



# **El Colegio de la Frontera Sur**

## **Efectos del estrés fisiológico en felinos neotropicales: Implicaciones para su conservación**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en  
Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural  
Con orientación en Manejo y Conservación de Recursos Naturales

por

**Jorge Alberto Rodríguez Pérez**

2022



# El Colegio de la Frontera Sur

San Cristóbal de las Casas, Chiapas. 23 de febrero de 2022.

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador de:

Jorge Alberto Rodríguez Pérez

hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada  
Efecto del estrés fisiológico en felinos neotropicales: Implicaciones para su conservación

para obtener el grado de Maestro (a) en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

| Nombre            | Firma                                      |
|-------------------|--|
| Director          | Dr. Eduardo Jorge Naranjo Piñera _____     |
| Asesor            | Dr. Jorge Leonel León Cortés _____         |
| Asesor            | MC. Carlos Eduardo Trillanes Flores _____  |
| Sinodal adicional | Dr. José Guillermo O. Jiménez Ferrer _____ |
| Sinodal adicional | Dr. Carlos Tejeda Cruz _____               |
| Sinodal suplente  | MC. José Raúl Vázquez Pérez _____          |

## Agradecimientos

A El Colegio de la Frontera Sur por las facilidades prestadas, el apoyo brindado durante este tiempo y por continuar con mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada durante los dos años de la maestría, lo cual fue de gran ayuda para financiar mi estancia y gastos para el proyecto y este escrito.

A mi comité tutelar que continuamente me estuvo motivando para la culminación de la tesis, a pesar de que tuvimos que realizar cambios del proyecto original, los ánimos no decayeron y siempre mostraron gran apoyo y disposición. Al Dr. Eduardo Naranjo por las facilidades en proporcionarme el equipo de campo del proyecto original, al Dr. Jorge León por sus aportaciones en la revisión del escrito, al MC. Carlos Trillanes por acompañarme en todo momento en las salidas de campo.

A mis sinodales que gracias a sus comentarios y sugerencias ayudaron a mejorar el escrito y el artículo que se sometió a una revista para su futura publicación.

A mis padres Jorge Humberto Rodríguez Morales y María Teresa Pérez Ramírez que me formaron como la persona que soy, por motivarme a cumplir mis metas, sentir sus apoyo en todo momento y por enseñarme con el ejemplo que las cosas si se pueden lograr cuando uno se lo propone. A mi hermana Bianca Berenice Rodríguez Pérez, quien al mismo tiempo también realizaba su tesis de maestría y ambos nos motivábamos para finalizarla.

Finalmente, y más importante a Dios.

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| Resumen.....   | ii |
| 1. Capítulo 1: Introducción.....   | 1  |
| 2. Capítulo2: Efectos del estrés en felinos neotropicales: Implicaciones para su conservación..... | 6  |
| 2.1 Resumen.....   | 6  |
| 2.2 Introducción.....  | 7  |
| 2.3 Métodos.....   | 10 |
| 2.4 Resultados.....  | 11 |
| 2.4.1 Estrés y cortisol.....   | 11 |
| 2.4.2 Sonido y estrés.....   | 14 |
| 2.4.3 Estrés y enriquecimiento ambiental.....  | 16 |
| 2.4.4 Efecto visitante.....  | 18 |
| 2.5 Discusión.....   | 19 |
| 2.6 Referencias.....   | 21 |
| 3. Capítulo 3: Conclusiones generales.....   | 29 |
| Literatura citada.....   | 30 |

## RESUMEN

El estrés se puede definir como una variedad de respuestas frente a estímulos internos o externos que modifican la homeostasis de un individuo. Existen métodos no invasivos para la obtención de datos y recolección de muestras para la obtención de hormonas como el cortisol, que miden el estrés. La cuantificación de biomarcadores a partir de excretas recolectadas es de los métodos más usados, ya que se puede obtener sin provocar cambios en la fisiología de los individuos. La presente tesis presenta un artículo de revisión donde se discuten temas de estrés en los felinos silvestres del neotrópico, los biomarcadores usados para medirlo y su importancia en la conservación. Estos estudios se han enfocado principalmente en los felinos en cautiverio, mientras que los de vida libre han sido escasamente evaluados. Se encontró que el felino neotropical más estudiado es el jaguar (*Panthera onca*), mientras que el tigrillo (*Leopardus tigrinus*) es el menos estudiado.

Palabras clave: biomarcadores, cortisol, excretas, cautiverio, vida libre.

## I. INTRODUCCIÓN

En vida libre, factores como la falta de alimento y agua, la caza ilegal, la deforestación, la fragmentación de los bosques tropicales y las perturbaciones antropogénicas son los principales factores de riesgo para las especies con extensos ámbitos hogareños (Hernández-Huerta 1992; Ceballos *et al.*, 2010a). Los carnívoros tienden a competir por sus presas, los felinos de menor tamaño generalmente evitan a los de mayor tamaño a través de la separación espacial o temporal. La convivencia en el mismo espacio entre felinos de diferentes especies requiere una combinación compleja de condiciones ambientales y recursos (Astete *et al.*, 2017).

Se debe considerar todos los factores que pueden afectar a los felinos, en este sentido el no proporcionarles bienestar es dejarlos en una situación vulnerable, comprometiendo de esta manera su calidad de vida y como consecuencia la conservación de poblaciones de muchas especies que albergan áreas tan diversas como lo es el neotrópico, región que alberga gran cantidad de fauna (Ceballos y Ortega-Baes, 2011; Fischer, 2016).

La región biogeográfica neotropical abarca desde el sur de México hasta la Patagonia en Sudamérica (Laverde, 2002). Seis países neotropicales (Brasil, Colombia, Ecuador, México, Perú y Venezuela) se encuentran entre los 17 más megadiversos (Ceballos y Ortega-Baes, 2011). Esta región probablemente es la que más diversidad de fauna alberga a nivel mundial (Ceballos y Ortega-Baes, 2011), dentro de las cuales se encuentran los siguientes felinos silvestres: jaguar *Panthera onca*, puma *Puma concolor*, ocelote *Leopardus pardalis*, tigrillos *Leopardus wiedii* y *L. tigrinus*, jaguarundi *Herpailurus yagouaroundi*, gato de las pampas *Leopardus colocolo*, gato de Geoffroy *Leopardus geoffroyi* y lince americano *Lynx rufus* (Ceballos *et al.* 2010b). Es de gran importancia biológica continuar con investigaciones en estas especies para mantener sus poblaciones sanas en vida libre (Osofsky, 1997).

Una de las respuestas de los felinos a las presiones externas puede reflejarse en el nivel de estrés que los organismos manifiestan (Nogueira y Silva, 1997). Este

se define como una variedad de respuestas fisiológicas y conductuales frente a estímulos internos o externos que modifican la homeostasis de un individuo (Brousset *et al.*, 2005; Gómez y Escobar, 2006). La duración del estímulo es más importante que la intensidad y hace diferente el tipo de impacto que causan ambas. Por ello, la respuesta al estrés puede ser benéfica si es momentánea (estrés agudo), pero perjudicial si permanece por varios días (estrés crónico; Sapolsky, 1992; Sands y Creel, 2004).

El estrés no actúa de la misma manera en todos los estímulos debido a diversos factores que pueden influir en el impacto que causa en los individuos que lo sufren. Dichos factores son: la época del año, la condición corporal, estado reproductivo, experiencia y habituación (Brousset *et al.*, 2005). Las hormonas que se activan ante un estímulo estresante son mensajeros químicos, que son secretados por glándulas endocrinas y actúan sobre algún órgano. Estas hormonas provocan cambios fisiológicos y etológicos en el individuo. Las hormonas esteroides incluyen tanto a los corticosteroides como a los mineralocorticoides y glucocorticoides (producidos por las glándulas adrenales; Valdespino *et al.*, 2007; Norman y Litwack, 1997; Lombardi, 1998).

Cuando un animal percibe un estímulo estresante producto de una escasez de alimento, miedo, ansiedad o traumatismo, ocurren cambios fisiológicos en su organismo que le sirven para enfrentar dicha situación (Rodríguez y Arias, 2005). Estos cambios son resultado de la liberación de hormonas esteroides de la corteza adrenal. La respuesta es inmediata (en segundos) y tiene como objetivo que el individuo huya o enfrente el agente estresante en el mediano plazo (2-10 minutos). En seguida se activa el eje hipotálamo-hipófisis-adrenales, en el que el hipotálamo estimula a la glándula hipófisis a liberar la hormona adrenocorticotrópica (ACTH), la cual llega a la corteza de las glándulas adrenales y promueve la liberación de glucocorticoides al torrente sanguíneo (Knol 1991; Herman y Cullinan, 1997; Nelson, 2000). El glucocorticoide producido para la mayoría de los mamíferos, incluyendo a los felinos, es el cortisol (Romero 2004). Esta hormona se ha evaluado en procedimientos de reubicación, reintroducción, interacciones agresivas e incluso

en la identificación de poblaciones vulnerables a los impactos humanos o condiciones naturales (Stratakin y Chrousos, 1995; Brousset *et al.*, 2005).

La cantidad en que se incrementa el cortisol (jaguar: 230 ng/ml) respecto de sus concentraciones basales puede indicar la severidad del estrés (Fowler, 1986; Hennessy *et al.*, 1979). Una vez que el factor de peligro ha desaparecido, las concentraciones regresan de manera gradual (minutos a horas) a su concentración basal (jaguar: 44 ng/ml; Rodríguez y Arias, 2005). La secreción de hormonas por parte de las glándulas es generalmente de naturaleza pulsátil; por lo tanto, a lo largo del día las muestras de sangre reportan variaciones en las concentraciones. Sin embargo, las cantidades que se eliminan en las excretas corresponden a la producción acumulada a través del tiempo (Harper y Austad, 2000; Goyman, 2005). La respuesta al estrés constante puede causar depresión del sistema inmunológico, favoreciendo la aparición de patologías y suprimiendo o disminuyendo la función reproductiva (Valdespino *et al.*, 2007).

