



El Colegio de la Frontera Sur

Detección de plaguicidas organoclorados en el
tecolote bajoño (*Glaucidium brasilianum*) en el Cerro
Sonsonate, Chiapas

TESIS

presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

por

Alicia Elena Arrona Rivera

2015

DEDICATORIA

A mi Mamá, a mi Hermana, a mi Dari, a mi Papá, a Frida y a Iztac.

A las guerreras del aire... ¡a las aves rapaces!

A *Glaucidium brasilianum*,...porque lo pequeño sólo es cuestión de perspectivas...

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al tecolote bajeño (*G. brasilianum*) y al Cerro Sonsonate por permitirme trabajar con ellos. A mi tutora la Dra. Paula L. Enríquez Rocha por su apoyo, tiempo y disponibilidad para conmigo; pero sobre todo por confiar en mí, aún sin conocerme. Al Dr. Juan Manuel Weber Rodríguez, por interesarse en el tema y brindarme información al respecto. Al Dr. Jaime Rendón von Osten, por enseñarme las bases de la ecotoxicología y por haber estado siempre dispuesto a ayudarme. Al Dr. Luis Manuel García Feria, por darme las bases de la medicina de la conservación y por sus asesorías.

Al Dr. Eduardo Naranjo por sus comentarios muy pertinentes a la tesis, al MC Jorge Castellanos por las sugerencias y porque todo es cuestión de perspectivas y al Dr. Sergio Alvarado, por ser más que un maestro...si me permite, gracias Senpai.

A Dilex Sánchez, Raúl Vázquez, Henry Bartolomé, Pedro Ramírez, Mireya Carrillo, Humberto "Humber" Álvarez, Juan "Juanito" García, Manuel Torres, Jairo Torres, Lucibel Zambrano, Citlali Sánchez, Melani Sánchez, Mario Sánchez, Luz María Sánchez, Antonio Gómez y a sus papás y al "Kraky". Por su apoyo en todo momento de manera incondicional, para el trabajo de campo.

A Rossana González, Martín Memije, Yadira Pérez y a Patricia Salvarani, por toda la ayuda, aportaciones, enseñanzas y risas durante el trabajo de laboratorio.

A Luis Adel Leyva Ramírez, por absolutamente todo el aprendizaje, por ser mi espejo y gran maestro de vida, ¡gracias por ser y por estar!

A mis compañeros de generación: Amayrani, Mireya, Laila, Fabián, Omar, Ana, Elma, Ximena, Samuel, Lizzy, Isis, Anne, Nicole, Silvia, Alonso, Miguel, Elizabeth,

María, Lorena, Vanessa, Guadalupe, Nayelli, Guillermo porque fueron un gran regalo y han sido grandes maestros de vida.

A Rocío Álvarez y a toda su familia, a Macarena Valdés, a Marcela Ibarra y a toda la gente hermosa que me acogió durante mi estancia en Chile.

A mis hermanitos de alma Erika Vázquez, Paco Morales y Arturo Hernández, por todo el amor y por siempre estar.

A El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal, porque me abrió las puertas y me permitió estar inscrita en el programa de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca No. 288506 otorgada para poder realizar mis estudios de Maestría.

¡Sin todos ustedes esto no hubiera sido posible!

¡ETERNAMENTE AGRADECIDA!

ÍNDICE

RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
Métodos no destructivos para la detección de plaguicidas organoclorados	15
Plaguicidas organoclorados en México.....	18
Plaguicidas organoclorados en Chiapas	20
Plaguicidas organoclorados en aves en México	21
Importancia del estudio en los Strigiformes	22
Especie de estudio.....	23
JUSTIFICACIÓN	26
OBJETIVO GENERAL	27
Objetivos particulares	27
HIPÓTESIS	27
MÉTODOS	28
Área de estudio.....	28
Trabajo de campo.....	30
Trabajo de laboratorio	32
Análisis de datos	36
RESULTADOS	37
Plaguicidas organoclorados en plumas	40
Plaguicidas organoclorados en sangre	45
Correlaciones entre las concentraciones en plumas y sangre con respecto a la condición corporal y el peso	50

Correlaciones entre los plaguicidas en plumas y en sangre	51
Análisis de poder estadístico	51
DISCUSIÓN	52
Detección de plaguicidas organoclorados	52
Riesgo de las concentraciones en plumas y sangre en los tecolotes	64
Examen físico	68
Condición corporal y peso	69
Plaguicidas organoclorados en plumas y sangre.....	71
Poder estadístico	74
CONCLUSIONES.....	75
RECOMENDACIONES	76
LITERATURA CITADA.....	78
ANEXOS	94

RESUMEN

Se identificaron y cuantificaron las concentraciones de plaguicidas organoclorados en plumas y en sangre en el tecolote bajoño (*Glaucidium brasilianum*). El estudio se realizó de febrero a junio del 2014 en el Área Natural Protegida (ANP) “Cerro Sonsonate”, Chiapas, México. Se colectaron 20 muestras de plumas y 15 muestras de sangre. Las concentraciones de los plaguicidas fueron medidas por cromatografía de gases. Se realizaron correlaciones entre las concentraciones en plumas y sangre con respecto a la condición corporal y el peso, así como entre las concentraciones en plumas y en sangre. En las plumas, el plaguicida que tuvo la mayor concentración fue el HCH ($0.63 \pm 0.89 \mu\text{g/g}$) y los Drines en las muestras de sangre ($0.31 \pm 0.47 \mu\text{g/ml}$). El DDT presentó una correlación en el límite de significancia con respecto al peso ($r= 0.60$, $p=0.05$). Asimismo la correlación entre las concentraciones en plumas y en sangre, fue significativa para el DDT ($r=0.874$, $p=0.02$). Esto sugiere que las concentraciones de este plaguicida tanto en plumas como en sangre son constantes. Los resultados indican que las poblaciones del tecolote bajoño (*G. brasilianum*) que habita en el Cerro Sonsonate y zonas aledañas están expuestas a estos plaguicidas.

Palabras clave Strigiformes, búhos neotropicales, plumas, sangre, contaminantes.

INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas organoclorados han sido identificados como uno de los mayores contaminantes medioambientales de origen humano, que afectan a ecosistemas acuáticos y terrestres (Herrera *et al.*, 1996; van Wyk *et al.*, 2001). La mayor fuente de contaminación por organoclorados, es debido a su aplicación para controlar plagas en cultivos, así como en el uso en la erradicación de vectores que causan problemas de salud en el ser humano y otras especies animales (García, 2002; Patnaik, 2007). Estos plaguicidas se mantienen o persisten durante años, tanto en el suelo como en la atmósfera después de ser aplicados. Además de la aspersion directa por tratamientos aéreos, pueden proceder de la volatilización durante la aplicación o a partir de superficies tratadas, así como de afluentes industriales. Estos compuestos también pueden ser transportados a otros ambientes acuáticos y terrestres, principalmente por escorrentía y lixiviación (Espín, 2010), por lo que pueden encontrarse en lugares donde no han sido aplicados directamente (ATSDR, 2002).

Las propiedades que presentan estos compuestos los colocan dentro de los contaminantes orgánico persistentes (COP), los cuales presentan características como: lipofilia, persistencia y resistencia a la degradación, tendencia a la bioacumulación en el medio ambiente y en los organismos, transporte atmosférico a largas distancias y elevada toxicidad (Fernández *et al.*, 2004; Badii *et al.*, 2006; Gómez, 2011) (Tabla 1).

Tabla 1. Características generales de los plaguicidas organoclorados.

Compuesto	Estructura	Usos	Características	Toxicidad	DL
DDT (Diclorodifenil tricloroetano)		Amplia gama de plagas agrícolas y vectores de enfermedades	Elevada persistencia (12-57 años). Resistente a la destrucción por la luz y la oxidación. Bioacumulación significativa.	Toxicidad aguda, de baja a moderada	225mg/kg (O/R)
DDD (Diclorodifenil dicloroetano)		Insecticida	Metabolito del DDT	Propiedades tóxicas, similares al DDT	3400mg/kg (O/C) 1200 mg/kg (D/C)
DDE (Diclorodifenil dicloroetileno)		No presenta acción insecticida	Elevada persistencia Resulta de la degradación del DDT en sistemas biológicos	Propiedades tóxicas, similares al DDT	
HCH Ej. lindano		Insecticida, agente contra ectoparásitos (productos veterinarios y farmacéuticos) para el tratamiento de suelos y semillas	Se acumula moderadamente	Alta toxicidad aguda	1752.8 mg/kg (O/R) >8000 mg/kg (D/C) 1362.5 mg/kg (O/C) 1786.3 mg/kg (D/C)
Aldrin		Insecticida para suelo, algodón, plagas del césped, gusanos blancos y gusanos de la raíz del maíz	Bioacumulación significativa Se metaboliza rápidamente a su epóxido dieldrín	Altamente tóxico	39-60 mg/kg (O/R) 98 mg/kg (D/R)
Dieldrin		Protección a la madera contra insectos y termitas y para la industria contra plagas de textiles	Estable en presencia de luz, aire, humedad y ácidos moderados. Bioacumulable Epóxido del aldrín	Altamente tóxico	46 mg/kg (O/R) 60-90 mg/kg (D/R)
Endrín		Control de insectos, roedores y aves	Bioacumulación considerable	Extremadamente tóxico	7.5-17.8 mg/kg (O/R) 15 mg/kg (D/R)
Heptacloro		Insecticida y para plagas del maíz	Estable en presencia de luz, aire, humedad y calor moderado. Fuerte tendencia a la bioacumulación.	Altamente tóxico	100-163 mg/kg (O/R) 195-250 mg/kg (D/R)
Endosulfán		Control de insectos en alimentos, cultivos no alimentarios y protector de madera	Estable a la luz solar e inestable en medios alcalinos. Hidrolizado lentamente por agua y ácidos. No se considera bioacumulable	Altamente tóxico, toxicidad crónica	18-43 mg/kg (O/R) 78-130 mg/kg (D/R)

DL= Dosis letal, O=Oral, D=Dérmica, R=Ratas, C=Conejos. (Newton. 1998; Patnaik, 2007; Espín, 2010).

Las características de los plaguicidas organoclorados favorecen su incorporación en las cadenas tróficas, la acumulación en los tejidos grasos en los organismos y a la biomagnificación.

El proceso se da de la siguiente manera (Espín, 2010):

1. Bioconcentración: se trata del movimiento de un producto químico desde el medio circundante hasta el interior de un organismo.
2. Bioacumulación: es la acumulación o depósito del compuesto en un organismo.
3. Biomagnificación: es el proceso mediante el cual tienden a acumularse en la cadena trófica, presentando concentraciones sucesivamente mayores al ascender el nivel trófico.

Estos plaguicidas al ser ingeridos por los invertebrados, peces o herbívoros por medio de la ingestión directa, a través de la piel o por inhalación se acumulan. El plaguicida se concentra aún más al pasar de los herbívoros a los carnívoros, porque estos compuestos alcanzan elevadas concentraciones al ir ascendiendo el nivel trófico. En las especies que ocupan los eslabones más altos de la cadena trófica, como las aves rapaces, sucede la biomagnificación. Entonces, la concentración del producto en el organismo consumidor es mayor que la concentración del mismo producto en el organismo consumido (Espín, 2010).

Las principales vías de entrada de los plaguicidas organoclorados en las aves, son la oral debido al consumo de presas que contengan dichos residuos y la respiratoria por contaminación atmosférica. Una vez ingeridos, la absorción intestinal de estos compuestos está influenciada por los constituyentes de la dieta como la fibra y la grasa, así como por la ingesta total del alimento (Espín, 2010).

Las aves eliminan compuestos organoclorados durante su periodo de puesta a través de la yema del huevo, por la elevada afinidad de éstos compuestos por los lípidos. Se ha sugerido que otro medio de eliminación de los plaguicidas lipofílicos en aves es el aceite de la glándula uropigial (Jaspers *et al.*, 2008). También estos compuestos son eliminados junto con las plumas, porque llegan a través del torrente sanguíneo durante su formación y durante el periodo de muda (Espín, 2010) (Figura 1).

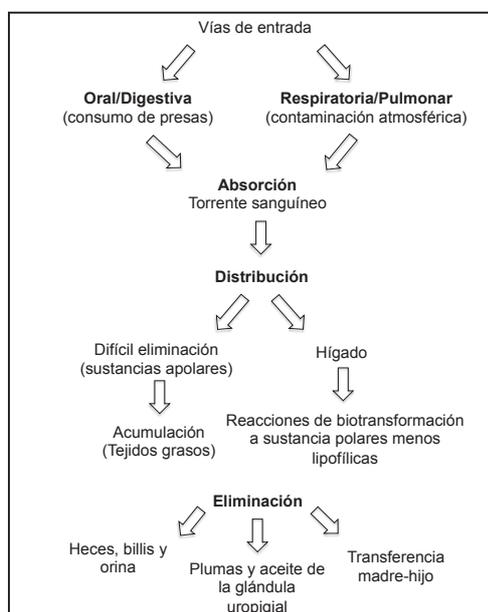


Figura 1. Esquema de la cinética de los plaguicidas organoclorados en las aves (Espín, 2010).

Sin embargo, al tratarse de sustancias apolares estas son más difíciles de eliminar y por consiguiente, causan una acción tóxica indefinida. La presencia de estos compuestos y su toxicidad está determinada por diversos factores, tanto extrínsecos, como la alimentación o el clima, como propios del individuo (la especie, el sexo, la edad y el estado corporal) (Dikshith, 1991).

La mayoría de estas sustancias han causado efectos colaterales perniciosos en las aves (Cooper, 2002) (Tabla 2). Históricamente se han observado altas mortalidades en poblaciones locales de aves silvestres con la aplicación de Diclorodifeniltricloroetano (DDT) para el control de la malaria en Florida y Nueva York, así como en Pennsylvania, Maryland, Texas, Iowa y Utah en los cultivos agrícolas (Environmental Protection Agency, 1975). En el lugar de la aplicación de estos compuestos, las aves fueron agudamente expuestas por inhalación, debido a la ingestión de insectos y otros vertebrados con residuos de DDT, o por ingestión directa durante el acicalamiento. Se ha reportado que una alta mortalidad puede ocurrir durante tiempos de estrés, como por ejemplo: durante la puesta o durante la migración, cuando la energía desde los almacenes de grasa es movilizada (Cooper, 2002).

El principal efecto adverso de los organoclorados reportado en las aves ha sido en la reproducción (Moore y Racliffe, 1962; Burnham *et al.*, 1984; Fry, 1995; ATSDR, 2002; Cooper, 2002; García-Fernández *et al.*, 2008; Vorkamp *et al.*, 2009). El principal metabolito del DDT es el DDE(diclorodifenildicloroetileno); éste reduce la disponibilidad del carbonato de calcio durante la formación del cascarón de los huevos haciéndolos delgados y frágiles. Algunos huevos con el cascarón delgado sobreviven a la incubación, pero el embrión muere por la excesiva pérdida de agua a través de este adelgazamiento. Si la reducción en la tasa de reproducción media de los individuos está suficientemente marcada, conduce a la disminución de la población, porque el reclutamiento ya no puede coincidir con la mortalidad habitual (Newton, 1998).

El grupo del clordano, como el aldrin y el dieldrin son 100 veces más tóxicos

para las aves que el DDT. Estas sustancias químicas fueron utilizadas para el tratamiento de semillas. Afecta a las aves matándolas por el consumo directo y secundariamente mata a sus depredadores. Esto incrementa la mortalidad por arriba del nivel natural, como para causar rápidas disminuciones poblacionales (Newton, 1998).

El endosulfán es altamente tóxico en forma aguda por vías oral y respiratoria, así como ligeramente tóxico por vía dérmica. Este compuesto afecta fuertemente el sistema nervioso y sus efectos neurotóxicos han sido observados en animales en estudios agudos, subcrónicos y crónicos. La intoxicación aguda puede resultar en irritabilidad, inquietud, espasmos musculares, convulsiones y muerte. Los efectos crónicos incluyen afectaciones en riñón, hígado, sangre y glándula paratiroidea. Existe también evidencia que el endosulfán actúa como alterador endócrino así como depresor del sistema inmunológico en animales de prueba a dosis que no inducen ninguna otra señal clara de toxicidad (ATSDR, 2000, Instituto Nacional de Ecología, 2011).

Tabla 2. Efectos de los plaguicidas organoclorados en las aves.

Factor afectado	Efectos observados
Parámetros bioquímicos	Aumento en los niveles de enzimas creatin-kinasa (CK), aspartato amino transferasa (AST) y lactato deshidrogenasa (LDH). Disminución de los niveles de bilirrubina, albúmina, proteínas totales y colesterol. Esto sugiere alteraciones a nivel hepático y renal.
Parámetros hematológicos	Disminución de la hemoglobina, disminución del hematocrito.
Sistema endócrino	Disrupción endócrina. Hiperplasia de la glándula tiroides.
Sistema nervioso	Disminución en los niveles de dopamina, serotonina y norepinefrina. Disminución de las habilidades motoras. Convulsiones, ataxia y temores antes de morir.
Sistema inmune	Alteraciones de la respuesta inmune humoral y celular.
Éxito reproductivo	Retraso en la ovoposición, disminución de la puesta y del grosor de la cáscara del huevo, reducción del tiempo de incubación, fracaso en la eclosión, malnutrición de los pollos e incapacidad de desarrollarse, teratogénesis.
Condición corporal	Pérdida de peso
Comportamiento	Ausencia del comportamiento de cortejo, disminución de la atención de los padres hacia los pollos.

(Ritchie *et al.*, 1994; ATSDR, 2002; Cooper, 2002; Gómez, 2011).

El impacto de estos plaguicidas ha sido tal, que se ha considerado que probablemente ningún otro grupo de contaminantes de origen antropogénico han causado tanto daño a las aves y principalmente a las rapaces (Newton, 1998). Ejemplo de ello, son las disminuciones dramáticas en poblaciones de algunas especies de rapaces diurnas como: el halcón peregrino (*Falco peregrinus*), Azor (*Accipiter nisus*), el águila dorada (*Aquila chrysaetos*), el esmerejón (*Falco columbarius*), el cernícalo americano (*Falco sparverius*) (Ratcliffe, 1970), águila pescadora (*Pandion haliaetus*), águila calva (*Haliaeetus leucocephalus*) (Goutner *et al.*, 2011) y el halcón aplomado (*Falco femoralis*) (Mora *et al.*, 2011). Además se han documentado, mortalidades en rapaces nocturnas como la lechuza campanario (*Tyto alba*), el búho cornudo (*Bubo virginianus*), búho chico (*Asio otus*) y búho listado (*Strix varia*) (Blus, 1996; Enríquez *et al.*, 2006).

Métodos no destructivos para la detección de plaguicidas organoclorados

Plumas

Las plumas han sido consideradas como una herramienta no invasiva, debido a que pueden ser colectadas del campo o en los nidos sin la necesidad de manipular directamente al ave. Sin embargo, determinados factores como la muda, el tipo de pluma, la edad, el sexo y la condición corporal de las aves pueden interferir en los resultados obtenidos, por lo que deben tomarse en cuenta. Algunos de estos factores se desconocen cuando las plumas son encontradas en campo. Por lo tanto, aunque el uso de las plumas encontradas puede aportar información interesante, es recomendable poseer la mayor información posible del origen de la plumas, lo que conlleva a la manipulación de las aves para la

obtención de las mismas. De esta forma, el término “no destructivo” es más apropiado que el término “no invasivo” al referirse a la pluma como herramienta de detección de contaminantes (Espín, 2013; García-Fernández *et al.*, 2013).

Las plumas han sido utilizadas como un método no destructivo para la detección de contaminantes, principalmente para metales pesados (Malik y Zeb, 2009; Espín, 2010) y en los últimos años para los compuestos organoclorados (García-Fernández *et al.*, 2013).

Los plaguicidas organoclorados llegan a las plumas vía sanguínea durante su periodo de crecimiento y durante el periodo de muda, se enlazan en la molécula de queratina (Dauwe *et al.*, 2005), que es su principal componente (Covaci y Schepens, 2001), lo que produce la contaminación interna. Cuando las plumas ya están maduras, las conexiones vasculares se atrofian y las concentraciones de los compuestos permanecen estables (Burger, 1993; Burger y Gochfeld, 2000). Por lo tanto, las plumas pueden contener información sobre las concentraciones circulantes en la sangre en el momento de su crecimiento (Espín, 2010). Una vez incorporados, los compuestos se quedan retenidos permanentemente (García-Fernández *et al.*, 2013). No obstante, García-Fernández *et al.*, (2013), mencionan que a pesar de ser una técnica no destructiva han sido pocos los estudios realizados utilizando las plumas, como tejido para la detección de plaguicidas organoclorados.

Sangre

La sangre transporta compuestos organoclorados a todo el organismo y ofrece varias ventajas sobre el muestreo de tejido tradicional (hígado, riñones y encéfalo); ya que se puede coleccionar fácilmente y es una técnica no destructiva que puede ser realizada tanto en poblaciones silvestres como cautivas (Keller *et al.* 2004; Goutner *et al.*, 2011).

Los niveles de organoclorados en sangre son indicadores válidos de la concentración corporal total (Radomski *et al.*, 1971). Asimismo, el plasma sanguíneo ha mostrado ser un buen indicador, a pesar de ello existen pocos estudios con respecto a la estimación de las concentraciones de estos compuestos en el plasma de aves silvestres (Martínez-López *et al.*, 2009).

Lo anterior podría deberse a que el peso de algunas especies de aves impide coleccionar la cantidad necesaria para llevar a cabo el análisis, ya que el máximo de sangre a coleccionar debe ser menor al 1% de su peso vivo y la mitad de ese volumen es plasma (Ritchie *et al.*, 1994; Owen, 2011). La utilización de sangre completa ha sido realizada con anterioridad para detectar cualquiera de estos compuestos (Keller *et al.*, 2004; Goutner *et al.*, 2011), por la presencia de lipoproteínas y otras proteínas, tales como la albúmina, que se unen y transportan a los contaminantes organoclorados (Norén *et al.*, 1999); además se unen a las membranas de las células rojas y a la hemoglobina, abarcando tanto la fase líquida como la fase sólida (Moss y Hathway 1964; Keller *et al.*, 2004).

