

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

**RESPUESTA COMPORTAMENTAL Y ENDÓCRINA A LA MANIPULACIÓN
EN *Addax nasomaculatus* EN CAUTIVERIO: DIFERENCIAS ENTRE SEXOS Y
MANIPULACIONES**

Por:

Analía Gabriela PÉREZ FÍGOLI
Sarina Alesandra SIERRA IRIARTE

TESIS DE GRADO presentada como uno
de los requisitos para obtener el título de
Doctor en Ciencias Veterinarias
Orientación: Medicina - Producción

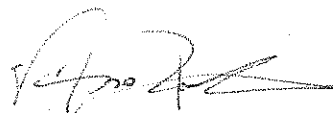
MODALIDAD: Ensayo Experimental

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2025**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis de grado aprobada por:

Presidente de mesa:



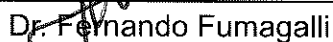
Dra. Victoria Roher

Segundo miembro (Tutor):



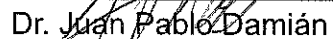
Dr. Matías Villagrán

Tercer miembro:



Dr. Fernando Fumagalli

Tercer miembro:



Dr. Juan Pablo Damián

Fecha de aprobación:

08/08/2025

Autores:



Br. Sarina Sierra



Br. Analía Pérez

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor y co-tutor, quienes brindaron su tiempo, conocimiento y orientación a lo largo de todo el proceso y cuya experiencia y supervisión fueron fundamentales para realizar el trabajo práctico de manera ética y segura.

Al parque Lecocq por permitirnos realizar nuestra investigación en sus instalaciones y a los veterinarios y funcionarios del mismo, que contribuyeron con su experiencia y dedicación en el manejo de esta especie y fueron cruciales para la obtención de muestras.

A todos nuestros compañeros y compañeras, con quienes realizamos tareas en conjunto y compartimos esfuerzos, trabajo e información a lo largo de toda la investigación.

A nuestros amigos y familia, por su apoyo, por su ayuda y comprensión a lo largo de este camino, sin los cuales nada de esto hubiera sido posible.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	5
1. RESUMEN	6
2. SUMMARY	7
3. INTRODUCCIÓN	8
3.1 Bienestar animal y animales en cautiverio	8
3.1.1 Fisiología y respuesta al estrés	9
3.1.2 Variación en la respuesta	10
3.1.3 Formas de medición del estrés	11
3.2 El antílope Addax	12
3.2.1 Hábitat y Distribución	13
3.2.2 Estatus de conservación y su importancia	13
3.2.3 Manejo de la especie en Lecocq	14
4. HIPÓTESIS	15
5. OBJETIVOS	16
5.1 Objetivo general	16
5.2 Objetivos específicos	16
6. MATERIALES Y MÉTODOS	17
6.1 Lugar y población de estudio	17
6.2 Manipulación y obtención de muestras	18
6.3 Medición de metabolitos de cortisol en fecas	19
6.4 Procesamiento de los datos	19
6.5 Análisis estadístico	20
7. RESULTADOS	21
7.1 Metabolitos de cortisol y uso de comportamientos previo a la manipulación	21
7.2 Respuesta a la manipulación	21
7.2.1 Metabolitos de cortisol fecal	21
7.2.2 Comportamiento alimenticio	22
7.2.3 Comportamiento locomotor	24
8. DISCUSIÓN	26
9. CONCLUSIONES	30
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	
31	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1. Grupo de antílopes hembras dentro de uno de los recintos en el Parque Lecocq.....	13
Figura 2. Imagen satelital de los recintos.....	18
Tabla 1. Frecuencia de uso de comportamientos y concentración de metabolitos de cortisol en fecas previo a cada manipulación.....	21
Figura 3. Respuesta a la manipulación en la concentración de metabolitos de cortisol en fecas.....	21
Figura 4. Respuestas a la manipulación en comportamiento de consumo de suplemento.....	21
Figura 5. Respuestas a la manipulación en el comportamiento de rumia.....	22
Figura 6. Respuesta a la manipulación en el comportamiento de pastoreo.....	22
Figura 7. Respuesta a la manipulación en el comportamiento de estar parados.....	23
Figura 8. Respuesta a la manipulación en el comportamiento de estar echados....	23