Los felinos pueden tener hábitos diurnos o nocturnos y muchos de ellos evitan la presencia humana, por lo que, a diferencia de otros grupos de animales, esta familia es relativamente difícil de observar (De Angelo *et al.*, 2015). La obtención de una muestra en estos organismos requiere de un esfuerzo de muestreo substancial, ya que generalmente sus poblaciones son muy reducidas y las áreas que habitan son extensas (Lawton *et al.*, 1998). Existen métodos no invasivos para la recolección de hormonas, evitando así cambios en la fisiología de los felinos estudiados, tales como la colecta de pelo, orina y heces, entre otros (Brousset *et al.*, 2005; García-Alaníz *et al.*, 2010). A pesar de que en el intestino las hormonas son metabolizadas por la microbiota, las excretas aún contienen grandes cantidades de metabolitos de hormonas como estrógenos, corticosterona y cortisol, entre otras (Brousset *et al.*, 2005).

En el caso de los felinos, las excretas producidas son un recurso que permite incrementar los tamaños de muestra y su recolección se ha convertido en una práctica documentada (Valdespino *et al.*, 2007). Trabajos como el de Valdespino *et al.* (2007) explican las ventajas de muestrear fauna silvestre a través de sus

excretas, con esto se puede determinar estados reproductivos, sexo y estrés, de esta manera poder plantear esfuerzos de conservación. La captura e inmovilización de felinos les produce un gran nivel de estrés (Pachaly *et al.*, 1993), por lo que los métodos no invasivos para la recolección de hormonas han facilitado estudios sobre el estrés sin provocar cambios no deseados en la fisiología de los individuos. Todas las hormonas esteroides se metabolizan para ser eliminadas en orina y heces (Brousset *et al.*, 2005), y es considerablemente más sencillo y menos costoso coleccionar las excretas de las especies, identificándolas con base en su forma y tamaño (Menkhorst y Knight, 2001), que capturar a los ejemplares para tomar muestras de su sangre.

El estudio de la hormona cortisol se ha usado para generar planes de manejo para la conservación de las poblaciones de felinos (Nájera, 2016; Plan de Supervivencia de Especies de Tigres, 2016). Los niveles de cortisol son indicadores para la evaluación de bienestar animal. Sin embargo, la mayoría de estos estudios se ha enfocado en animales en cautiverio, y pocos en animales de vida libre. (Brousset *et al.*, 2005). En México, el cortisol en excretas de felinos silvestres ha sido evaluado por Brousset (2003), quien determinó los niveles de metabolitos fecales de esta hormona en felinos de cuatro zoológicos y encontró que el promedio obtenido de los ocelotes mantenidos en cautiverio fue mucho mayor que el registrado en animales silvestres.

En Colombia también se han hecho trabajos con jaguares y pumas como el de Rodríguez y Arias (2005), quienes encontraron que la medición de cortisol fecal mediante pruebas de ELISA es una técnica segura para proveer una medida de glucocorticoides, al menos para el caso de jaguares. En los zoológicos del estado de São Paulo, Brasil, Nogueira y Silva (1997) realizaron un estudio para determinar los niveles de cortisol en felinos silvestres cautivos (*Panthera onca*, *Puma concolor*, *P. yagouaroundi*, *Leopardus tigrinus* y *L. pardalis*) los cuales fueron sometidos con contención química (ketamina / xilazina), encontrando como la especie con mayores niveles de cortisol a *P. concolor*. Jurke *et al.* (1997) estudiaron la relación de la excreción de cortisol con la actividad ovárica en guepardos (*Acinonyx jubatus*) en

cautiverio; midieron las concentraciones de metabolitos corticoides en las heces y demostraron que el cortisol fecal es detectable después de episodios estresantes y que las hembras con alto contenido de cortisol parecen estar comprometidas en su ciclo estral.

Otro método no invasivo para la medición de cortisol es la recolección de pelo. De acuerdo con García-Alaníz et al. (2010), este método consiste en colocar trampas elaboradas con trozos de alfombra u otro material similar de 25 x 15 cm con tiras de velcro en la parte superior e inferior. Las trampas se clavan en la base de algún árbol, aproximadamente a 30 cm del suelo. Como atrayente natural se le rocía *Napeta cataria* (planta natural que funciona como atrayente para los felinos) en presentación de spray, esto con la finalidad que los felinos se froten contra las alfombras. Este método no implica peligro para la salud de los individuos bajo estudio, además tiene la ventaja que se conservan fácilmente y adecuado para medir estrés crónico. La característica principal de este método es que proporciona información de largo plazo, sin causar ningún sesgo por la manipulación o presencia durante el muestreo (Accorsi et al., 2008; García-Alaníz et al., 2010).

Toda la información actual se encuentra dispersa, por tal motivo no se ha identificado un artículo que sirva como marco de referencia para plantear futuras investigaciones entorno a temas de estrés en los felinos que habitan el neotrópico. De este planteamiento surgen las siguiente preguntas: ¿Cuál es el estado del conocimiento sobre estrés en felinos neotropicales?; ¿Cuántos trabajos sobre cortisol se han realizado en felinos neotropicales?; ¿Los trabajos de cortisol en felinos neotropicales en cautiverio son más frecuentes que los realizados en vida libre?; ¿Cuál es el método no invasivo más usado en felinos neotropicales para extraer cortisol? Con lo anteriormente planteado se espera encontrar mayores estudios de estrés en el jaguar, ya que es el felino del neotrópico más estudiado en cuanto a temas de conservación. Por lo que el objetivo del presente trabajo es ofrecer al lector un panorama general del estado del conocimiento del estrés en felinos neotropicales, analizando las fortalezas y necesidades de información relativas a estos mamíferos.

## II. ARTÍCULO DE REVISIÓN

Enviado para su publicación a la revista Acta Zoológica Mexicana (nueva serie).

### **Efectos del estrés fisiológico en felinos neotropicales: Implicaciones para su conservación**

Jorge Alberto Rodríguez-Pérez<sup>1</sup>, Eduardo Jorge Naranjo Piñera<sup>1</sup>, Jorge Leonel León-Cortés<sup>1</sup> y Carlos Eduardo Trillanes Flores<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>El Colegio de la Frontera Sur. Carretera panamericana y periférico sur s/n. C.P. 29290, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. México. mvzjorgerodriguez@gmail.com

#### **Resumen**

Actualmente existe poca información sobre estrés en los felinos silvestres y dicha información se encuentra dispersa. Durante diciembre 2020 a febrero 2021 se realizó una búsqueda de información disponible a través de herramientas que congregan indexadores. La presente revisión discute las evaluaciones recientes sobre el estrés en los felinos silvestres del neotrópico, así como los biomarcadores usados para medirlo, encontrando la hormona cortisol como la más utilizada. Los estudios analizados se han enfocado principalmente en los felinos en cautiverio (89%), mientras que estos mamíferos de vida libre han sido escasamente evaluados. El felino neotropical que más se ha estudiado en situaciones de estrés es el jaguar (*Panthera onca*), el menos estudiado fue el tigrillo (*Leopardus tigrinus*), mientras que para el gato de las pampas (*Leopardus colocolo*) no se encontró información. Los países con mayores números de estudios encontrados sobre estrés en felinos neotropicales fueron Estados Unidos, México y Brasil. El análisis de las publicaciones recopiladas permitió integrar principios que pueden mejorar el conocimiento disponible acerca del estrés en los felinos neotropicales y guiar futuros estudios al respecto, como la escasa información de estrés con felinos de vida libre.

Palabras claves: biomarcadores, cortisol, excretas, cautiverio, vida libre.

## Introducción

La fauna silvestre tiende continuamente a encontrarse en situaciones adversas ocasionadas por fenómenos meteorológicos (i.e., huracanes, tormentas, calor, frío), procesos ecológicos (e.g., cuidado de crías, defensa del territorio, búsqueda de alimento y pareja) y actividades antropogénicas (e.g., deforestación, cacería), lo que puede llegar a producir algún tipo de estrés (Sands y Creel, 2004; Díaz, 2006). Desde las perspectivas de salud y enfermedad, el estrés se puede definir como una variedad de respuestas fisiológicas frente a estímulos de corto o largo plazo que modifican la homeostasis (Moberg, 1987; Randay, 2000). Esta es la tendencia del organismo para mantener un estado estable (Brousset *et al.*, 2005; Morgan y Tromborg, 2007; Díaz, 2006). Un factor estresante es aquello que desafía la homeostasis (Michelson *et al.*, 1995), o refiere a cualquier cambio que activa el Sistema Central de Respuesta a Amenazas (CTRS por sus siglas en inglés); por ejemplo, un cambio repentino en la temperatura ambiental, restricción física o algún estímulo que el individuo considere una amenaza, incluso el efecto visitante, el cual se refiere al cambio en la homeostasis de los animales en presencia de los visitantes. Los factores estresantes varían y pueden ser positivos o negativos y su duración puede ser aguda o crónica (Morgan y Tromborg, 2007; Buffington y Bain, 2020).

