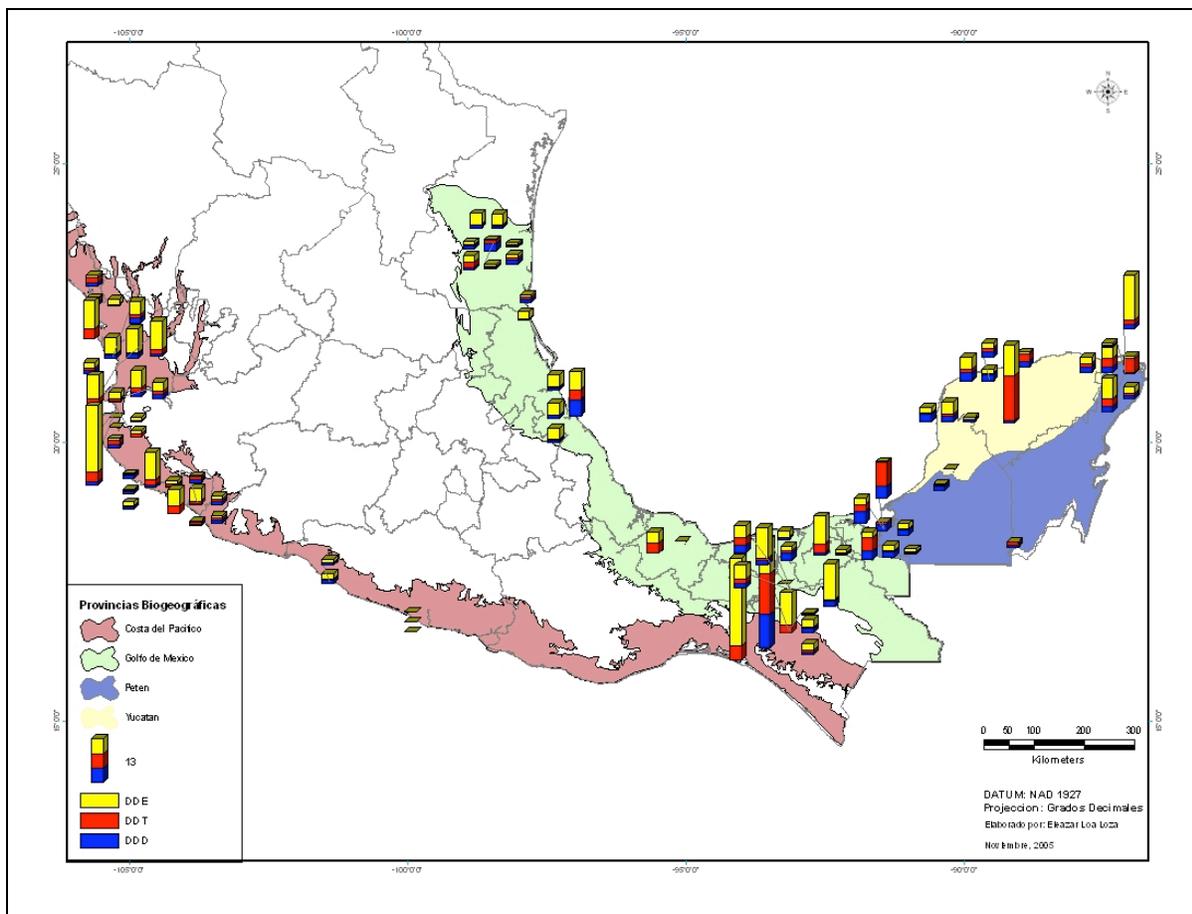


Figura 16. Concentración de DDT y sus metabolitos en muestras de sangre por clase de edad de cocodrilos.

En relación con la variable “niveles de aplicación de DDT” en el ambiente, los valores detectados de Σ DDT (ng/mL) y sus metabolitos en sangre de cocodrilo para el nivel de aplicación 1 (de 254.82 – 1023.38 Ton aplicadas en 12 años y n=47), tuvo un rango de 0.74 a 49.54 ng/mL con promedio de 7.91 ± 9.10 ng/mL (promedio de los metabolitos fue DDD 1.79 ng/mL, DDE 4.23 ng/mL y DDT 1.89 ng/mL). Para el nivel de aplicación 2 (de 22.18 – 83.33 Ton aplicadas en 12 años y n=16), un rango de 1.30 y 24.39 ng/mL, con promedio de 4.76 ± 5.86 ng/mL (el promedio de los metabolitos fue DDD 0.70 ng/mL, DDE 3.09 ng/mL y DDT 0.97 ng/mL). Para el nivel de aplicación 3 (de 0-0 – 22.17 Ton aplicadas en 12 años y n=17), un rango de 1.32 y 24.03 ng/mL, con promedio de 5.08 ± 5.21 ng/mL (el promedio de los metabolitos fue DDD 1.18 ng/mL, DDE 2.22 ng/mL y DDT 1.68 ng/mL) Los valores promedio del Σ DDT (ng/mL) y su metabolitos se muestran en la Figura 17.

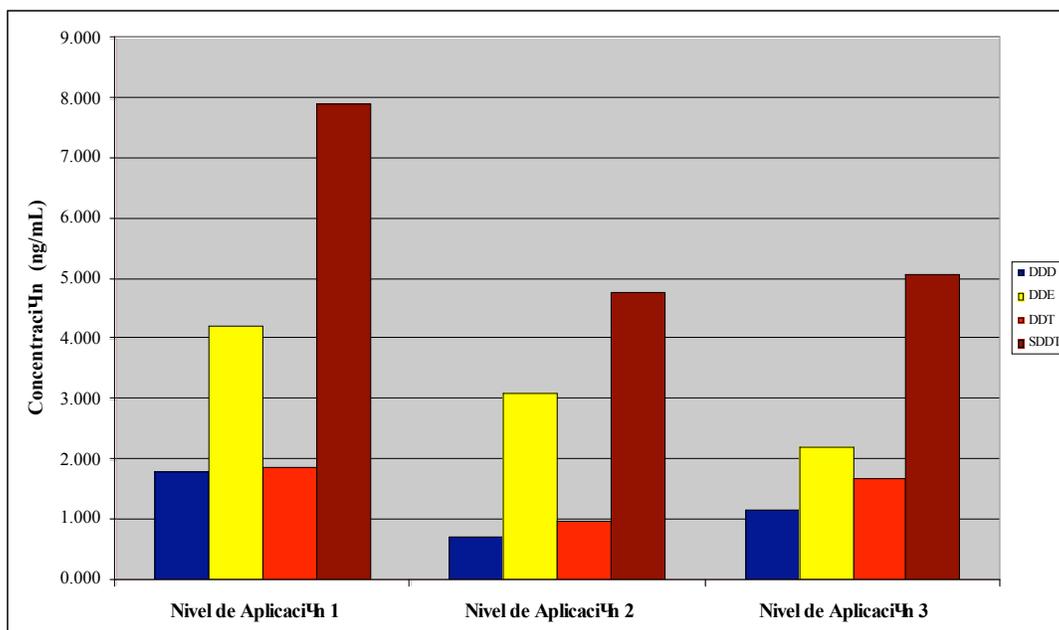


Figura 17. Concentración media de DDT y sus metabolitos en muestras de sangre de cocodrilos por nivel de aplicación de DDT en el ambiente.

La concentración media del Σ DDT en sangre de cocodrilos, fue mayor en aquellos sitios en donde se determinó el nivel de aplicación 1, lo cual fue acorde con las grandes cantidades aplicadas de DDT en el ambiente (252.5 a 1023.0 toneladas totales aplicadas durante el período de 1988 a 1999). En este caso, dicho nivel de aplicación mostró que la concentración media de DDE fue mayor en comparación con los otros compuestos, siguiéndole el DDT en los niveles de aplicación 2 y 3. Esto se explica por la persistencia del DDE y porque el DDT ya no se ha aplicado en los últimos cinco años. Para los niveles de aplicación 2 y 1, el DDE se presentó en un 65 y 53% del total, respectivamente (Figura 18). Lo anterior haría suponer que el DDT fue aplicado hace tiempo, y que ha permanecido dentro de los cocodrilos o en aquellos organismos de los cuales se alimenta en forma de DDE.