1. Resumen

El antílope *Addax nasomaculatus* es un rumiante silvestre de África, en peligro crítico de extinción, con menos de 100 individuos en vida libre. En el zoológico Parque Lecocq (Montevideo, Uruguay) se mantiene desde hace años una población cautiva estable, que implica manejos necesarios, pero cuyo impacto en el bienestar animal y en su respuesta al estrés se desconoce. El objetivo de esta tesis fue evaluar las diferencias entre sexos y entre manipulaciones en la respuesta de estrés frente a la manipulación no invasiva en tubo. Se realizaron registros tipo scan cada 10 min (8h/día) dos días previos y dos días posteriores a la manipulación, en las cuatro estaciones. Se consideró el comportamiento locomotor y patrones de alimentación en 10 machos y 15 hembras. Además, se colectó materia fecal de cada individuo, previa y posteriormente a la manipulación para la determinación de metabolitos de cortisol. Los datos fueron analizados utilizando modelos lineales generalizados mixtos. La respuesta a la manipulación en la concentración de metabolitos de cortisol en fecas, varió entre manipulaciones, entre sexos y en la interacción entre ambos. La respuesta en los comportamientos de rumia, consumo de suplemento y pastoreo varió entre manipulaciones, y el pastoreo también mostró diferencias entre sexos. Hubo interacción entre manipulación y sexo en los comportamientos de estar parado y echado. El comportamiento de caminar no tuvo variaciones post manipulación. En conclusión, el pasaje por el tubo y la manipulación, provoca una respuesta de estrés, pero la misma no sería de gran magnitud para los addax, aunque en ciertos momentos, los machos parecen ser más sensibles a este manejo. No se evidenciaron patrones de habituación o exacerbación en la respuesta a la manipulación. Comprender cómo los addax reaccionan frente a diferentes situaciones podría contribuir a optimizar el manejo de la especie en cautiverio y mejorar su bienestar.

Palabras claves: antílope, bienestar, comportamiento, cortisol

2. Summary

The *Addax nasomaculatus* antelope is a critically endangered wild ruminant from Africa, with fewer than 100 individuals remaining in the wild. A stable captive population has been maintained at the Parque Lecocq Zoo (Montevideo, Uruguay) for years. This requires necessary management, but its impact on animal welfare and stress response is unknown. The objective of this thesis was to evaluate differences between sexes and between manipulations in the stress response to non-invasive manipulation in a tube. Scan recordings were made every 10 min (8 h/day) two days before and two days after manipulation, in all four seasons. Locomotor behavior and feeding patterns were considered in 10 males and 15 females. In addition, fecal matter was collected from each individual before and after manipulation for the determination of cortisol metabolites. Data were analyzed using generalized linear mixed models. The response to manipulation in fecal cortisol metabolite concentrations varied between manipulations, between sexes, and in the interaction between the two. Responses in rumination, supplement consumption, and grazing behaviors varied between manipulations, and grazing behavior also showed differences between sexes. There was an interaction between manipulation and sex in standing and lying behaviors. Walking behavior did not vary post-manipulation. In conclusion, passage through the tube and manipulation provoke a stress response, but it is not considered to be of great magnitude for the addax, although at certain times, males appear to be more sensitive to this handling. No patterns of habituation or exacerbation were evident in the response to manipulation. Understanding how addax react to different situations could contribute to optimizing the management of the species in captivity and improving their welfare.

Keywords: antelope, cortisol, welfare, behavior

3. Introducción

3.1 Bienestar animal y animales en cautiverio

Existen diversas definiciones de bienestar animal, pero la mayoría coincide en algunos aspectos como la salud física, el estado emocional, y el comportamiento (Manteca & Salas, 2015). Según Broom (1986), el bienestar de un individuo se refiere al estado que presenta el animal, en función de sus esfuerzos por adaptarse al entorno en el que se encuentra. Esto lo puede lograr con poco esfuerzo y escaso consumo de recursos, logrando un bienestar adecuado, o puede que no lo consiga, en cuyo caso el bienestar será deficiente (Broom, 1986).

Según la Organización Mundial de la Sanidad Animal (OMSA), el bienestar se refiere al estado físico y mental del animal en relación con el ambiente que lo rodea. Así mismo, establece que el animal se encuentra en buenas condiciones de bienestar cuando no experimenta sed ni desnutrición, está libre de miedo y ansiedad, no sufre molestias físicas ni térmicas, no padece dolor, lesión ni enfermedad, está en buen estado de salud, se encuentra en un entorno seguro y no experimenta sensaciones de miedo o temor (OMSA, 2025), considerando el concepto de las cinco libertades (Farm Animal Welfare Council [FAWC], 1992). Investigaciones han comprobado que los animales pueden sufrir tanto experiencias negativas, como positivas. Por lo tanto, el bienestar animal puede fluctuar desde niveles muy bajos (pobres) a muy altos (buenos) (World Association of Zoos and Aquariums [WAZA], 2015).