Con respecto a lo anterior, se han llevado a cabo dos estudios en donde han correlacionado las concentraciones de contaminantes detectados en plumas y en sangre, en aves rapaces diurnas (Eulaers *et al.*, 2011a; Eulaers *et al.*, 2011b).

Los resultados de estos estudios indicaron, fuertes correlaciones o tendencias entre las concentraciones de los plaguicidas en plasma sanguíneo y en las plumas. Los autores mencionan que esto fue debido a que el estudio se realizó durante el desarrollo de la pluma. Ellos concluyen que el uso de las plumas es recomendable como tejido indicador de contaminantes tanto en los organismos como para determinar presencia de estos en el ambiente, debido a que son de fácil transporte y almacenamiento, tienen una viabilidad analítica para un amplio rango de contaminantes, no hay metabolismo de los compuestos a detectar y la colecta puede realizarse en casi todos los estados de vida del ave (Eulaers *et al.*, 2011a; Eulaers *et al.*, 2011b).

Con respecto a los estudios comparativos entre el uso de las plumas y el uso de muestras sanguíneas, García-Fernández *et al.*, (2013) mencionan que los hallazgos en la detección de plaguicidas organoclorados entre dichos tejidos, pueden resultar ambiguos ya que están influenciados por factores como: diferencias inter e intraespecíficas, por cambios en la dieta y/o el tiempo transcurrido entre un periodo de muda y otro.

Plaguicidas organoclorados en México

En México los plaguicidas organoclorados empezaron a utilizarse a partir de 1945, teniendo su periodo de máxima utilización durante 1971 (Torres-Sánchez y López-Carrillo, 2007; Wong *et al.*, 2008). Estos compuestos fueron utilizados principalmente en la agricultura y en las campañas para la erradicación del paludismo (Torres-Dosal *et al.*, 2012). Sin embargo debido a los efectos

perniciosos reportados para estos compuestos principalmente en la población humana como por ejemplo: afectaciones neurológicas, daños en el sistema inmune, cáncer, disfunción endócrina y genotoxicidad (Turusov *et al.*, 2002), se dejaron de aplicar para usos agrícolas veinte años después en 1991 (Fernández *et al.*, 2004; Díaz-Barriga *et al.*, 2012). No obstante, en el caso del DDT se continuó utilizando para el control de vectores, donde se estima que aproximadamente 69,500 toneladas fueron aplicadas en el período de 1957 a 1999 (Wong *et al.*, 2008).

A partir del año 2000 la Secretaría de Salud y por el acuerdo internacional del Convenio de Estocolmo en 2001, se prohibió el uso del DDT en las acciones de control del paludismo, por lo que a partir de ese año no se utiliza o produce DDT en México (Martínez, 2011). Sin embargo, existe una excepción a las cláusulas donde se menciona que está permitido su uso en países endémicos de paludismo como es el caso de México (Díaz-Barriga *et al.*, 2012).

El lindano (γ -HCH) es uno de los plaguicidas organoclorados que se utiliza en México, en campañas sanitarias de salud pública para el tratamiento de la pediculosis (piojos) y la escabiasis (sarna) por la Secretaría de Salud, en la agricultura y la ganadería para el control de ectoparásitos y para uso industrial (Instituto Nacional de Ecología, 2004).

El endosulfán es otro plaguicida que se utiliza para controlar un gran número de insectos en una amplia variedad de cultivos comestibles como: vegetales, frutas, granos de cereales y tés, así como en cultivos de algodón y tabaco, plantas ornamentales y árboles. Se utiliza también en jardinería y en el tratamiento de madera para prevenir organismos xilófagos (Instituto Nacional de

Ecología, 2011). Debido a su alta toxicidad, se ha prohibido en diversos países. No obstante, en México está autorizado su uso ya que no pertenece a la lista de plaguicidas prohibidos ni de “uso restringido” (Instituto Nacional de Ecología, 2011).

Plaguicidas organoclorados en Chiapas

Para el caso de Chiapas, en la región del Soconusco considerada como área endémica de paludismo, por más de 40 años se han realizado aspersiones de DDT para el combate de los vectores (Herrera-Portugal *et al.*, 2013). Además, en los años 30 comenzó el cultivo intensivo de plátano en esta región con un alto uso de plaguicidas organoclorados; para los años 50 se fue incorporando la siembra de algodón para la cual se utilizaba DDT (Ríos, 2013). En la actualidad se utiliza endosulfán para el control de las plagas que afectan a este cultivo (Castro-Castro, 2005).

Asimismo, en la región de la Frailesca desde la década de los años 60 y hasta los años 80 del siglo pasado, fue el primer lugar nacional en producción de maíz, misma que se dirigió al mercado nacional, por lo cual ha sido considerada como “el granero de México”. Los cultivos de mayor importancia han sido el maíz, frijol y calabaza, seguidos por hortalizas como chile y tomate; lo que ha dado como resultado la intensificación de estos cultivos, con un aumento por consiguiente en la aplicación de plaguicidas (Ríos, 2013).

En el año 2000, Chiapas era considerado el segundo estado con mayor uso de plaguicidas de México (Morales, 2013) después de Sinaloa (García y

Rodríguez, 2012). Además, fue el último estado en donde se permitía legalmente el uso del DDT para la agricultura y para el control del paludismo (Alegría *et al.*, 2006). Actualmente en el estado se ha ido sustituyendo el uso de estos compuestos organoclorados por sustancias menos persistentes como los organofosforados y carbamatos (Morales, 2013).

Plaguicidas organoclorados en aves en México

A pesar de las características de estos compuestos, de los efectos perniciosos a la biodiversidad y en el ambiente, en México se han realizado muy pocos estudios que evalúen la presencia de estos plaguicidas en aves silvestres. Por ejemplo, en Sinaloa se encontró una relación negativa entre la presencia de estos compuestos en hígado ($0.018 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$) y en músculo ($0.019 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$) en el playero occidental (*Calidris mauri*) y su relación con la condición corporal de las hembras (Cruz, 2012). En Chihuahua se determinó la presencia de altas concentraciones de los organoclorados en huevos del halcón aplomado (*Falco femoralis*) (DDE 1242 ng/g-rango 924-1544) (Mora *et al.*, 2008). Al noroeste de Michoacán se muestrearon paseriformes insectívoros, tanto migratorios como residentes, utilizando el cuerpo completo del ave sin extremidades; encontrando de igual modo altas concentraciones de estos plaguicidas (migratorios, DDE 101 ng/g - rango 58-161 y residentes, DDE 116ng/g-rango12-10677) (Mora, 2008). En Baja California Sur se identificaron y determinaron las concentraciones de organoclorados en suero sanguíneo de pollos de águila pescadora (*Pandion haliaetus*); Dieldrín $0.969 \pm 0.724 \text{ pg}/\mu\text{l}$, DDE $0.922 \pm 0.895 \text{ pg}/\mu\text{l}$), indicando que la presencia de los plaguicidas en estas aves comprueba la ubicuidad de estos

compuestos, lo que representa un riesgo en el estado de salud de las aves (Rivera-Rodríguez y Rodríguez-Estrella, 2011).

Importancia del estudio en los Strigiformes

México es uno de los países con mayor riqueza de especies de búhos en la región Neotropical con 34 especies (Enríquez *et al.*, 2012). Sin embargo, existen pocos estudios sobre la dieta, la anidación, el tamaño de territorio, la distribución y la ecología de comunidades de estas especies (Enríquez *et al.*, 2006; Enríquez *et al.*, 2012). Enríquez *et al.*, (2006), mencionan que la abundancia y distribución puede estar disminuyendo en varias regiones del neotrópico y que la escasa información disponible para la mayoría de las especies dificulta establecer su estado de conservación.

Aparentemente, las rapaces nocturnas son menos vulnerables a la perturbación que las rapaces diurnas, debido a sus pequeñas áreas de distribución (Bierregard, 1998). No obstante, los búhos enfrentan las mismas amenazas que las rapaces diurnas, para lo cual existe muy poca evidencia de por qué los búhos estarían siendo afectados de manera distinta (Enríquez *et al.*, 2006). Sin embargo, se ha mencionado que dentro de las amenazas a los búhos, la fragmentación del hábitat es la principal; no obstante el uso de plaguicidas también lo ha sido y sigue estando latente (Enríquez *et al.*, 2006; Enríquez *et al.*, 2012). Debido a su elevada persistencia y capacidad para bioacumularse y biomagnificarse a través de la cadena trófica, las concentraciones ambientales de los plaguicidas organoclorados pueden ser todavía suficientemente elevadas, lo cual sigue representando un riesgo ambiental (Gómez, 2011).

Especie de estudio

Tecolote bajo (*Glaucidium brasilianum*)

El tecolote bajo es un Strigiforme que mide entre 15 y 20 cm de largo. Las hembras son de mayor tamaño y un poco más pesadas que los machos; con 62-95 g y 46-74 g respectivamente (König *et al.*, 2008). Presenta dos fases de coloración, grisácea y rojiza. Los juveniles son similares a los adultos pero con patrones de coloración clara. Se han descrito 12 subespecies (del Hoyo *et al.*, 1999; Enríquez y Rangel, 2008; Larsen, 2012).

Es una especie probablemente monógama (del Hoyo *et al.*, 1999); se reproduce generalmente de marzo a junio durante la temporada de secas y principios de la temporada de lluvias (Enríquez-Rocha y Rangel, 2008). Los nidos se han registrado en cavidades naturales o huecos de árboles construidos por pájaros carpinteros y en termiteros (König *et al.*, 2008; Larsen, 2012). La puesta regularmente es de 3 a 5 huevos (König *et al.*, 2008).

Este búho es nocturno pero presenta actividad diurna durante el amanecer y el atardecer (König *et al.*, 2008). Es un depredador generalista, tiene una dieta basada principalmente de insectos, reptiles, aves y mamíferos (del Hoyo *et al.*, 1999; Larsen, 2012). Hay registros que reportan que este strigiforme ha capturado presas de mayor tamaño, como el pradero común (*Sturnella magna*) (del Hoyo *et al.*, 1999; Enríquez-Rocha y Rangel, 2008).

Esta especie habita en tierras bajas y en diferentes tipos de vegetación tal como bosques tropicales, bosques deciduos, manglares, matorrales espinosos, bosques riparios, vegetación secundaria, bordes de bosque, plantaciones de café y áreas semi-urbanas (del Hoyo *et al.*, 1999; Enríquez-Rocha y Rangel, 2008;

Larsen, 2012). Vázquez (2011) reportó que en la Reserva del Ocote en Chiapas, el uso de hábitat de esta especie fue vegetación secundaria de selva y de bosque de encino. De manera general se menciona que utiliza una gran variedad de hábitat (Enríquez-Rocha y Rangel, 2008).

Es una especie residente permanente a lo largo de la región Atlántica y a lo largo de la costa del Pacífico. Se distribuye en la península de Yucatán, pero está ausente en la península de Baja California (Enríquez-Rocha y Rangel, 2008). A pesar de que es una especie común y ampliamente distribuida, existe poca información sobre el estado de sus poblaciones en México (Enríquez-Rocha y Rangel, 2008). Los efectos de la actividad humana son bien conocidos en Arizona en donde la fragmentación del hábitat y las actividades agrícolas han sido la causa de que en este estado esté en peligro de extinción (Larsen, 2012). Sus principales amenazas son la transformación del hábitat y el uso de plaguicidas (König et al., 2008). De acuerdo con la Lista Roja de la IUCN (2014) tiene un estatus de preocupación menor (BirdLife International, 2012). Y no está incluida en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059).



Figura 2. Tecolote bajoño (*Glaucidium brasilianum*), en el Área Natural Protegida “Cerro Sonsonate” . Foto por: Alicia Elena Arrona Rivera; (abril, 2014).

JUSTIFICACIÓN

Los plaguicidas organoclorados han representado una de las principales amenazas para las aves silvestres (Moore y Racliffe, 1962; Ritchie *et al.*, 1994; García-Fernández *et al.*, 2008; Vorkamp *et al.*, 2009). Debido a ello se han realizado diversos estudios abordando esta problemática en diferentes partes del mundo. Sin embargo y aunado a que en México y en específico en Chiapas, en las regiones del Soconusco y la Frailesca existe una historia del uso indiscriminado de estos plaguicidas en las últimas décadas, además de su elevada persistencia de estos en el ambiente (Morales, 2013), son pocos los estudios sobre este tema en aves (Mora 1997; Mora, 2008; Mora *et al.*, 2008; Rivera-Rodríguez y Rodríguez-Estrella, 2011; Cruz, 2012). Además de la escasa información que se tiene acerca del uso de muestras no destructivas como son el uso de las plumas y la sangre en la detección de plaguicidas organoclorados (García-Fernández *et al.*, 2013). Por lo tanto, este estudio representa el primer acercamiento hacia una de las principales amenazas a las aves rapaces como son los plaguicidas organoclorados utilizando muestreos no destructivos. Asimismo el estudio proporciona datos de las concentraciones de estos plaguicidas en pluma y sangre, así como la evaluación de la condición corporal y el peso con respecto a estos compuestos en el tecolote bajeño (*Glaucidium brasilianum*), que es una de las especies de Strigiformes que ha sido poco estudiada en México (Enríquez *et al.*, 2006; Enríquez-Rocha y Rangel, 2008).

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las concentraciones de plaguicidas organoclorados detectados en el tecolote bajo (*Glaucidium brasilianum*) que habita en el Cerro Sonsonate y zonas aledañas, en la Región de la Frailesca, Chiapas.

Objetivos particulares

- Identificar y cuantificar los plaguicidas organoclorados en muestras de plumas y sangre en el tecolote bajo (*G. brasilianum*).
- Determinar si existe relación entre la condición corporal y peso, respecto a las concentraciones de plaguicidas organoclorados de plumas y de sangre.
- Determinar si existe relación entre la concentración de plaguicidas presentes en plumas y la concentración de plaguicidas organoclorados en sangre.

HIPÓTESIS

Las poblaciones de tecolote bajo (*Glaucidium brasilianum*) que habitan en el cerro y zonas aledañas del Cerro Sonsonate, están expuestas a plaguicidas organoclorados, debido a que en la zona de la Frailesca estos compuestos se utilizaron en las últimas décadas para fines agropecuarios.

MÉTODOS

Área de estudio

El Cerro Sonsonate fue declarado en el 2013 como Área Natural Protegida (ANP) con la categoría de Centro Ecológico Recreativo (Periódico oficial-018, 2013); abarca 168 ha y se ubica en los Municipios de Villacorzo y Villaflores, Región de la Frailesca. Es administrada por Leonel Montejo Morales, Dilex Sánchez Sánchez, Celin Martínez Morales y Mario Corzo Domínguez. Es propiedad comunal del Ejido Francisco Villa, el cual fue dotado como ejido el 23 de junio de 1937 y abarca 961 ha. El total de la población es de 1360 habitantes y sus principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería. Específicamente el cultivo de maíz de temporal y de riego, frijol y sorgo y la producción de ganado bovino de doble propósito (Programa Regional de Desarrollo 2013-2018).

El ANP Cerro Sonsonate se localiza en la vertiente interior de la región fisiográfica de la Sierra Madre de Chiapas. Se ubica a 16° 11'18.51" latitud Norte y a 93° 19'38.33" longitud Oeste (Figura 2). Al Oeste colinda con la zona de protección Forestal "La Frailesca" y con la Reserva de la Biosfera "La Sepultura". Presenta un clima de tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw2(w)), con una temperatura media anual de 24.35°C y una precipitación media anual de 1,209.38 mm. Presenta cinco tipos de vegetación: bosque de pino encino, selva mediana subcaducifolia, selva baja caducifolia, vegetación secundaria espinosa y cultivos agrícolas (Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural, Dirección de Áreas Naturales Protegidas, 2012).

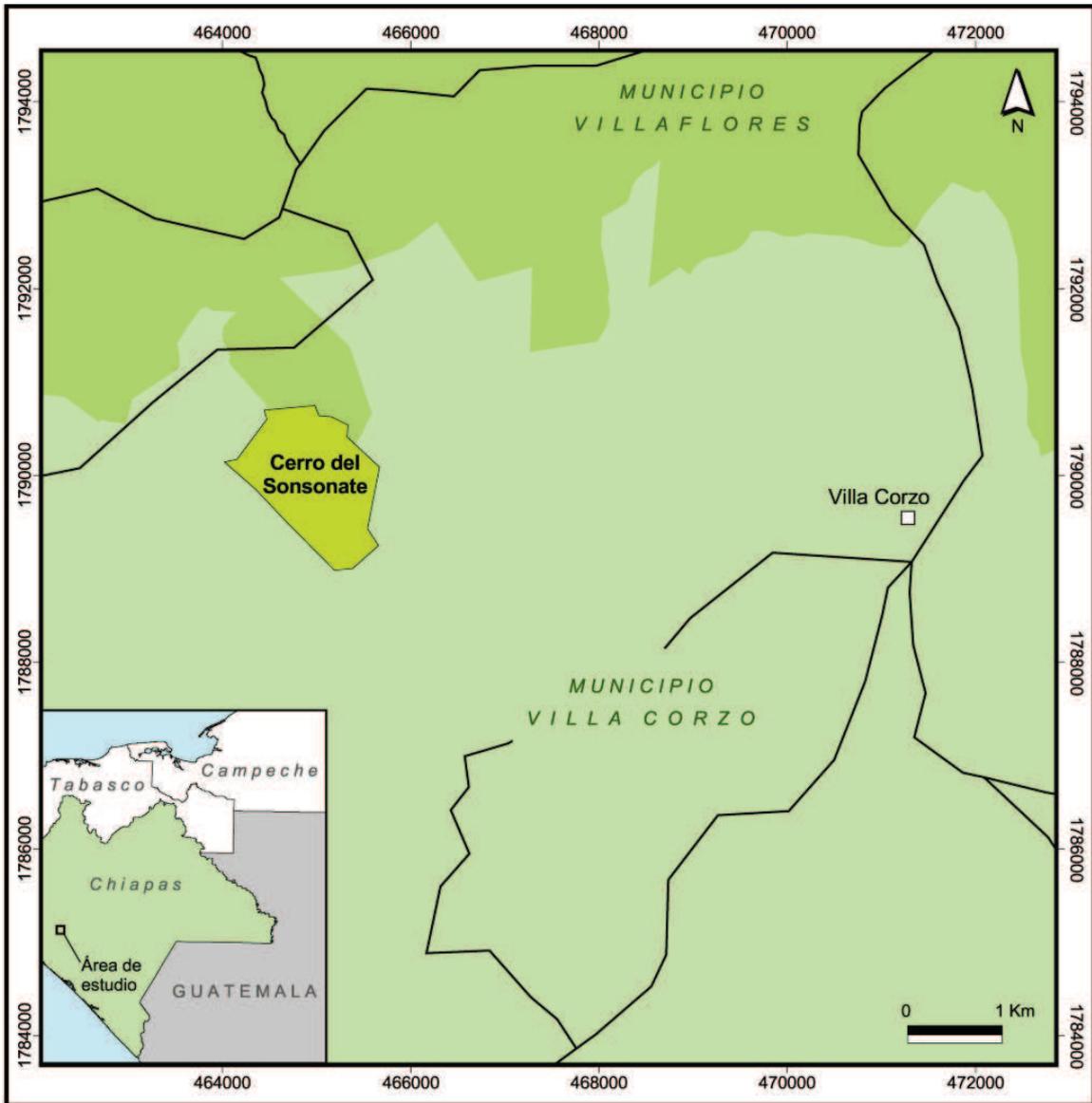


Figura 3. Ubicación del Área Natural Protegida "Cerro Sonsonate", Municipio de Villaflores y Villacorzo, Región de la Frailesca, Chiapas.

Trabajo de campo

Para la captura de los individuos se realizaron seis salidas (de cinco días cada una) al ANP “Cerro Sonsonate” y a la comunidad ejidal Francisco Villa, entre febrero y junio de 2014. El horario de trabajo abarcó de las 04:30 a las 10:00 horas y de 16:30 a 22:00 horas aproximadamente. Primeramente, se llevaron a cabo recorridos en caminos o trayectos con la finalidad de identificar los sitios de presencia de los tecolotes. Posteriormente ya identificados los sitios, se utilizaron vocalizaciones que fueron grabadas del tecolote bajeño en el área de estudio, utilizando un reproductor mp3 y un megáfono. Las vocalizaciones pre-grabadas fueron reproducidas en lapsos de cinco minutos (rotando el megáfono 180°), con cinco minutos de silencio. En los sitios donde hubo respuesta de los individuos, se procedía a colocar una red de niebla de 12 metros con cuatro paneles; para posteriormente atraer al individuo con las grabaciones hacia la red. Durante este tiempo la red estuvo atendida por tres o cuatro personas. Los individuos capturados fueron colocados en bolsas de tela, para su posterior procesamiento (Bloom et al., 2007).

A cada individuo capturado se le realizó un examen físico general (Ritchie *et al.*, 1994), que consistió en la revisión general del ave con la finalidad de reconocer la existencia o no de alteraciones físicas o signos clínicos; las partes que se revisaron fueron la región de la cabeza, los ojos, orificios auriculares, cera, pico, cuello, extremidades superiores e inferiores, pecho y dorso. Posterior a esto se realizaron medidas morfométricas que consistieron en el largo del ala, largo de las plumas rectrices, tamaño del tarso, tamaño del culmen. Para todas las medidas se utilizó un vernier y una regla (Hull y Bloom, 2003) (Anexo 2). Además

cada individuo fue pesado con una pesola de 100g. También se incluyó la condición corporal, la cual se realizó adaptando la técnica recomendada por Ritchie *et al.*, (1994), en donde de manera cualitativa se palparon los bordes de los músculos pectorales, así como la pronunciación de la quilla. Las categorías de condición fueron: CC1= Masa muscular buena: músculos pectorales bien formados y sólidos redondeados con una ligera caída a los lados. CC2=Masa muscular moderada: esternón prominente, con los músculos pectorales ligeramente atrofiados. CC3= Masa muscular baja: esternón muy prominente, masa muscular muy reducida y atrofiada. Finalmente se revisó el estado del plumaje, en donde se consideró la muda y la condición de las plumas si estaban maltratadas, viejas, nuevas o en crecimiento. La información recolectada se registró en formatos de campo (Anexo 1, 2 y 3).