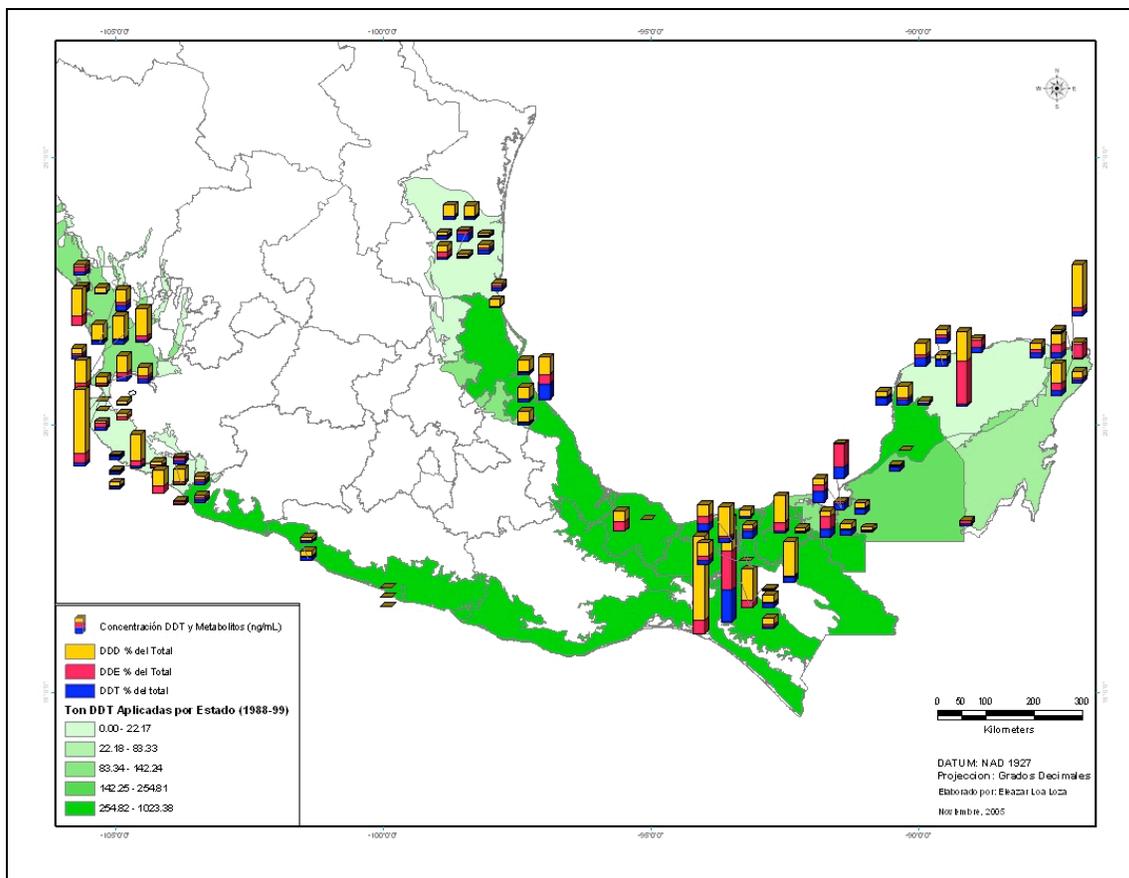


Figura 18. Localización de las concentraciones de DDT y sus metabolitos en muestras de sangre de cocodrilos y el nivel de aplicación de DDT en el ambiente.

En cuanto a la “Provincia Biogeográfica” (PB) los valores de Σ DDT (ng/mL) y sus metabolitos en sangre de cocodrilo, tuvieron en PB Costa Pacífico un rango de 0.74 y de 33.20 ng/mL, y un promedio de 6.61 ± 8.24 ng/mL (el promedio de los metabolitos fue DDD 1.01 ng/mL, DDE 4.20 ng/mL y DDT 1.40 ng/mL). Para la PB Golfo de México un rango de 1.32 y 49.54 ng/mL y valor promedio de 7.26 ± 9.75 ng/mL (promedio de los metabolitos fue DDD 1.83 ng/mL, DDE 3.77 ng/mL y DDT 1.66 ng/mL). Para la PB Petén un rango de 1.26 y de 16.35 ng/mL y un promedio de 5.71 ± 4.52 ng/mL (el valor promedio de los metabolitos fue DDD 1.65 ng/mL, DDE 2.35 ng/mL y DDT 1.72 ng/mL). Para la PB Yucatán el rango fue de 1.41 y 24.03 ng/mL y un valor promedio de 6.87 ± 6.31 ng/mL (el valor promedio de los metabolitos fue DDD 1.62 ng/mL, DDE 2.84 ng/mL y DDT 2.41 ng/mL, Figura 19).

La concentración media del Σ DDT fue mayor también en la PB Golfo de México, seguida de la PB Yucatán. Sin embargo, la PB Costa Pacífico es la que mostró la mayor concentración media de DDE en comparación con los otros compuestos, siguiendole el DDT en las PB Petén y Yucatán. Tanto para las PB Costa Pacífico y PB Golfo de México, el DDE se presentó en un 65 y 53% del total, respectivamente. Lo anterior refuerza la idea respecto a que el DDT ha sido aplicado hace tiempo y se ha ido metabolizando, por lo cual ha permanecido dentro de los cocodrilos un tiempo suficiente como DDE para ser detectado, situación similar se supondría para los organismos de los cuales se alimentan estos cocodrilos, de donde se deriva la bioacumulación.

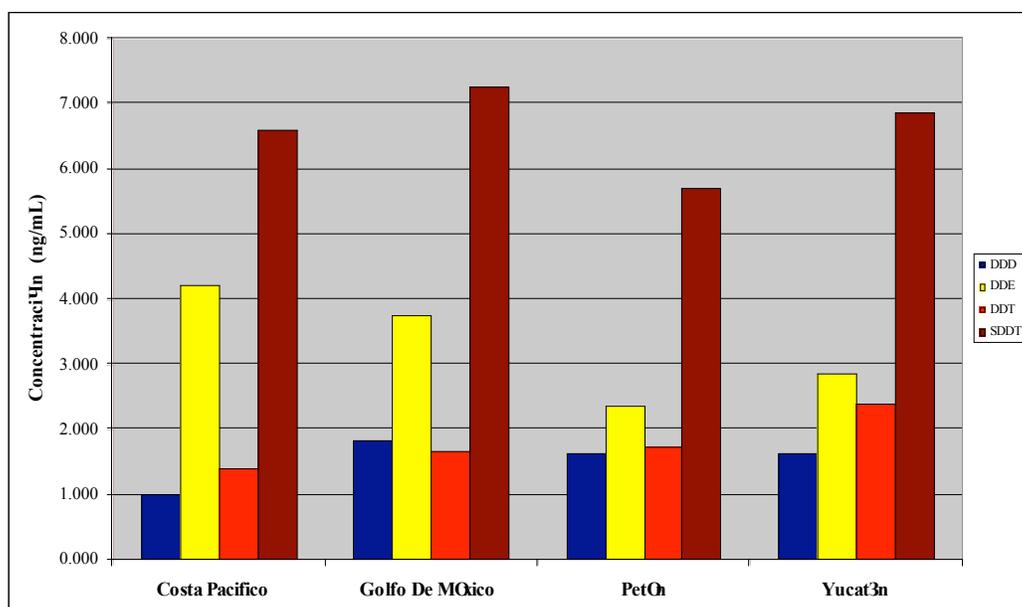


Figura 19. Concentración media de DDT y sus metabolitos en muestras de sangre de cocodrilos por provincia biogeográfica.

Con base a los resultados hasta aquí descritos, se muestra evidencia para aceptar el planteamiento establecido en la hipótesis respecto a que existen diferencias en la concentración de los residuos de DDT y sus metabolitos en cocodrilos que habitan la zona costera de Mexico, según la región biogeográfica, aplicación de DDT en al ambiente, especie, edad y sexo de los cocodrilos.