Es fundamental para los animales que se mantienen en zoológicos, bajo cuidado humano, garantizar los mejores estándares posibles en cuanto a su bienestar, para poder cumplir con la función de educación y conservación, pero aún más por razones éticas (Manteca & Salas, 2015). Los zoológicos pueden jugar un papel crucial en la protección de especies en peligro de extinción, siempre y cuando se gestionen adecuadamente y sigan las prácticas correctas, siendo de relevancia integrar el bienestar animal en los planes de manejo. A medida que el conocimiento científico crece, se debe ir incorporando el mismo al cuidado y manejo de los animales. Aquellos que logran elevados estándares de bienestar son los que se basan en conocimientos científicos y experiencias prácticas, lo que guía a un manejo adecuado de las especies. Para lograrlo, se recomienda elaborar un plan de bienestar animal, fomentar la investigación continua, el monitoreo de los animales con indicadores para evaluar sus estados físicos, funcionales y conductuales, y fomentar y promover el conocimiento y comprensión del bienestar (WAZA, 2015).

No hay ningún indicador que por sí mismo proporcione suficiente información, por lo que el bienestar debe evaluarse a través de un conjunto de ellos. Están aquellos indicadores que se relacionan directamente con el animal, como los cambios en el comportamiento, la apariencia física, la salud y los parámetros fisiológicos y bioquímicos. Y otros, en cambio, no se centran en el animal en sí, sino en el ambiente en que estos se encuentran, como son las condiciones y distribución de las instalaciones, tipo y calidad del alimento y el enriquecimiento ambiental (Salas & Manteca, 2016; Tallo-Parra et al., 2023). El comportamiento es un indicador sumamente valioso, ya que cambios en la frecuencia, duración o intensidad de los comportamientos normales, así como también la aparición de nuevos

comportamientos, pueden proporcionar información clave sobre su bienestar. Dentro de los parámetros fisiológicos, los indicadores más utilizados son los que miden la respuesta de estrés, por ejemplo, mediante la actividad del eje hipotálamo-hipofisario-adrenocortical (HHA), siendo la medición del cortisol o sus metabolitos una medida eficaz (Salas & Manteca, 2016).

3.1.1 Fisiología y respuesta al estrés

El estrés es el estado de desbalance homeostático inducido por eventos y situaciones conocidas como estresores (Damián et al., 2015; Sapolsky, 2004). Frente a la amenaza del medio interno, el organismo reacciona con el objetivo de volver a la función normal y restablecer la homeostasis. La respuesta de estrés abarca elementos desde el sistema nervioso central y comportamental, hasta diversas consecuencias periféricas, las cuales cumplen la función de evitar la amenaza y aumentar la chance de supervivencia (Cockrem, 2007).

La respuesta al estrés es una respuesta neuroendócrina que involucra la activación de dos ejes: por un lado, se activa el eje simpático-adrenomedular (SAM), con la consecuente liberación de catecolaminas y, por otro lado, se activa el eje HHA, resultando en la liberación de cortisol (Damián et al., 2015; Sapolsky et al., 2000). Los estímulos de estrés, junto con la información proveniente del ambiente, llegan al hipotálamo e inician la actividad del eje HHA (Viau, 2002). Se estimula la liberación de Hormona Liberadora de Corticotrofinas (CRH) desde el hipotálamo, la cual estimula la liberación de Hormona Adrenocorticotropa (ACTH) en la adenohipófisis, generando un efecto en las glándulas adrenales, que producen una liberación del cortisol a la sangre (Sapolsky y Meaney, 1986). Posteriormente, este incremento en cortisol provocará un feedback negativo en el eje HHA, inhibiendo tanto la secreción de CRH como de ACTH para restablecer la condición previa (Keller-Wood & Dallman, 1984). Las catecolaminas junto con el cortisol liberado generan una serie de cambios metabólicos destinados a promover el uso de la energía, incrementando la concentración de glucosa y ácidos grasos libres en sangre (Damián et al., 2015; Sapolsky et al., 2000). En particular, la liberación de catecolaminas produce un aumento de la frecuencia cardíaca y respiratoria, ayudando a priorizar el uso de dicha energía para la actividad neuromuscular y del sistema nervioso central (Knol, 1991). Las catecolaminas provocan un mayor flujo sanguíneo para los músculos y el cerebro, promoviendo además una mayor glucogenólisis (McEwen & Sapolsky, 1995).