No todos los eventos activan el CTRS con la misma intensidad. Se han identificado al menos tres tipos distintos de respuestas al estrés: leve (positiva), moderada (tolerable) y severa (negativa; Buffington y Bain, 2020). Las respuestas leves se caracterizan por ser de duración corta (aguda) y momentánea; a éstas se les considera positivas siempre que ocurran en entornos seguros, predecibles y estables, ya que les permite a los animales tomar decisiones de huir o enfrentar situaciones de peligro y desarrollar habilidades para afrontar el factor estresante. Un ejemplo de una respuesta positiva al estrés es la exposición a nuevos ambientes y respuestas conductuales de orientación, como un llamado de alarma o mayor vigilancia por parte del individuo. Las respuestas moderadas son el resultado de la exposición a experiencias que presentan mayores amenazas, por ejemplo, aburrimiento, enfermedad, lesión o reacciones potenciales debidas a la ocurrencia

de un desastre natural. De la misma manera como sucede con las respuestas al estrés leve, cuando un evento sucede en un lugar seguro, es probable que el individuo regrese pronto a su homeostasis. De esta manera, la característica de lo tolerable a la respuesta moderada al estrés es el entorno de protección el cual permite el control para que ocurra un comportamiento adaptativo. El estrés crónico se considera negativo, ya que es constante, prolongado y en el largo plazo compromete el bienestar animal y genera peligro para la salud, propiciando el desarrollo de enfermedades graves o crónicas de los individuos (Buffington y Bain, 2020).

El estrés crónico es un estado de activación fisiológica (Mormede et al., 2007) en el cual el sistema nervioso autónomo rara vez tiene oportunidad de relajarse y se asocia a problemas reproductivos, diabetes, retardo en el crecimiento y aumento de las reacciones autoinmunes periféricas. El estrés crónico produce un costo biológico que altera funciones y genera diestrés, una respuesta del individuo a un factor estresante que provoca riesgos a su bienestar y a su vida (Suárez *et al.*, 2017). El estrés deprime al sistema inmunológico y el individuo se vuelve susceptible de contraer enfermedades infecciosas, crónicas y la función reproductiva se reduce (Sapolsky, 1992; Von Holst, 1998; Pottinger, 1999). A nivel conductual, un alto nivel de cortisol en ejemplares cautivos puede verse reflejado en caminatas de lado a lado o a lo largo del encierro (denominado “pacing”; Clubb y Vickery, 2006), así como en acciones tales como sacudir la cabeza y lamerse en exceso (McPhee, 2002). Esto también se puede ver acompañado de manifestaciones de agresividad, automutilación y estereotipos (Morgan y Tromborg, 2007; AZA, 2016).

El estrés crónico puede reflejarse en comportamientos que denotan agresividad, inapetencia, negación para desplazarse, automutilación, estereotipos, hiperactividad, sedentarismo y consumo de elementos presentes en el encierro o disminución en la reproducción, sobre todo en especies que se encuentren en alguna categoría de riesgo, como muchos de los felinos silvestres en cautiverio, por ello, es importante conocer cómo estas especies toleran las situaciones de estrés

(Odberg, 1978; AZA, 2016). El estrés en felinos también puede causar enfermedades en el tracto urinario inferior y producir disminución del volumen y la frecuencia miccional o sangre en la orina (Buffington y Bain, 2020), afectando actividades de suma importancia en la supervivencia de los felinos como el marcaje de territorio y la presencia de estro en las hembras (Holstege, 2005). Para los felinos, la falta de reproducción en cautiverio se ha atribuido al estrés, probablemente relacionado con el alojamiento inadecuado (Moberg, 1987), ya que perciben la presencia de visitantes como una amenaza y no tienen el control de dicha situación (Morgan y Tromborg, 2007).

Por lo anterior, el estrés crónico es considerado negativo para los ejemplares en cautiverio y poblaciones silvestres, como sucede con los felinos neotropicales (jaguar *Panthera onca*, puma *P. concolor*, ocelote *Leopardus pardalis*, tigrillos *Leopardus wiedii* y *L. tigrinus*, jaguarundi *Herpailurus yagouaroundi*, gato de las pampas *Leopardus colocolo*, gato de Geoffroy *Leopardus geoffroyi* y lince americano *Lynx rufus*; Ceballos, 2010). Tales especies, a excepción del puma y del jaguarundi, se encuentran en peligro de extinción o bajo alguna categoría de riesgo de acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2020). Actualmente se han realizado múltiples actividades en torno a la conservación de estos felinos destacando los estudios en cautiverio y vida libre, entre ellos los análisis de sus niveles de cortisol y su relación con la presencia de endoparásitos (Díaz, 2006). En dichos estudios se ha demostrado que la presencia de los visitantes estimula un aumento de las concentraciones de cortisol de los jaguares en cautiverio (Sellinger y Ha, 2005; Morgan y Tromborg, 2007; Montanha et al. 2009), aunque no en todos los casos (Suárez et al. 2017). Por otro lado, se sabe que las concentraciones de cortisol son mayores en jaguarundis en comparación con los ocelotes y margays (Romano et al., 2010), y también se ha encontrado que la determinación de la hormona cortisol presente en excretas es útil para evaluar de forma no invasiva el bienestar animal y el estrés (Morato et al., 2004). Sin embargo, esta información aun es escasa para ejemplares de felinos en vida libre (Romano et al. 2010; Rabinowitz, 2014). Aunado a lo anterior, el hábitat y las poblaciones de felinos desaparecen a un ritmo alarmante, y mientras esto ocurre

las poblaciones en cautiverio cobran mayor importancia para aprender de ellas y asegurar su viabilidad a largo plazo (Sellinger y Ha, 2005).

Por la información dispersa sobre este tema, nos enfocamos en responder las siguientes interrogantes: ¿Cuál es el estado del conocimiento sobre estrés en felinos neotropicales?; ¿Cuántos trabajos sobre cortisol se han realizado en felinos neotropicales?; ¿Los trabajos de cortisol en felinos neotropicales en cautiverio son más frecuentes que los realizados en vida libre?; ¿Cuál es el método no invasivo más usado en felinos neotropicales para extraer cortisol? Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es analizar el conocimiento existente sobre el estrés en felinos neotropicales, identificando las fortalezas y necesidades de información relativas a estos mamíferos.

## **Métodos**

Se presenta un análisis documental sistemático sobre el estrés en felinos silvestres neotropicales. Efectuamos una revisión y análisis de artículos científicos, libros, tesis y manuales recuperados mediante herramientas que congregan indexadores como: el Consorcio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica de México (CONRICyT), Sistema de Información Bibliotecario de El Colegio de la Frontera Sur (SIBE-ECOSUR), Web of Science, Scielo y Scopus. En los términos de búsqueda se aplicaron las palabras clave “*stress, feline, conservation, cortisol, neotropical*”. Esta etapa se realizó en el periodo de diciembre 2020 a febrero 2021, obteniendo un total de 18 artículos publicados entre los años 1980 y 2020. Se tomaron en cuenta estudios sobre felinos de la región neotropical en vida libre y en cautiverio, en áreas conservadas y perturbadas, incluyendo indicadores de estrés y validaciones de técnicas invasivas y no invasivas. Se tomó como referencia el país donde se realizó cada estudio, los trabajos de revisión se consideraron como multinacionales (Fig. 1). Por último, se analizó el total de registros por especie, por país, y se categorizaron por temas la información encontrada.

## Resultados

El cortisol es el biomarcador más usado como indicador de estrés en los felinos silvestres (mencionándose en 10 de los 18 estudios revisados). Son pocos los estudios encontrados de estrés en los felinos neotropicales y la mayoría de estos estudios han sido en cautiverio (89%). Los países con mayores números de estudios encontrados en el presente trabajo fueron Estados Unidos, México y Brasil (Fig. 2). La frecuencia con la que los felinos fueron citados en los estudios revisados fueron: jaguar (N=13; 72.2%), puma (N=7; 38.8%), ocelote (N=4; 22.2%), tigrillo (N=2; 11.1%), gato de Geoffroy (N=2; 11.1%), jaguarundi (N=2; 11.1%); lince americano (N=1; 5.6%) y tigrillo (N=1; 5.6%; Fig. 3). No se encontró información en la especie *Leopardus colocolo*, lo cual abre oportunidades para que se continúe con esta línea de investigación, esta información es detallada a continuación:

### *Estrés y cortisol*

La hormona cortisol en la mayoría de los mamíferos es el glucocorticoide (GCC) principal y se puede recolectar a partir de muestras del plasma sanguíneo, excretas o saliva (Morato, *et al.* 2004; Brousset *et al.*, 2005; Montana, *et al.* 2009). Dentro de los biomarcadores más destacados para la medición de estrés se encuentra el cortisol (Romero, *et al.* 2011).

Carlstead *et al.* (1992) midieron la concentración de cortisol en el gato de Geoffroy (*Leopardus geoffroyi*) y el puma (*Puma concolor*) usando la técnica de Radio Inmuno Ensayo (RIA) para determinar la tasa de crecimiento de secreción de glucocorticoides usando muestras de orina. Una hembra de gato de Geoffroy y dos pumas se reubicaron del Instituto Nacional de Salud Animal de los Estados Unidos a una instalación de retención en el Parque Zoológico Nacional en Washington, D.C., con la finalidad de causarles estrés. Esto hizo que las concentraciones de cortisol urinario aumentaran desde el primer día de reubicación y permanecieran elevadas. Más adelante, Nogueira y Silva (1997) recolectaron muestras sanguíneas en especies de jaguares, pumas, ocelotes y jaguarundis de un zoológico de Brasil. Determinaron los niveles de cortisol en felinos salvajes cautivos sometidos a

contención química con ketamina y xilazina. Posteriormente compararon estos resultados con los obtenidos de un gato doméstico (*Felis catus*). Para este proceso tuvieron que inmovilizar químicamente a los ejemplares y las muestras sanguíneas fueron recolectadas en los primeros 20 minutos, ya que según Willemse et al. (1993) el aumento significativo de cortisol plasmático ocurría 20 minutos después de iniciado el manejo. Los resultados reflejaron que el efecto de la anestesia sobre los valores plasmáticos de cortisol de las muestras sanguíneas aumentó después del manejo y varió mucho entre especies, por lo que para estudios posteriores sugirieron hacer las comparaciones por especie y no por familia.