En cuanto a la hipótesis que plantea que la concentración de DDT en ejemplares de cocodrilos en las zonas costeras de México, afectan su longitud y peso total, y las de respuesta concentración de DDT y sus metabolitos, se encontró una relación funcional entre la concentración de DDE con las variables de respuesta longitud y el peso en los cocodrilos ($\alpha= 0.05$ y $R^2= 37\%$), de donde se deriva el siguiente modelo (Figura 20):

$$Y_i = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2$$

$$Y_i = 2.93 - 0.48X_1 + 0.04X_2$$

Donde:

Y_i = concentración de DDE

b_0 = ordenada al origen

X_1 = longitud

X_2 = peso

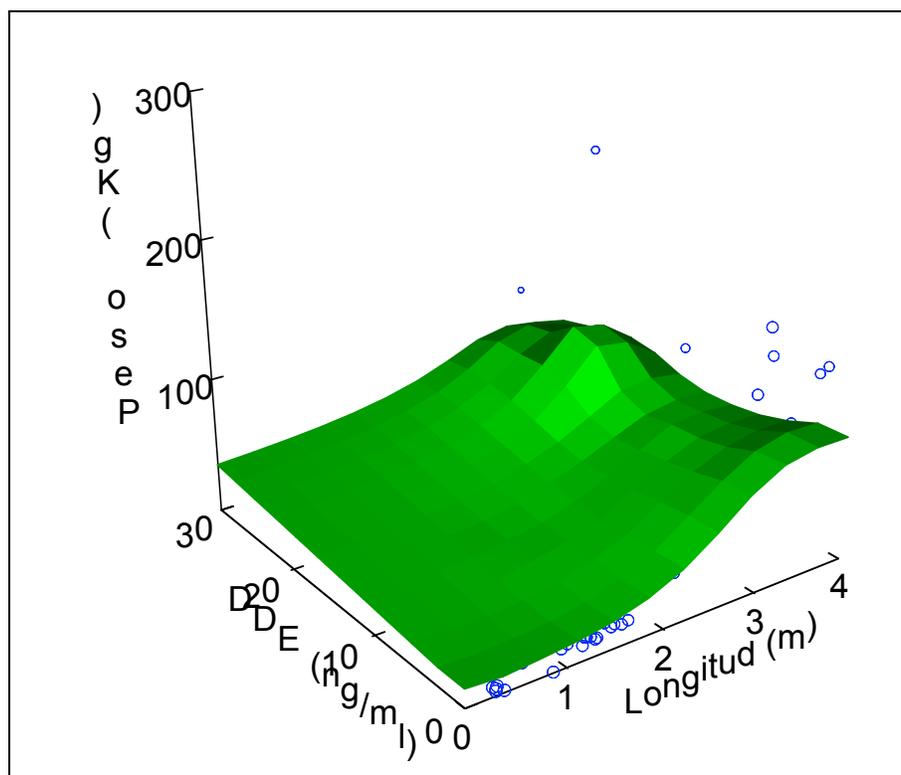


Figura 20. Concentración de DDE en función de la longitud y el peso de los cocodrilos (gráfica ajustada por método inverso -Shepard-).

Por otra parte, al ser clasificados los datos de acuerdo a las variables de sexo de los cocodrilos, también se pudo establecer esta relación funcional para los machos ($\alpha=0.05$ y $R^2= 35\%$) en cuanto a la concentración de Σ DDT (Figura 21), formada según el siguiente modelo:

$$Y_i = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$$

$$Y_i = 9.80 - 4.24 X_1 + 0.08 X_2$$

Donde:

Y_i = concentración de Σ DDT

b_0 = ordenada al origen

X_1 = longitud

X_2 = peso

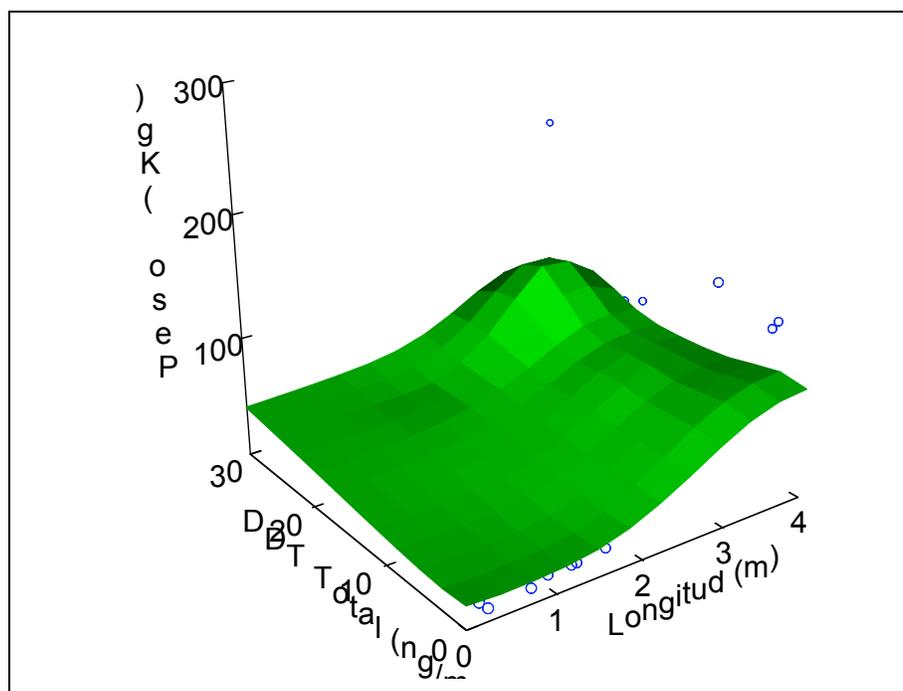


Figura 21. Concentración total de DDT en función de la longitud y el peso de los cocodrilos machos (gráfica ajustada por método inverso –Shepard-).

La variación no explicada en ambos casos es aproximadamente del 65%, lo cual puede ser atribuible a la disponibilidad, cantidad y calidad de alimento y a la temperatura del medio ambiente, entre otros factores.

Si siguiendo este mismo criterio de clasificación de los datos de acuerdo a las variables de sexo y las de respuesta concentración de DDT y sus metabolitos, se obtuvieron las medias de mínimos cuadrados (LS means) y se compararon utilizando la prueba de Tukey-Kramer (SAS v.8), aplicada para medias ajustadas por diferente número de observaciones. Derivado de esto, se encontró también una relación funcional del metabolito DDD ($P > 0.05$), de lo cual se estableció un modelo de efectos fijos con tres criterios de clasificación, sin interacción:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + N_j + S_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} = Concentración de DDD

μ = Media general

P_i = Efecto de la i-esima provincia Biogeográfica ($i = 1, 2, 3, 4$)

N_j = Efecto de la j-esima concentración de DDT aplicado en el medio ambiente
($j = 1, 2, 3$)

S_k = Efecto de la k-esima especie de cocodrilo ($k = 1, 2$)

ε_{ijk} = Error aleatorio

Estos resultados fueron apoyados con el ANOVA correspondiente, y la prueba de comparación de medias.

| Fuente de Variación (FV) | Grados de libertad (gl) | Suma de Cuadrados (SC) | Cuadrado Medio (CM) | F | P>F |
|--------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|------|------|
| Provincia Biogeográfica | 3 | 4.74 | 1.58 | 3.73 | 0.02 |
| Nivel Aplicación de DDT | 2 | 0.71 | 0.35 | 0.84 | 0.44 |
| Especie | 1 | 2.88 | 2.88 | 6.79 | 0.01 |
| Error | 32 | 13.58 | 0.42 | | |
| Total (c) | 38 | 21.92 | | | |

| | | Número de muestras | Medias | Error Estandar |
|---|---------------------|--------------------|----------------|----------------|
| Provincia Biogeográfica | Costa Pacífico | 19 | 0.95 <i>ab</i> | 0.27 |
| | Golfo de México | 8 | 0.60 <i>b</i> | 0.32 |
| | Petén | 8 | 1.28 <i>a</i> | 0.31 |
| | Yucatán | 4 | 0.85 <i>ab</i> | 0.43 |
| | Error EstandarMedio | | | 0.30 |
| Nivel de Aplicación de DDT | 1 | 21 | 1.10 <i>a</i> | 0.18 |
| | 2 | 12 | 1.15 <i>a</i> | 0.34 |
| | 3 | 6 | 0.74 <i>a</i> | 0.28 |
| | Error EstandarMedio | | | 0.24 |
| Especie | <i>C. acutus</i> | 19 | 0.52 <i>b</i> | 0.30 |
| | <i>C. moreletii</i> | 21 | 1.48 <i>a</i> | 0.16 |
| | Error EstandarMedio | | | 0.23 |
| <i>a</i> y <i>b</i> : son estadísticamente diferentes | | | | |
| <i>ab</i> : no son significativamente diferentes | | | | |

No se observó diferencia significativa entre las PB Costa Pacífico y PB Yucatán, en cuanto a la concentración de DDD. Esto implicaría que al menos en estas dos Provincias Biogeográficas el DDT se ha dejado de aplicar desde hace varios años, por lo que se ha sido reducido al metabolito más básico (DDD).