Posterior a la revisión corporal de los individuos se realizó la toma de muestras de sangre. Primero se limpió la zona radial con algodón y Estericide®, y posteriormente se procedió a la punción de la vena radial, con agujas calibre G23 (0.6 X 25mm); la sangre fue colectada en tubos capilares heparinizados de 75 y/o 85 µl (Ritchie *et al.*, 1994). Los capilares fueron depositados en tubos de vidrio con tapa hermética. Después de la toma de muestra se roció de nuevo con Estericide® en el lugar de la punción y se procedió a hacer hemostasis con un algodón. Al final se colocó una pequeña gota de violeta de genciana como antiséptico. Durante el manejo se verificó que los tecolotes no presentaran signos de estrés (salivación y defecación). Las muestras sanguíneas se mantuvieron a - 4°C, para su transportación (en una hielera) y almacenamiento (refrigerador).

Posteriormente se colectaron las muestras de plumas con pinzas de disección planas, aproximadamente se tomaron 15 plumas del pecho, 15 de dorso y la tercera pluma rectriz derecha (esto también sirvió como marcaje temporal). Las plumas fueron envueltas en papel aluminio y mantenidas en bolsas de plástico con cierre hermético a temperatura ambiente. Cada muestra fue etiquetada apropiadamente. Finalmente, los individuos fueron marcados de manera temporal, al coleccionar la pluma rectriz y pintando la uña del dedo medio con barniz (Varland *et al.*, 2007).

Trabajo de laboratorio

La identificación y cuantificación de los plaguicidas organoclorados en las muestras de sangre y plumas, fueron analizadas en el Laboratorio de Compuestos Orgánico Persistentes del Instituto de Ecología, Pesquería y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX), Universidad Autónoma de Campeche. Para el análisis de las plumas se realizó la técnica utilizada por Dauwe *et al.*, (2005) y para el análisis de sangre se realizó y se adaptó la técnica utilizada por Keller *et al.*, (2009).

Para el análisis de las muestras de plumas, se realizó un lavado a cada pluma con tritón al 10% para eliminar posible contaminación por manejo de la muestra y después se enjuagaron con agua destilada. Posterior a esto las plumas fueron cortadas en pequeños pedazos (≈ 1 mm) y se dejaron secar a temperatura ambiente durante 12 horas aproximadamente. Cada muestra fue pesada en una balanza analítica (HR200 A&D), se le agregó un estándar interno (clorpirifos) y fueron incubadas toda la noche a 40 °C en 4 ml de HCl (4 M) y en una mezcla de

3 ml de hexano: diclorometano en una proporción de 4 a 1 (4:1, v/v). Después fueron colocadas en baño ultrasónico. Finalmente, la extracción de compuestos después de la incubación fue realizada dos veces por medio del procedimiento líquido-líquido con una mezcla de 2 x 4 ml de hexano: diclorometano (4:1, v/v).

Para la purificación de los compuestos, se utilizaron columnas cromatográficas empacadas con 0.5 g de gel de sílice, cubiertas con 0.250 g de Na₂SO₄ anhidro, se acondicionaron con una mezcla de 2 ml de hexano: diclorometano (1:1, v/v) y 2 ml de hexano; posteriormente se combinaron las dos fracciones y se purificaron en las columnas cromatográficas, eluyéndolas con una mezcla de 4 mL de hexano: diclorometano (1:1, v/v). A los eluatos finales se les agregaron dos gotas de tolueno y se dejaron secar en una campana de extracción durante toda la noche. Al día siguiente, las muestras fueron reconstituidas con hexano y se colocaron en viales para cromatografía de gases, para su posterior inyección en el cromatógrafo.

Para el análisis de sangre se registró el peso de los tubos con los capilares y la muestra de sangre. A cada tubo con la muestra se le agregó 0.5 ml de ácido fórmico y 1 ml de mezcla de hexano:diclorometano (4:1, v/v); se mezclaron en un vórtex durante dos minutos para después dejarlos reposar durante una hora y media. Después se centrifugaron durante cinco minutos a 2,500 G.

Para la extracción de los compuestos se realizó el procedimiento líquido-líquido, en el cual el sobrenadante, posterior a la centrifugación se colocó en frascos de vidrio y se le adicionó el mismo volumen de la mezcla hexano:diclorometano; posterior a ello se mezcló nuevamente en el vórtex y se

centrifugó por cinco minutos a 2,500 G. La mezcla en el vórtex y la centrifugación se repitieron dos veces más.

Después de la extracción se purificó en columnas cromatográficas empacadas con 2 g de gel de sílice, 2 g de florisil y 0.5 de Na₂SO₄ anhidro y se acondicionaron con 10 ml de acetona, 10 ml de diclorometano y 10 ml de hexano. El siguiente paso fue la purificación del extracto en las columnas cromatográficas, eluyéndolas con 20 ml de hexano, 15 de diclorometano y 15 de mezcla hexano:diclorometano (4:1, v/v). A los eluatos finales se le agregaron dos gotas de tolueno y se dejaron evaporar en una campana de extracción durante toda la noche. Finalmente, las muestras fueron reconstituidas con hexano y se colocaron en viales para cromatografía de gases, para su posterior inyección en el cromatógrafo.

La inyección en el cromatógrafo tanto de las muestras de plumas como de sangre, se realizó de forma manual, para lo cual dichas muestras contenidas en los viales para cromatografía de gases se dejaron evaporar de nuevo y se volvieron a re-suspender a 50 µl con hexano; de los cuales con una micro-jeringa se tomó 1µl de cada muestra, el cual fue inyectado en el cromatógrafo (Trace GC Thermo, con un detector de masas ITQ900). Posterior a la inyección, los plaguicidas organoclorados fueron identificados por comparación de los tiempos de retención (minutos), encontrados en las muestras contra los de un estándar externo. Los compuestos organoclorados que no fueron identificados, ni cuantificados; se manejan como no detectados (n.d.), debido a que se encontraron bajo el límite de detección (LOD) del cromatógrafo (Trace GC Thermo, con un detector de masas ITQ900).

La cuantificación de los plaguicidas organoclorados obtenidas en el cromatógrafo de las muestras de plumas se convirtió en unidades $\mu\text{g/g}$ y para las muestras de sangre en $\mu\text{g/ml}$ con las siguientes ecuaciones:

Muestras de sangre:

$$\mu\text{g mL}^{-1} = (AM/AE) \times (CEst) \times (Vv/VM)$$

En donde, AM: Área de la muestra, AE: Área estándar, CEst: Concentración estándar ($\mu\text{g mL}^{-1}$), Vv: Volumen del vial (mL) y VM: Volumen de la muestra (mL).

Muestras de plumas:

$$\mu\text{g g}^{-1} = (AM/AE) \times (CEst) \times (Vv/WM)$$

Donde, WM es el peso de la muestra (g).

Análisis de datos

La información morfométrica y de peso para cada individuo, se analizó por medio de un análisis descriptivo y de frecuencias. De acuerdo con la presencia de plaguicidas organoclorados detectados en las muestras de plumas y sangre, se realizó un análisis de frecuencias.

Se realizó la sumatoria de las concentraciones detectadas de los plaguicidas organoclorados por familia o grupo químico. Esto quedó de la siguiente manera: El grupo de Σ DDT y sus metabolitos conformado por *p,p*-DDE, *p,p*-DDD y *p,p*-DDT; el grupo de Σ HCH (hexaclorociclohexanos) que incluye los isómeros α , β , γ , δ ; el grupo Σ Heptacloro formado por el Heptacloro y el Heptacloro epóxido; el grupo de los Σ Drines en el cual se involucran el aldrín, dieldrín, endrín, endrín aldehído y endrín cetona; el grupo Σ Endosulfán incluidos el endosulfán I, endosulfán II y endosulfán sulfato; el grupo de Σ Clordanos en el cual se encuentran el transclordano y el cisclordano; y finalmente el Metoxicloro. Los datos utilizados en el análisis estadístico fueron agrupados por familia química para cada muestra. Los valores fueron reportados en $\mu\text{g/ml}$ o ppm para las muestras sanguíneas y en $\mu\text{g/g}$ o ppm para las muestras de plumas.

Se realizó un análisis estadístico descriptivo de las concentraciones detectadas en plumas y en sangre de cada uno de los compuestos, así como de las sumatorias de las concentraciones de cada uno de los siete grupos de plaguicidas organoclorados. Por otro lado, se llevó a cabo un análisis de correlación de Spearman para determinar si existe relación entre la condición corporal y la concentración de plaguicidas organoclorados en plumas y en sangre. Además para determinar la posible existencia de una relación entre el peso

respecto a las concentraciones de los compuestos, se realizó un análisis de correlación de Pearson. La misma prueba se aplicó para determinar si existe relación entre la concentración de plaguicidas presentes en plumas y en sangre.

También se realizó una prueba de poder estadístico (Poder= $1-\beta$) Post-hoc, con el fin de determinar si el tamaño de muestra fue el adecuado para el análisis de correlación de Pearson entre las concentraciones de plaguicidas detectados en plumas y las concentraciones de plaguicidas en sangre; utilizando el programa estadístico GPower versión 3.1 (Faul *et al.*, 2009). Los demás análisis estadísticos fueron realizados con el programa Stata versión 12.0 (StataCorp, 2011).

RESULTADOS

Se capturaron en total 20 individuos del tecolote bajo (*Glaucidium brasilianum*), de los cuales se obtuvieron muestras de plumas y sólo a 15 se les pudo colectar sangre, esto se debió a que en cinco capilares con heparina, la sangre se coaguló y no se pudo obtener la muestra de sangre completa. Cada sitio de captura se georeferenció y se identificó el tipo de vegetación (Figura 3). El tecolote bajo se registró desde manchones de selva baja caducifolia, vegetación secundaria espinosa, cultivos agrícolas hasta cerca de los asentamientos humanos y caminos. El mayor número de individuos capturados fue en manchones de selva baja caducifolia (n=10) (Tabla 4). El esfuerzo de muestreo entre la búsqueda, uso de vocalizaciones y el uso de redes fue en total 270 hrs.

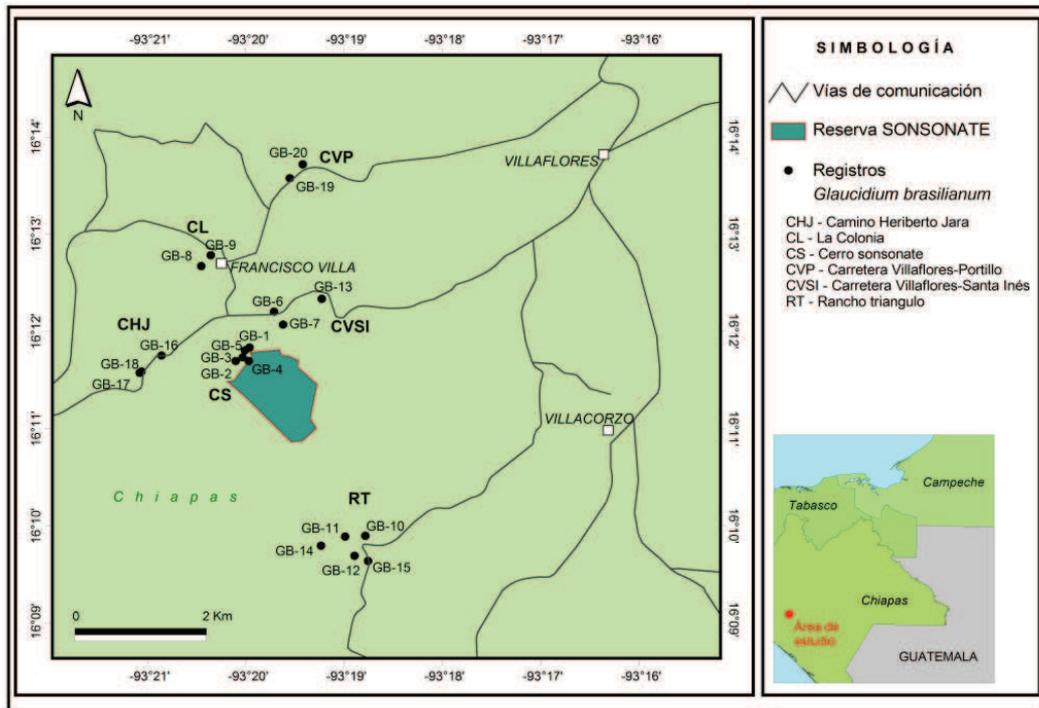


Figura 4. Sitios de captura del tecolote bajo (*Glaucidium brasilianum*) en el Cerro Sonsonate y zonas aledañas, Municipio de Villaflores y Villacorzo, Ejido Francisco Villa, Región de la Frailesca, Chiapas, 2015.

Tabla 4. Tipo de vegetación de los sitios de captura del tecolote bajo (*G. brasilianum*) y número de ejemplares capturados por sitio.

Tipo de vegetación*	Sitios de captura					
	CHJ (n=3)	CL (n=2)	CS (n=5)	CVP (n=2)	CVSI (n=3)	RT (n=5)
MSBC	X		X	X		X
VSE		X			X	
POTRERO					X	
CA	X			X		
AHC		X				

MSBC=Manchones de selva baja caducifolia, VSE=Vegetación secundaria espinosa, CA=Cultivos agrícolas, AHC=Asentamientos humanos y caminos, Tipo de vegetación*=Clasificación conforme al Decreto como Área Natural Protegida Cerro Sonsonate, CHJ=Camino Heriberto Jara, CL=La Colonia, CS=Cerro Sonsonate, CVP=Carretera Villaflores Portillo, CVSI=Carretera Villaflores Santa Inés, RT=Rancho El Triángulo, n=Número de individuos capturados.

Durante el examen físico general realizado a cada individuo, sólo se detectó la presencia de 12 individuos de ectoparásitos en las plumas de las alas y en la zona del pecho en un tecolote y no se observaron daños patológicos aparentes. Por otro lado, los resultados de morfometría mostraron que la variable que tuvo menor variación fue el culmen con individuos que midieron de 10.6 mm a 12.2 mm presentando una media de 11.16 ± 0.45 mm; por el contrario la variable cola (plumas rectrices) presentó una media de 58.8 ± 2.85 mm, y fue la que tuvo una mayor variación, ya que hubieron plumas que midieron de 52mm a 64 mm. Por otra parte el peso promedio de los tecolotes fue de 65 ± 5.43 g. (Tabla 5).

Tabla 5. Datos morfométricos y de peso del tecolote bajoño (*G. brasilianum*) (n=20).

Variables	Media	DE	Min-Máx
Ala	95.15 mm	1.92	90-99
Cola	58.5 mm	2.85	52-64
Tarso	27.44 mm	1.39	24.5-29.5
Culmen	11.16 mm	0.45	10.6-12.2
Peso	65.6 g	5.43	59-80

DE=Desviación estándar, Min=Valor mínimo, Máx=Valor máximo.

De acuerdo a las categorías de condición corporal, la CC2 (masa muscular moderada) fue la categoría registrada en 11 individuos, seguida de la CC1 (masa muscular buena) en seis tecolotes y finalmente tres individuos presentaron la categoría CC3 (masa muscular baja). Al relacionar la media del peso de los individuos con su condición corporal se encontró que el mayor valor promedio del peso lo presentaron individuos con la condición corporal 1, seguido de la condición corporal 2 y finalmente la condición corporal 3 (Tabla 6).

Tabla 6. Relación de la media del peso corporal (g) de acuerdo con la condición corporal.

Categoría	n	Media (g)	DE	Min-Máx
CC1	6	69.83	6.85	62-80
CC2	11	64.54	3.69	59-71
CC3	3	61	1.73	60-63

CC1=Condición corporal buena, CC2=Condición corporal moderada, CC3=Condición corporal baja, n=Número de individuos por categoría, DE=Desviación estándar, Min-Máx=Rango.

Plaguicidas organoclorados en plumas

En total se registraron 19 plaguicidas organoclorados en 17 muestras de plumas del tecolote bajo. Los compuestos de plaguicidas organoclorados identificados fueron: α -HCH, β -HCH, γ -HCH, δ -HCH, Heptacloro, Heptacloro epóxido, dieldrín, endrín, endrín aldehído, endrín cetona, *pp*-DDE, *pp*-DDD, *pp*-DDT, endosulfan I, endosulfan II, endosulfan sulfato, transclordano, cisclordano y metoxicloro (Figura 6).

Los compuestos organoclorados que se presentaron con mayor frecuencia fueron el endosulfán I (59%, n=10) y el Heptacloro epóxido (59%, n=10); seguido del *pp*-DDD (41%, n=7) y endosulfán sulfato (41%, n=7). Subsecuentemente, el *pp*-DDT (35%, n=6), *pp*-DDE (35%, n=6) y el endosulfán II (35%, n=6). Los plaguicidas que fueron menos frecuentes fueron dieldrín, endrín, endrín aldehído, β -HCH y metoxicloro con dos individuos para cada uno de estos compuestos (Figura 6).

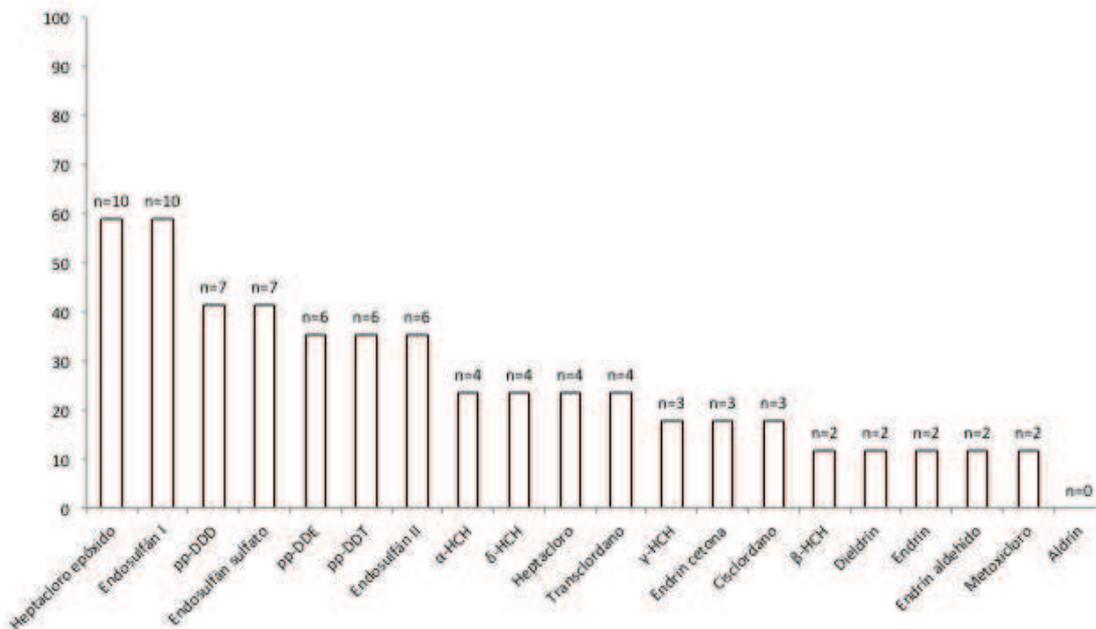


Figura 5. Distribución porcentual y frecuencia de plaguicidas organoclorados (OC) identificados en 17 muestras de plumas del tecolote bajoño (*Glaucidium brasilianum*). n=número de individuos.

De los 19 plaguicidas organoclorados detectados en plumas, el γ -HCH presentó las mayores concentraciones con $1.17 \pm 1.90 \mu\text{g/g}$, el endosulfán I con una media de $0.30 \pm 0.54 \mu\text{g/g}$ seguido del endosulfán II en una media de $0.29 \pm 0.71 \mu\text{g/g}$. Por el contrario, el compuesto que presentó las menores concentraciones fue el endrin cetona con $0.003 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$ (Tabla 8). Las concentraciones de las sumatorias por grupos de los plaguicidas organoclorados, mostraron que ΣHCH (donde se incluyen α -HCH, β -HCH, γ -HCH y el δ -HCH), fue el grupo que obtuvo la media más alta de las concentraciones con $0.63 \pm 0.89 \mu\text{g/g}$. El grupo que mostró la media más baja fue $\Sigma\text{Clordano}$ (sumatoria de transclordano y cisclordano) con $0.02 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$ (Tabla 9).

Tabla 7. Concentraciones de los plaguicidas organoclorados (OC) detectados en 17 muestras de plumas de tecolote bajo (G. *brasiliianum*) en el Cerro Sonsonate, Chiapas, México (2014).

Individuo	Compuesto										EA	EC	
	α -HCH	β -HCH	γ -HCH	δ -HCH	Heptacloro	HE	Aldrin	Dieldrin	Endrin	EA			
GB1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GB2	0.0119	n.d.	n.d.	n.d.	0.0216	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GB3	0.0149	n.d.	1.9880	0.0077	0.0134	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0233	n.d.	n.d.	n.d.
GB4	n.d.	n.d.	0.2111	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0098	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GB5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0902	n.d.	0.0541	n.d.	n.d.	n.d.
GB6	0.0666	n.d.	1.3233	0.0907	0.0044	n.d.	n.d.	n.d.	0.0097	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GB7	n.d.	0.0107	n.d.	0.0105	n.d.	0.0298	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GB8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0004	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GB9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0032	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GB10	0.0031	0.0113	n.d.	0.0111	0.0220	n.d.	n.d.	0.0425	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GB11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.1371	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0021	n.d.
GB12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0436	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GB13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0184	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GB14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0391	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GB15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0307	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0035	n.d.
GB16	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GB17	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0181	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GB18	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GB19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GB20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0245	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0042	n.d.
Total	4	2	3	4	4	10	0	2	2	2	2	3	3

Ej. GB1=*Glaucidium brasiliianum* 1, HE=Heptacloro epóxido, EA=Endrin aldehído, EC=Endrin cetona, Concentración= $\mu\text{g/g}$ en base seca, n.d.=No detectado, Total=Total de individuos por plaguicida.