Tanto el eje HHA como el SAM se encuentran estrechamente relacionados modulando uno la actividad del otro, permitiendo así una respuesta adaptativa al estrés (Sapolsky et al., 2000). La respuesta de estos ejes, junto con las respuestas de comportamiento, ayudan al individuo a restablecer la homeostasis (Sapolsky et al., 2000). Sin embargo, también involucran otras respuestas, como la inhibición de la función reproductiva y el sistema inmune (Sapolsky & Meaney, 1986).

3.1.2 Variación en la respuesta

La respuesta de estrés presenta una gran variabilidad individual. La forma en que el animal integra los distintos estímulos ambientales, su posterior respuesta comportamental, así como los incrementos y duración del cortisol, están vinculados

entre otros factores como la personalidad del individuo (Cockrem, 2007). Frente al mismo estresor, los cambios comportamentales y la respuesta fisiológica van a variar entre los ejemplares de acuerdo a su personalidad, lo cual estaría explicado por diferencias en su genotipo (Koolhaas et al., 1999). Algunos individuos tienden a tener respuestas más agresivas o proactivas, mientras que otros tienden a comportamientos de inmovilidad o más reactivos (Koolhaas et al., 2010; Korte et al., 2005; Verbeek et al., 1996). Estas respuestas son adaptativas y frente a distintas adversidades les confieren ventajas a los individuos para sobrevivir (Carere et al., 2003). Aquellos más proactivos tienden a tener una mayor respuesta del sistema nervioso simpático, con un mayor aumento del SAM (Koolhaas et al., 2010), y los más reactivos tienden a tener una mayor estimulación del sistema HHA, con un aumento mayor de glucocorticoides circulantes (Carere et al., 2010). Dentro de las variaciones individuales en la respuesta comportamental al estrés se identifican dos factores fundamentales, que son la forma en la que el individuo tiende a responder (tipo proactivo vs. reactivo) y la reactividad al estrés, definida como la intensidad y el tiempo que dura el comportamiento provocado por el estresor, además del nivel de las hormonas de estrés en sangre (Koolhaas et al., 2010).

Existen también variaciones en la respuesta al estrés dependiendo del sexo del individuo, relacionados con un efecto de las hormonas de origen gonadal (Bale & Epperson, 2015). El eje Hipotálamo-Hipofisario-Gonadal (HHG) modula la respuesta al estrés a través de interacciones neuroendócrinas que dan origen a distintas respuestas fisiológicas y comportamentales entre machos y hembras (Handa et al., 1994). Algunas hormonas, como la testosterona, tienen efectos inhibidores sobre el eje HHA, modulando la respuesta comportamental al estrés (Stanojevic et al., 2018). Esta modulación implica una reducción en la respuesta de liberación de ACTH cuya magnitud inhibitoria dependerá del nivel basal de testosterona que tuviera el individuo previamente (Korte et al., 2005). Un estudio realizado por Handa et al. (1994) encontró que, mientras en los machos la testosterona tendería a atenuar la activación del eje hipotálamico-hipofisario-adrenal (HHA), en las hembras el estrógeno potenciaría dicha respuesta, incrementando la liberación de ACTH y, consecuentemente, los niveles de cortisol. No obstante, otros trabajos han reportado resultados divergentes, observando que, ante un mismo evento estresante, los machos mostraron una mayor disminución en el comportamiento de alimentación y en su condición corporal en comparación con las hembras (Faraday, 2002). Asimismo, Atkinson y Waddell (1997) describieron un incremento más pronunciado en las concentraciones plasmáticas de glucocorticoides en machos frente a hembras expuestos al mismo estresor. Particularmente, en los individuos con mayor potenciación del eje SAM se ha observado un mayor aumento de los niveles de testosterona y cortisol a niveles basales (Chichinadze & Chichinadze, 2008) y en aquellos con un mayor predominio del eje HHA, un mayor incremento de cortisol con una duración mayor en el tiempo (Hucklebridge et al., 1981). A su vez, la testosterona ha sido vinculada al comportamiento agresivo, aunque algunos autores sostienen que este efecto se observa únicamente en determinadas épocas, cuando se establecen parejas sexuales, territorios o jerarquías (Chichinadze & Chichinadze, 2008; Haller et al., 1997; Hogstad, 1987; Hucklebridge et al., 1981; Korte et al., 2005; Wingfield et al., 2001).