Los resultados obtenidos relacionados con la hipótesis planteada en el presente estudio mostraron que los efectos no fueron diferentes ($P > 0.05$) entre los niveles de aplicación de DDT en las concentraciones de metabolitos de DDT en sangre. De igual manera, no se observaron diferencias ($P > 0.05$) entre Provincia Biogeográfica en la variable de respuesta DDT en sangre, longitud, y peso de los animales muestreados.

La clase de edad de los cocodrilos y la especie de cocodrilo, no mostró diferencias ($P < 0.05$) en la concentración en sangre de DDT, ni sobre la longitud y peso de los cocodrilos.

Que no existan diferencias entre las provincias biogeográficas en la concentración de DDT, implica suponer que en cualquiera de los sitios es posible encontrar DDT en diferentes concentraciones, sin que para ello influyan las características del sitio, sino de la cantidad de esta sustancia que haya estado presente en la cadena trófica y el medio ambiente (Rice, 2004 y Allsteadt, 1994).

Los efectos documentados científicamente para el DDT y sus metabolitos son el daño neurológico, el daño hepático y los efectos reproductivos tanto en humanos como en especies de fauna y está aun en discusión la capacidad cancerígena del DDT y de sus metabolitos, aunque existen algunas muestras de que esto pueda estar ocurriendo. Considerando lo anterior, el haber encontrado un efecto significativo de los niveles de aplicación de DDT en el medio ambiente en la longitud y el peso, presupone que también este compuesto y sus metabolitos puede estar actuando en algunas funciones biológicas como la inmunidad y homeostasis de proteínas y carbohidratos, las cuales son importantes sobre todo en las primeras etapas del desarrollo de los animales (Keller et al., 2004).

De acuerdo a los resultados derivados de utilizar el SIG a partir de los sitios con altas concentraciones de Σ DDT dentro de las provincias biogeográficas obtenidas, sugiere que el DDT esparcido en el sureste de México dejó de aplicarse en años recientes, o bien que su degradación en el medio por alguna característica ambiental de la zona ha sido muy lenta, dado que los resultados del presente estudio mostraron que los cocodrilos de clases de edad 5 y 6 (adultos grandes) presentaron altas concentraciones de DDT y sus metabolitos en sangre.

V. IMPLICACIONES DE MANEJO.

Actualmente el uso del DDT en México esta prohibido para la agricultura, y su uso en el control del paludismo esta controlado y es cada vez es menos frecuente. Sin embargo, es necesario continuar monitoreando la evolución y comportamiento de las concentraciones de DDT y sus metabolitos a través del tiempo.

Se recomienda fomentar el desarrollo de proyectos de investigación en los sitios donde la concentración del pesticida es alta, como por ejemplo en el sureste del país, a fin de conocer en detalle el proceso de bioacumulación y degradación del DDT asi como los efectos que el DDT y sus metabolitos puedan tener hacia los humanos y las poblaciones de fauna silvestres.

En relación con las especies de cocodrilos, lo antes dicho es importante, ya que el DDT ha mostrado efectos sobre los mecanismos biológicos que determinan el sexo y la reversibilidad del mismo durante el desarrollo embrionario. Este efecto puede tener consecuencias directas sobre la dinámica poblacional de estas especies, afectandolas en el largo plazo debido a la desproporción de sexos, sobre todo considerando que tanto *C. acutus* como *C. moreletii*, son especies categorizadas bajo protección especial (Semarnat, 2002).

Por otra parte, es muy importante seguir desarrollando y apoyando las acciones alternativas tales como la limpieza de charcas y la colecta de basura en las zonas costeras, a fin de poder sustituir definitivamente el uso del DDT para el control del vector transmisor del paludismo, como se ha venido haciendo.

Es deseable poder en el corto plazo, evaluar la posibilidad de establecer un sistema de monitoreo de salud ambiental a nivel nacional para los contaminates bioacumulables como el DDT, el cual considere a los cocodrilos como organismos indicadores de este tipo de contaminación ambiental.

VI. CONCLUSIONES.

El DDT se encontró en todos los cocodrilos muestreados dentro de la zona costera del país donde fue esparcido el pesticida con fines de control y erradicación del vector del paludismo.

Considerando lo anterior y dado que en todas las muestras de sangre de cocodrilo, se detectó alguna concentración de DDT y de sus metabolitos, es que se puede inferir que la metodología utilizada en este estudio permitió detectar de manera suficiente la presencia de residuos de DDT y sus metabolitos (DDE y DDD).

Las concentraciones de DDT encontradas en los cocodrilos fueron diferentes entre regiones biogeográficas, niveles de aplicación de DDT al ambiente, clase de edad, y especie de cocodrilo, pero sobre todo en cuanto al sexo de los cocodrilos.

La longitud y peso de los cocodrilos, como era de esperarse, fueron diferentes según la clase de edad de los animales y los niveles de aplicación de DDT en el ambiente. Este segundo hallazgo se debe tomar con mucha reserva, ya que debe ser debidamente evaluado mediante modelos experimentales perfectamente diseñados para el caso.

La presencia de DDT en la sangre indica exposiciones recientes en el medio, y la concentración detectada de sus metabolitos confirma que el pesticida usado para el control del vector del paludismo persiste aún en el medio y es bioacumulado en los cocodrilos.

El DDE fue el metabolito del DDT más persistente en las muestras de sangre de los cocodrilos, lo cual es congruente con otros estudios realizados en cocodrilos (Guillett, *et al.* 1996).

Los elevados valores de concentración detectados, aparentemente no han causado daño a los cocodrilos (principalmente a los adultos), ya que mostraron un comportamiento normal en el medio silvestre.

El SIG empleado fue una herramienta útil que permitió evaluar, identificar y posicionar los sitios contaminados DDT en el ambiente y los de captura de los cocodrilos, así como realizar algunas relaciones entre ambos aspectos.

Los cocodrilos de las especies *C. acutus* y *C. moreletii* pueden ser utilizados como indicadores del grado de contaminación del ecosistema en programas de monitoreo ambiental de largo plazo, debido a la resistencia mostrada al DDT, por su largo ciclo de vida y el ocupar un nivel trófico más alto en la cadena alimenticia.

Este es el primer estudio en su tipo que se realiza en México, por lo tanto han surgido una serie de interrogantes que no han podido ser explicadas con los métodos utilizados en el presente estudio, lo cual ha marcado la necesidad de realizar otros estudios que permitan conocer y entender de una mejor forma la dinámica del DDT en el ambiente y su efecto en las especies silvestre.

LITERATURA CITADA

- Albert L., Aranda, E., Rincón, J. F. y Loera, R. 1989. Situación de los plaguicidas en México y sus efectos en la salud y el medio ambiente. Ecología. Política /Cultura. 2:5. Ed. Regina de los Ángeles S.A. México, D.F. 87 p.
- Allsteadt, J. y Ch. Vaughan. 1994. Hábitos alimentarios del Caiman crocodilus en Caño Negro, Costa Rica Vida Silvestre Neotropical 3(1): 24-29
- Álvarez del Toro, M. 1974. Los Crocodylia de México (Estudio Comparativo). Ed. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, México D.F. 70 p.
- Arriaga Cabrera, L., E. Vázquez Domínguez, J. González Cano, R. Jiménez Rosenberg, E. Muñoz López, V. Aguilar Sierra (coordinadores). 1998. Regiones marinas prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. Conabio. México. 609 p.
- Best, S.M. 1973: Some organochlorine pesticide residues in wildlife of the Northern Territory, Australia, 1970-71. Aust. J. Biol. Sci. 26: 1161-1170.
- Billing, K.J., Phelps, R.J. 1972: Records of chlorinated hydrocarbon pesticide levels from animals in Rhodesia. Proc. Trans. Rhodesia Scientif. Ass. 55: 6-9.
- Brazaitis, P. J. 1969. The determination of sex in living crocodilians. Brit. J. Herpetol. Vol. 4, No. 3: 54-58.
- Campbell, R. K. 2003. Ecotoxicology of Crocodilians. Applied Herpetology, 1:45-163.
- Casas-Andreu, G. y Guzmán-Arroyo, M., 1970. Estado Actual de las Investigaciones Sobre Cocodrilos Mexicanos. Instituto Nacional de Investigaciones Biológico -Pesqueras sobre divulgación. Biól. 3: 1-50p.