Tabla 7 (Continuación). Concentraciones de los plaguicidas organoclorados (OC) detectados en 17 muestras de plumas de tecolote bajoño (*G. brasiliannum*) en el Cerro Sonsonate, Chiapas, México (2014).

Individuo	Compuesto										Total general
	ppDDE	ppDDD	ppDDT	Endosulfan I	Endosulfan II	ES	Transclordano	Cisclordano	Metoxicloro	Total general	
GB1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0
GB2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2
GB3	0.0431	0.0125	0.0051	n.d.	0.0022	n.d.	n.d.	0.0061	n.d.	n.d.	10
GB4	n.d.	0.0394	0.0101	0.2400	0.0130	0.0147	0.0212	0.0306	0.0502	n.d.	10
GB5	0.0587	n.d.	0.0067	n.d.	0.0070	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	5
GB6	n.d.	0.0200	0.0001	0.0802	1.7317	0.0014	0.0128	0.0014	n.d.	n.d.	12
GB7	0.0008	n.d.	n.d.	0.0085	n.d.	0.0090	n.d.	n.d.	0.0149	n.d.	7
GB8	n.d.	0.0003	n.d.	0.1171	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3
GB9	n.d.	n.d.	n.d.	0.0809	n.d.	0.0009	0.0008	n.d.	n.d.	n.d.	4
GB10	0.0041	n.d.	0.0008	n.d.	0.0006	0.0008	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	9
GB11	n.d.	0.0079	0.1345	1.8251	n.d.	0.0392	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6
GB12	n.d.	0.0258	n.d.	0.2253	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3
GB13	n.d.	n.d.	n.d.	0.1564	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2
GB14	0.0160	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2
GB15	0.0334	0.0023	n.d.	0.2292	n.d.	0.0010	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6
GB16	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0
GB17	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0004	n.d.	n.d.	n.d.	2
GB18	n.d.	n.d.	n.d.	0.0040	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1
GB19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0
GB20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0007	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3
Total	6	7	6	10	6	7	4	3	2	2	

Ej. GB1=*Glaucidium brasiliannum* 1, Es=Endosulfán sulfato, Concentración= µg/g en base seca, n.d.=No detectado, Total=Total de individuos por plaguicida, Total de compuestos= Total de plaguicidas por individuo.

Tabla 8. Medias de las concentraciones de los 19 compuestos organoclorados (OC) detectados en plumas del tecolote bajeño (*G. brasilianum*).

OC	n	Media (µg/g)	DE	Min	Máx
α-HCH	4	0.02	0.03	0.003	0.07
β-HCH	2	0.01	0.0004	0.0107	0.0113
γ-HCH	3	1.17	0.90	0.21	1.99
δ-HCH	4	0.03	0.04	0.01	0.09
Heptacloro	4	0.02	0.01	0.004	0.02
HE	10	0.03	0.04	0.0004	0.14
Dieldrín	2	0.07	0.03	0.04	0.09
Endrín	2	0.01	0.0001	0.0097	0.0098
EA	2	0.04	0.02	0.02	0.05
EC	3	0.003	0.001	0.002	0.004
pp-DDE	6	0.03	0.02	0.0008	0.06
pp-DDD	7	0.02	0.01	0.0003	0.04
pp-DDT	6	0.03	0.05	0.0001	0.13
Endosulfán I	10	0.30	0.54	0.004	1.83
Endosulfán II	6	0.29	0.71	0.0006	1.73
ES	7	0.01	0.01	0.0008	0.04
Transclordano	4	0.01	0.01	0.0004	0.02
Cisclordano	3	0.01	0.02	0.001	0.03
Metoxicloro	2	0.03	0.02	0.01	0.05

Concentración= µg/g en base seca, n=número de individuos, DE=Desviación estándar, HE=Heptacloro epóxido, EA=Endrín aldehído, EC=Endrín cetona, ES=Endosulfán sulfato, Min-Máx=Rango

Tabla 9. Medias de las sumatorias de los plaguicidas organoclorados (OC) detectados en plumas del tecolote bajeño (*G. brasilianum*).

OC	n	Media (µg/g)	DE	Min	Máx
ΣHCH	6	0.63	0.89	0.01	2.01
ΣHeptacloro	14	0.03	0.03	0.0004	0.14
ΣDrines	8	0.03	0.05	0.002	0.14
ΣDDT	11	0.04	0.04	0.0003	0.14
ΣEndosulfán	14	0.34	0.64	0.0007	1.86
ΣClordano	5	0.02	0.02	0.0004	0.05
Metoxicloro	2	0.03	0.02	0.01	0.05

Σ=Sumatoria, n=número de individuos, concentración=µg/g en base seca, DE=Desviación estándar, Min-Máx=Rango.

Plaguicidas organoclorados en sangre

En las 15 muestras de sangre se identificaron 19 plaguicidas organoclorados. Los cuales fueron: α -HCH, β -HCH, γ -HCH, δ -HCH, Heptacloro, aldrín, dieldrín, endrín, endrín aldehído, endrín cetona, *pp*-DDE, *pp*-DDD, *pp*-DDT, endosulfan I, endosulfan II, endosulfan sulfato, transclordano, cisclordano y metoxicloro (Figura 8).

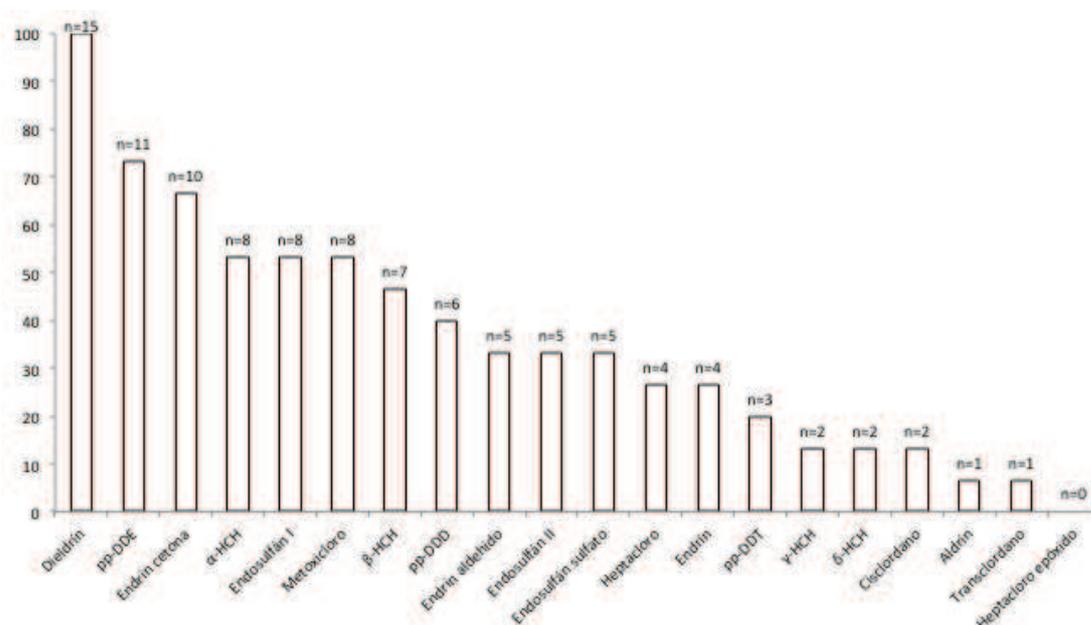


Figura 6. Distribución porcentual y frecuencia de plaguicidas organoclorados (OC) identificados en 15 muestras sanguíneas del tecolote bajoño (*Glaucidium brasilianum*). n=número de individuos.

El compuesto que presentó mayor frecuencia fue el dieldrín (100%, n=15), seguido del *pp*-DDE (73%, n=11) y del endrín cetona (67%, n=10). Subsecuentemente, el α -HCH (53%, n=8), el metoxicloro (53%, n=8) y el endosulfán I (53%, n=8).

Seguido del β -HCH (47%, n=7), *pp*-DDD (40%, n=6) y del endrín aldehído (33%, n=5), endosulfán II (33%, n=5) y endosulfán sulfato (33%, n=5). Los plaguicidas

que se presentaron con menor frecuencia fueron el aldrín (7%, n=1) y transclordano (7%, n=1) (Figura 8).

El dieldrín fue el compuesto que presentó las mayores concentraciones en sangre con 0.25 ± 0.34 $\mu\text{g/ml}$, seguido del γ -HCH con un promedio de 0.12 ± 0.05 $\mu\text{g/ml}$. Por el contrario el plaguicida con concentraciones más bajas fue el α HCH 0.02 ± 0.03 $\mu\text{g/ml}$ (Tabla 11). El grupo de plaguicidas que presentó la media más alta fue Σ Drines con 0.31 ± 0.47 $\mu\text{g/ml}$; en cambio el grupo de organoclorados que tuvo la media más baja fue el Σ Clordano con 0.05 ± 0.03 $\mu\text{g/ml}$ (Tabla 12).

Tabla 10. Concentraciones de los plaguicidas organoclorados (OC) detectados en 15 muestras sanguíneas de tecolote bajo (*G. brasiliense*) en el Cerro Sonsonate, Chiapas, México (2014).

Individuo	Compuesto										EA	EC
	α -HCH	β -HCH	γ -HCH	δ -HCH	Heptacloro	HE	Aldrin	Dieldrin	Endrin	EA		
GB2	0.0339	0.0770	0.1567	0.1255	0.1117	n.d.	0.0216	0.7058	0.0189	0.0281	n.d.	
GB3	0.0736	0.1790	0.0804	0.0659	0.1157	n.d.	n.d.	1.1509	0.2085	0.1307	0.2832	
GB4	0.0130	0.0033	n.d.	n.d.	0.0034	n.d.	n.d.	0.1140	n.d.	n.d.	0.0030	
GB6	n.d.	0.0075	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.7463	n.d.	n.d.	0.0421	
GB10	0.0092	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.3244	n.d.	n.d.	0.0094	
GB11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0592	n.d.	n.d.	n.d.	
GB12	0.0025	0.0055	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0869	0.0341	0.0105	0.0136	
GB13	n.d.	0.0010	n.d.	n.d.	0.0002	n.d.	n.d.	0.0169	0.0006	0.0011	0.0036	
GB14	n.d.	0.0088	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0739	n.d.	n.d.	0.0222	
GB15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0515	n.d.	0.0101	n.d.	
GB16	0.0016	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0826	n.d.	n.d.	0.0087	
GB17	0.0015	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.1118	n.d.	n.d.	0.0029	
GB18	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0548	n.d.	n.d.	n.d.	
GB19	0.0034	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0931	n.d.	n.d.	0.0070	
GB20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.1323	n.d.	n.d.	n.d.	
Total	8	7	2	2	4	0	1	15	4	5	10	

Ej. GB2=*Glaucidium brasiliense* 2, HE=Heptacloro epóxido, EA=Endrin aldehído, EC=Endrin cetona, Concentración= $\mu\text{g/ml}$ en base húmeda, n.d.=No detectado, Total=Total de individuos por plaguicida.

Tabla 10 (Continuación). Concentraciones de los plaguicidas organoclorados (OC) detectados en 15 muestras sanguíneas de tecolote bajoño (*G. brasiliensis*) en el Cerro Sonsonate, Chiapas, México (2014).

Individuo	Compuesto											Total general
	ppDDE	ppDDD	ppDDT	Endosulfan I	Endosulfan II	ES	Transclordano	Cisclordano	Metoxicloro			
GB2	0.0163	0.0234	0.0469	0.0373	0.0359	0.0134	n.d.	0.0237	0.0802			17
GB3	0.1049	0.0811	0.0402	0.0662	0.1028	0.1534	0.0160	0.0532	0.2911			18
GB4	0.0021	0.0836	n.d.	0.0054	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0037	n.d.		9
GB6	0.0403	n.d.	n.d.	0.0271	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		5
GB10	0.0177	n.d.	n.d.	0.0114	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		5
GB11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		1
GB12	0.0108	0.0065	n.d.	0.0051	0.0064	0.0069	n.d.	n.d.	0.0162			12
GB13	0.0013	0.0009	n.d.	0.0007	0.0008	0.0009	n.d.	n.d.	0.0023			12
GB14	0.0074	0.0082	0.0085	n.d.	0.0081	0.0094	n.d.	n.d.	0.0201			9
GB15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0031			3
GB16	0.0198	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0018			5
GB17	0.0039	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		4
GB18	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		1
GB19	0.0057	n.d.	n.d.	0.0091	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		5
GB20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		1
Total	11	6	3	8	5	5	1	2	8			8

Ej. GB2=*Glaucidium brasiliensis* 2, Es=Endosulfán sulfato, Concentración= µg/ml en base húmeda, n.d.=No detectado, Total=Total de individuos por plaguicida, Total de compuestos= Total de plaguicidas por individuo.

Tabla 11. Medias de las concentraciones de los 19 plaguicidas organoclorados (OC) detectados en sangre del tecolote bajoño (*G. brasilianum*).

OC	n	Media (µg/mL)	DE	Min	Máx
α-HCH	8	0.02	0.03	0.002	0.07
β-HCH	7	0.04	0.07	0.001	0.18
γ-HCH	2	0.12	0.05	0.08	0.16
δ-HCH	2	0.10	0.04	0.07	0.13
Heptacloro	4	0.06	0.06	0.0002	0.12
Aldrín	1	0.02	.	0.02	0.02
Dieldrín	15	0.25	0.34	0.02	1.15
Endrín	4	0.07	0.10	0.0006	0.21
EA	5	0.04	0.05	0.001	0.13
EC	10	0.04	0.09	0.003	0.28
pp-DDE	11	0.02	0.03	0.001	0.10
pp-DDD	6	0.03	0.04	0.0009	0.08
pp-DDT	3	0.03	0.02	0.009	0.05
Endosulfán I	8	0.02	0.02	0.0007	0.07
Endosulfán II	5	0.03	0.04	0.0008	0.10
ES	5	0.04	0.07	0.0009	0.15
Transclordano	1	0.02	.	0.02	0.02
Cisclordano	2	0.04	0.02	0.02	0.05
Metoxicloro	8	0.05	0.10	0.002	0.29

Concentración=µg/ml en base húmeda, DE=Desviación estándar, HE=Heptacloro epóxido, EA=Endrín aldehído, EC=Endrín cetona, ES=Endosulfán sulfato, Min-Máx=Rango, (.)=Datos insuficientes.

Tabla 12. Medias de las sumatorias de los plaguicidas organoclorados (OC) detectados en 15 muestras de sangre del tecolote bajoño (*G. brasilianum*).

OC	n	Media (µg/mL)	DE	Min	Máx
ΣHCH	11	0.08	0.16	0.001	0.40
ΣHeptacloro	4	0.06	0.06	0.0002	0.12
ΣDrines	15	0.31	0.47	0.02	1.77
ΣDDT	11	0.05	0.07	0.002	0.23
ΣEndosulfán	9	0.06	0.10	0.002	0.32
ΣClordano	2	0.05	0.03	0.02	0.07
Metoxicloro	8	0.05	0.10	0.002	0.29

Σ=Sumatoria, Concentración=µg/ml en base húmeda, DE=Desviación estándar, Min-Máx=Rango.

Correlaciones entre las concentraciones en plumas y sangre con respecto a la condición corporal y el peso

Las correlaciones entre las sumatorias de las concentraciones de plaguicidas encontradas en plumas y la condición corporal, no mostraron correlaciones significativas (Σ HCH $r=-0.31$, $p=0.55$; Σ Heptacloro $r=-0.19$, $p=0.52$; Σ Drines $r=0.38$, $p=0.36$; Σ DDT $r=-0.13$, $p=0.70$; Σ Endosulfán $r=0.30$, $p=0.29$, Σ Clordano $r=0.45$, $p=0.45$; Metoxicloro $r=0.33$, $p=0.15$). De igual forma, las correlaciones entre las concentraciones en plumas y el peso, no fueron significativas (Σ HCH $r=0.57$, $p=0.24$; Σ Heptacloro $r=0.37$, $p=0.19$; Σ Drines $r=-0.23$, $p=.59$; Σ Endosulfán $r=-0.17$, $p=0.55$). No obstante, el Σ DDT mostró una correlación positiva cercana al límite de significancia ($r= 0.60$, $p=0.05$), esto indica que a medida que aumenta el peso, las concentraciones en plumas también aumentan.

Por otra parte, las correlaciones entre las concentraciones en sangre y la condición corporal, tampoco fueron significativas (Σ HCH $r=-0.11$, $p=0.76$; Σ Heptacloro $r=-0.63$, $p=0.37$; Σ Drines $r=0.15$, $p=0.60$; Σ DDT $r=-0.29$, $p=0.39$; Σ Endosulfán $r=-0.59$, $p=0.10$; Metoxicloro $r=0.33$, $p=0.39$). Asimismo, el análisis de correlación entre el peso y las concentraciones de plaguicidas en sangre, no mostraron correlaciones significativas (Σ HCH $r=-0.34$, $p=0.31$; Σ Heptacloro $r=0.01$, $p=0.99$; Σ Drines $r=-0.24$, $p=.39$; Σ DDT $r=-0.18$, $p=0.59$; Σ Endosulfán $r=-0.002$, $p=1.00$; Σ Clordano $r=-0.45$, $p=0.44$; Metoxicloro $r=-0.22$, $p=0.60$).

Correlaciones entre los plaguicidas en plumas y en sangre

La correlación entre plumas y sangre no fue significativa para las sumatorias de los organoclorados Σ HCH ($r=0.26$, $p=0.67$), Σ Drines ($r=0.38$, $p=0.41$), Σ Endosulfán ($r=-0.23$, $p=0.65$) y Σ Heptacloro ($r=-0.16$, $p=0.90$). Solamente para el Σ DDT hubo una correlación estadísticamente significativa ($r=0.874$, $p=0.02$); lo que indica que mientras se incrementan las concentraciones de este compuesto en sangre, también incrementan en plumas.

Análisis de poder estadístico

Los resultados de la prueba de poder estadístico para la correlación entre las concentraciones de los plaguicidas organoclorados entre plumas y sangre, mostraron valores muy bajos a lo recomendado por convención de $1-\beta=0.80$ (Thomas, 1997) (Σ HCH $1-\beta=0.08$, Σ Heptacloro $1-\beta=0.05$, Σ Drines $1-\beta=0.05$, Σ DDT $1-\beta=0.09$, Σ Endosulfán $1-\beta=0.09$). El tamaño de muestra que se estimó fue de 134 individuos para un poder estadístico entre 0.05 y 0.09.

DISCUSIÓN

El Área Natural Protegida Cerro Sonsonate y sus zonas aledañas presenta cinco tipos de vegetación: bosque de pino encino, selva mediana subcaducifolia, manchones de selva baja caducifolia, vegetación secundaria espinosa y cultivos agrícolas (Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural, Dirección de Áreas Naturales Protegidas, 2012). El tecolote bajefío se encontró en dos de éstas: manchones de selva baja caducifolia y vegetación secundaria espinosa. También cerca de asentamientos humanos, zonas agrícolas, potreros y en los caminos. El tecolote bajefío es una especie ampliamente distribuida, desde el sur de Texas, a través del Este y Sureste de México, hasta Panamá (del Hoyo *et al.*, 1999); por lo que utiliza diferentes tipos de vegetación (del Hoyo *et al.*, 1999; Enríquez-Rocha y Rangel, 2008; König *et al.*, 2008; Larsen, 2012).

DetECCIÓN DE PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS

La Σ HCH fue la familia de compuestos que tuvo la concentración promedio más alta en las plumas ($0.63 \pm 0.89 \mu\text{g/g}$) (frecuencia del 35%). Este grupo de compuestos se ha reportado en plumas y en sangre de especies de aves rapaces diurnas y nocturnas, así como en anátidos y en álcidos (Tabla 13). Behrooz *et al.*, (2009) lo reporta utilizando las plumas rectrices de aves de museo en Irán, en el mochuelo europeo (*Athene noctua*), en el autillo europeo (*Otus stops*) y en el búho cuerno corto (*Asio flammeus*) (Tabla 13). Los autores explican que el isómero γ -HCH (lindano), tiene un tiempo de vida corto en el ambiente comparado con otros organoclorados y es metabolizado y excretado por los organismos relativamente rápido (Blus *et al.*, 1985). Por lo tanto el encontrar niveles altos de lindano

probablemente refleja una exposición a este plaguicida durante el crecimiento de la pluma. Más aún, este resultado muestra la capacidad de las plumas como una ruta de excreción para este plaguicida (Espín *et al.*, 2012).

En el caso de las muestras de sangre, la Σ HCH fue el que presentó la segunda concentración promedio más alta, $0.08 \pm 0.15 \mu\text{g/ml}$ (frecuencia del 73%). Gómez (2010) realizó un estudio durante cinco años en el sur España, en donde reporta Σ HCH en el búho real (*Bubo bubo*) (Gómez, 2011) (Tabla 14). La autora menciona que en específico el γ -HCH fue el isómero que se presentó con mayor frecuencia y que en general fue uno de los plaguicidas que presentó la más alta concentración; y explica que aunque en España acaba de ser prohibido, debido a que muestra menor persistencia en el ambiente comparado con otros organoclorados, es de esperarse que las aves hayan mostrado concentraciones altas de este compuesto. Por otro lado en Baja California Sur, México, realizaron un estudio en donde detectaron este compuesto en el cernícalo americano (*Falco sparverius*) (Rivera-Rodríguez *et al.*, 2007) y en pollos del águila pescadora (*Pandion haliaetus*) (Rivera-Rodríguez y Rodríguez-Estrella, 2011) (Tabla 14). Seguramente el lindano ha sido reportado en aves en México porque se utiliza actualmente en actividades agrícolas, en campañas sanitarias de salud pública, para uso veterinario y para uso industrial (Instituto Nacional de Ecología, 2004). En el área de estudio existe la producción de ganado bovino, al cual pudieran estar utilizando este plaguicida para el tratamiento de ectoparásitos. Además el lindano está autorizado en México para el tratamiento de la pediculosis (piojos) y la escabiasis (sarna) por la Secretaría de Salud y los medicamentos con lindano están incluidos en el Cuadro Básico de la Secretaría de Salud (Instituto Nacional

de Ecología, 2004). Por lo tanto, la presencia de ΣHCH en estos estudios, así como en las muestras de plumas y sangre del tecolote bajoño, se puede deber a una reciente exposición de este compuesto en las aves (Behrooz *et al.*, 2009).