De acuerdo con Brousset et al. (2005), en la saliva también se puede recolectar cortisol, y este puede representar un método no invasivo en felinos en cautiverio. Por ello, Montanha et al. (2009) realizaron un estudio para saber si los jaguares del zoológico de Brasilia y del criadero conservacionista “No Extinction” presentaban estrés asociado con la presencia del público. El método usado fue la colocación de esferas de tejidos de algodón resistente en los encierros, con las cuales los jaguares jugaban y las masticaban. Después de 30 minutos se extraían las esferas del encierro y se exprimían, con este método recolectaban aproximadamente 5 ml de saliva de cada individuo. Sus resultados mostraron que en los días con mayor número de visitantes (2,000 personas), las concentraciones de cortisol salival aumentaron en el zoológico de Brasilia, mientras que en el criadero conservacionista no hubo diferencias en las concentraciones de cortisol durante los días con aumento en el número de visitantes (30 personas). Lo anterior sugiere que, a mayor número de visitantes, se esperaría encontrar mayores concentraciones de cortisol salival en jaguares cautivos.

Romano et al. (2010) analizaron excretas de ocelotes, tigrillos y jaguarundis en cautiverio para evaluar la presencia de cortisol. Para ello recolectaron excretas todos los días durante una semana, las congelaron y posteriormente las analizaron por RIA usando el protocolo de extracción descrito por Brown y Wildt (1997), modificado por Brousset (2003). Como resultado encontraron mayores concentraciones de cortisol en jaguarundis que en ocelotes y tigrillos. Mencionaron que la diferencia se dio por una característica genética, ya que también se

encontraron altas concentraciones de cortisol fecal en heces de puma y esta especie está altamente relacionada con el jaguarundi. Otra posibilidad es que la eliminación de la hormona cortisol pueda ser diferente en el jaguarundi, o bien que esta especie responda de una manera diferente frente a factores estresantes. Sin embargo, Schatz y Palme (2001) mencionaron que existe una diferencia en las concentraciones de metabolitos fecales en carnívoros, las cuales pueden deberse a diferencias metabólicas (tiempo de digestión, reabsorción del bolo alimenticio y tipo de dieta).

Morato et al. (2004) determinaron la eficacia de la medición de las concentraciones de cortisol fecal en jaguares. Muestrearon a tres machos del zoológico de Rio de Janeiro, los inmovilizaron químicamente y los electroeyacularon una o dos veces en un periodo de dos meses. Recolectaron muestras de excretas 5 días antes y 5 días después de cada procedimiento y las almacenaron a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta la extracción; las variaciones en las concentraciones de cortisol se determinaron mediante RIA. En cuatro ocasiones, los niveles de metabolitos de cortisol se elevaron hasta 350% por encima del valor inicial ( $307.8 \pm 17.5 \text{ ng/g}$ ). Este estudio demostró que la determinación de cortisol fecal y metabolitos de andrógenos puede ser muy útil para evaluar de forma no invasiva el bienestar de un animal.

También existen estudios en vida libre, pero estos son menos frecuentes, como el de Harlow et al. (1992), quienes estudiaron marcadores de estrés en pumas simulando una persecución no letal de los cazadores. El grupo de estudio fue dividido en dos: grupo control y grupo de tratamiento. Los ejemplares del grupo control fueron capturados al inicio y al final del estudio, y en este se midió la hormona adrenocorticotropina (ACTH) al inicio y se comparó con la respuesta final del estudio. En el grupo de tratamiento, los pumas fueron perseguidos de 4 a 7 veces, midiendo la respuesta a ACTH después de cada persecución. Para ambos grupos se tomaron muestras de sangre para la concentración plasmática de cortisol. Los pumas del grupo de tratamiento simulaban el estrés que pueden experimentar durante una temporada de persecución, mostrando claramente menor producción de cortisol suprarrenal inducida por ACTH. Por el contrario, los pumas del grupo control mostraron concentraciones de cortisol aumentadas en respuesta a la ACTH

inyectada en la recaptura. Por lo tanto, Harlow et al. (1992) concluyeron que los pumas del grupo que experimentaba persecuciones repetidas tuvieron una respuesta suprarrenal amortiguada a la ACTH, mientras que ningún cambio fue evidente en el grupo capturado solo dos veces.

En México se han desarrollado escasos estudios de cortisol con felinos en vida libre, como el realizado por Díaz (2006) con jaguares y pumas de la Reserva de Biosfera de Calakmul. La autora utilizó métodos de colecta no invasivos, recogiendo excretas directamente del suelo, sin capturar a los ejemplares, obteniendo datos de las concentraciones hormonales de uno o dos días previos a la colecta. Comparó las concentraciones de cortisol y el estado endoparasitario de los felinos que habitaban en áreas perturbadas contra los que habitaban en áreas conservadas. Sus resultados fueron los esperados: el nivel promedio de cortisol en las excretas colectadas en el área conservada fue menor ( $652 \pm 914$  ng/gr) en comparación con las de áreas perturbadas ( $1417 \pm 1621$  ng/gr), encontrando una diferencia significativa entre ambos sitios de colecta ( $p < 0.025$ ). Díaz (2006) sugirió que la destrucción y fragmentación del hábitat por actividades antropogénicas representaban causas probables del estrés en los felinos, lo cual comprometía su sistema inmunológico haciéndolos más susceptibles a contraer enfermedades. La misma autora además sugirió que este método de recolección fue útil ya que los datos se obtuvieron sin perturbar a los ejemplares, lo cual es de suma importancia cuando se quiere evaluar el estrés.

### *Sonido y estrés*

Los factores estresantes más prominentes en las poblaciones de felinos en cautiverio son aquellos en los que no tienen control y de los que no pueden escapar, por ejemplo: la eliminación de las marcas de olor con la limpieza de los encierros, la exposición a condiciones de iluminación, las visitas del público y sonidos intensos y constantes (Morgan y Tromborg, 2007; Montanha, *et al.* 2009). Tromborg y Coss (1995) realizaron un estudio sobre esto al interior de dos parques zoológicos del norte de California (San Francisco y Sacramento) y encontraron que las grabaciones de los niveles de presión sonora oscilaban entre 62 y 72 dB (decibeles), con un

promedio de 70 dB. Sin embargo, en los hábitats del bosque tropical los niveles de ruido ambiental oscilan entre 27 y 40 dB y gran parte de estos sonidos son consecuencia del viento y el movimiento de las hojas. Algunos felinos comienzan a mostrar síntomas relacionados con estrés cuando los niveles de presión sonora ambiental se acercan a 85 dB durante períodos prolongados (Morgan y Tromborg, 2007).

Los felinos sometidos continuamente a ruidos intensos manifiestan respuestas al estrés al exhibir niveles elevados de excitación, tanto conductual como fisiológica. Esta exposición prolongada a ruidos intensos se asocia con una mayor actividad en la división simpática del sistema nervioso autónomo. Su activación prolongada se correlaciona con una mayor actividad en el sistema hipotalámico-pituitario-adrenal (HPA), tasas metabólicas elevadas, aumento de la presión arterial y taquicardia. Esta excitación puede tener efectos perjudiciales en el largo plazo en los animales que la experimentan. Por ejemplo, la exposición de hembras gestantes a la excitación fisiológica inducida por ruido da como resultado inmunosupresión, así como respuestas de angustia a estímulos aversivos y cambios en el umbral auditivo (Morgan y Tromborg, 2007).

En cautiverio, los animales se exponen habitualmente a temperaturas a las cuales su especie no está adaptada. Por ejemplo, especies que evolucionaron en climas cálidos como los leones (*Panthera leo*), se encuentran en zoológicos de zonas frías, mientras que las especies de climas más fríos, como leopardos de las nieves, se alojan en zoológicos donde la nieve raramente cae (Morgan y Tromborg, 2007). Los estímulos ambientales que se han mencionado se encuentran prácticamente en todas partes; la principal diferencia entre estos estímulos en vida libre y los de cautiverio radica en la libertad que tiene el individuo para controlar su exposición a los mismos. En vida libre un felino generalmente puede alejarse de la luz o sonido que le incomoda: puede buscar refugio de las condiciones climáticas indeseables, excavar en la tierra para refrescarse o programar sus actividades diarias para que coincidan con las variables ambientales más adecuadas. Un felino en cautiverio no tiene esa oportunidad debido al pequeño tamaño del microhábitat. En general, los animales en cautiverio tienen poco o ningún control sobre el

momento, la duración del sonido, olores o temperaturas a las que están expuestos. En su mayor parte, esta falta de control es un impulsor del estrés crónico (Sambrook y Buchanan-Smith, 1997; Morgan y Tromborg, 2007). Agregar espacios de retiro o escondites mejora muchos indicadores de bienestar animal. El enriquecimiento ambiental con vegetación, rocas y estructuras para trepar se usa para simular una cobertura natural, proporcionar rutas de escape y sombra; de esta manera se puede reducir el estrés (Baker, 2007).

### *Estrés y enriquecimiento ambiental*

El desarrollo de programas de enriquecimiento ambiental para fauna en cautiverio promueve el bienestar animal reduciendo el estrés y disminuyendo o previniendo estereotipias (Castillo-Guevara *et al.*, 2012). Los tiempos de alimentación y la limpieza de encierros por parte de los cuidadores pueden ser relativamente constantes, pero el número y la actitud de los visitantes varía de un momento a otro y para muchos ejemplares cautivos estos cambios afectan en su comportamiento y niveles de excitación. Cuando se observan comportamientos de automutilación o estereotipias, se infiere que son producto del estrés ambiental (Morgan y Tromborg, 2007; AZA, 2016). Es importante enseñar comportamientos aprendidos a los ejemplares cautivos, ya que esto puede mejorar su calidad de vida y reducir los niveles de estrés cuando se someten a procedimientos médicos. Este acondicionamiento ayuda a eliminar el uso de anestesia general y el estrés que esto conlleva (AZA, 2016).