- Casas-Andreu y Méndez de la Cruz. F 1992. Observaciones sobre la Ecología de *Crocodylus acutus* en el Río Cuitzmala, Jalisco, México. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural, Vol 43: 71-80.
- Casas-Andreu y Reyna Trujillo T 1994. Climate and Distribution of *Crocodylus acutus* in the Mexican Pacific Coast. Biogeographica 70, 2: 69-75.
- Castillo, F.A. 1997. Observations on two american crocodile populations in Colima state, Mexico, with possible mangement implications. En Memorias de la IV Reunión Regional del Grupo de Especialistas en Cocodrilos de América Latina y el Caribe. Villahermosa, Tabasco, México. 59 p.
- Cedeño, J.R. 1995. Distribución y Situación actual de *Crocodylus acutus* Cuvier (1807) (reptilia Crocodylidae), en la costa de Michoacán, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 58 p.
- CITES. 2000. Identification Guide. Crocodilians. 1995. Publish Enviroment Canadá.
- Cicoplafest, 1998. Catalogo Oficial de Plaguicidas. Comision Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Toxicas. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Secretaría de Ganadería y Desarrollo Rural, Secretaría de Salud. México. 780 p.
- De La Lanza, G., 1991. Oceanografía de los mares mexicanos. AGT Editor, S.A., 1ª. Ed. México, 569 pp.
- Delany, M.F., Bell, J.U., Sundlof, S.F. 1988. Concentrations of contaminants in muscle of the American alligator in Florida. J. Wild. Dis. 24: 62-66.
- DGVS (Dirección General de Vida Silvestre). 1999. Proyecto Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de los Crocodylia en México. Septiembre. Semarnap.

- Diaz-Barriga, Fernando. Manual para el Análisis de Muestras Ambientales, Biológicas y Humanas DDT y sus Metabolitos. Unidad de Toxicología Ambiental, Facultad de Medicina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. (En preparación)
- Dumeril, A. M. C. in Dumeril, A. M. C. and A. M. A. Dumeril. 1851. Catalogue Methodique de la Collection des Reptiles du Museum d'Histoire Naturelle de Paris.
- Edwards, C.A. 1976. Persistent Pesticidas in the Environt. 2nd. Edition. Ed. Press. Pp 6-17.
- Emery, K. O. y E. Stevenson. 1957. Estuaries and Lagoons. I Physical and chemical characteristics. III Sedimentation in estuaries, tidal flats and marshes Treatise on Marine Ecology and Paleoecology. Hedgpeth, J. W. Geol. Soc. America, Mem. 673-693 y 729-749 67, 1
- Enviroment Canada. 1995. Guía de Identificación de CITES-Cocodrilos, Autoridad del Ministerio del Medio Ambiente, ISBN 0-662-61957-9. Canadá. 200 pp.
- Ferrando, M.D., Andreu-Moliner, E. Fernández-Caslderrey, A. 1992. Relative sensitive of *Daphnia magna* and *Brachionus caliciflorus* to five pesticides. J. Environ-Sci-Health-(B). 27B: 5. 511-522.
- García C. M. 1977. Evaluación de la contaminación del suelo por plaguicidas organoclorados (Caso de estudio: Comarca Lagunera). Tesis de Doctorado en Ciencias. Instituto de Recursos Naturales. Programa Edafología. Colegio de Postgraduados. México. 85 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. México. 246 p.
- Gómez, G. F. 1995. Descripción de la Nidación de *Crocodylus moreletii*, (Dumeril y Dumeril, 1851) en la Laguna de las Ilusiones, Municipio del Centro, Tabasco, México. Tesis Profesional (Biología). Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

- Guan, Huat Tan, Swee Hock Goh and Vijayaletchumy. 1991. Analysis of pesticides residues in peninsular Malaysian Waterways. *Environmental Monitoring and Assessment* 19: 469-479.
- Guillette, L.J., Jr., Pickford, D.B., Crain, D.A., Rooney, A.A., Percival, H.F. 1996. Reduction in penis size and plasma testosterone concentrations in juvenile alligators living in a contaminated environment. *Gen. Comp. Endocrin.* 101: 32-42.
- Guillette, L.J., Jr., Brock, J.W., Rooney, A.A., Woodward, A.R. 1999: Serum concentrations of various environmental contaminants and their relationship to sex steroid concentrations and phallus size in juvenile American alligators. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 36: 447-455.
- Hall, R.J., Kaiser, T.E., Robertson, W.B., Jr., Patty, P.C. 1979. Organochlorine residues in eggs of the endangered American crocodile (*Crocodylus acutus*). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 23: 87-90.
- Heinz, G.H., Percival, H.F., Jennings, M.L. 1991. Contaminants in American alligator eggs from Lake Apopka, Lake Griffin, and Lake Okeechobee, Florida. *Environ. Monitor. Assess.* 16: 277-285.
- Hendricks, A. J., Ma, W.C., Browns, J.L., De Ruyter-Dijkman, E.M., Gast, R. 1995. Modeling and monitoring organochlorine and heavy metal accumulation in soils, earthworms and shrews in Rhine Delta floodplains. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 29:1. 115-127.
- Huerta, Mercado P. 1986. Etología, Reproducción y Biometría del Cocodrilo (*Crocodylus moreletti* Dumeril, Bribon y Dumeril), en cautiverio. Tesis Licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Huerta-Ortega, S, P. Ponce-Campos and J. P. Ross. 2002. Preliminary Results of a Population Study of American Crocodile (*Crocodylus acutus*) in Jalisco, México. In: *Crocodiles. Proceedings of the 16th Working Meeting of the Crocodile*

Specialist Group, IUCN- The World Conservation Union, Gland, Switzerland and Cambridge UK. pp. 231-238.

INE. 1999. Proyecto para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de los Crocodylia en México. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. 51p.

ISAT. 2004. Diagnostico Situacional del Uso de DDT y el Control de la Malaria. Informe Regional Para México y Centroamérica. Organización Panamericana de la Salud. Instituto de Salud, Ambiente y Trabajo.

ITIS. 2005. Integrated Taxonomic Information System (On-line), Accessed November 27, 2005 at <http://www.itis.usda.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt>.

Keller J. M., J. R. Kucklick, M. A. Stamper, C. A. Harás and Patricia D. McClellan-Green. 2004. Associations between Organochlorine Contaminant Concentrations and Clinical Health Parameters in Loggerhead Sea Turtles from North Carolina, USA. Environmental Health Perspectives. Vol. 112, No. 10: 254-264.

Kuckllck, R.J., Bidleman, F.T., McConnell, L.L., Walla, D.M. and Ivanov, P.G. 1994. Organochlorines in the Water and Biota of Lake Baikai, Liberia. Environ. Sci. Technol. 28: 131-137.

Lazcano, B. M. 1988. Estudio de factibilidad para la instalación de una granja de producción de pieles de *Crocodylus acutus*. In Proyecto dse manejo y conservación de un estero localizado dentro de las instalaciones de la Siderurgica Lazaro Cardenas – Las Truchas, Michoacán. Consultores en Flora y Fauna silvestres, S.C. México. 700 p.

Lazcano, M.A. 1990. Conservación de Cocodrilos en Sian Ka'an. Boletín Amigos de Sian Ka'an No. 6; junio. México. 16 p.