La ΣEndosulfán en las muestras de plumas tuvo una media promedio de 0.34 ± 0.64 µg/g (frecuencia del 82%). Este plaguicida no se encontró reportado en muestras de plumas de aves rapaces nocturnas, ni diurnas (Tabla 13). Sin embargo, en España se ha reportado en el pato de collar (*Anas platyrhynchos*) (Espín *et al.*, 2010) y en el alca común (*Alca torda*) (Espín *et al.*, 2012) (Tabla 13). Espín (2010), menciona que la información con respecto al endosulfán y sus metabolitos es limitada en fauna silvestre. Sin embargo, se sabe que el Endosulfán I tiene una vida media más corta que el Endosulfán II (Steward y Cairns, 1974). Dado que el Endosulfán es un plaguicida considerado como no persistente en organismos de sangre caliente y presenta una rápida metabolización y fácil excreción (Dorough *et al.*, 1978), se puede deber su presencia en las plumas por vía sanguínea en los tecolotes durante la formación de éstas.

La ΣEndosulfán en las muestras sanguíneas de los tecolotes tuvo una media promedio de 0.06 ± 0.10 µg/ml (frecuencia del 60%). Este plaguicida se ha reportado en rapaces diurnas y nocturnas en España, India, Grecia y México (Tabla 14). Por ejemplo, en la región de Murcia en España durante cinco años consecutivos se reportó Endosulfán y sus metabolitos en pollos del águila calzada (*Hieraaetus pennatus*) (Martínez-López *et al.*, 2009) (Tabla 14). Los autores mencionan que la presencia de Endosulfán en muestras sanguíneas indica una exposición reciente de este plaguicida. Por lo tanto, la detección en las muestras

de plumas y de sangre en los tecolotes, se puede deber a que es un plaguicida que se sigue utilizando en México como insecticida y acaricida para uso agrícola e industrial (Instituto Nacional de Ecología, 2011).

El DDT es un plaguicida que sigue estando presente en los organismos; es por ello que se ha reportado en muestras de plumas y de sangre en diversas especies aviares (Gómez, 2010; García-Fernández et al., 2013) como en rapaces diurnas y nocturnas, anátidos, álcidos y pelecanidos (Tabla 13). El tecolote bajoño mostró una concentración media de 0.4 ± 0.4 $\mu\text{g/g}$ (frecuencia del 65%) para este compuesto en las plumas y en las muestras de sangre una concentración promedio de 0.5 ± 0.7 $\mu\text{g/ml}$ (frecuencia del 73%). El DDT en México se dejó de utilizar para fines agrícolas en 1991 (Fernández et al., 2004) y a partir del 2001 quedó prohibido su uso (Martínez, 2011); no obstante, se continuó utilizando para el control de vectores (Wong et al., 2008). Es por ello que la presencia del DDT y sus productos de degradación (DDE y DDD) en sangre y plumas de los tecolotes, pudiera explicarse debido a su alta estabilidad química en el medio, a su alta persistencia en el ambiente (> 30 años) (Newton, 1998; Turusov et al., 2002; Behrooz et al., 2009) y en los organismos (Naso et al., 2003).

La ΣDrines (frecuencia del 47%), también se detectaron en las plumas de los tecolotes con una concentración promedio de 0.3 ± 0.5 $\mu\text{g/g}$. No obstante no se encontraron estudios publicados en donde se hayan detectado en las plumas de aves rapaces (Tabla 13). Sin embargo, se ha reportado en el pato de collar (Espín et al., 2010) y en el alca común (Espín et al., 2012). En el caso de las muestras sanguíneas, los ΣDrines estuvieron presentes en las 15 muestras de los tecolotes y presentaron la concentración media más alta, de 0.31 ± 0.47 $\mu\text{g/ml}$ (frecuencia del

100%), con respecto a los demás plaguicidas. Gómez (2011) menciona que en específico el dieldrín fue el plaguicida que tuvo la mayor concentración de la población del búho real (3470 µg/ml) (Tabla 14). Lo anterior concuerda con la concentración media detectada para *G. brasilianum* del presente estudio, la cual en el caso del dieldrín fue la más alta con 0.25 µg/ml. De igual modo Dhananjayan y Muralidharan (2010), reportan el dieldrín en la lechuga campanario (0.006 µg/ml) y mencionan que fue uno de los compuestos que se presentó con mayor frecuencia en todas las diferentes especies de aves que evaluaron. También en un estudio realizado en Colorado Estados Unidos con el búho cornudo (*Bubo virginianus*) encontraron concentraciones altas de dieldrín (juveniles=0.22 µg/ml (n=59) y adultos=0.34 µg/ml (n=20) (Frank y Lutz, 1999). En México, también se han reportado compuestos de la familia de los drines en pollos de águila pescadora (Tabla 14); siendo el dieldrín el que presentó la mayor concentración (Rivera-Rodríguez y Rodríguez-Estrella, 2011). Rivera-Rodríguez *et al.*, (2007) explican que el encontrar dieldrín en las muestras sanguíneas se debe a que el aldrín se metaboliza rápidamente a dieldrín en los organismos. Así que una detección de dieldrín indica una exposición reciente en las aves. Esto resulta importante a tomar en consideración ya que en México se utilizó el aldrín como plaguicida principalmente para insectos como las hormigas y las termitas; y el endrín (que es un isómero del dieldrín), se introdujo en el mercado el 1951 y fue utilizado como insecticida y rodenticida por 40 años (Juárez, 2004). Actualmente, en México los dos plaguicidas están prohibidos desde 1991 (Barrera *et al.*, 2002). Entonces, el detectar ΣDrines tanto en las muestras de plumas y sobre todo en

sangre de los tecolotes supone que actualmente se sigue utilizando en esta zona a pesar de estar prohibido. O quizás es transportado vía atmosférica desde sitios como Guatemala o Centroamérica (Alegría *et al.*, 2006).

Otro plaguicida que estuvo presente en las plumas y sangre de los tecolotes fue la Σ Heptacloro. En el caso de las muestras de plumas tuvo una concentración media de 0.3 ± 0.3 $\mu\text{g/ml}$ (frecuencia del 82%). Al igual que en el caso de los Drines y el Endosulfán, no se encontraron estudios publicados que indicaran la presencia del Heptacloro en las plumas de las aves de presa (Tabla 13). Sin embargo se ha reportado en las plumas del pato de collar (Espín *et al.*, 2010) y del alca común (Espín *et al.*, 2012) (Tabla 13). Espín *et al.*, (2012) menciona que la Σ Heptacloro fue uno de los plaguicidas que presentó concentraciones altas con respecto a los demás organoclorados evaluados. Los tecolotes del presente estudio, no presentaron concentraciones tan altas de Σ Heptacloro con respecto a los demás organoclorados analizados, sin embargo fue uno de los dos plaguicidas que se presentó con mayor frecuencia en las plumas. En las muestras de sangre de *G. brasilianum* sólo se detectó Heptacloro con una concentración de 0.06 ± 0.06 $\mu\text{g/ml}$ (frecuencia del 27%). En el estudio realizado en el búho real reportan Heptacloro (380 $\mu\text{g/ml}$) y el Heptacloro epóxido (160 $\mu\text{g/ml}$) (Gómez, 2010). Además en México se han detectado de igual manera en el cernícalo americano (Heptacloro= 7.0×10^{-13} $\mu\text{g/ml}$ y Heptacloro epóxido= 4.0×10^{-13}) (Rivera-Rodríguez *et al.*, 2007) y en los pollos del águila pesadora (Heptacloro= 6.9×10^{-13} $\mu\text{g/ml}$, Heptacloro epóxido= 1.38×10^{-13} $\mu\text{g/ml}$) (Rivera-Rodríguez y Rodríguez-Estrella, 2011) (Tabla 14). Como puede observarse, el Heptacloro se ha detectado en sangre de otras especies de aves y el Heptacloro epóxido también pero en

concentraciones más bajas con respecto al primero. En el caso de los tecolotes, el Heptacloro epóxido en las muestras de sangre estuvo por debajo del límite de detección (que es la concentración mínima de una sustancia que puede ser detectada con el equipo instrumental que se utilizó), por lo que tomando en cuenta la presencia en otras especies de aves, es probable que también presenten este compuesto en la sangre. En México el Heptacloro se utilizó en los años 70's de manera intensiva, para el control de insectos de la tierra, termitas, insectos en el algodón y saltamontes. Actualmente, no cuenta con registro en nuestro país, por lo que su uso no está autorizado (Fernández *et al.*, 2004). Entonces, la presencia de este en las muestras de plumas y sangre del tecolote bajeño indica que los organismos están expuestos, debido a que es uno de los compuestos organoclorados más persistentes, aunado a que es transportado y removido por medio del viento y de las corrientes de agua, esto explica porque se ha encontrado en lugares, incluso en donde no ha sido utilizado (Kielhorn *et al.*, 2006).

La Σ Clordano se detectó en bajas concentraciones en las plumas de los tecolotes con una concentración media de 0.01 ± 0.02 $\mu\text{g/ml}$ (frecuencia del 29%). Este compuesto organoclorado también se ha reportado en rapaces diurnas y nocturnas; en Bélgica y en Noruega solamente (Jaspers *et al.*, 2007a; Jaspers *et al.*, 2011; Eulaers *et al.*, 2011b) (Tabla 13). Por otro lado las muestras de sangre del tecolote bajeño también presentaron Σ Clordano con una concentración media de 0.05 ± 0.03 $\mu\text{g/ml}$ (frecuencia del 13%). Por ejemplo, en el buitre dorsiblanco (*Pseudogyps africanus*) en Sudáfrica se ha reportado también (van Wyk *et al.* 2001) y los autores mencionan que el Σ Clordano es un plaguicida que se encontró en baja frecuencia, así como en bajas concentraciones y explican que la escasez

de referencias a este organoclorado en la investigación ecotoxicológica valida el bajo porcentaje de ocurrencia (Tabla 14). En el caso de los tecolotes también se presentó en pocos individuos y además en bajas concentraciones tanto en las muestras de plumas como en las de sangre, con respecto a los demás organoclorados detectados. Por lo anterior, la presencia del Clordano en los tecolotes, se puede explicar porque ha sido utilizado como plaguicida desde 1945, principalmente con fines agrícolas y también para el control de plagas caseras (Juárez, 2004). En México actualmente su uso está prohibido; sin embargo es un plaguicida que tiene un alto grado de persistencia en el ambiente (Barrera *et al.*, 2002). Al igual como en el caso del DDT y el Heptacloro, la característica de permanecer años en el ambiente, puede ser la razón de que se haya encontrado en las muestras del tecolote bajoño.

El metoxicloro se detectó en ambas muestras; las cuales mostraron una concentración media de 0.03 ± 0.02 $\mu\text{g/ml}$ para las plumas (frecuencia del 12%) y de 0.05 ± 0.01 para las muestras de sangre (frecuencia del 53%), siendo uno de los plaguicidas que también se presentó en menor frecuencia, así como en concentraciones. En cuanto a este organoclorado no se encontraron estudios en donde se haya reportado su presencia en muestras de plumas y de sangre en las aves. Por lo tanto la detección de metoxicloro en las muestras de los individuos de *G. brasilianum*, se puede deber a que se utiliza actualmente en México de manera restringida para la producción de hortalizas, árboles frutales, forraje y en animales de producción (Jimenez, 2005). Además es muy persistente en los suelos (120 días); sin embargo, en ciertos ambientes se degrada en tan sólo una semana y no muestra una movilidad significativa (Fernández *et al.*, 2004).

Tabla 13. Concentraciones de plaguicidas organoclorados detectadas en plumas y concentraciones que causan efectos en la salud de las aves.

Especie	Concentración OC µg/g				Resultados	Lugar de estudio	Referencia
	ΣHCH	ΣEndo	ΣDDT	ΣDrines			
Faisán común <i>Phasianus colchicus</i> (n=11)	-	-	-	Aldrin: 0.81	Dosis: 0.5, 1.0 y 1.5 mg aldrin Mortalidad	Laboratorio	Hall et al., 1971
Pelicano blanco <i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	-	-	47.9	-	Dosis: 20 mg pp-DDT, 15 mg pp-DDE y 15 mg pp-DDD Alteraciones en parámetros bioquímicos Una pluma rectriz	Laboratorio	Greichus et al., 1975
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=43)	-	-	0.004	-	Reportan concentraciones Correlación con tejidos internos	Bélgica	Jaspers et al., 2006
Lechuza campanario <i>Tyto alba</i> (n=9)	0.005	-	0.048	-	0.002		
Búho chico <i>Asio otus</i> (n=10)	0.002	-	0.110	-	0.0006		
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=43)	0.001	-	0.009	-	0.002		Jaspers et al., 2007a
Gavilán común <i>Accipiter nisus</i> (n=11)	0.004	-	0.230	-	0.001		
Cernicalo vulgar <i>Falco tinnunculus</i> (n=3)	0.001	-	0.110	-	0.002		
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=16)	-	-	0.008	-	0.002		
Mochuelo europeo <i>Athene noctua</i> (n=3)	0.046	-	0.073	-	-		
Autillo europeo <i>Otus scops</i> (n=1)	0.212	-	0.295	-	-		
Búho cuerno corto <i>Asio flammeus</i> (n=1)	0.028	-	0.062	-	-		
Águila moteada <i>Aquila clanga</i> (n=3)	0.021	-	0.028	-	-		
Gavilán común <i>Accipiter nisus</i> (n=11)	0.033	-	0.0810	-	-		Behrooz et al., 2009
Cernicalo vulgar <i>Falco tinnunculus</i> (n=3)	0.048	-	0.020	-	-		
Halcón esmerejón <i>Falco columbarius</i> (n=1)	0.082	-	0.024	-	-		
Alcotán europeo <i>Falco subbuteo</i> (n=2)	0.023	-	0.011	-	-		
Halcón peregrino <i>Falco peregrinus</i> (n=1)	0.060	-	0.013	-	-		
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=16)	-	-	0.008	-	0.002		
Mochuelo europeo <i>Athene noctua</i> (n=3)	0.046	-	0.073	-	-		
Autillo europeo <i>Otus scops</i> (n=1)	0.212	-	0.295	-	-		
Búho cuerno corto <i>Asio flammeus</i> (n=1)	0.028	-	0.062	-	-		
Águila moteada <i>Aquila clanga</i> (n=3)	0.021	-	0.028	-	-		
Gavilán común <i>Accipiter nisus</i> (n=11)	0.033	-	0.0810	-	-		
Cernicalo vulgar <i>Falco tinnunculus</i> (n=3)	0.048	-	0.020	-	-		
Halcón esmerejón <i>Falco columbarius</i> (n=1)	0.082	-	0.024	-	-		
Alcotán europeo <i>Falco subbuteo</i> (n=2)	0.023	-	0.011	-	-		
Halcón peregrino <i>Falco peregrinus</i> (n=1)	0.060	-	0.013	-	-		
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=16)	-	-	0.008	-	0.002		
Mochuelo europeo <i>Athene noctua</i> (n=3)	0.046	-	0.073	-	-		
Autillo europeo <i>Otus scops</i> (n=1)	0.212	-	0.295	-	-		
Búho cuerno corto <i>Asio flammeus</i> (n=1)	0.028	-	0.062	-	-		
Águila moteada <i>Aquila clanga</i> (n=3)	0.021	-	0.028	-	-		
Gavilán común <i>Accipiter nisus</i> (n=11)	0.033	-	0.0810	-	-		
Cernicalo vulgar <i>Falco tinnunculus</i> (n=3)	0.048	-	0.020	-	-		
Halcón esmerejón <i>Falco columbarius</i> (n=1)	0.082	-	0.024	-	-		
Alcotán europeo <i>Falco subbuteo</i> (n=2)	0.023	-	0.011	-	-		
Halcón peregrino <i>Falco peregrinus</i> (n=1)	0.060	-	0.013	-	-		
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=16)	-	-	0.008	-	0.002		
Mochuelo europeo <i>Athene noctua</i> (n=3)	0.046	-	0.073	-	-		
Autillo europeo <i>Otus scops</i> (n=1)	0.212	-	0.295	-	-		
Búho cuerno corto <i>Asio flammeus</i> (n=1)	0.028	-	0.062	-	-		
Águila moteada <i>Aquila clanga</i> (n=3)	0.021	-	0.028	-	-		
Gavilán común <i>Accipiter nisus</i> (n=11)	0.033	-	0.0810	-	-		
Cernicalo vulgar <i>Falco tinnunculus</i> (n=3)	0.048	-	0.020	-	-		
Halcón esmerejón <i>Falco columbarius</i> (n=1)	0.082	-	0.024	-	-		
Alcotán europeo <i>Falco subbuteo</i> (n=2)	0.023	-	0.011	-	-		
Halcón peregrino <i>Falco peregrinus</i> (n=1)	0.060	-	0.013	-	-		
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=16)	-	-	0.008	-	0.002		
Mochuelo europeo <i>Athene noctua</i> (n=3)	0.046	-	0.073	-	-		
Autillo europeo <i>Otus scops</i> (n=1)	0.212	-	0.295	-	-		
Búho cuerno corto <i>Asio flammeus</i> (n=1)	0.028	-	0.062	-	-		
Águila moteada <i>Aquila clanga</i> (n=3)	0.021	-	0.028	-	-		
Gavilán común <i>Accipiter nisus</i> (n=11)	0.033	-	0.0810	-	-		
Cernicalo vulgar <i>Falco tinnunculus</i> (n=3)	0.048	-	0.020	-	-		
Halcón esmerejón <i>Falco columbarius</i> (n=1)	0.082	-	0.024	-	-		
Alcotán europeo <i>Falco subbuteo</i> (n=2)	0.023	-	0.011	-	-		
Halcón peregrino <i>Falco peregrinus</i> (n=1)	0.060	-	0.013	-	-		
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=16)	-	-	0.008	-	0.002		
Mochuelo europeo <i>Athene noctua</i> (n=3)	0.046	-	0.073	-	-		
Autillo europeo <i>Otus scops</i> (n=1)	0.212	-	0.295	-	-		
Búho cuerno corto <i>Asio flammeus</i> (n=1)	0.028	-	0.062	-	-		
Águila moteada <i>Aquila clanga</i> (n=3)	0.021	-	0.028	-	-		
Gavilán común <i>Accipiter nisus</i> (n=11)	0.033	-	0.0810	-	-		
Cernicalo vulgar <i>Falco tinnunculus</i> (n=3)	0.048	-	0.020	-	-		
Halcón esmerejón <i>Falco columbarius</i> (n=1)	0.082	-	0.024	-	-		
Alcotán europeo <i>Falco subbuteo</i> (n=2)	0.023	-	0.011	-	-		
Halcón peregrino <i>Falco peregrinus</i> (n=1)	0.060	-	0.013	-	-		
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=16)	-	-	0.008	-	0.002		
Mochuelo europeo <i>Athene noctua</i> (n=3)	0.046	-	0.073	-	-		
Autillo europeo <i>Otus scops</i> (n=1)	0.212	-	0.295	-	-		
Búho cuerno corto <i>Asio flammeus</i> (n=1)	0.028	-	0.062	-	-		
Águila moteada <i>Aquila clanga</i> (n=3)	0.021	-	0.028	-	-		
Gavilán común <i>Accipiter nisus</i> (n=11)	0.033	-	0.0810	-	-		
Cernicalo vulgar <i>Falco tinnunculus</i> (n=3)	0.048	-	0.020	-	-		
Halcón esmerejón <i>Falco columbarius</i> (n=1)	0.082	-	0.024	-	-		
Alcotán europeo <i>Falco subbuteo</i> (n=2)	0.023	-	0.011	-	-		
Halcón peregrino <i>Falco peregrinus</i> (n=1)	0.060	-	0.013	-	-		
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=16)	-	-	0.008	-	0.002		
Mochuelo europeo <i>Athene noctua</i> (n=3)	0.046	-	0.073	-	-		
Autillo europeo <i>Otus scops</i> (n=1)	0.212	-	0.295	-	-		
Búho cuerno corto <i>Asio flammeus</i> (n=1)	0.028	-	0.062	-	-		
Águila moteada <i>Aquila clanga</i> (n=3)	0.021	-	0.028	-	-		
Gavilán común <i>Accipiter nisus</i> (n=11)	0.033	-	0.0810	-	-		
Cernicalo vulgar <i>Falco tinnunculus</i> (n=3)	0.048	-	0.020	-	-		
Halcón esmerejón <i>Falco columbarius</i> (n=1)	0.082	-	0.024	-	-		
Alcotán europeo <i>Falco subbuteo</i> (n=2)	0.023	-	0.011	-	-		
Halcón peregrino <i>Falco peregrinus</i> (n=1)	0.060	-	0.013	-	-		
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=16)	-	-	0.008	-	0.002		
Mochuelo europeo <i>Athene noctua</i> (n=3)	0.046	-	0.073	-	-		
Autillo europeo <i>Otus scops</i> (n=1)	0.212	-	0.295	-	-		
Búho cuerno corto <i>Asio flammeus</i> (n=1)	0.028	-	0.062	-	-		
Águila moteada <i>Aquila clanga</i> (n=3)	0.021	-	0.028	-	-		
Gavilán común <i>Accipiter nisus</i> (n=11)	0.033	-	0.0810	-	-		
Cernicalo vulgar <i>Falco tinnunculus</i> (n=3)	0.048	-	0.020	-	-		
Halcón esmerejón <i>Falco columbarius</i> (n=1)	0.082	-	0.024	-	-		
Alcotán europeo <i>Falco subbuteo</i> (n=2)	0.023	-	0.011	-	-		
Halcón peregrino <i>Falco peregrinus</i> (n=1)	0.060	-	0.013	-	-		
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=16)	-	-	0.008	-	0.002		
Mochuelo europeo <i>Athene noctua</i> (n=3)	0.046	-	0.073	-	-		
Autillo europeo <i>Otus scops</i> (n=1)	0.212	-	0.295	-	-		
Búho cuerno corto <i>Asio flammeus</i> (n=1)	0.028	-	0.062	-	-		
Águila moteada <i>Aquila clanga</i> (n=3)	0.021	-	0.028	-	-		
Gavilán común <i>Accipiter nisus</i> (n=11)	0.033	-	0.0810	-	-		
Cernicalo vulgar <i>Falco tinnunculus</i> (n=3)	0.048	-	0.020	-	-		
Halcón esmerejón <i>Falco columbarius</i> (n=1)	0.082	-	0.024	-	-		
Alcotán europeo <i>Falco subbuteo</i> (n=2)	0.023	-	0.011	-	-		
Halcón peregrino <i>Falco peregrinus</i> (n=1)	0.060	-	0.013	-	-		
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=16)	-	-	0.008	-	0.002		
Mochuelo europeo <i>Athene noctua</i> (n=3)	0.046	-	0.073	-	-		
Autillo europeo <i>Otus scops</i> (n=1)	0.212	-	0.295	-	-		
Búho cuerno corto <i>Asio flammeus</i> (n=1)	0.028	-	0.062	-	-		
Águila moteada <i>Aquila clanga</i> (n=3)	0.021	-	0.028	-	-		
Gavilán común <i>Accipiter nisus</i> (n=11)	0.033	-	0.0810	-	-		
Cernicalo vulgar <i>Falco tinnunculus</i> (n=3)	0.048	-	0.020	-	-		
Halcón esmerejón <i>Falco columbarius</i> (n=1)	0.082	-	0.024	-	-		
Alcotán europeo <i>Falco subbuteo</i> (n=2)	0.023	-	0.011	-	-		
Halcón peregrino <i>Falco peregrinus</i> (n=1)	0.060	-	0.013	-	-		
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=16)	-	-	0.008	-	0.002		
Mochuelo europeo <i>Athene noctua</i> (n=3)	0.046	-	0.073	-	-		
Autillo europeo <i>Otus scops</i> (n=1)	0.212	-	0.295	-	-		
Búho cuerno corto <i>Asio flammeus</i> (n=1)	0.028	-	0.062	-	-		
Águila moteada <i>Aquila clanga</i> (n=3)	0.021	-	0.028	-	-		
Gavilán común <i>Accipiter nisus</i> (n=11)	0.033	-	0.0810	-	-		
Cernicalo vulgar <i>Falco tinnunculus</i> (n=3)	0.048	-	0.020	-	-		
Halcón esmerejón <i>Falco columbarius</i> (n=1)	0.082	-	0.024	-	-		
Alcotán europeo <i>Falco subbuteo</i> (n=2)	0.023	-	0.011	-	-		
Halcón peregrino <i>Falco peregrinus</i> (n=1)	0.060	-	0.013	-	-		
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=16)	-	-	0.008	-	0.002		
Mochuelo europeo <i>Athene noctua</i> (n=3)	0.046	-	0.073	-	-		
Autillo europeo <i>Otus scops</i> (n=1)	0.212	-	0.295	-	-		
Búho cuerno corto <i>Asio flammeus</i> (n=1)	0.028	-	0.062	-	-		
Águila moteada <i>Aquila clanga</i> (n=3)	0.021	-	0.028	-	-		
Gavilán común <i>Accipiter nisus</i> (n=11)	0.033	-	0.0810	-	-		
Cernicalo vulgar <i>Falco tinnunculus</i> (n=3)	0.048	-	0.020	-	-		
Halcón esmerejón <i>Falco columbarius</i> (n=1)	0.082	-	0.024	-	-		
Alcotán europeo <i>Falco subbuteo</i> (n=2)	0.023	-	0.011	-	-		
Halcón peregrino <i>Falco peregrinus</i> (n=1)	0.060	-	0.013	-	-		
Busardo ratonero <i>Buteo buteo</i> (n=16)	-	-	0.008	-	0.002		
Mochuelo europeo <i>Athene noctua</i> (n=3)	0.046	-	0.073	-	-		
Autillo europeo <i>Otus scops</i> (n=1)	0.212	-	0.295	-	-		
Búho cuerno corto <i>Asio flammeus</i> (n=1)	0.028	-	0.062	-	-		
Águila moteada <i>Aquila clanga</i> (n=3)	0.021	-	0.028	-	-		
Gavilán común <i>Accipiter nisus</i> (n=11)	0.033	-	0.0810				