Por ejemplo, en el parque Zoológico “Yaguar Xoo” (Oaxaca, México), Castillo-Guevara *et al.* (2012) aplicaron un programa de enriquecimiento ambiental con la finalidad de disminuir el estrés y las estereotipias de cuatro jaguares. En este parque aplicaron estímulos ocupativos, alimenticios, sensoriales y olfativos. Midieron los patrones de comportamiento previos, durante y posteriores al enriquecimiento ambiental, encontrando una reducción de estereotipias y un incremento en los comportamientos normales de la especie. También existen otros estudios como el de Sellinger y Ha (2005), quienes evaluaron la intensidad y densidad de los visitantes del zoológico de Woodland Park (Washington, EUA), con el objetivo de

saber si esto afectaba a los jaguares cautivos. Tuvieron bajo observación a los jaguares 8 horas por semana durante 29 semanas, sumando un total de 230 horas. Estos autores reportaron que la intensidad y densidad de los visitantes tuvieron un efecto negativo significativo en el comportamiento de los jaguares, causándoles un estrés prolongado, Sellinger y Ha (2005) sugirieron más investigaciones para determinar si se producen efectos similares para otras situaciones de cautiverio en jaguares y otros felinos. De ser así, recomiendan utilizar métodos para reducir la cantidad de estrés crónico que experimentan los felinos y mejorar su estado de salud general y su bienestar, lo que contribuiría a mantener una población reproductora saludable.

Morales (2010) estudió dos ejemplares de puma del parque recreativo y zoológico Piscilago en Colombia. El muestreo consistió en tres etapas: antes, durante y después de la implementación del plan de enriquecimiento ambiental, con un mes de duración por cada muestreo. Este autor tomó en cuenta el comportamiento, las vocalizaciones y el enriquecimiento ambiental. Como resultado, obtuvo una disminución en la tasa de ocurrencia de conductas excesivas consideradas indicadoras de estrés, y la aparición de comportamientos y vocalizaciones nuevas. Parte del enriquecimiento ambiental consiste en que los felinos realicen un trabajo para obtener alimentos, incluso cuando el mismo alimento esté disponible fácilmente para ellos (Menzel, 1991; Reinhardt, 1994; Inglis y Shepherd, 1994). Esto es un acto apetitivo inherentemente gratificante. Un aspecto de la alimentación en cautiverio es que los ejemplares a menudo reciben la misma dieta día tras día, lo cual puede ser indeseable. Por ejemplo, Carlstead et al. (1993) demostraron que la alimentación impredecible se correlaciona con altos niveles de cortisol en felinos. Por otro lado, se ha descubierto que las dietas fáciles de comer tienen efectos nocivos sobre la dentición de los carnívoros. En cambio, alimentarlos con presas enteras disminuyen los problemas bucales (Lindburg, 1988).

McPhee (2002), mostró que la alimentación con cadáveres completos reduce el comportamiento estereotipado de los grandes felinos y provoca un incremento en los comportamientos naturales como el de escondite. Sin embargo, no todos los

felinos se vieron favorecidos con este enriquecimiento ambiental, ya que un individuo de tigre siberiano (*Panthera tigris altaica*) fue retirado del estudio debido a que la presencia de los cadáveres completos le hacía experimentar un estrés extremo. McPhee (2002) propuso ofrecer el alimento en cadáveres como un método de enriquecimiento ambiental para grandes carnívoros, ya que la provisión de presas enteras aborda positivamente la ecología del comportamiento natural.

### *Efecto visitante*

Los zoológicos tienen como objetivos principales la conservación, investigación, educación, reproducción y conformación de bancos genéticos (Wildt *et al.*, 1997; Suárez, *et al.* 2017). Es necesario que asistan visitantes para financiar en parte estos objetivos; sin embargo, su presencia causa el “efecto visitante”. A este efecto se le puede considerar positivo cuando es parte de un enriquecimiento ambiental, o negativa cuando daña su bienestar, lo que conlleva a un estrés crónico. Por ello, los visitantes (especialmente en grandes números) pueden estar contribuyendo a la aparición de patologías y al fracaso en los programas de reproducción en cautiverio (Moberg, 1987), además de poner en riesgo los programas de investigación y conservación de muchas especies, incluyendo a los felinos (Suárez, *et al.* 2017).

Finalmente, Suárez *et al.* (2017) realizaron un estudio en dos zoológicos de España: el parque zoobotánico de Jerez de la Frontera y el zoológico municipal de Córdoba. Haciendo uso de etogramas, estudiaron al lince euroasiático (*Lynx lynx*), lince americano, ocelote y león, los cuales mostraron diferencia en cuanto al patrón de actividad con presencia humana, dando como resultado una menor actividad en presencia de los visitantes y pasando la mayor parte del tiempo durmiendo. En contraste, el único jaguar cautivo se mostró más activo, incluso con el doble de frecuencia de juego cuando el público se mostraba cerca. Para este individuo, los cambios de comportamiento indicaron un intento de socialización entre especies. Sin embargo, otros estudios (Sellinger y Ha, 2005; Ross *et al.*, 2009; Sherwen *et al.* 2014) han sugerido que el efecto visitante provoca cambios conductuales de agitación, probablemente relacionados con el estrés crónico y el malestar. Suárez *et al.* (2017) sugieren investigaciones más detalladas para confirmar lo anterior. Por

ejemplo, incluir la medición de los niveles de glucocorticoides (GCC), así como considerar la edad y el tiempo que llevan los individuos en el recinto como un factor para medir el efecto del visitante.

## **Discusión**

Diversos autores (Sellinger y Ha, 2005; Morgan y Tromborg, 2007; Montanha et al., 2009) mencionan que el público visitante estresa a los jaguares, ya que su presencia está relacionada con el aumento de la hormona cortisol en esta especie. Sin embargo, en el estudio realizado por Suárez et al. (2017) se menciona lo contrario, argumentando que la presencia de visitantes funcionó a manera de enriquecimiento ambiental para un jaguar, que durante su estudio se mostró más activo durante la presencia del público. No obstante, habría que tomar con reservas esta aseveración por tratarse de un solo individuo y procurar realizar evaluaciones de más jaguares cautivos en distintos zoológicos y países.

La hormona cortisol es el biomarcador más usado para la medición de estrés, debido a que es el glucocorticoide (GCC) principal y se puede encontrar en sangre, orina, saliva y excretas. Los estudios de GCC fecales son un método no invasivo, proporcionan medidas cuantitativas de estrés y almacenan concentraciones de cortisol generadas durante días o semanas; esto es ideal cuando se quiere conocer el estrés crónico. En cambio, las muestras sanguíneas proporcionan información de estrés momentáneo.

Los países neotropicales con mayor superficie territorial son los que más trabajos de investigación han realizado en comparación con países pequeños como Bolivia, Perú, Venezuela, Honduras, Nicaragua y Panamá donde no se encontraron estudios relacionados con el mismo. Los resultados obtenidos de la búsqueda de literatura demuestran que aún falta mucho trabajo por realizar, sobre todo con el estrés en los felinos de vida libre, lo que conlleva una tarea difícil para la obtención de datos, ya que son especies poco abundantes, las fuentes de recursos económicos son limitadas, las condiciones de campo no siempre son favorables y

la contención física o química de los individuos puede llegar a estresarlos (Danielsen *et al.* 2009). Para el caso de México, existe escasa o nula información sobre este tema para las regiones de Calakmul en Campeche, Sian Ka'an en Quintana Roo, Los Chimalapas en Oaxaca, Selva El Ocote, Selva Lacandona y Sierra Madre de Chiapas. Estas regiones incluyen varias áreas prioritarias para la conservación de felinos silvestres de México (CONABIO, 2011), y en ellas persisten las mayores poblaciones de jaguares del país (Chávez y Ceballos, 2005), cuyos niveles de estrés aún no han sido evaluados.

El jaguar es el felino de mayor tamaño del continente americano y a su vez el más estudiado del neotrópico, lo cual se puede explicar tomando en cuenta su importancia ecológica, su amplia distribución, las grandes extensiones de territorio, su importancia ecológica, cultural y por ser un depredador tope (Miller y Rabinowitz, 2002; Paredes, 2006). Es considerado una especie bandera y sombrilla cuya conservación también favorece a otras especies que coexisten en su hábitat, y por ello es indicadora de la salud de las comunidades ecológicas (AZA, 2016). Actualmente este mamífero se encuentra catalogado como casi amenazado (UICN, 2020), pero esto pronto puede cambiar en caso de detectarse una disminución de sus poblaciones (Zanin *et al.*, 2015). Los felinos de menor tamaño (e.g., *Lynx rufus*, *Leopardus tigrinus* y *Leopardus geoffroyi*) fueron los que menos aparecieron dentro de las publicaciones revisadas.

Durante el periodo de búsqueda, no se encontró estudios de estrés del gato de las pampas (*Leopardus colocolo*), un felino pequeño (peso promedio 4 kg) que en general poco se ha estudiado, muestra de ellos fue que después de la revisión bibliográfica algunas de sus subespecies subieron de categoría a especie, presentándose así 4 especies nuevas (*Leopardus pajeros*, *L. garleppi*, *L. munoai* y *L. braccatus*) de felinos silvestres para el neotrópico, las cuales no están descritas en la presente revisión.

Es verdad que en los últimos años los estudios en felinos han aumentado, la mayoría de estos estudios se han enfocado en los que se encuentran bajo cuidados humanos, específicamente en el tema de enriquecimiento ambiental, que si bien se sabe estas modificaciones al microhábitat si dan una mejor calidad de vida y ayudan considerablemente al bienestar animal, sin embargo, las evaluaciones del estrés a través de biomarcadores se han dejado por un lado, por lo tanto, los resultados encontrados de esta revisión dan pauta a que aún faltan muchos estudios en torno al tema de estrés en los felinos silvestres del neotrópico. De acuerdo con las publicaciones revisadas, se considera que esta revisión de literatura contribuye a identificar los trabajos realizados con los felinos silvestres del neotrópico con relación al estrés como tema común. El análisis de las publicaciones recopiladas permite integrar principios que pueden mejorar el conocimiento disponible acerca del estrés en los felinos neotropicales y guiar futuros estudios al respecto.