- Lazcano, M. A. 1993. Plan de Acción para la Conservación de el Cocodrilo Americano (*Crocodylus acutus*) en la Isla Contoy, Quintana Roo. México. 9 p.
- Martínez I. J. A. y A. M Guzmán 1991. Comportamiento Sexual de *Crocodylus acutus* (Cuvier, 1807) en Cautiverio. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. México.
- Milnes, R. M., A. R. Woodward, A. A. Rooney and L. J. Guillette. 2002. Plasma steroid concentrations in relation to size and age in juvenile alligators from two Florida lakes. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A* 131, 923-930.
- Mora, A. Miguel. 1995. Residues and trends of organochlorine pesticide and polychlorinated biphenyls in birds from Texas, 1965-88. *Fish and Wildlife Research*. 14 United States. Department of Interior. National Biological Service. Washington, D.C. pp 19-21.
- Morrone, J. J., D. E. Organista & J. Llorrente Bousquets. 2002. Mexican Biogeographic Provinces: Preliminary Scheme, General Characterization, and Synonymies. *Acta Zool. Mex. (n.s.)* 85: 83-108.
- Navarro, M P. 1999. Distribución, Abundancia y Caracterización de Hábitat del cocodrilo de río (*Crocodylus acutus*) en la costa centro-sur de Michoacán. Tesis de Maestría. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Programa Ganadería. Colegio de Postgraduados. Estado de México. México. 77 p.
- O'Brien, H. M. 1990. *Ecología. Política/Cultura*. 2:5. Ed. Regina de los Ángeles. S. A. México, D.F. 32-34 pp.
- Ogden, J.C., Robertson, W.B., Davis, G.E., Schmidt, T.W. 1974. Pesticides, polychlorinated biphenyls and heavy metals in upper food chain levels, Everglades National Park and vicinity. U.S. Department of the Interior, National Park Service, Atlanta, Georgia.

- Phelps, R.J., Focardi, S., Fossi, S., Leonzio, C., Renzoni, A. 1986: Chlorinated hydrocarbons and heavy metals in crocodile eggs from Zimbabwe. *Trans. Zimbabwe Scient. Assoc.* 63: 8-15.
- Phelps, R.J., Toet, M., Hutton, J.M. 1989. DDT residues in the fat of crocodiles from Lake Kariba, Zimbabwe. *Trans. Zimbabwe Scient. Assoc.* 64: 9-14.
- Powell, J.H. 1971. The Status of Crocodylians in the United States, Mexico, Central Americana and the Indies. I.U.C.N. 15 p.
- Remolina, S.; F. 1990. Evaluación de las Poblaciones de Lagarto, Cocodrilo de Pantano *Crocodylus moreletii* en la Zona del Delta del Grijalba-Usumacinta. Cocodrilos de Sinaloa S.A. de C.V. México. Informe Técnico. 89 p.
- Rice N. Amanda. 2004. Diet and Condition of American Alligators (*Alligator mississippiensis*), in Three Central Florida Lakes. USA. Thesis Presented to the Graduate School of the University of Florida in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science. 89 p.
- SAS. 1998. Statistical Analysis Systems Institute, Inc. Cary, NC. USA.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo.
- Sigler, C. 1995. A New Habitat for *Crocodylus acutus*. *Crocodile Specialist Group Newsletter* 14 (1): 12.
- Skaare, J.U., Ingebrigtsen, K., Aulie, A., Kanui, T.I. (1991): Organochlorines in crocodile eggs from Kenya. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 47: 126-130.

- Steel, R. G. D., Torrie, J. H. and Dickey, D. A. (1997) Principles and Procedures of Statistics, 3rd. ed. McGraw Hill. USA. 179-182.
- Toledo, A. 1995. Programa de Planificación y Manejo de los Recursos Costeros de México. México. 125 p.
- Turton J, P. W. Ladds, S. C. Manolis and G. J. W. Webb. 1997. Relationship of blood corticosterone, immunoglobulin and haematological values in young crocodiles (*Crocodylus porosus*) to water temperature, clutch of origin and body weight. Australian Veterinary Journal, 75(2): 814-817.
- UJAT, 1991. Monitoreo de las Poblaciones de Manatí (*Trichechus manatus*), Cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) y Pejelagarto (*Lepisosteus tropicus*) en el estado de Tabasco. Informe Final. pp 1-39.
- Valtierra-Azotla, M. 2000. Ecology and Conservation of the American Crocodile (*Crocodylus acutus*) in the Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve, Jalisco, Mexico. In: Crocodiles. Proceedings of the 15th Working Meeting of the Crocodile Specialist Group, IUCN-The World Conservation Union, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. Pp 361-365.
- Voerman, S. and Besemer, F.H. Edited by Saltzman, S. and Yaron, B. 1986. Residues of dieldrin, lindane, DDT and parathion in a light Sandy Soil after Repetead Application throughout a period of 15 years. Pesticides in Soil. Ed. Van Nostrand Reinhold Company Inc. pp 232-234.
- Voiz A. S. and J. J. Johnston. 2002. Solid phase extraction/gas chromatography/electron capture detector method for the determination of organochlorine pesticides in wildlife and wildlife food sources. J. Sep. Sci. 25, 119-124.

- Wessels, C.L., Tannock, J., Blake, D., Phelps, R.J. 1980. Chlorinated hydrocarbon insecticide residues in *Crocodilus niloticus* Laurentius eggs from Lake Kariba. Trans. Zimbabwe Scient. Assoc. 60: 11-17.
- Woodward, A.R. 1995. DDE, DDD, and DDT concentrations in alligator eggs from Lakes Apopka, Grif. n, and Orange in 1982. Lake Apopka Planning Workshop, Monte Verde, Florida, January 18-19, 1995, St. Johns River Water Management District.
- Wu, T.H., Rainwater, T.R., Platt, S.G., McMurry, S.T., Anderson, T.A. 2000. DDE in eggs of two crocodile species from Belize. J. Agric. Food Chem. 48: 6416-6420.
- Zheng T, Holford TR, Mayne ST, Tessari J, Ward B, Carter D, Owens PH, Boyle P, Dubrow R, Archibeque-Engle, Dawood O, Zham H. Riso. 2000. Female breast cancer associated with serum polychlorinated biphenyls and 1,1-Dichloro-2,2'-bis (p-chlorophenyl)ethylene. Cancer Epidem. Biomar and Preven. 9:167-174.

Anexo Único

Estudios de las diferentes especies de cocodrilos en relación con el DDT y sus metabolitos.

Resultados Cuantitativos.

Residuos de DDT y sus metabolitos. Especies de distribución natural en México (Modificado de Campell, 2003).

| Tipo | Especie | Tejido | Concentración | | Unidad | Año | Localidad | Referencia |
|------|-----------------------------|---|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------|---|--------------------|
| | | | media | rango | | | | |
| DDD | <i>Crocodylus acutus</i> | Huevo, excepto cascarón | 0.107 | 0.055 - 0.16 | ppm, peso húmedo completo | 1972 | Este de la Bahía de Florida, Parque Nacional Everglades, Florida, USA | Ogden, et al, 1974 |
| DDD | <i>Crocodylus acutus</i> | Huevo, excepto cascaron y membrana del cascaron | 0.03 | <0.01 – 0.07 | ppm, peso húmedo | 1977-78 | Parque Nacional Everglades, Homestead, Florida, USA | Hall et al., 1979 |
| DDE | <i>Crocodylus acutus</i> | Huevo, excepto cascarón | 1.85 | 0.78 – 3.23 | Ppm, peso húmedo completo | 1972 | Este de la Bahía de Florida, Parque Nacional Everglades, Florida, USA | Ogden, et al, 1974 |
| DDE | <i>Crocodylus acutus</i> | Huevo, excepto cascaron y membrana del cascaron | 1.16 | 0.37 – 2.90 | ppm, peso húmedo | 1977-78 | Parque Nacional Everglades, Homestead, Florida, USA | Hall et al., 1979 |
| DDE | <i>Crocodylus moreletii</i> | Huevo | 103 | 31 - 372 | ng/g ó ppb | 1997 | Varios ríos y riachuelos del sur de Belice | Wu et al., 2000a |
| DDE | <i>Crocodylus acutus</i> | Huevo | 30.7 | nd - 64 | ng/g ó ppb | 1997 | Zona Costera de Belice | Wu et al., 2000a |
| DDE | <i>Crocodylus moreletii</i> | Huevo | Gold Button Lagoon: 67.1 | 10 – 180 | ng/g ó ppb | 1998 | Varios ríos y riachuelos del sur de Belice | Wu et al., 2000a |
| DDT | <i>Crocodylus acutus</i> | Huevo, excepto cascarón | 0.33 | New River Lagoon: 60.7 0.15 - 0.59 | ppm, peso húmedo completo | 1972 | Este de la Bahía de Florida, Parque Nacional Everglades, Florida, USA | Ogden, et al, 1974 |
| DDT | <i>Crocodylus acutus</i> | Huevo, excepto cascaron y membrana del cascaron | 0.07 | 0.02 – 0.23 | ppm, peso húmedo | 1977-78 | Parque Nacional Everglades, Homestead, Florida, USA | Hall et al., 1979 |