Los cambios estacionales también provocan cambios fisiológicos y comportamentales en los rumiantes (Arnold, 2020; Villagrán et al., 2023). La respuesta

comportamental frente a un estresor varía entre las estaciones y un mismo evento, puede provocar una respuesta de mayor intensidad en una estación que en otra (Cockrem, 2007; Meyer et al., 2006). Esto se explica dado que la actividad del eje HHA está vinculada al ritmo circadiano y a la variación del fotoperíodo (Ottewill et al., 1979). Estas respuestas les permiten tener mejores estrategias de sobrevivencia acompañando los cambios estacionales y ambientales, como la disponibilidad de alimentos o el momento apropiado para que nazcan las crías (Walton et al., 2011). Los ungulados en particular, son animales sensibles al fotoperíodo y su respuesta adaptativa se basa en la modificación de patrones comportamentales, así como de las respuestas neuroendócrinas relacionadas con los cambios en las horas de luz/oscuridad diarias (Correa & Fernández, 2017). Los niveles de cortisol circulantes y sus metabolitos excretados en heces en algunas especies de ungulados fueron mayores durante la estación reproductiva en los meses de otoño, por ejemplo (Khonmee et al., 2014). Otros cambios comportamentales en respuesta al estrés incluyen cambios en la alimentación, ya que se ha evidenciado que la ingesta de comida disminuye la ansiedad a través de un feedback negativo en el hipotálamo (Korte et al., 2005).

La propia repetición del estímulo puede variar la respuesta de un animal. La exposición repetida a un estresor puede generar habituación, reduciendo progresivamente la activación del eje HHA (Herman, 2013), así como también, producir un aumento en la respuesta, lo que se conoce como sensibilización (Groves & Thompson, 1970; Vogel & Jenesh, 1988). En el caso de un estímulo que representa un peligro potencial, el animal puede optar por una estrategia como huir o evitarlo. Sin embargo, si el mismo se repite y no representa un peligro real, el animal tenderá a habituarse y responder con menor intensidad, como estrategia para conservar su energía. En consecuencia, los animales silvestres expuestos a un estímulo neutral de origen antropológico, pueden no mostrar cambios comportamentales o fisiológicos (Geist, 2011; Knight, 2009; Whittaker & Knight, 1998).

3.1.3 Formas de medición del estrés

El cortisol generado en la respuesta de estrés puede medirse tanto en sangre, saliva, orina, pelo, así como también en heces (Sapolsky, 2005). Estudios en rumiantes reportaron que la medición tanto del cortisol en sangre como de sus metabolitos en heces se correlaciona de forma significativa y positiva con la exposición del individuo a un evento estresante (Arias et al., 2013; Arias & Velapatiño, 2015). La medición en heces es una forma no invasiva, que permite realizar múltiples monitoreos sin producir estrés al animal y refleja de forma más fehaciente el perfil hormonal del mismo, dado que no proporciona el estrés adicional que incluye la captura y manipulación para la extracción de otras muestras como sangre o saliva (Arias, 2013; McGee, 2009; Sheriff et al., 2011). Por ello, se ha vuelto una herramienta muy relevante al trabajar con animales en cautiverio, facilitando obtener conocimiento sobre parámetros fisiológicos de los individuos, para el correcto manejo y la conservación de la especie (Valdespino et al., 2007). Debido a esto, tanto el estudio de los metabolitos de cortisol, así como de otras hormonas en fecas, se está utilizando para generar conocimiento sobre las especies en cautiverio, su reproducción, respuesta al estrés y mejorar la manipulación de las mismas (Arias, 2013; De Andrés

et al., 2021; Young et al., 2004).