## Referencias

- AZA (Asociación de Zoológicos y Acuarios). 2016. Manual para cuidado de jaguares (*Panthera onca*). Plan de Supervivencia de Especies de Jaguar de la AZA. Silver Spring, MD.
- Baker, W. 2007. Manejo cautivo. Pp. 17-23. *In: jaguar species survival plan. Guidelines for captive management of jaguars* (Christopher Law y Elmwood Park Zoo, eds). 91pp.
- Brousset, D. 2003. Efecto del enriquecimiento ambiental sobre el bienestar de tres especies de felinos mexicanos en peligro de extinción (ocelote, margay y jaguarundi) mantenidos en cautiverio. Tesis de Doctorado, FMVZ UNAM.
- Brousset, D., F. Galindo, R. Valdez, M. Romano y A. Schuneman. 2005. Cortisol en saliva, orina y heces: evaluación no invasiva en mamíferos silvestres. México. *Veterinaria México*, 36(3): 325-337.
- Brown, J y Wildt D. 1997. Assessing reproductive status in wild felids by non-invasive faecal steroid monitoring. *Int Zoo Yb* 35: 173-191.
- Buffington T. y M. Bain. 2020. Stress and feline health. Vol 50 pp. 653-662.
- Candace-Croney, J. y T. Buffington. 2012. Efectos de los factores estresantes sobre el comportamiento y la fisiología de los gatos domésticos.

Carlstead, K., J. Brown, S. Monfort, R. Killens y D. Wildt. 1992. Urinary monitoring of adrenal to psychological stressors in and nondomestic felids responses domestic. *Zoo Biology* 11:16-76.

Carlstead, K., J. Brown y W. Strawn. 1993. Behavioral and physiological correlates of stress in laboratory cats. *Applied Animal Behaviour Science*. 38(2), 143-158.

Ceballos, G., R. List, R. Medellín, C. Bonacic, J. Pacheco y P. Ehrlich. 2010. *Felinos de América*. México. Pp. 103.

Casey, R. 2002. Estrés y miedo. En: Horwitz D., Mills D. y Heath S. (Eds). *Manual de Medicina del Comportamiento Canina y Felina*. Pp. 231-246.

Castillo-Guevara C., K. Unda-Harp, C. Lara y J. Serio-Silva. 2012. Enriquecimiento ambiental y su efecto en la exhibición de comportamientos estereotipados en jaguares (*Panthera onca*) del Parque Zoológico "Yaguar Xoo", Oaxaca. *Acta Zoológica Mexicana (ns.)*, 28 (2): 365-377.

Ceballos, G., List, R., Medellín, R., Bonacic, C. y Pacheco, J. 2010. Los felinos de américa. *Cazadores sorprendentes*. México: TELMEX.

Chávez, C. y G. Ceballos. 2005. El jaguar mexicano en el siglo XXI: situación actual y manejo. *Memorias del primer simposio*. CONABIO-Alianza WWF Telcel-Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.

Clubb, R. y S. Vickery. 2006. Locomotory stereotypies in carnivores: does pacing stem from hunting, ranging or frustrated escape? *In: Mason, G. y J. Rushen. Stereotypic Animal Behavior: fundamentals and applications to welfare*. Second Edition, CABI. Pp 367.

CONABIO (Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2011. Ficha de especies prioritarias. Jaguar (*Panthera onca*) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Roberto Arreola, compilador), México D.F.

Danielsen, F., N. Burgess, A. Balmford, P. Donald, M. Funder, J. Jones, P. Alviola, D. Balete, T. Blomley, J. Brashares, B. Child, M. Enghoff, J. Fjeldsa, S. Holt, H. Hubertz, A. Jensen, P. Jensen, J. Massao, M. Mendoza, Y. Ngaga, M. Poulsen, R. Rueda, M. Sam, T. Skielboe, G. Stuart-Hill, E. Topp-Jorgensen y D. Yonten. (2009). Local participation in natural resource monitoring; A Characterización of approaches. *Conservation Biology*, Vol. 23, 31-42.

Davis, A., D. Maney y J. Maerz. 2008. El uso de perfiles de leucocitos para medir el estrés en vertebrados. *Funct Ecol*. 22: 760-772.

- Dhabhar, F. 2002. Aumento de la función inmunológica inducido por el estrés: el papel de las hormonas del estrés, los leucocitos, tráfico y citocinas. *Brain Behav Immun.* 16: 785-798.
- Díaz, M. 2006. Niveles de cortisol y estado endoparasitario en heces de jaguar (*Panthera onca*) y puma (*Puma concolor*) de vida libre en el ejido Caobas, Quintana Roo, México. Tesis maestría. ECOSUR.
- García-Alaníz, N., E.J. Naranjo y F.F. Mallory. 2010. Hari-snares: A non-invasive method for monitoring felid populations in the Selva Lacandona, Mexico. *Tropical Conservation Science* 3:403-411.
- Goymann, W., E. Mostl, T. Van't, M. East y H. Hofer. 1999. Noninvasive fecal monitoring glucocorticoids *in*: spotted hienas, *Crocuta crocuta*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 114: 340-348.
- Guyton, A. y J. Hali. 1996. Hormonas corticosuprarrenales. Capítulo 77. *In*: Tratado de fisiología. Interamericana Me Graw Hill. 1047\_1062.
- Harlowh, J., Lindzeyf, G., Vans-Icklew D. y A. Gernw. 1992. Stress response of cougars to nonlethal pursuit by hunters. *Can. J. Zool.* 70:136-139.
- Holstege, G. 2005. La micción y el alma. *J Comp Neurol.* 493 (1): 15-20.
- Ippi, S. y V. Flores. 2001. Las tortugas neotropicales y sus áreas de endemismo. *Acta Zoológica Mexicana.* (84), 49-63
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-3. *In*: <https://www.iucnredlist.org> consultado en diciembre 2020.
- Keay, J. S, Jatinder. C, Matthew. S, Gaunt y T. Kaur. 2006. Glucocorticoides fecales y sus metabolitos como indicadores de estrés en varias especies de mamíferos. *Journal of zoo and wildlife medicine,* 37 (3): 234-244.
- Lindburg, DG. 1998. Enriquecimiento mediante aprovisionamiento. *In*: Shepherdson, S., Mellen, J. y Hutchins, M. (Eds.), Segunda naturaleza: enriquecimiento ambiental para animales cautivos. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, pp. 262-276.
- McPhee, E. 2002. Intact Carcasses as Enrichment for Large Felids: Effects on and Off- Exhibit Behaviors. School of Natural Resources and Environment, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA. Pp 21:37-40.
- Michelson, D. J., Licinio y P. Gold. 1995. mediación de la respuesta al estrés por el eje hipotalámico-pituitario-adrenal. *In*: Friedman, MJ. Charney, DS, Deutch, AY (Eds.). Consecuencias clínicas y neurobiológicas del estrés: de la adaptación

normal al PTSD. Lippincott-Raven Publishers, Filadelfia, PA, págs. 225-238. Miller, PE, Murphy, CJ, 1995. Visión en perros. Mermelada. Veterinario. Medicina Assoc. 207, 1623-1634.

Miller, B y A. Rabinowitz. 2002. ¿Por qué conservar al jaguar? In: El jaguar en el nuevo milenio. Ed. R. Medellín, pp. 303-315. Fondo de cultura económica.

Moberg, G. 1987. Problems in defining stress and distress in animals. J Am Vet Med Assoc. 191(10):1207-1211.

Montanha, J., S, Leme y V, Boere. 2009. Comparison of salivary cortisol concentrations in jaguars kept in captivity with differences in exposure to the public. Ciencia rural. Vol. 39 (6): 1745-1551.

Morales, N. 2010. Repertorio comportamental de dos ejemplares cautivos de puma (*Puma concolor*) antes, durante y después de la implementación de un plan de enriquecimiento ambiental. Tesis de licenciatura. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias Carrera de Biología. Bogotá, D. C.

Morato, R., M. Bueno, P. Malmheister, I. Verreschi y R. Barnabe. 2004 Changes in the fecal concentrations of cortisol and androgen metabolites in captive male jaguars (*Panthera onca*) in response to stress. Brazilian. Journal Medical and Biological Research. 37(12): 1903-1997.

Morgan K. y Tromborg C. 2007. Sources of stress in captivity. Applied Animal Behaviour Science. Vol 102: 262-302.

Mormède, P., S., Andanson, B., Aupérin, B., Beerda, D., Guémené, J., Malmkvist, et al. 2007. Exploration of the hypothalamic-pituitary-adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. Physiol Behav; 92:317-339.

Morrison, J., W. Sechrest, E. Dinerstein, D. Wilcove y J. Lamoreux. 2007. Persistence of large mammal faunas as indicators of global human impacts. Journal of Mammalogy, 88(6), 1363-1380.

Nogueira, G. y J. Silva. 1997. Plasma cortisol levels in captive wild felines after chemical restraint. Brazilian Journal Of Medical and Biological Research. 30(11): 1359-1361.

Odberg, F. 1978. Abnormal behaviors (stereotypies). In: Garsi (Eds). Proceedings of the 1st World Congress on Ethology Applied to Zootechnics. Industrias Graficas, Madrid. Pp. 475-480.

Paredes, M. 2006. La imagen del jaguar en Mesoamérica: símbolo de poder y realeza en la época Precolombina. In: Libro de resúmenes del X Congreso de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y Conservación, eds. J. Cajas, M.