(nd: no detectado pero el límite de detección es desconocido)

Residuos de DDT y sus metabolitos. Especies con estudios realizados en sangre (Modificado de Campell, 2003).

| Tipo | Especie | Tejido | Concentración | | Unidad | Año | Localidad | Referencia |
|------------|-----------------------------------|------------------|--|--|-------------------|------|--|-------------------------|
| | | | media | rango | | | | |
| DDD | <i>Alligator mississippiensis</i> | Plasma sanguíneo | Lake Woodruff: ♂: <0.60, ♀: <0.60 Lake Apopka: ♂: <0.60, ♀: <0.58 Orange Lake: ♂: <0.60, ♀: <0.60 | ♀ 0.24- 0.92 | ng/ml ó ppb | 1995 | Varios lagos de la parte central de Florida, USA | Guillete, et al., 1999a |
| DDE | <i>Alligator mississippiensis</i> | Plasma sanguíneo | Lake Woodruff: ♂: 0.92, ♀: 1.28 Lake Apopka: ♂: 7.35 ♀: 17.98 Orange Lake: ♂: 0.92 ♀: 0.77 | ♂ 0.86 – 0.98 ♀ 0.95 – 1.61 ♂ 4.94 – 9.76 ♀ 12.63–23.33 ♂ 0.86 – 0.98 ♀ 0.74 – 0.80 | ng/ml ó ppb | 1995 | Varios lagos de la parte central de Florida, USA | Guillete, et al., 1999a |
| DDT | <i>Alligator mississippiensis</i> | Plasma sanguíneo | Lake Woodruff: ♂: 0.52, ♀: 0.63 Lake Apopka: ♂: 0.45 ♀: 0.70 Orange Lake: ♂: 0.69 ♀: 0.49 | ♂ 0.47 – 0.57 ♀ 0.44 – 0.82 ♂ 0.42 – 0.48 ♀ 0.60 – 0.80 ♂ 0.58 – 0.80 ♀ 0.43 – 0.55 | ng/ml ó ppb | 1995 | Varios lagos de la parte central de Florida, USA | Guillete, et al., 1999a |

(nd: no detectado pero el límite de detección es desconocido)

Residuos o bioacumulación de DDT y sus metabolitos. Especies no distribuidas en México (Modificado de Campell, 2003).

| Tipo | Especie | Tejido | Concentración | | Unidad | Año | Localidad | Referencia |
|------|-----------------------------------|------------------------------------|--|-------------|---------------------------|------------------------|--|------------------------|
| | | | media | rango | | | | |
| DDD | <i>Crocodylus niloticus</i> | Huevo y embrión | MwendaRiver, Sinamwenda, en Lago Kariba: | 0.50 | 0.34 -0.73 | ppm, peso seco | Varias localidades en Zimbabwwe, África | Billing y Phelps, 1972 |
| | | | Chiredzi River, Buffalo Range Ranch | 0.24 | 0.12 -0.32 | | | |
| | | | Nyamnyetzi Farm (Huevos) | 0.15 | 0.11 -0.16 | | | |
| | | | Nyamnyetzi Farm (Embriones) | 0.37 | 0.35 -0.39 | | | |
| | | | | 0.79 | | | | |
| DDD | <i>Crocodylus niloticus</i> | Grasa del abdomen | | | | 1970 | Terrenos comunales de Zimbabwwe, África | Billing y Phelps, 1972 |
| DDD | <i>Alligator mississippiensis</i> | Huevo, excepto cascarón | 0.047 | 0.42- 0.053 | Ppm, peso húmedo completo | 1972 | Parque Nacional Everglades, Florida, USA | Ogden, et al, 1974 |
| DDD | <i>Crocodylus niloticus</i> | Huevo, | MwendaRiver: | 0.58 | 0.38 -0.69 | mg/kg o ppm, peso seco | Área de Lake Kariba en Zimbabwwe, África | Wessels, et al, 1980 |
| | | | Sengwa River: | 0.55 | 0.20 -0.82 | | | |
| | | | Granja cocodrilos: | 1.34 | 0.50 -2.56 | | | |
| | | | Gwai River: | 3.00 | | | | |
| | | | Deka River: | 3.25 | | | | |
| | | | Zambezi River | 2.00 | | | | |
| DDD | <i>Crocodylus niloticus</i> | Huevo, excepto cascaron | Sengwa River: | 0.84 | 0.59 - 1.23 | mg/kg peso seco | Algunas localidades en Zimbabwwe, África | Phelps et al, 1986. |
| | | | Mpalangena River Mouth: | 0.72 | | | | |
| | | | Chundi Island: | 1.57 | 0.51 - 2.63 | | | |
| | | | Kariba Crocodile Farm: | 5.68 | | | | |
| | | | Lake Mcllwaine: | 1.44 | 1.21 - 2.05 | | | |
| | | | Ngezi Park: | 0.79 | 0.69 - 0.90 | | | |
| | | | Kyle Park : | 1.32 | 0.64 -2.69 | | | |
| | | | Runde River : | 0.55 | 0.23 -0.71 | | | |
| | | | Lake Orange: | nd | | | | |
| | | | Lake Apopka: | 0.50 | Nd - 1.80 | | | |
| DDD | <i>Alligator mississippiensis</i> | Huevo | Lake Griffin: | nd | | ppm | Varios lagos de la parte central de Florida, USA | Woodward, 1995 |
| | | | Lake Okeechobee (1984): | <0.10 | | | | |
| | | | Lake Griffin: 1984: | <0.10 | | | | |
| | | | 1985: | 0.007 | | | | |
| | | | Lake Apopka: 1984: | 0.82 | | | | |
| DDD | <i>Alligator mississippiensis</i> | Huevo | Lake Griffin: 1984: | 0.007 | <0.01 - 0.35 | ppm, peso seco | Varios lagos de la parte central de Florida, USA | Heinz, et al, 1991 |
| | | | 1985: | 0.82 | | | | |
| | | | Lake Apopka: 1984: | 0.82 | 0.73 - 1.0 | | | |
| | | | 1985: | 0.37 | <0.01 - 1.8 | | | |
| | | | Lake Iamonia: | 0.12 | (1.2) | | | |
| DDD | <i>Alligator mississippiensis</i> | Músculo cola (y extracto de grasa) | Newnans lake: | <0.01 | <0.01 | µg/g or ppm | Varios lagos de Florida, USA | Delany et al., 1998 |
| | | | Orange Lake: | <0.01 | <0.01 | | | |
| | | | Rodman Reservoir: | <0.01 | <0.01 | | | |
| | | | Lake George: | <0.01 | <0.01 | | | |
| | | | Lake Apopka: | 0.03 | (0.02) | | | |
| | | | Lake Hancock: | 0.02 | (0.04) | | | |
| | | | Lake Trafford: | 0.02 | (2.0) | | | |
| | | | | 0.02 | (2.0) | | | |