3.2 El antílope Addax

El *Addax nasomaculatus* es una especie de rumiante silvestre originario de África que pertenece al orden *Artiodactyla* y a la familia *Bovidae* (Krausman & Casey, 2007; UICN, 2025). Son antílopes de talla mediana, pudiendo llegar a 130 cm de longitud total, 35 cm en longitud de cola y 115 cm de altura al hombro (Figura 1). Presentan dimorfismo sexual secundario moderado, pesando entre 100 a 125 kg los machos y entre 60 a 90 kg las hembras. Ambos sexos poseen cuernos curvos en espiral, anillados y largos, compuestos por un núcleo óseo cubierto de queratina y no caducifolios, aunque pueden perderlos o dañarlos en peleas. En los machos los mismos son de mayor tamaño que en las hembras, llegando en ellos hasta los 109 cm de largo (Dolan, 1996; Krausman y Casey, 2007; Beudels-Jamar et al., 2005). Vistos de frente, se caracterizan por un mechón prominente de pelo color castaño oscuro, cabeza de color beige con dos manchas blancas unidas en la cara en forma de “x” que se extienden hacia afuera hasta la mitad de la mejilla. El color del pelaje varía desde un color blanco durante el verano, a gris más oscuro durante el invierno, época en la cual aumenta en grosor, densidad y longitud (Sahara Conservation Fund, n.d.).

La madurez sexual en los machos se alcanza aproximadamente a los dos años de edad, mientras que en las hembras al segundo y tercer verano posterior a su nacimiento (Altan, 2000). Estas pueden dar a luz todo el año, pero generalmente los partos suelen presentarse a finales del invierno y principios de la primavera. El estro dura de 24-48 hs y la gestación de 257-270 días (Krausman y Casey, 2007). Dan a luz una sola cría por temporada, pesando 5 kg al nacimiento (Dolan, 1996; Krausman y Casey, 2007).

Se desplazan a largas distancias en grupos de 5 a 20 individuos, siguiendo como líderes a las hembras de mayor edad. Naturalmente, no son agresivos, aunque sí pueden reaccionar ante una amenaza. En cautiverio, cuando la densidad de la población es alta, los machos compiten por hembras y territorio, y las hembras establecen relaciones jerárquicas donde los individuos de mayor edad dominan a las más jóvenes (Krausman y Casey, 2007).



Figura 1: Grupo de antílopes hembras dentro de uno de los recintos en el Parque Lecocq.
Nota: elaboración propia.

3.2.1 Hábitat y Distribución

Originario de África, estuvo naturalmente extendido en toda la región sahelosahariana, al oeste del valle del Nilo y presente en países que comparten el desierto del Sahara. Actualmente, su población se ha visto reducida drásticamente, considerándose extinto en muchas de esas regiones como Argelia, Egipto, Libia, Marruecos, Sudán, Túnez y Sahara Occidental. La población que sobrevive lo hace en la región de Toumma, en Níger (UICN, 2025).

Habita en áreas desérticas y semidesérticas, desoladas, de aridez y temperaturas extremas. A excepción de zonas montañosas, puede encontrarse en diferentes terrenos, prefiriendo arenas compactas y áreas más planas en campos de dunas donde hay vegetación perenne (Dolan, 1996; UICN, 2025). Al habitar en desiertos, llevan un estilo de vida nómade que les permite ir en busca de la escasa vegetación presente en el lugar y alimentarse de pastos, hierbas y hojas de pequeños arbustos. Obtiene el agua mayoritariamente de la humedad del alimento que consumen. Realizan migraciones en respuesta a las lluvias para así aprovechar el crecimiento de la vegetación (Dolan, 1996; Krausman y Casey, 2007).

3.2.2 Estatus de conservación y su importancia

En las últimas décadas, el Sahara ha sufrido una caída abrupta de su megafauna, produciéndose la extinción de muchas especies y poniendo en peligro de extinción en un futuro cercano a muchas más, incluyendo, entre a otras, a la dama gacela (*Nanger dama*), el guepardo sahariano (*Acinonyx jubatus*) y al addax (*Addax nasomaculatus*) (Durant et al., 2014; Stabach et al., 2017).

Entre las razones que los están llevando al borde de la extinción se encuentran el cambio climático, la caza furtiva (como deporte, por su carne, piel y cuernos), el avance de la urbanización, la expansión agrícola y las actividades de explotación y extracción de recursos en su distribución natural (principalmente petróleo). Dichas amenazas, asociadas y potenciadas, van generando un daño acumulativo en estas poblaciones y en toda la biodiversidad en general (Cancino, 2023).