- Barrios, S. Cano, E. Cano, N. Escobedo y P. Velásquez. Pp. 102. Antigua: Sociedad Mesoamericana para la Biología y Conservación.
- Pottinger, T. 1999. The impact of stress on animal reproductive activities. *In: Stress Physiology in Animals* (Ed. By P. H. M. Baum), pp. 130-177.
- Rabinowitz, A. 2014. *An indomitable beast: the remarkable journey of the jaguar*. Washington, DC: Island Press.
- Randay, J. 2000. An introduction to behavioral endocrinology. 2nd Edition Sinaver Associates. 559-568 p.
- Romano, M, A. Zulema, R. Valdez, S. Hernández, F. Galindo, D. Canales y D. Brousset. 2010. Stress in Wildlife Species: Noninvasive Monitoring of Glucocorticoids. *Neuroimmunomodulation*. 17:209-212.
- Romero, M., L. Uribe-Velásquez y J. Sánchez. 2011. Biomarcadores de estrés como indicadores de bienestar animal en ganado de carne. *Biosalud*. 10(1): 71-87.
- Ross, S., S. Schapiro y K. Lukas. 2009. El uso del espacio como indicador de idoneidad del recinto: una nueva medida de bienestar de los animales en cautiverio. *Ciencia aplicada del comportamiento animal* 121: 42-50.
- Sambrook, T y H. Buchanan-Smith. 1997. Control y complejidad en el enriquecimiento de objetos novedosos. *Anim. Bienestar* 6, 207-216.
- Sands, J y S. Creel. 2004. Social dominance aggression and faecal glucocorticoid levels in a wild population of wolves, *Canis lupus* *animal Behaviour*. 67: 387-396.
- Sapolsky, R. 1992. Neuroendocrinology of the stress response. *In: Behavioral Endocrinology* (Ed. By J. B. Becker, S. B. Breedlove and D Crews), pp. 287-324.
- Sellinger R. y J. Ha. 2005. Los efectos de la densidad e intensidad de visitantes en el comportamiento de dos jaguares cautivos (*Panthera onca*). *Journal of Applied Animal Welfare Science* 8:223-244.
- Schatz, S. y R. Palme. 2001. Measurement of fecal cortisol metabolites in cats and dogs: a noninvasive method for evaluating adrenocortical function *veterinary Research communications* 25(4): 271-287.
- Sherwen, S., M. Magrath, K. Butler, C. Phillips y P. Hemsworth. 2014. Un estudio de recintos múltiples que investiga la respuesta conductual de los suricatos a los visitantes del zoológico. *Ciencias aplicadas del comportamiento animal* 156: 70-77.
- Sousa, M. y T. Ziegler. 1998. Diurnal variation on the excretion patterns of fecal steroids in common marmoset (*Callithrix jacchus*) females. *Am. J. Primatol.* 46: 105-117.

Suárez, P. P, Recuerda y L. Arias-de-Reyna. 2017. Comportamiento y bienestar: el efecto visitante en felinos cautivos. 26: 25-34.

Tromborg, C. y R. Coss. 1995. Denizens, decibels and dens. Pp 521-528. *In*: Annual Proceedings of the American Association of Zoos and Aquariums, Seattle, WA.

Von Holst, D. 1998. The concept of stress and its relevance for animal behavior. *Adv. Stud. Behav.* 27:1-131.

Wildt, D., Rall, W., Critser, J. Monfort, S., Seal, U. 1997. Genome resource banks. Living collections for biodiversity conservations. *Bioscience.* 47: sp.

Willemse T., M. Vroom, J, Mol y A, Rijnberk. 1993. Changes in plasma cortisol, corticotropin, and alpha-melanocyte-stimulating hormone concentrations in cats before and after physical restraint and intra dermal testing. *American Journal of Veterinary Research*, 54: 69-72.

Zanin M., F. Palomares y D. Brito. 2015. The jaguar's patches: Viability of jaguar populations in fragmented landscapes. *Journal for Nature Conservation* 23(2015): 90-97.



Fig. 1. Distribución de los estudios encontrados en países del neotrópico. Mapa modificado de Ipii y Flores, 2001.

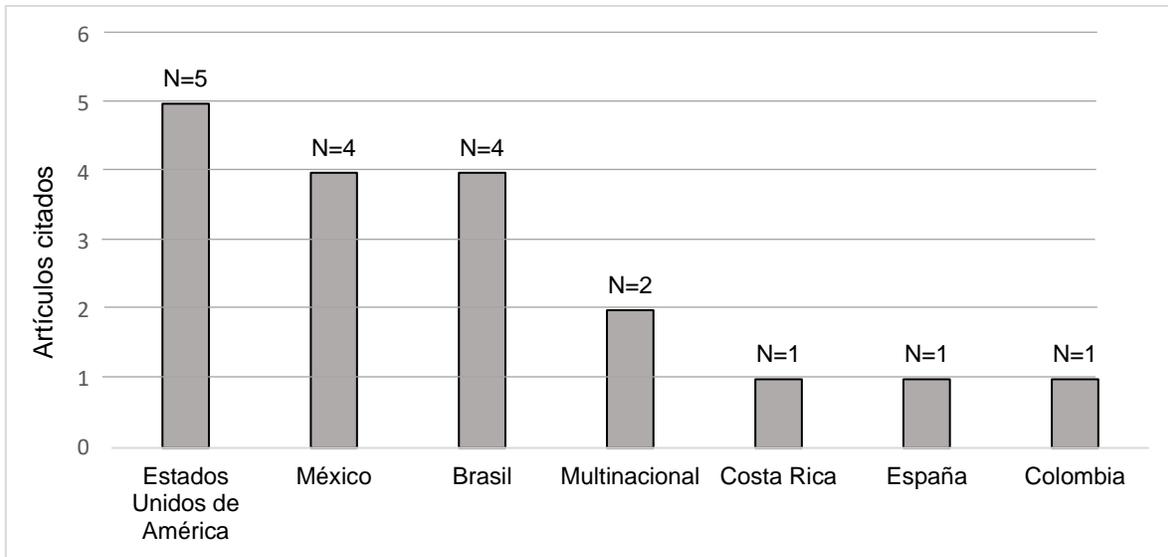


Figura 2. Número de artículos publicados por país acerca de estudios de estrés en felinos neotropicales.

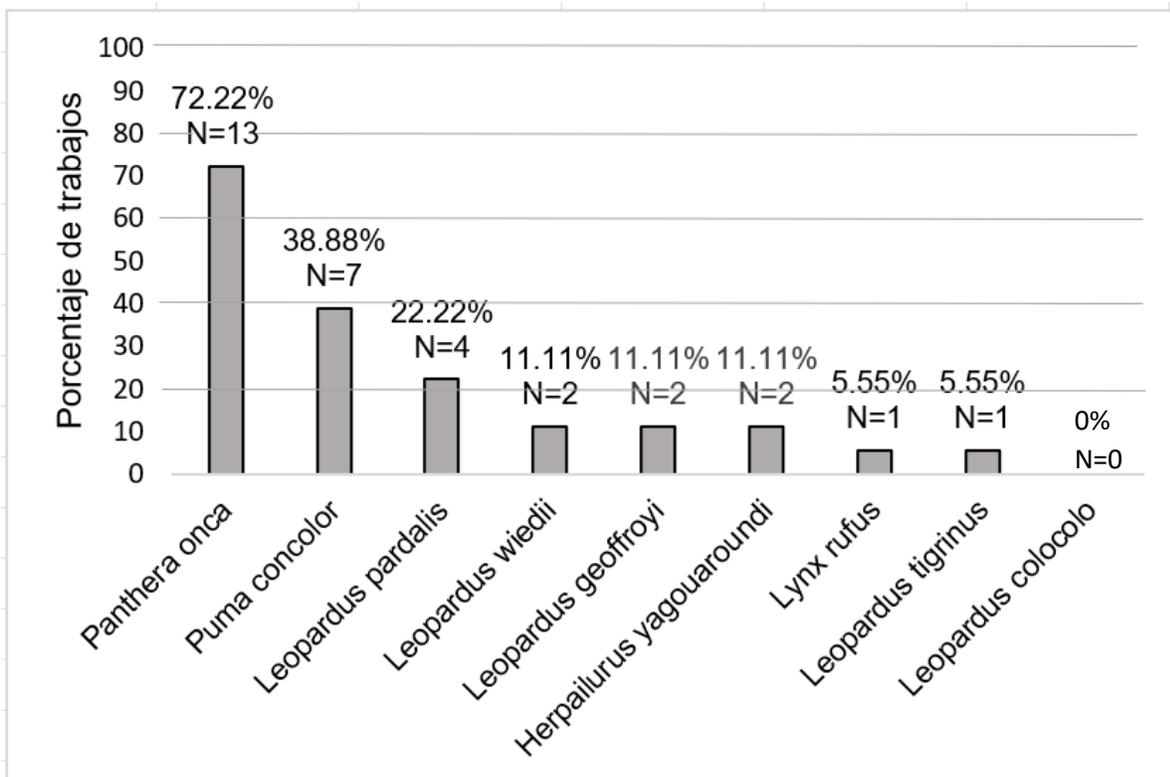


Figura 3. Frecuencia de aparición de las especies de felinos neotropicales en los trabajos consultados.