Tabla 13 (Continuación). Concentraciones de plaguicidas organoclorados detectadas en plumas y concentraciones que causan efectos en la salud de las aves.

Especie	Concentración OC µg/g						Resultados	Lugar de estudio	Referencia
	ΣHCH	ΣEndo	ΣDDT	ΣDrines	ΣHept	ΣClor			
Pato de collar (<i>Anas platyrhynchos</i>) (n=10)	Barbas: 0.028 Cañón: 0.011	Barbas: 0.197 Cañón: 0.052	Barbas: 0.052 Cañón: 0.027	Barbas: 0.326 Cañón: 0.177	Barbas: 0.011 Cañón: 0.008	-	Plumas en general Reportan concentraciones	España	Espín <i>et al.</i> , 2010
Azor (<i>Accipiter gentilis</i>) (n=18)	β-HCH: 0.0003	-	pp-DDE: 0.0439	-	-	-			
Pigargo europeo (<i>Haliaeetus albicilla</i>) (n=15)	β-HCH: 0.0001	-	pp-DDE: 0.0083	-	-	-	Plumas del pecho y del dorso Reportan concentraciones Correlación con tejidos internos	Noruega	Eulaers <i>et al.</i> , 2011a
Águila real (<i>Aquila chrysaetos</i>) (n=15)	β-HCH: 0.0002	-	pp-DDE: 0.0333	-	-	-			
Pigargo europeo (<i>Haliaeetus albicilla</i>) (n=15)	2.8	pp-DDE: 0.019	0.006				Plumas corporales Reportan concentraciones Correlación con tejidos internos	Bélgica	Jaspers <i>et al.</i> , 2011
Pigargo europeo (<i>Haliaeetus albicilla</i>) (n=14)	-	pp-DDE: 0.006	-	0.0008			Reportan concentraciones Correlación con tejidos internos	Noruega	Eulaers <i>et al.</i> , 2011b
Alca común <i>Alca torda</i> (n=50)	0.174	0.114	0.323	0.061	0.196	-	10a pluma primaria Reportan concentraciones. Las concentraciones de las cinco familias detectadas, se correlacionaron con concentraciones en músculo. Las cuales no representan riesgo a las aves	España	Espín <i>et al.</i> , 2012

Concentración= ppm ó µg/g en base seca, ΣEndo=Sumatoria de Endosulán, ΣHept=Sumatoria de Heptacloro, ΣClor=Sumatoria de Clordanos, n= número de individuos.

Tabla 14. Concentraciones de plaguicidas organoclorados detectadas en sangre y concentraciones que causan efectos en la salud de las aves.

Especie	Concentración OC µg/ml						Resultados	Lugar de estudio	Referencia
	ΣHCH	ΣEndo	ΣDDT	ΣDrines	ΣHept	ΣClor			
Águila cabeza blanca (<i>Haliaeetus leucocephalus</i>) (n=35)	-	-	pp-DDE: 140	Dieldrín: 10	-	-	Reportan concentraciones	Estados Unidos	Henry et al., 1981
Halcón peregrino (<i>Falco peregrinus</i>) (n=5-41) hembras	β-HCH: 2600	-	pp-DDE: 220000 pp-DDT: 4900 pp-DDD: 3500	-	Hept epox: 17000	Trans: 3200 Cis: 2400	Reportan concentraciones Calculan concentraciones en huevos a partir de concentraciones en plasma. Las concentraciones de pp-DDE, no representan riesgo a las aves.	Groenlandia	Jarman et al., 1994
Búho cornudo (<i>Bubo virginianus</i>) Juveniles (n=59) Adultos (n=20)	-	-	-	Dieldrín Juveniles 0.22 Adultos 0.34	-	-	Reportan concentraciones Evaluación de la supervivencia Mortalidad	Estados Unidos	Frank y Lutz, 1999
Buitre dorsiblanco africano (<i>Pseudogyps africanus</i>) (n=60)	β-HCH: 2540 γ-HCH: 5720	24300	3680	Dieldrín: 8270 Endrín: 1470	Hept epox: 2210	Cis: 150	Reportan concentraciones Comparaciones entre concentraciones en diferentes tejidos	Sudáfrica	Van Wyk et al., 2001
Gaviota blanca (<i>Larus hyperboreus</i>) (n=92)	Hembras: 11.3 Machos: 23.6	-	pp-DDE: 61.2 pp-DDE: 113.3	-	-	-	Las concentraciones de pp-DDE se correlacionaron con efectos letales en temporada reproductiva y subletales en éxito reproductivo.	Noruega	Busnes et al., 2003
Alimoche común (<i>Neophron percnopterus</i>) (n=27)	-	-	0.004	-	-	-	Reportan concentraciones	España	Gómara et al., 2004
Búho cornudo (<i>Bubo virginianus</i>) (n=3)	-	-	0.047	-	-	-	Evaluación de riesgo Comparación entre las concentraciones en plasma y huevos. Las concentraciones no representan un riesgo a las aves.	Estados Unidos	Strausse et al., 2007
Cernícalo americano (<i>Falco sparverius</i>)	β-HCH: 7.0×10^{-13} γ-HCH: 4.0×10^{-13} δ-HCH: 7.0×10^{-13}	Endo I: 5.0×10^{-13} Endo II: 7.0×10^{-13} Endo sulf: 4.0×10^{-13}	pp-DDE: 1.2×10^{-12}	Aldrín: 9.0×10^{-13} Dieldrín: 2.4×10^{-11}	Hept: 7.0×10^{-13} Hept epox: 4.0×10^{-13}	-	Reportan concentraciones	México	Rivera-Rodriguez et al., 2007

Concentración= ppm ó µg/ml en base húmeda, ΣEndo=Sumatoria de Endosulfán, ΣHept=Sumatoria de Heptacloro, ΣClor=Sumatoria de clordanos, Trans=Transclordano, Cis=Cisclordano, Endo I=Endosulfán I, Endo II=Endosulfán II, Hept=Heptacloro, Hept epox=Heptacloro epóxido.

Tabla 14 (Continuación). Concentraciones de plaguicidas organoclorados detectadas en sangre y concentraciones que causan efectos en la salud de las aves.

Especie	Concentración OC µg/ml				Resultados	Lugar de estudio	Referencia
	ΣHCH	ΣEndo	ΣDDT	ΣDrines			
Águila calzada (<i>Hieraaetus pennatus</i>) (n=62) pollos	α-HCH: 1670 β-HCH: 6190 δ-HCH: 7380 γ-HCH: 10100	Endo I: 43060 Endo II: 16300 Endo sulf: 29750	-	-	Reportan concentraciones Comparan entre años	España	Martínez-López et al., 2009
	1200	5330	2650	Aldrin: 120 Dieldrin: 3470 Endrin: 150	Reportan concentraciones	España	Gómez, 2010
Lechuza campanario <i>Tyto alba</i> (n=1)	n.d.	0.058	0.079	Dieldrin: 0.006	0.028	-	-
Milano negro (<i>Milvus migrans</i>) (n=51)	0.077	0.044	0.042	Dieldrin: 0.009	0.026	-	Reportan concentraciones
Gavián besra (<i>Accipiter virgatus</i>) (n=4)	0.166	0.153	0.044	Dieldrin: 0.004	0.021	-	Dhananjayan y Muralidharan, 2010
Azor (<i>Accipiter gentilis</i>) (n=16)	β-HCH: 0.0001	-	pp-DDE: 0.007	-	Hept epox: 0.0002	0.0007	-
Pigargo europeo (<i>Haliaeetus albicilla</i>) (n=5)	β-HCH: 0.0001	-	pp-DDE: 0.005	-	Hept epox: 0.0002	0.002	Alteraciones en parámetros bioquímicos
Águila real (<i>Aquila chrysaetos</i>) (n=2)	β-HCH: 0.0001	-	pp-DDE: 0.002	-	Hept epox: 0.0001	0.0004	-
Buitre negro (<i>Aegypius monachus</i>) (n=30)	0.004	0.002	0.004	0.003	0.001	-	Reportan concentraciones Comparaciones de las concentraciones, entre ambas especies.
Buitre leonado (<i>Gyps fulvus</i>) (n=15)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.001	-	Goutner et al., 2011
Águila pescadora (<i>Pandion haliaetus</i>) (n=28)	4.09 x10 ⁻¹⁰	9.2 x10 ⁻¹³	9.87 x10 ⁻¹⁰	2.332x10 ⁻¹²	2.07x10 ⁻¹⁰	-	Reportan concentraciones Alteraciones en parámetros bioquímicos

Concentración= ppm ó µg/ml en base húmeda, ΣEndo=Sumatoria de Endosulfán, ΣHept=Sumatoria de Heptacloro, ΣClor=Sumatoria de clordanos, Endo I=Endosulfán I, Endo II=Endosulfán II, Endo sulf=Endosulfán sulfato, Hept=Heptacloro, Hept epox=Heptacloro epóxido.

Riesgo de las concentraciones en plumas y sangre en los tecolotes

Los únicos dos estudios en donde relacionan la presencia de plaguicidas organoclorados en plumas con respecto a alteraciones al estado de salud o a la supervivencia de las aves, han sido realizados en laboratorio (Tabla 13). El primero fue realizado por *Hall et al.*, (1971) con el faisán común (*Phasianus colchicus*), en donde a diferentes dosis orales de Aldrín (0.5, 1.0 y 1.5 mg), las aves murieron y encontraron 0.81 µg/g en las plumas. En los tecolotes en específico el aldrín estuvo por debajo del límite de detección. Sin embargo, el dieldrín si se detectó en las plumas, esto pudo deberse a que el aldrín se metabolizó de manera muy rápida en los tecolotes, como para fuera detectable (Rivera-Rodríguez *et al.*, 2007). Por otro lado, Greichus *et al.*, (1975) en pollos del pelícano blanco (*Pelecanus erythrorhynchos*), con dosis orales de 20 mg *pp*-DDT, 15 mg *pp*-DDE y 15 mg *pp*-DDD, reportaron una concentración media en las plumas de 47.9 µg/g de ΣDDT y encontraron alteraciones en parámetros bioquímicos como una disminución en los niveles de potasio, aumento en los niveles de proteínas séricas y posteriormente la muerte en estas aves. En los tecolotes, la concentración de ΣDDT promedio en las plumas fue mucho menor 0.04 µg/g. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que en el caso de los pelícanos la toma fue de manera directa, además que en las aves marinas las concentraciones de los compuestos organoclorados son más altas que en otras familias aviares (Kinusue *et al.* 2002).

En el estudio realizado por Espín *et al.*, (2011) con el alca común, así como en el estudio llevado a cabo por Behrooz *et al.*, (2009) con diferentes especies de aves rapaces (Tabla 13), mencionan que las concentraciones de los

organoclorados en plumas estuvieron fuertemente correlacionadas con concentraciones detectadas en músculo y en hígado respectivamente. Los autores concluyen que estos niveles de exposición (en músculo y en hígado) raramente causan efectos reproductivos, anormalidades en el comportamiento o signos de intoxicación en las aves.

En el caso de las muestras de sangre, existen pocos trabajos en donde hayan realizado correlaciones entre las concentraciones en este tejido con respecto a alteraciones en el estado de salud o la supervivencia de las aves (Tabla 14). En el estudio de Frank y Lutz (1999) realizado en Colorado, Estados Unidos durante tres años con el búho cornudo (*Bubo virginianus*), se reportaron mortalidades en adultos y juveniles de este Strigiforme. El dieldrín presentó concentraciones medias en sangre de 0.34 µg/ml y de 0.22 µg/ml respectivamente. Los autores explican que fue por la movilización del dieldrín hacia otros tejidos debido al estrés nutricional relacionado con la reproducción, de igual modo para los juveniles el dieldrín a partir de las nueve semanas de edad, fue fuertemente relacionado con su supervivencia (Frank y Lutz 1999). Esto resulta importante, ya que en los tecolotes en específico el dieldrín tuvo una concentración media de 0.25 µg/ml, la cual se encuentra dentro del rango entre los adultos y juveniles del búho cornudo. Por lo que podría suponerse que los tecolotes se encuentran en riesgo de padecer una toxicidad aguda.

Sonne *et al.*, (2010) en Noruega, en pollos de azor (*Accipiter gentilis*), de pigargo europeo (*Haliaeetus albicilla*) y de águila real (*Aquila chrysaetos*) encontraron correlaciones positivas significativas de la concentración media de *pp*-DDE (0.007 µg/ml, 0.005 µg/ml y 0.002 µg/ml, respectivamente) y la enzima

alanina aminotransferasa, la bilirrubina total y la creatinina. También con el heptacloro epóxido (0.0002 µg/ml, 0.0002 µg/ml y 0.0001 µg/ml, respectivamente), con el ácido úrico y la creatinina. Además en el azor, se encontró una correlación positiva entre el heptacloro epóxido (0.0002 µg/ml) y los ΣClordanos (0.0007), con el colesterol. De igual manera en el pigargo europeo, se correlacionó positivamente el colesterol con la concentración media de los ΣClordanos (0.002 µg/ml). Los autores explican que estos hallazgos sugieren alteraciones a nivel hepático y renal. El heptacloro epóxido en las muestras sanguíneas de los tecolotes estuvo por debajo del límite de detección; sin embargo, las concentraciones de *pp*-DDE y de los Σclordanos (0.02 µg/ml y 0.05 µg/ml, respectivamente) son más altas que las reportadas en estas rapaces diurnas.

De manera contraria, en el estudio realizado por Rivera-Rodríguez y Rodríguez-Estrella (2011) encontraron correlaciones negativas. Los autores mencionan que aunque encontraron bajas concentraciones de organoclorados en los pollos de águila pescadora, los valores de triglicéridos disminuyeron conforme aumentaban las concentraciones de *pp*-DDE (9.22×10^{-13} µg/ml) y de β-HCH (1.77×10^{-13} µg/ml). De igual forma, la concentración de hemoglobina corpuscular media disminuyó conforme aumentaban las concentraciones de dieldrín (9.69×10^{-13} µg/ml) y de heptacloro epóxido (1.38×10^{-13} µg/ml). Al igual que en el estudio anterior, estas concentraciones resultan ser mucho más bajas que en los tecolotes (*pp*-DDE= 0.02 µg/ml, β-HCH=0.04 µg/ml y dieldrín 0.25 µg/ml); esto podría suponer que *G. brasilianum*, pudiera presentar alteraciones en los valores de hematología y química sanguínea; debido a que las concentraciones detectadas fueron más altas que las reportadas en pollos de azor, de pigargo europeo y de

águila real en Noruega, y en pollos de águila pescadora en Baja California, México. Sin embargo Sonne *et al.*, (2010), explican que no se puede distinguir entre los parámetros bioquímicos, con respecto a la presencia de plaguicidas organoclorados y los valores “normales” de estos parámetros en las especies. Ya que en general los valores de química sanguínea y hematología aviar son difíciles de interpretar, por la escasez de estudios sobre este tema.

Por otro lado, en un estudio realizado en Groenlandia con hembras de halcón peregrino (*Falco peregrinus*), calculan las concentraciones en huevo de *pp*-DDE a partir de las concentraciones en plasma detectadas (*pp*-DDE=220,000 µg/ml), para determinar si se encuentra en riesgo la supervivencia de las aves. Los resultados indican que las aves no se encuentran en peligro debido a que la concentración crítica de *pp*-DDE que ha causado declines poblacionales en huevo es de 20 000 000 µg/ml y en sangre es de 3 200 000 µg/ml de este compuesto (Jarman *et al.*, 1994).

Sin embargo, en la gaviota hiperbórea (*Larus hyperboreus*) en Noruega, reportan que concentraciones de ΣHCH de 11.3 µg/ml para las hembras y de 23.6 µg/ml, para los machos, así como concentraciones del *pp*-DDE de 61.2 µg/ml y de 113.3 µg/ml para hembras y para machos respectivamente, además de concentraciones encontradas para PCBs sugieren efectos tóxicos que resultan ser letales durante la temporada reproductiva, además de manifestar efectos subletales en el éxito reproductivo (Bustnes *et al.*, 2003). Estas concentraciones resultan ser mucho más altas que las encontradas en los tecolotes (*pp*-DDE 0.02 µg/ml, ΣHCH 0.08 µg/ml).

No obstante, como en el caso de los pelicanos se debe tomar en cuenta que las aves marinas o que se encuentran en hábitats marinos presentan compuestos organoclorados en mayores concentraciones (Kinusue *et al.* 2002). Con respecto a esto, se deben realizar más estudios para determinar si las concentraciones tanto en plumas como en sangre de los plaguicidas organoclorados representan un riesgo a la supervivencia de *G. brasilianum* en el Cerro Sonsonate.