| | | Concentración | | | | | | | |
|------------|-----------------------------------|------------------------------------|--|---|--|---------------------------|-----------|---|------------------------|
| DDD | <i>Crocodylus niloticus</i> | Grasa corporal | Kassese River and Cutty Sark (region 1): Rifa River, Banana Farm, Charara, River, Antelope island (Región 2): Nyodza River (Región 3): 3.81 | 1.17 4.65 | 0.42 – 2.31 1.10 – 11-62 0.58 – 13.50 | mg/kg | 1987 | Costa norte y este de Lake Kariba, Zimbabwe, Africa | Phelps, et al., 1989 |
| DDE | <i>Crocodylus niloticus</i> | Huevo y embrión | MwendaRiver, Sinamwenda, en Lago Kariba: Chiredzi River, Buffalo Range Ranch Nyamnyetzi Farm (Huevos) Nyamnyetzi Farm (Embriones) 0.13 | 0.30 0.63 0.51 0.13 | 0.14 -0.58 0.56 – 0.72 0.46 – 0.56 0.12 – 0.13 | ppm, peso seco | 1970 | Varias localidades en Zimbabwe, África | Billing y Phelps, 1972 |
| DDE | <i>Crocodylus niloticus</i> | Grasa del abdomen | | 3.68 | 3.57 – 3.79 | Ppm, peso húmedo completo | 1970 | Terrenos comunales de Zimbabwe, Africa | Billing y Phelps, 1972 |
| DDE | <i>Crocodylus porosus</i> | Grasa intraperitoneal | | 0.10 | | Ppm, Base grasa | 1970-1971 | Territorio Norte de Australia | Best, 1973 |
| DDE | <i>Alligator mississippiensis</i> | Huevo, excepto cascarrón | | 0.42 | 1.79 – 3.0 | Ppm, peso húmedo completo | 1972 | Parque Nacional Everglades, Florida, USA | Ogden, et al, 1974 |
| DDE | <i>Crocodylus niloticus</i> | Huevo | MwendaRiver: Sengwa River: Granja cocodrilos: Gwaii River: Deka River: Zambezi River: | 1.76 2.43 2.06 6.58 14.15 14.00 | 1.33 – 1.98 0.53 – 9.00 0.67 – 4.09 | mg/kg o ppm, peso seco | 1979 | Lake Kariba, Zimbabwe, África | Wessels, et al, 1980 |
| DDE | <i>Crocodylus niloticus</i> | Huevo, excepto cascarrón | Sengwa River: Mpalangena River Mouth: Chundi Island: Kariba Crocodile Farm: Lake McIlwaine: Ngezi Park: Kyle Park : Runde River : | 2.77 2.43 2.06 16.29 6.86 3.08 3.13 3.53 | 1.86 – 3.82 3.11 – 5.02 4.60 – 5.43 5.89 – 10.31 3.08 – 3.76 3.13 – 8.95 3.07 – 4.25 | mg/kg peso seco | 1981-1982 | Algunas localidades en Zimbabwe, África | Phelps, et al., 1986 |
| DDE | <i>Alligator mississippiensis</i> | Huevos | Lake Orange: Lake Apopka: Lake Griffin: | 0.09 2.19 0.31 | nd – 0.60 0.54 – 5.26 Nd – 1.30 | ppm | 1982 | Varios lagos de la parte central de Florida, USA | Woodward, 1995 |
| DDE | <i>Alligator mississippiensis</i> | Huevo | Lake Okeechobee (1984): Lake Griffin: 1984: 1985: Lake Apopka: 1984: 1985: | 0.87 0.45 0.58 5.80 3.50 | 0.38 – 3.2 0.10 – 2.4 0.19 – 3.8 3.40 – 7.6 0.89 – 29.0 | ppm, peso seco | 1984-1985 | Varios lagos de la parte central de Florida, USA | Heinz, et al, 1991 |
| DDE | <i>Alligator mississippiensis</i> | Músculo cola (y extracto de grasa) | Lake Iamonia: Newnans lake: Orange Lake: Rodman Reservoir: Lake George: Lake Apopka: | 0.06 <0.01 <0.01 <0.01 <0.01 <0.01 | (0.6) <(0.01) <(0.01) <(0.01) <(0.01) <(0.01) | µg/g o ppm | 1985 | Varios lagos de Florida, USA | Delany et al., 1998 |

| | | | | Concentración | | | | | | |
|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--|---|--|---------------------------------|---------------|---|---------------------------|
| | | | | Lake Hancock: Lake Trafford: | <0.01 <0.01 | (<0.01) (<0.01) | | | | |
| DDE | <i>Crocodylus niloticus</i> | Grasa corporal | | Kassesse River and Cutty Sark (region 1): Rifa River, Banana Farm, (Región 2): Nyodza River (Región 3): | 8.53 37.72 23.88 | 1.91 – 17.08 14.41 – 49.33 4.72 – 59.92 | mg/kg | 1987 | Costa norte y este de Lake Kariba, Zimbabwe, Africa | Phelps, et al., 1989 |
| DDT | <i>Crocodylus niloticus</i> | Huevo y embrión | | MwendaRiver, Sinamwenda, en Lago Kariba: Chiredzi River, Buffalo Range Ranch Nyamnyetzi Farm (Huevos) Nyamnyetzi Farm (Embriones) | 0.31 0.49 0.43 0.23 | 0.17 -0.43 0.40 – 0.58 0.28 – 0.68 0.20 – 0.26 | ppm, peso seco | 1970 | Varias localidades en Zimbabwe, África | Billing y Phelps, 1972 |
| DDT | <i>Crocodylus niloticus</i> | Grasa del abdomen | | 2.10 | | 2.00 – 2.20 | Ppm, peso húmedo completo | 1970 | Terrenos comunales de Zimbabwe, África | Billing y Phelps, 1972 |
| DDT | <i>Alligator mississippiensis</i> | Huevo, excepto cascarón | | 0.063 | | 0.10 – 0.044 | Ppm, peso húmedo completo | 1972 | Parque Nacional Everglades, Florida, USA | Ogden, et al, 1974 |
| DDT | <i>Crocodylus niloticus</i> | Huevo | | MwendaRiver: Sengwa River: Granja cocodrilos: Gwai River: Deka River: Zambezi River: | 0.43 0.45 0.89 1.09 4.50 2.18 | 0.29 – 0.56 0.23 – 0.98 0.69 – 1.10 | mg/kg o ppm, peso seco | 1979 | Lake Kariba, Zimbabwe, África | Wessels, et al, 1980 |
| DDT | <i>Crocodylus niloticus</i> | Huevo, excepto cascarón | | Sengwa River: Mpalangena River Mouth: Chundi Island: Kariba Crocodile Farm: Lake McIlwaine: Ngezi Park: Kyle Park : Runde River : | 0.99 0.70 1.29 3.94 1.32 0.56 1.19 0.46 | 0.676 – 1.40 0.66 – 0.74 0.61 – 1.97 1.11 – 1.89 0.51 – 0.60 0.48 – 2.72 0.34 – 0.53 | mg/kg peso seco | 1981- 1982 | Algunas localidades en Zimbabwe, África | Phelps, et al., 1986 |
| DDT | <i>Alligator mississippiensis</i> | Huevos | | Lake Orange: Lake Apopka: Lake Griffin: | 3.30 1.63 1.05 | nd – 7.69 nd – 11.42 nd – 7.35 | ppm | 1982 | Varios lagos de la parte central de Florida, USA | Woodward, 1995 |
| DDT | <i>Alligator mississippiensis</i> | Huevo | | Lake Griffin: Lake Apopka: | <0.01 0.02 | <0.01 – 1.3 | ppm, peso seco | 1985 | Lagos de la parte central de Florida | Heinz, et al, 1991 |
| DDT | <i>Alligator mississippiensis</i> | Músculo cola (y extracto de grasa) | | Lake Iamonia: Newnans lake: Orange Lake: Rodman Reservoir: Lake George: Lake Apopka: Lake Hancock: Lake Trafford: | 0.10 <0.01 0.42 <0.01 <0.01 0.16 <0.01 <0.01 | (1.0) (<0.01) (3.0) (<0.01) (<0.01) (1.2) (<0.01) | µg/g o ppm | 1985 | Varios lagos de Florida, USA | Delany et al., 1998 |

| | | | Concentración | | | | | | |
|------------|-----------------------------|----------------|---|------------------------------|--|-------------------|-----------|---|----------------------|
| DDT | <i>Crocodylus niloticus</i> | Grasa corporal | Kassesse River and Cutty Sark (region 1): Rifa River, Banana Farm, Charara, River, Antelope island (Región 2): Nyodza River (Región 3): DDT total incluido 80% DDE | 1.06 8.73 3.28 0.55 | nd – 2.26 1.49 – 20.31 0.39 – 12.47 0.35 – 0.75 | mg/kg | 1987 | Costa norte y este de Lake Kariba, Zimbabwe, Africa | Phelps, et al., 1989 |
| DDT | <i>Crocodylus niloticus</i> | Huevos | | | | mg/Kg peso humedo | 1989-1990 | Lake Baringo, Kenia, África | Skaare, et al., 1991 |

(nd: no detectado pero el límite de detección es desconocido)