### III. CONCLUSIONES GENERALES

Los felinos son de gran interés biológico, ya que son indicadores del estado en que se encuentran los ecosistemas. El papel que desempeñan para mantener el equilibrio en áreas naturales protegidas y otras áreas silvestres es de suma importancia ya que regulan las poblaciones de herbívoros. El presente trabajo de revisión ha ayudado a recopilar los estudios realizados en torno al estrés en felinos silvestres que habitan en el neotrópico, los cuales dan pauta para mejorar futuros estudios. Los temas de estrés en los felinos silvestres del neotrópico son escasos y para el gato de las pampas *Leopardus colocolo* la información es nula; de acuerdo con la IUCN esta especie se encuentra en la categoría de casi amenazada, por lo que es de importancia biológica iniciar investigaciones sobre las concentraciones de cortisol en esta especie y conocer el estado de estrés que pueda presentar. El uso de métodos no invasivos para la obtención de la hormona cortisol es una alternativa viable para continuar con las investigaciones sobre este tema en las poblaciones de vida libre. El conocer cómo se encuentran las poblaciones de los felinos silvestres puede ayudar a realizar o mejorar planes de manejo para continuar con su conservación.

## LITERATURA CITADA

- Accorsi, P. A., E. Carloni, P. Valsecchi, R. Viggiani, M. Gamberoni, C. Tamanini y E. Seren.** 2008. Cortisol determination in hair and faeces from domestic cats and dogs. *Gen Comp Endocrinol.* 15:155(2):398-402.
- Astete, S., J. Marinho-Filho, M. Kajin, G. Penido, B. Zimbres, R. Sollmann, A. Jacomo, N. Torres y L. Silveira.** 2017. Forced neighbours: Coexistence between jaguars and pumas in a harsh environment. *Journal of Arid Environments.* 146:27-34.
- Brousset, D.** 2003. Efecto del enriquecimiento ambiental sobre el bienestar de tres especies de felinos mexicanos en peligro de extinción (ocelote, margay y jaguarundi) mantenidos en cautiverio. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 166.
- Brousset, D. M., F. Galindo, R. Valdez, M. Romano y A. Schuneman de A.** 2005. Cortisol en saliva, orina y heces: evaluación no invasiva en mamíferos silvestres. *Acta Zoológica Mexicana,* 36, 325-337.
- Ceballos, G., García, A., Salazar, I. y E. Espinoza.** 2010a. Conservación de los vertebrados de selvas secas: patrones de distribución, endemismo y vulnerabilidad. *In: Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México* (G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury-Creel y R. Dirzo, Eds. México: FCE - CONABIO-CONANPWWF- MÉXICO - ECOCIENCIA S.C.- TELMEX. pp. 369-386.
- Ceballos, G., List, R., Medellín, R., Bonacic, C. y Pacheco, J.** 2010b. Los felinos de américa. *Cazadores sorprendentes.* México: TELMEX.
- Ceballos, G y P. Ortega-Baes.** 2011. La sexta extinción: La pérdida de especies y poblaciones en el Neotrópico. J. Simonetti y R. Dirzo (Eds). *Conservación biológica: perspectivas de Latinoamérica,* Editorial Universitaria, Chile (2011), pp. 95-108.
- De Angelo, C., A. Paviolo, Y. Di Blanco y M. Di Bitetti.** 2015. Guía de huellas de los mamíferos y misiones y otras áreas del subtrópico de Argentina. Ediciones del subtrópico. Tucumán, Argentina.
- Díaz, N. M.** 2006. Niveles de cortisol y estado endoparasitario en heces de jaguares (*Panthera onca*) y puma (*Puma concolor*) de vida libre en el ejido Caobas, Quintana Roo, México. Tesis de maestría. El Colegio de la Frontera Sur. México 63 p.
- Fischer, M., W. Pacheco, G. Santos, D. Simao-Silva.** 2016. Enriquecimiento ambiental como un principio ético en la investigación con animales. *Rev. Bioét.* 24(3):32-41.

- Fowler M.** 1986. Stress. *In: Zoo and Wild Animal Medicine*. 2nd ed. W.B. Saunders, Philadelphia.
- Gómez, B. y A. Escobar.** 2006. Estrés y sistema inmune. *Revista Mexicana de Neurociencia*. 7 (1).
- González, C. y P. Pérez.** 2015. Desarrollo sostenible en la selva lacandona: análisis de tres proyectos de conservación biológica. *CONABIO. Biodiversitas*, 123: 1-6.
- Goymann, W.** 2005. Noninvasive monitoring of hormones in bird droppings: physiological validations, sampling, extraction, sex differences, and the influence of diet on hormone metabolite levels. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1046: 35–53.
- Harper, J. y S. Austad.** 2000. Fecal glucocorticoids: a noninvasive method of measuring adrenal activity in wild and captive rodents. *Phys. Biochem. Zool.* 73 (1): 12-22.
- Herman, J. y W. Cullinam.** 1997. Neurocircuitry of stress: central control of the hypothalamo-pituitary-adrenocortical axis. *Trends Neurosci.* 20: 78-84.
- Hernández-Huerta, A.** 1992. Los carnívoros y sus perspectivas de conservación en las áreas protegidas de México. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 54:1-23.
- Hennessy, M., J. Heybach, J. Vernikos y S. Levine.** 1979. Plasma corticosterone concentrations sensitively reflect levels of stimulus intensity in the rat. *Physiol. Behav.* 22: 821-825.
- Juárez, D., C. Estrada, M. Bustamante, Y. Quintana, J. Moreira y J. López.** 2007. Guía ilustrada de pelos para la identificación de mamíferos medianos y mayores de Guatemala. Instituto de investigaciones químicas y biológicas (IIQB). Facultad de ciencias químicas y farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. 87 pp.
- Jurke, M., N. Czekala, D. Lindburg y S. Millard.** 1997. Fecal Corticoid Metabolite Measurement in the Cheetah (*Acinonyx jubatus*). *Zoo Biology* 16:133-147
- Knol, B.** 1991. Stress and the endocrine hypothalamus-pituitary-testis systems: a review. *Vet. Quart.* 13: 104-114.
- Laverde, O.** 2002. Aves del trópico americano. Hurtado, C. (Ed). Los colores del aire: aves del trópico americano.
- Lawton, J., D. Bignell, B. Bolton, G. Bloemers, P. Eggleton, P. Hammond, M. Hodda, R. Holt, T. Larsenk, N. Mawdsley, N. Stork, D. Srivastava y A. Watt.** 1998. Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of hábitat modification in tropical forest. *Nature* 391: 72-76.
- Lombardi, J.** 1998. Comparative Vertebrate Reproduction. Kluwer Academic Publishers. Boston, EUA. 439 pp.

- Medellín, R.** 1992. Community Ecology and conservation of mammals in a mayan tropical rainforest and abandoned agricultural fields. Tesis (Doctorado) University of Florida. USA. 333 pp.
- Medellín, R.** 1994. Mammal diversity and conservation in the Selva Lacandona, Chiapas, México. *Conservation Biology*. USA. 83(3):780-799.
- Menkhorst, P. y F. Knight.** 2001. A Field guide to the mammals of Australia Oxford University Press. Melbourne, Australia. 269 pp.
- Miranda, F. y Hernández, X.** 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 28: 29-179.
- Nájera, F.** 2016. Valoración clínica de felinos de Borneo en programas de conservación: *Panthera nebulosa sunda (Neofelis diardi)* y gato leopardo (*Prionailurus bengalensis*). Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Naranjo, E. J.** 2002. Population ecology and conservation of ungulates in the Lacandon Forest, México. Tesis Doctoral. Universidad de Florida, Gainesville, FL. USA. 160 pp.
- Nelson, R.** 2000. An introduction to behavioral endocrinology. Sinauer Ass. Inc. Pub. Massachusetts, EUA. 724 pp.
- Nogueira G. y J. Silva.** 1997. Plasma cortisol levels in captive wild felines after chemical restraint. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research.* 30(11): 1359-1362
- Norman, A. y G. Litwack.** 1997. Hormones. Acad. Press. Orlando, EUA. 345 pp.
- Osofsky S.** 1997. Think link: Critically evaluating linkage between conservation projects and development. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 28: 141-143.
- Pachaly J., P., Werner, J., Schimanski y E. Ciffoni.** 1993. Estresse por captura e contenção em animais selvagens. *A Hora Veterinária*, 13: 47-52.
- Plan de Supervivencia de Especies de Tigres.** 2016. Manual para cuidado de tigres. Asociación de Zoológicos y Acuarios, Silver Spring, MD.
- Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Montes Azules.** 2000. Instituto Nacional de Ecología. México. 256 pp.
- Ramírez-Albores, J.** 2006. Variación en la composición de comunidades de aves en la Reserva de la Biosfera Montes Azules y áreas adyacentes, Chiapas, México. *Biota Neotropica* 6:(2).
- Rodríguez, Á. C. y L. Arias B.** 2005. Validación y aplicación de la prueba ELISA para medir cortisol fecal en jaguar (*Panthera onca*) y puma (*Puma concolor*) durante un programa de enriquecimiento ambiental en el zoológico Jaime Duque1. *Revista de Medicina Veterinaria*, 10 53-64.

- Romero, L.** 2004. Physiological stress in ecology: lessons from biomedical research. *TREE* 19 (5): 249-255.
- Sapolsky, R.** 1992. Neuroendocrinology of the stress response. *In: Behavioral Endocrinology*. Massachusetts Institute of Technology Press. Nueva York, EUA. (Becker, J.B., S.M. Breedlove, D. Crews, M.M. McCarthy, Eds.) Pp 287-324.
- Sands J. y Creel S.** 2004. Social dominance, aggression and faecal glucocorticoid levels in a wild population of wolves, *Canis lupus*. *Animal Behaviour* 67: 387- 396.
- Stratkin C. y G. Chrousos.** 1995. Neuroendocrinology and pathophysiology of the stress system. In *Stress, basic mechanism and clinical implications*. *Ann N Y Acad S* (771): 1-18.
- Valdespino, C., R. Martínez-Mota, L. M. García-Feria y L. E. Martínez-Romero.** 2007. Evaluación de eventos reproductivos y estrés fisiológico en vertebrados silvestres a partir de sus excretas: evolución de una metodología no invasiva. *Acta Zoológica Mexicana*, 23 (3) 151-180.