Examen físico

A partir del examen físico general realizado en cada tecolote, se identificó solo en un ejemplar la presencia de 12 individuos de ectoparásitos en las plumas de la zona del pecho y de las alas, sin cambios patológicos aparentes. Estos parásitos pertenecen a la familia de los ácaros (com. personal. Hernández, 2015). En el caso de los Strigiformes se pueden encontrar tres familias de ácaros en las plumas con sus respectivos géneros: Kramerellidae (*Dermonton*, *Kramerella* y *Petitota*), Psoroptoididae (*Pandalura*) y Xolagidae (*Glaucalgae*) (Phillips, 2000). Las especies de *Kramerella* son hospederos específicos, se encuentran en las plumas primarias y a menudo se pueden encontrar por miles en un solo individuo. Para el caso de los Strigiformes del género *Glaucidium*, se han identificado *Kramerella sp.*, *Dermonton eventratus* y *Kramerella glaucidii* (Phillips, 2000). Por otro lado, Proudfoot *et al.*, (2006) reportó una especie de garrapata (*Philornis mimicota*) en *Glaucidium brasilianum*. Estos autores mencionan que aún se desconoce cómo estos parásitos afectan a esta especie y aunque los parásitos hematófagos pueden en caso de una infestación severa producir anemia y

posteriormente la muerte, se necesitan más estudios para determinar cómo estos parásitos afectan a las poblaciones de sus hospederos (Proudfoot *et al.*, 2006). Se ha reportado que las aves rapaces de vida libre comúnmente presentan carga parasitaria y que en general los ectoparásitos no causan enfermedad (Cooper, 2002), pero esto va a depender de su patogenicidad, de la especie de hospedero, del número de carga parasitaria y de factores internos que impacten en la respuesta inmune del hospedero (Friend y Franson, 1999).

Las medidas morfométricas, mostraron que la longitud de las plumas rectrices (cola) fue la variable que tuvo más variación con respecto al largo al resto de las demás. El peso también presentó variación y Larsen (2012) indica que en esta especie existen ligeras diferencias en las medidas y el peso entre sexos; en medidas como el culmen (11 ± 0.8 mm para los machos, $n=291$ y de 11.4 ± 0.8 mm en el caso de las hembras, $n=186$); en el largo del ala (machos $n=304$, 94.4 ± 4.4 mm y hembras $n=104$, 98.7 ± 3.7 mm) largo de la cola (machos $n=299$, 60.6 ± 4 mm y hembras $n=188$, 63.3 ± 3.4 mm) y el peso (63.3 ± 6.3 g en los machos y 73.0 ± 7.9 en las hembras).

Condición corporal y peso

El peso debe ser comparado o relacionado con la condición corporal (palpando los músculos pectorales); ya que esto provee una perspectiva clínica del peso ideal de una especie en particular (Ritchie *et al.*, 1994). Los tecolotes evaluados en general mostraron una buena condición corporal, aunque la mayoría de ellos se ubicaron en la categoría CC2 ($n=11$), debido a que ninguno mostró signos de emaciación. Cabe señalar que el presente estudio se realizó en temporada seca (reproducción)

y temporada de lluvias (anidación) y que el peso pudo haber variado; esto debido a que se ha reportado que en esta especie cambia durante la temporada reproductiva, con una pérdida de peso en las hembras de 15-20% y en los machos de 10-15% (Larsen, 2012).

La condición corporal y el peso son dos de los factores que determinan las concentraciones de los plaguicidas organoclorados en los organismos (Bustnes *et al.*, 2008; Espín *et al.*, 2010). En un estudio realizado en la costa norte de Noruega, se encontró que en el gavión atlántico (*Larus marinus*) (n=260) tanto los pollos que acababan de nacer, como sus madres mostraron correlaciones negativas significativas con respecto a las concentraciones de oxiclordano en plasma sanguíneo, el peso y la condición corporal; en donde los individuos que pesaban menos y tenían una pobre condición corporal, presentaron mayores concentraciones de este organoclorado (Bustnes *et al.*, 2008). Esto se debe a que en las aves emaciadas se conduce a una movilización de los lípidos corporales, lo cual libera plaguicidas organoclorados que estaban almacenados, hacia la sangre (Bustnes *et al.*, 2008).

En el caso de los tecolotes no se encontraron correlaciones significativas entre las concentraciones de los plaguicidas organoclorados detectadas en plumas y en sangre, con respecto a la condición corporal y el peso. Quizá porque en general los individuos presentaron una buena y moderada condición corporal, de modo que la población de estudio era bastante homogénea y hubieron pocas aves con una condición corporal baja (n=3).

Cabe señalar que no se encontraron estudios donde se haya correlacionado las concentraciones de los compuestos organoclorados en plumas

con respecto al peso y a la condición corporal. Sin embargo el Σ DDT y el peso, presentaron una correlación positiva en el límite de significancia ($r= 0.60$, $p=0.05$), muestra altas concentraciones de Σ DDT en plumas con individuos que tienen mayor peso. El DDT es muy persistente en los organismos, se degrada muy lentamente y es altamente almacenado en el tejido adiposo (Turusov *et al.* 2002). Por lo tanto, debido a que los búhos presentaron en general una buena condición corporal, una mayor proporción de compuestos liposolubles como lo es el DDT es almacenado en el tejido adiposo (Espín, 2013). Además las plumas ya estaban completamente formadas en los tecolotes, por lo tanto los plaguicidas ya estaban almacenados en éstas. Esto pudiera explicar la correlación positiva entre las concentraciones del Σ DDT en las plumas, con respecto al peso. Además, se debe considerar que además de la condición corporal y el peso, las concentraciones de plaguicidas organoclorados en los organismos también van a depender del sexo, la edad; así como de la naturaleza lipofílica del organoclorado en estudio (Lydersen *et al.*, 2002). Además, no existen datos disponibles en la literatura de la estructura química específica y de las capacidades de enlace de los organoclorados en el tejido de la pluma (García-Fernández *et al.* 2013).

Plaguicidas organoclorados en plumas y sangre

Las correlaciones entre las concentraciones detectadas en plumas y sangre de los tecolotes del presente estudio, en su mayoría no presentaron significancia. Sin embargo, el Σ DDT sí ($r=0.874$, $p=0.023$). Con respecto a esto sólo se han realizado dos estudios en donde han correlacionado las concentraciones en plumas y las concentraciones en sangre (Espín *et al.*, 2013).

El primero fue realizado por Eulaers *et al.*, (2011a) en Noruega, con pollos de azor (*Accipiter gentilis*) (n=18), así como de pigargo europeo (*Haliaeetus albicila*) (n=5) y del águila real (*Aquila chrysaetos*) (n=15). En el caso de los plaguicidas organoclorados, detectaron *pp*-DDE, β -HCH y Σ Clordano. Las correlaciones entre estos compuestos en plumas y sangre, mostraron significancia sólo para el *pp*-DDE ($r=0.86$, $p=0.012$; $n=7$) en el azor, mientras que el pigargo europeo mostró una tendencia ($r=0.83$, $p=0.08$; $n=5$); las concentraciones en el águila real no mostraron significancia ($r=0.64$, $p=0.16$). Los autores mencionan que esto pudo deberse a que el número de muestra de esta ave fue pequeño y concluyen que en general, para los COP (contaminantes orgánico persistentes) evaluados, se encontraron fuertes correlaciones entre las concentraciones en las plumas y en el plasma sanguíneo, indicando que las plumas de los pollos pueden reflejar el estado de contaminación interno, debido a que la toma de muestra de plumas y de sangre se realizó en el mismo momento y las plumas que fueron utilizadas en el estudio estaban todavía en desarrollo cuando fueron colectadas.

Posteriormente en Irlanda, Eulaers *et al.*, (2011b), realizaron otro estudio sólo con pollos de pigargo europeo (n=14), en donde reportaron *pp*-DDE y Σ Clordano. Estos compuestos organoclorados en las muestras de plumas y sangre no mostraron correlaciones significativas (*pp*-DDE $r=0.50$, $p=0.06$; Σ Clordano $r=0.47$, $p=0.08$, respectivamente). No obstante estos resultados los autores lo manejan como una tendencia.

Los estudios mencionados anteriormente en el azor, el *pp*-DDE si mostró significancia y aunque en las otras especies se muestre como una tendencia, este hecho puede significar que el uso de la pluma, para el caso del Σ DDT nos pueda

dar una idea de lo que ocurre internamente en las aves. Eulaers *et al.*, (2011a), en el caso del azor, lo explica debido a los hábitos de esta especie ya que se encuentra en áreas rurales con una alta actividad agrícola. Este dato es de interés, ya que el tecolote bajoño (*G. brasilianum*) en México utiliza diferentes tipos de hábitat, entre los que se encuentran las áreas rurales, en general en áreas perturbadas (del Hoyo *et al.*, 1999; Enríquez-Rocha y Rangel, 2008; König *et al.*, 2008; Larsen, 2012). Por otro lado Eulaers *et al.*, (2011b), menciona que las plumas cuando cesan su crecimiento y se atrofian, ya no son irrigadas por el torrente sanguíneo, lo que resulta en un secuestro de las concentraciones de los compuestos organoclorados en éstas. Por lo que ya no reflejan la acumulación actual de las concentraciones en plasma sanguíneo. Ellos explican hipotéticamente que los niveles internos de *pp*-DDE pueden ser menos variables y por lo tanto sus patrones de acumulación son constantes entre plumas y sangre. Por lo tanto, la hipótesis que ellos plantean pudiera demostrarse en el caso de las concentraciones encontradas de Σ DDT en plumas y sangre del tecolote bajoño, ya que mostraron una correlación estadísticamente significativa.

Por lo tanto, el uso de la pluma para determinar la presencia de estos plaguicidas organoclorados en el tecolote bajoño resulta ser de gran utilidad; ya que en este tejido se detectaron todas las familias químicas de los plaguicidas organoclorados, al igual que en sangre completa. Sin embargo, si se quiere realizar una aproximación a cerca de las concentraciones internas mediante el uso de la pluma, se recomienda que sólo sea para el Σ DDT.

Poder estadístico

En relación a lo anterior con base a la prueba de poder estadístico realizada para la correlación entre las concentraciones de los plaguicidas organoclorados entre plumas y sangre, se considera que el tamaño de muestra adecuado debió ser de 134 individuos. Puesto que los resultados de esta prueba mostraron valores muy bajos (0.05 y 0.09) a lo recomendado por convención de $1-\beta=0.80$ (Thomas, 1997), esto sugiere que se obtuvo un poder estadístico bajo, indicando que para esta correlación existe la probabilidad de que se haya cometido un error estadístico tipo II (no rechazar la hipótesis de nulidad cuando es falsa).

De acuerdo con este resultado, se calculó el esfuerzo de captura que se requeriría para capturar 134 tecolotes; por medio del programa EstimateS versión 9.1.0 (Colwell, 2013). Los resultados indican que para los 28 muestreos (un muestreo=un día) que se llevaron a cabo en este estudio, se necesitan 197 muestreos en total para llegar a los 134 individuos. Lo cual se traduce en seis meses y medio de trabajo diario. Sin embargo, para un trabajo de maestría el cual se debe terminar en dos años, no resulta viable. No obstante, son datos interesantes que se deben tomar en cuenta para la planeación a priori de un estudio y posiblemente encontrar más correlaciones significativas.

Sin embargo, cabe mencionar que se han obtenido correlaciones significativas entre las concentraciones en plumas y sangre del DDT con números de muestra pequeños, como en la caso del azor (*Accipiter gentilis*) (n=18) (Eulaers *et al.*, 2011a). Esto sugiere que para el caso muy particular del DDT, podría no necesitarse un número elevado de individuos para obtener correlaciones significativas.

CONCLUSIONES

Este estudio reporta por primera vez la presencia de plaguicidas organoclorados en una especie de Strigiforme en México, así como sus concentraciones en muestras de plumas y en sangre completa. En ambas muestras pero en diferentes individuos, se detectaron las siete familias de organoclorados en estudio. Además se encontraron correlaciones una en el límite de significancia entre el peso y la concentración de Σ DDT en las muestras de plumas y la otra que fue significativa entre la concentración de este plaguicida en plumas y en sangre. En el caso de las plumas se determinaron los plaguicidas organoclorados que han sido depositados y acumulados durante su crecimiento, mientras que en sangre se refleja lo que se encuentra circulando en ese momento en el torrente sanguíneo.

Además, este trabajo aporta información a cerca de los lugares donde habitualmente se encuentra el tecolote bajeño (*G. brasilianum*), en el Cerro Sonsonate en Chiapas. También se reportan los hallazgos al examen físico realizado en campo en esta especie, en el cual se observó la presencia de ectoparásitos en un ejemplar; además se evaluó la condición corporal y el peso, en donde los tecolotes mostraron en general una condición corporal buena y moderada, ya que ninguno mostró signos de emaciación.

La presencia de plaguicidas organoclorados en las muestras de plumas y de sangre en el tecolote bajeño que habita en el cerro Sonsonate y zonas aledañas, indica que este Strigiforme se encuentra expuesto a estos plaguicidas, que si bien algunos están restringidos, otros están prohibidos, pero que debido a su persistencia se encuentran aún en el ambiente.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio, se recomienda incrementar el tamaño de muestra de ejemplares de la especie teniendo más muestreos por mes y más personal, para que se realicen capturas simultáneas en diferentes sitios.

Con el fin de tener tamaños de muestra adecuados para hacer estudios estadísticos que aumenten la potencia en los contrastes y además representar adecuadamente a la población de esta especie. Además realizar este tipo de estudios en otros sitios y llevar a cabo comparaciones entre ellos (sitios perturbados y no perturbados). También se recomienda realizar estudios a largo plazo para determinar si existen diferencias entre temporadas de secas y de lluvias. Por otra parte, es conveniente utilizar plumas que estén en proceso de crecimiento ya que éstas se encuentran todavía en contacto con el torrente sanguíneo, para determinar si existen correlaciones entre los demás compuestos organoclorados entre plumas y sangre. Asimismo, es importante realizar estudios en donde se determine si las concentraciones detectadas en plumas y en sangre causan efectos nocivos en el estado de salud de las poblaciones del tecolote bajeño usando principalmente biomarcadores no destructivos. Por otra parte, es necesario estudiar otros tipos de contaminantes, como plaguicidas organofosforados, retardantes de llama y metales pesados, ya que sin duda, los tecolotes también se encuentran expuestos a estos compuestos. Finalmente, es esencial desarrollar este tipo de estudios con otras especies de rapaces neotropicales y llevar a cabo comparaciones entre especies, tipos de hábitat y regiones geográficas.

Cabe mencionar que el presente estudio es de tipo descriptivo, por lo que sólo se reportan las concentraciones detectadas en los dos tejidos utilizados y que a partir de los resultados obtenidos, no se puede considerar si las poblaciones del tecolote bajoño (*G. brasilianum*) que habitan en el Cerro Sonsonate y zonas aledañas se encuentran en riesgo.

LITERATURA CITADA

- Alegría, H., Bidleman, T, y M. Salvador. 2006. Organochlorine pesticides in the ambient air of Chiapas, Mexico. *Environmental Pollution* 140:483-491.
- ATSDR. 2002. Agency for toxic substance and disease registry "Toxicological profile for DDT, DDE and DDD" U.S. Public Health Service, Atlanta. EUA.
- Badii, M., V. Garza, y J. Landeros. 2006. Efecto de los plaguicidas en la fauna silvestre. *CULCyt* 14:22-44.
- Barrera, L.M., M.J. Calderón, M.E. Cervantes, A. Galván, A. Pérez, A.P. Pineda, R. Ramírez, y A. Rosales. 2002. Catálogo de plaguicidas. Comisión intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas (CICOPLAFEST). México.
<http://www.salud.gob.mx/unidades/dirgsa/>
- Behrooz, R.D., A. Esmaili-Sari, S.M. Ghasempouri, N. Bahramifar, y A. Covaci. 2009. Organochlorine pesticide and polychlorinated biphenyl residues in feathers of birds from different trophic levels of South-West Iran. *Environmental International* 35:285-290.
- Bierregard, R. O. J. 1998. Conservation status of birds of prey in South American tropics. *Journal of Raptor Research* 32:19-27.
- BirdLife International 2012. *Glaucidium brasilianum*. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2. <www.iucnredlist.org>.
Fecha de consulta: 01/12/13.
- Bloom, P. M., W. S. Clark, y J. W. Kidd. 2007. Capture Techniques. 193-219 pp En: *Raptor Research and Management Techniques*. Institute for Wildlife Research, National Wildlife Federation, Washington, D. C. EUA.

- Blus, L.J., Henny, C.J., Krynitsky, A.J., 1985. The effects of heptachlor and lindane on birds, Columbia Basin, Oregon and Washington DC, 1976–1981. *Sci. Total Environ.* 46, 73–81.
- Blus, L.J. 1996. Effects of pesticides on owls in North America. *Journal of Raptor Research* 30:198-206.
- Bustnes, J.O.P., K.E. Erikstad,, J.U. Skaare, V. Bakken, y F. Mehlum. 2003. Ecological effects of organochlorine pollutants in the Artic: A study of the glaucous gull. *Ecological Applications* 13:504-515.
- Bustnes, J.O., P. Fauchald, T. Tveraa, M. Helberg, y J.U. Skaare. 2008. The potencial impact of environmental variation on the concentrations and ecological effects of pollutants in a marine avian top predator. *Environmental International* 34: 193-201.
- Burger, J. 1993. Metals in avian feathers: Bioindicators of environmental pollution. *Reviews in Environmental Toxicology* 5: 203–311.
- Burger, J. y Gochfeld, M. 2000. Metals in albatross feathers from midway atoll: Influence of species, age, and nest location. *Environmental Research* 82: 207–221.
- Burnham, W.A., J.H. Enderson, y T.H. Boardman. 1984. Variation in peregrine falcon eggs. *The Auk* 101:578-583.
- Castro-Castro, V., Y. Siu-Rodas, L.V. González-Huerta, y M. Y. Sokolov. 2005. Efecto tóxico de DDT y endosulfán en postlarvas de camarón blanco, *Litopenaeus vannamei* (Decapoda:Penaeidae) de Chiapas, México . *Revista de Biología Tropical* 53:1-2.
- Colwell, R.K. 2013. Department of ecology & evolutionary biology, University of

Connecticut, Storrs, CT 06869-3043, USA

Cooper, J. 2002. Poisoning in wild (free-living) raptors. pp.163-165 En: Cooper, J, Birds of prey: Health and disease. Blackwell Publishing, Iowa, EUA.

Covaci, A. y P. Schepens. 2001. Chromatographic aspects of the analysis of selected persistent organochlorine pollutants in human hair. Chromatographia 53:S366–S371.

Cruz, E. 2012. Evaluación de posibles efectos de contaminantes sobre la condición biológica de *Calidris mauri* (Scolopacidae) durante la temporada no reproductiva en Sinaloa. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México. Sinaloa, México.

Dauwe, T., V. Jaspers, A. Covaci, P. Schepens, y M. Eens. 2005. Feathers as a nondestructive biomonitor for persistent organic pollutants. Environmental Toxicology and Chemistry 24:442-449.

Del Hoyo, J., A. Elliot, y J. Sagatal. 1999. Handbook of the birds of the world. P. 217 Vol. 5 Barn-owls to Hummingbirds. Lynx Edicions, Barcelona, España.

Dhananjayan, V. Y S. Muralidharan. 2010. Levels of organochlorine pesticide residues in blood plasma of various species of birds from India. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 85:129-136.

Díaz-Barriga, F., A. Trejo-Acevedo, A. Betanzos, G. Espinosa-Reyes, J. Alegría-Torres, y N. Pérez. 2012. Assessment of DDT and DDE levels in soil, dust, and Blood samples from Chihuahua, México. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 62:351-358.

- Dikshith, T.S.S. 1991. Toxicology of pesticides in animals. CRC Press, Florida, EUA.
- Dorough, H.W., K. Hutaren, T.C. Marshall, y H.E. Bryant. 1978. Fate of endosulfan in rats and toxicological considerations of apolar metabolites. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 8: 241-252
- Enríquez, P.L., D.H. Johnson, y J.L. Rangel-Salazar. 2006. Taxonomy, distribution and conservation of owls in the neotropics: a review. pp. 254-307 En: *Current Raptor Studies in México*. CIB. CONABIO, México.
- Enríquez-Rocha, P. Y Rangel, J. L. 2008. Ficha técnica de *Glaucidium brasilianum*. En: Escalante-Pliego, P. (compilador). "Fichas sobre las especies de Aves incluidas en el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-ECOL-2000. Parte 2". Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W042. México, D.F.
- Enríquez, P.L., K. Eisermann, y H. Mikkola. 2012. Los úhos de México y Centroamérica: Necesidades en investigación y conservación. *Ornitología Neotropical* 23:247-260.
- Environmental Protection Agency, 1975. DDT: A review of scientific and economic aspects of the decision to ban its use as a pesticide. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency. EPA-540/1-75-022.
- Espín, S., E. Martínez-López, P. María-Mojica, y A. J. García-Fernández. 2010. Desarrollo de un método analítico para la extracción de plaguicidas organoclorados en plumas. *Anales de Veterinaria de Murcia* 26:77-90.

- Espín S. 2010. Plumas como herramienta de biomonitorización no destructiva en plaguicidas organoclorados: Aplicación a la pluma de alca común (*Alca torda*). Tesis de Maestría. Universidad de Murcia. Murcia, España.
- Espín, S., E. Martínez-López, P. María-Mojica, y A.J. García-Fernández. 2012. Razorbill (*Alca torda*) feathers as an alternative tool for evaluating exposure to organochlorine pesticides. *Ecotoxicology* 21:183-190.
- Espín, S. 2013. Biomonitorización de contaminantes ambientales persistentes y evaluación de efectos subletales en aves silvestres: uso de plumas y biomarcadores de estrés oxidativo. Tesis de Doctorado. Universidad de Murcia, España.
- Eulaers, I., A. Covaci, D. Herzke, M. Eens, C. Sonne, T. Moum, L. Schnug, S. A. Hanssen, T. V. Johnsen, J. O. Bustnes, y V. L. B. Jaspers. 2011a. A first evaluation of the usefulness of feathers of nestling predatory birds for non-destructive biomonitoring of persistent organic pollutants. *Environmental International* 37:622-630.
- Eulaers, I., A. Covaci, J. Hofman, T. Nygard, D. J. Halley, R. Pinxten, M. Eens, y V. L.B. Jaspers. 2011b. A comparison of non-destructive sampling strategies to assess the exposure of White-tailed Eagle nestlings (*Haliaeetus albicilla*) to persistent organic pollutants. *Science of the Total Environment* 410-411:258-265.
- Faul, F., E. Erdfelder, A. Buchner, y A.G. Lang. 2009. Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods* 41:1149-1160.

- Fernández, A., M. Yarto, y J. Castro. 2004. Las sustancias tóxicas persistentes. 1-261 pp INE-SEMARNAT, México. Fichas técnicas de los Insecticidas incluidos en el catálogo CICOPLAFEST 2004.
- <http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/busquedas.html>
- Frank, R.A. y R. S. Lutz. 1999. Productivity and survival of great horned owls exposed to dieldrin. *The Condor* 101:331-339.
- Friend, M y J. Franson. 1999. Manual de campo para enfermedades de fauna Silvestre. Washington: USGS.
- Fry, D.M. 1995. Reproductive effects in birds exposed to pesticides and industrial chemicals. *Environmental Health Perspectives* 103:165-171.
- Gervais, J.A., D.K. Rosenberg, D.M. Fry, L. Trulio, y K.K. Sturm. 2000. Burrowing owls and agricultural pesticides: Evaluation of residues and risks for three populations in California, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19:337-343.
- García, J.P. 2002. Estado actual de la contaminación por metales pesados y pesticidas organoclorados en el Parque Natural de Monfragüe. Tesis de Doctorado. Universidad de Extremadura. Badajoz, España.
- García-Fernández, A.J., J.F. Calvo, E. Martínez-López, P. María-Mojica, y J.E. Martínez. 2008. Raptor ecotoxicology in Spain: A review on persistent environmental contaminants. *Journal of the Human Environment* 37:432-439.
- García-Fernández, A.J., S. Espín, y E. Martínez-López. 2013. Feathers as a biomonitoring tool of polyhalogenated compounds: A review. *Environmental Science & Technology* 47:3028-343.

- García-Gutiérrez, C. y Rodríguez, G. D. 2012. Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra Ximhai* 8:1-10.
- Gómara, B., L. Ramos, I. Gangoso, J.A. Donázar, y M.J. González. 2004. Levels of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in serum samples of Egyptian vulture (*Neophron percnopterus*) from Spain. *Chemosphere* 55:577-583.
- Gómez, P. 2011. El búho real (*Bubo bubo*) como especie biomonitoria de contaminantes ambientales persistentes en el Sureste de España. Tesis de Doctorado. Universidad de Murcia. Murcia, España.
- Goutner, V., T. Skartsi, I. Konstantinou, T. Sakellari, T. Albanis, D. Vasilakis, J. Elorriaga, y K. Poirazidis. 2011. Organochlorine residues in blood of cinereous vultures and Eurasian Griffon vultures in a northeastern Mediterranean area of natura conservation. *Environmental Monitoring and Assessment* 183:259-271.
- Greichus, Y.A., D.J. Call, y B.M. Amman. 1975. Physiological effects of polychlorinated biphenyls or a combination of DDT, DDD, and DDE in peened white pelicans. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 3:330-343.
- Hall, J.E., Y.A. Greichus, y K.E. Severson. 1971. Effects of aldrin on young pen-reared pheasants. *The Journal of Wildlife Management* 35:429-434.
- Henny, C.J., C.R. Griffin, D.W. Stahlecker, A.R. Harmata, y E. Cromartie. 1981. Low DDT residues in plasma of bald eagles (*Haliaeetus leucocephalus*) wintering in Colorado and Missouri. *The Canadian Field Naturalist* 95:249–252.

- Herrera, A., A. Arino, P. Conchelo, R. Lázaro, S. Bayarri, C. Pérez-Arquillue, M.D. Garrido, M. Jodral, y R. Pozo. 1996. Estimates of mean daily intakes of persistent organochlorine pesticides from Spanish fatty foodstuffs. *Bulletin Environmental Contamination Toxicology* 56:173–177.
- Herrera-Portugal, C., G. Franco, G. Bermudez, Y. Schlottfeldt, y H. Barrientos. 2013. Niveles de DDT y metabolitos (DDE y DDD) en peces de consumo humano en una comunidad endémica de paludismo en Chiapas, México. *Higiene y Sanidad Ambiental* 13:1080-1085.
- Hull, B y Bloom, P. 2003. Manual de técnicas de anillado de rapaces del anillador de Norteamérica. 13-15 pp. North American Banding Council. California, EUA.
- Instituto Nacional de Ecología, INE. 2004. El lindano en México. pp. 7-8. Minuta de la reunión de trabajo sobre los usos de lindano en México.
http://www.inecc.gob.mx/descargas/sqre/el_lindano_en_mexico.pdf. Fecha de Consulta: 23/03/15
- Instituto Nacional de Ecología, INE. 2011. Diagnóstico de la situación del endosulfán en México. pp. 14-33. Dirección de Investigación sobre Sustancias Químicas y Riesgos Ecotoxicológicos.
http://www.inecc.gob.mx/descargas/sqre/2011_diag_endosulfan_mex.pdf. Fecha de Consulta: 25/03/15.
- Jarman, W.M., S.A. Burns, W.G. Mattox, y W.S. Seegar. 1994. Organochlorine compounds in the plasma of Peregrine falcons and Gyrfalcons Nesting in Greenland. *The Arctic Journal* 47:334–340.
- Jaspers, V.L.B., S. Voorspoels, A. Covaci, y M. Eens. 2006. Can predatory bird

- feathers be used as a non-destructive biomonitoring tool of organic pollutants?. *Biology Letters* 2:283-285.
- Jaspers, V.L.B., S. Voorspoels, A. Covaci, G. Lepoint, y M. Eens. 2007a. Evaluation of the usefulness of bird feathers as a non-destructive biomonitoring tool for organic pollutants: A comparative and meta-analytical approach. *Environmental International* 33: 328-337.
- Jaspers, V.L.B., A. Covaci, E. Van den Steen, y M. Eens. 2007b. Is external contamination with organic pollutants important for concentrations measured in bird feathers?. *Environmental International* 33:766-722.
- Jaspers, V.L.B., F.S. Rodríguez, D. Boertman, C. Sonne, R. Dietz, L.M. Rasmussen, y M. Covaci. 2011. Body feathers as a potencial new biomonitoring tool in raptors: a study on organohalogenated contaminants in diferent feather types and preen oil of Wets Greenland white-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*). *Environmental International* 37: 1349-1356.
- Jimenez, B.E. 2005. La contaminación ambiental en México. Editorial Limusa, D.F., México.
- Juárez, J.A. 2004. Determinación de contaminantes organoclorados en tres especies de tortugas marinas de Baja California Sur. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, Baja California Sur, México.
- Keller, J.M., J.R. Kucklick, y P.D. McClellan-Green. 2004. Organochlorine contaminants in Loggerhead sea turtle blood: Extraction techniques and distribution among plasma and red blood cells. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 46:254-264.

- Kielhorn, J., S. Schmidt, I. Mangelsdorf, y P. Howe. 2006. Heptachlor. pp. 4-8.
World Health Organization. Ottawa, Canada y Stuttgart, Germany.
- Kinusue, T., T.B. Minh, K. Fukuda, M. Watanabe, S. Tanabe, y M. Titenko. 2002.
Seasonal variation of persistent organochlorine accumulation in birds
from Lake Baikal, Russia, and the role of the South Asian Region as a
source of pollution for wintering migrants. *Environmental Science &
Technology* 36:1396–1404.
- König, C. y Weick, F. 2008. *Owls of the world*. A&C Black Publishers Ltd, Soho
Square, London.
- Larsen, R. 2012. Ferruginous Pygmy-Owl (*Glaucidium brasilianum*), Neotropical
Birds Online (T.S. Schulenberg, Editor). Ithaca: Cornell Lab Ornithology;
retrievedform Neotropical Birds Online:
[http://neotropical.birds.cornell.edu/portal/species/identification?p_p_spp= 21
2056](http://neotropical.birds.cornell.edu/portal/species/identification?p_p_spp=212056) Fecha de Consulta: 01/12/13.
- Lydersen, C., H. Wolkers, T. Severinsen, L. Kleivane, E.S. Nordøy, y J.U. Skaare.
2002. Blood is a poor substrate for monitoring pollution burdens in phocid
seals. *The Science of the Total Environment* 292:193-203.
- Malik, R.N. y Zeb, N. 2009. Assessment of environmental contamination using
feathers of *Bubulcus ibis* L., as a biomonitor of heavy metal pollution,
Pakistan. *Ecotoxicology* 5: 522-36.
- Martínez, R.I. 2011. Estimación de riesgo en salud por exposición a hidrocarburos
aromáticos policíclicos y DDT residual en población infantil del estado de
Chiapas. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de San Luis
Potosí. San Luis Potosí, México.

- Martínez-López, E., D. Romero, P. María-Mojica, J.E. Martínez, J.F. Calvo y A. J. García-Fernández. 2009. Changes in blood pesticide levels in booted Eagle (*Hieraaetus pennatus*) associated with agricultural land practices. *Ecotoxicology Safety* 72:45-50.
- Moore, N.W y Ratcliffe, D.A. 1962. Chlorinated hydrocarbon residues in the egg of a peregrine falcon (*Falco peregrinus*) from Perthshire, bird study. *The Nature Conservancy* 9:242-244.
- Mora, M.A. 1997. Transboundary pollution: persistent organochlorine pesticides in migrant birds of the southwestern United States and Mexico. *Environmental Toxicological and Chemistry* 6:3-11.
- Mora, M.A. 2008. Organochlorine pollutants and stable isotopes in resident and migrant passerine birds from northwest Michoacán, México. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 55:488-495.
- Mora, M.A., A.B. Montoya, M.C. Lee, A. Macías-Duarte, R. Rodríguez-Salazar, P.W. Juergens, y A. Lafón-Terrazas. 2008. Persistent environmental pollutants in eggs of aplomado falcons from Northern Chihuahua, Mexico, and south Texas, USA. *Environment International* 34:44-50.
- Mora, M.A., C. Baxter, J.L. Sericano, A.B. Montoya, J.C. Gallardo, y J.R. Rodríguez-Salazar. 2011. PBDEs, PCBs, and DDE in eggs and their impacts on aplomado falcons (*Falco femoralis*) from Chihuahua and Veracruz, México. *Environmental Pollution* 159: 3433-3438.
- Morales, H. 2013. Plaguicidas: Una amenaza para la salud, la biodiversidad y los servicios ambientales. 307-319 pp En: *La Biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la

- Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Chiapas, México.
- Moss, J. A., y Hathway, D. E. 1964. Transport of organic compounds in the mammal. *Biochemical Journal* 91:384–393.
- Naso, B., D. Perrone, M.C. Ferrante, A. Zaccaroni, y A. Lucisan. 2003. Persistent organochlorine pollutants in liver of birds of different trophic levels from coast of Campania, Italy. *Environmental Pollution* 129:431-441.
- Newton, I. 1998. Pesticides and Pollutants. 407-477pp En: Population limitations in birds. Academic Press. California, EUA.
- Norén, K., C. Weistrand., y Karpe, F. 1999. Distribution of PCB congeners, DDE, hexachlorobenzene, and methylsulfonyl metabolites of PCB and DDE among various fractions of human blood plasma. *Archives of Environmental Contamination Toxicology* 37:408–414
- Owen, J. C. 2011. Collecting, processing, and storing avian blood: A review. *Journal of Field Ornithology* 84:339-354.
- Patnaik, P. 2007. Comprehensive guide to the hazardous properties of chemical Substances John Wiley & Sons.
- http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=5049&VerticalID=0. Fecha de consulta: 22/06/13.
- Periódico Oficial-018. Decreto por el que se declara Área Natural Protegida, con la categoría de Centro Ecológico Recreativo, el área conocida como Cerro Sonsonate, ubicado en los municipios de Villaflores y Villa Corzo Chiapas. Secretaría General de Gobierno.
- <http://www.sgg.chiapas.gob.mx/decretos12/2013?m=2&p=> Fecha de consulta: 02/06/15.

- Phillips, J. 2000. A review and checklist of the parasitic mites (Acarina) of the falconiformes and strigiformes. *Journal of Raptor Research* 34:210-231.
- Programa Regional de Desarrollo 2013-2018. Región VI Frailesca.
http://www.ped.chiapas.gob.mx/ped/wp-content/uploads/ProgReg/2013-2018/2013_PRD_6_Frailesca.pdf Fecha de consulta: 02/06/15.
- Proudfoot, G.A., Teel, P.D., y R.M. Moh. 2006. Ferruginous Pygmy-Owl (*Glaucidium brasilianum*) and Eastern Screech-Owl (*Megascops asio*): New Hosts for *Philornis mimicola* (Diptera: Muscidae) and *Ornithodoros concanensis* (Acari: Argasidae). *Journal of Wildlife Disease* 42:873-876.
- Radomski, J.L., Astolfi, E., Deichmann, W.B., y A.A. Rey. 1971. Blood levels of organochlorine pesticides in Argentina: occupationally and non-occupationally exposed adults, children and newborn infants. *Toxicology Applied Pharmacology* 20:186–193.
- Ratcliffe, D.A. 1970. Changes attributable to pesticides in egg breakage frequency and eggshell thickness in some British birds. *Journal of Applied Ecology* 7:67-115.
- Ríos, A. 2013. Uso de modelos predictivos y conceptuales para la evaluación ambiental y el análisis de la percepción de riesgo por uso de plaguicidas: Una opción para el manejo de riesgos en Chiapas. Tesis de Doctorado. El Colegio de la Frontera Sur. Chiapas, México.
- Ritchie, B., G.J. Harrison, y L.R. Harrison. 1994. *Avian medicine: Principles and application*. Wingers Publishing Inc., Florida, EUA.

- Rivera-Rodríguez, L.B., R. Rodríguez-Estrella, J.J. Ellington, y J.J. Evans. 2007. Quantification of low levels of organochlorine pesticides using small volumes ($\leq 100 \mu\text{l}$) of plasma of wild birds through gas chromatography negative chemical ionization mass spectrometry. *Environmental pollution* 148:654-662.
- Rivera-Rodríguez, L., y Rodríguez-Estrella, R. 2011. Incidence of organochlorine pesticides and the health condition of nestlings ospreys (*Pandion haliaetus*) at Laguna San Ignacio, a pristine area of Baja California Sur, México. *Ecotoxicology* 20:29-38.
- Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural y Dirección de Áreas Naturales y Vida Silvestre. 2012. Estudio técnico justificativo para el establecimiento de un Área Natural Protegida con la categoría de Centro Ecológico Recreativo en el sitio denominado Cerro Sonsonate, ubicado en el municipio de Villa Corzo, Chiapas, México.
- Sonne, C., J.O. Bustnes, D. Herzke, V.L.B. Jaspers, A. Covaci, D.J. Halley, T. Moum, I. Eulaers, M. Eens, R.A. Ims, S. A. Hanssen, K.E. Erikstad, T. Johnsen, L. Schnug, F.F. Rigét, y A.L. Jensen. 2010. Relationships between organohalogen contaminants and blood plasma clinical-chemical parameters in chicks of three raptor species from Northern Norway. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73:7-17.
- StataCorp. 2011. Stata Statistical Software: Release 12. College Station, TX: StataCorp LP.
- Steward, D.K.R., y K.G. Cairns. 1974. Endosulfan persistence in soil and uptake by potato tubers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 22: 984-986.

- Strause, K.D., M.J. Zwiernik, S.H. IM, P. W. Bradley, P.P. Moseley, D.P. Kay, C. S. Park, P.D. Jones, A.L. Blankenship, J.L. Newsted, y J. P. Giesty. 2007. Risk assessment of the great heroned owl (*Bubo virginianus*) exposed to polychlorinated biphenyls and DDT along tne Kalamazoo river, Michigan, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry* 26:1386-1398.
- Thomas, F., F. Cezilly, T. De Meeüs, A. Crivelli y F. Renaud. 1997. Parasitism and Ecology of Wetlands. *Estuaries* 20 (3): 646-654
- Torres-Dosal, A., R.I. Martínez-Salinas, D. Hernández-Benavides, F.J. Pérez-Vázquez, C. Ilizaliturri-Hernández, y I. N. Pérez-Maldonado. 2012. Assessment of the leves of DDT and DDE in soil and blood samples from Tabasco, México. *Environmental Monitoriing and Assessment* 184:7551-7559.
- Torres-Sánchez, L y López-Carrillo, L. 2007. Efectos a la salud y expocisión a p.p'-DDT y p,p'-DDT exposure. El caso de México. *Ciência & Saúde Colectiva* 12:51-60.
- Turusov, V., V. Rakitsky, y L. Tomatis. 2002. Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT): ubiquity, persistence, and risks. *Environmental Health Perspectives* 110:125-128.
- Vázquez, J.R. 2011. Densidad y uso de hábitat de búhos en la Selva EL Ocote, Chiapas. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur. Chiapas, México.
- van Wyk, E., H. Bouwman, H. van der Bank, G.H. Verdoom, y D. Hofmann. 2001. Persistent organochlorine pesticides detected in blood and tissue samples of vultures from different localities in South Africa. *Comparative Biochemistry Physiology* 129:243-264.

- Varland, D. E., J. A. Smallwood., L. S. Young, y M. N. Kochert. 2007. Marking Techniques. 221-236 pp En: Raptor Research and Management Techniques. Institute for Wildlife Research, National Wildlife Federation, Washington, D. C. EUA.
- Vorkamp, K., M. Thomsen, S. MØller, K. Falk, y P.B. SØrensen. 2009. Persistent organochlorine compounds in peregrine falcon (*Falco peregrinus*) eggs from South Greenland: Levels and temporal changes between 1986 and 2003. Environmental International 35:336-341.
- Wong, F., H.A. Alegria, L.M. Jantunen, T.F. Bidleman, M. Salvador-Figueroa, G. Gold-Bouchot, V. Ceja-Moreno, S.M. Waliszewski, y R. Infanzon. 2008. Organochlorine pesticides in soils and air of Southern Mexico: Chemical profiles and potential for soil emissions. Atmospheric Environmental 42:7737-774.

ANEXOS

ANEXO 1. MUESTREO DE PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS EN EL TECOLOTE BAJEÑO
(*Glaucidium brasilianum*)
ÁREA NATURAL PROTEGIDA CERRO SONSONATE, CHIAPAS
EXAMEN FÍSICO

No tecolote	
Sitio	
Fecha y hora de captura	

Región de la cabeza	
---------------------	--

Ojos	
------	--

Orificios auriculares	
-----------------------	--

Cera y narinas	
----------------	--

Culmen	
--------	--

Cuello	
--------	--

Extremidades superiores (Alas)	
--------------------------------	--

Extremidades inferiores (Patas y garras)	
--	--

Pecho	
-------	--

Dorso	
-------	--

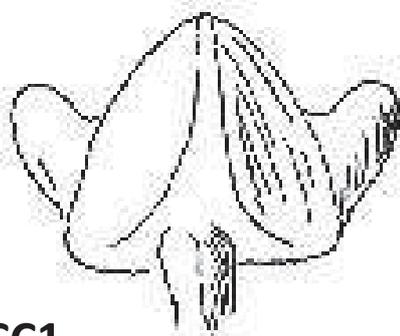
Comentarios/ Observaciones adicionales	
--	--

ANEXO 2. MUESTREO DE PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS EN EL TECOLOTE BAJEÑO (*Glaucidium brasilianum*)
 ÁREA NATURAL PROTEGIDA CERRO SONSONATE, CHIAPAS
 MORFOMETRÍA, PESO Y CONDICIÓN CORPORAL

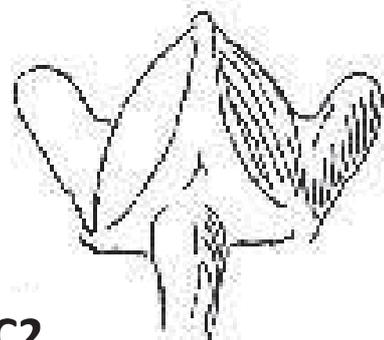
No.	Sitio	Fecha	Hora	Peso	CC	Ala	Tarso	Cola	Culmen	Comentarios
GB1										
GB2										
GB3										
GB4										
GB5										
GB6										
GB7										
GB8										
GB9										
GB10										
GB11										
GB12										
GB13										
GB14										
GB15										
GB16										
GB17										
GB18										
GB19										
GB20										
GB21										
GB22										
GB23										
GB24										
GB25										
GB26										
GB27										
GB28										
GB29										
GB30										

CC1= Masa muscular buena: músculos pectorales bien formados y sólidos redondeados con una ligera caída a los lados. CC2=Masa muscular moderada: esternón prominente, con los músculos pectorales ligeramente atrofiados. CC3= Masa muscular baja: esternón muy prominente, masa muscular muy reducida y atrofiada.

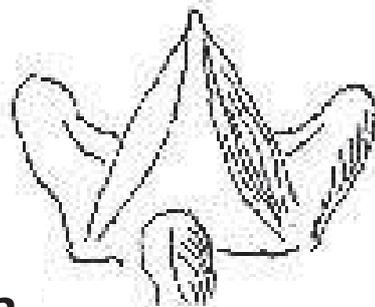
ANEXO 3. EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN CORPORAL SEGÚN LO RECOMENDADO POR RITCHIE et al., (1994).



CC1



CC2



CC3

ANEXO 4. MUESTREO DE PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS EN EL TECOLOTE BAJEÑO (*Glaucidium brasilianum*)
 CERRO SONSONATE, CHIAPAS
 HOJA DE MUDA

No.	Fecha	Muda					Comentarios
		Primarias	Secundarias	Rectrices	Tarsos	Cola	
GB1							
GB2							
GB3							
GB4							
GB5							
GB6							
GB7							
GB8							
GB9							
GB10							
GB11							
GB12							
GB13							
GB14							
GB15							
GB16							
GB17							
GB18							
GB19							
GB20							
GB21							
GB22							
GB23							
GB24							
GB25							
GB26							
GB27							
GB28							
GB29							