Actualmente, el addax integra la lista roja de especies en peligro crítico de extinción de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), se estima que hay menos de 100 individuos adultos en vida libre cuya población continúa decreciendo y unos 5000 ejemplares en colecciones privadas en Estados Unidos y Medio Oriente. La recuperación de la especie tiene índice de apenas 14%, situándose en un estado “críticamente agotado”, esto se debe a su ausencia en cuatro de los siete sitios donde se distribuye naturalmente, y a que en los lugares donde todavía permanece, no se encuentra en condiciones viables (UICN, 2025).

A pesar del serio riesgo e inminente extinción que enfrenta la especie, el conocimiento científico sobre la misma es extremadamente escaso. Aun cuando existen mayor cantidad de ejemplares en cautiverio que en vida libre, se desconocen

las consecuencias potenciales que poseen los diversos factores estresantes que conlleva la vida en cautiverio. En este contexto, es necesario realizar actividades para asegurar la correcta sanidad, manejo y bienestar de estos animales.

3.2.3 Manejo de la especie en Lecocq

El Parque Lecocq se encuentra ubicado en Santiago Vázquez, al oeste de Montevideo, Uruguay. Allí existe una población estable con aproximadamente 30 individuos adultos, más crías y juveniles, considerándose la mayor en Sudamérica. Se encuentran en 7 encierros diferentes, en grupos determinados. En esta población se realizan cruzamientos dirigidos con el fin de evitar una mayor consanguinidad y mantener la mayor variabilidad genética posible.

Actualmente se están llevando a cabo trabajos de investigación donde participan veterinarios, docentes y estudiantes de la Facultad de Veterinaria con el objetivo de obtener mayor información sobre la especie. El manejo en cautiverio (acciones veterinarias, reproductivas, entre otras) suele implicar intervenciones periódicas, que incluyen el paso por tubo. Estas acciones requieren mantener a los animales en corrales reducidos, trasladarlos entre recintos y mantener una proximidad mayor a la habitual entre individuos; todos ellos factores potencialmente estresantes. Sin embargo, se desconoce cómo el paso por el tubo y la manipulación afectan su bienestar, así como los cambios comportamentales inducidos por el estrés y si estos afectan de forma diferencial a machos y hembras. Este estudio prevé evaluar esos efectos.

4. Hipótesis

- 1) La permanencia y manipulación en el tubo son estresores que repercuten sobre la producción de cortisol, el comportamiento alimenticio y locomotor en addax.
- 2) Las hembras addax responden más intensamente que los machos ante el estrés de la manipulación.
- 3) La manipulación provoca una disminución significativa en los comportamientos alimenticios y locomotor, y un aumento en la concentración de metabolitos de cortisol en fecas.

5. Objetivos

5.1 Objetivo general:

Evaluar cómo las repetidas manipulaciones afectan la respuesta de estrés a la manipulación no invasiva en el tubo en antílope *Addax nasomaculatus* y evidenciar si existen diferencias basadas en el sexo.

5.2 Objetivos específicos:

- Evaluar cómo la manipulación no invasiva en tubo afecta la respuesta comportamental alimenticia y locomotora y en la concentración de metabolitos de cortisol en fecas.
- Establecer cómo dichas respuesta comportamentales y endócrinas varían según la repetición de las manipulaciones y el sexo de los individuos.

6. Materiales y Métodos

Los procedimientos realizados se encontraban aprobados por la Comisión de Ética en el Uso de Animales (CEUA-FVET, 1077/20), Facultad de Veterinaria, Udelar.

6.1 Lugar y población de estudio

El estudio fue realizado en la institución zoológica Parque Lecocq (Montevideo, Uruguay; 34°47'S, 56°20'O), que abarca una extensión de 150 hectáreas y cuenta con praderas, bosques y cuerpos de agua (Sistema Departamental Zoológico Montevideo, Intendencia de Montevideo, n. d.).

La población de estudio estuvo compuesta de 25 individuos adultos de *Addax nasomaculatus*, de los cuales 10 eran machos y 15 hembras, con una edad de 9 ± 3.8 años. Además, se encontraban presentes algunos ejemplares juveniles y 2 crías, los cuales no fueron incluidos en el estudio. Los animales se encontraban distribuidos en siete recintos, los machos en corrales 1, 4, 5 y 6, y las hembras en corrales 2 y 3 (Figura 2). Durante el estudio se mantuvieron separados, pero en corrales linderos, a excepción de un corral más alejado y sin contacto con el resto (corral 7), donde se encontraban algunos machos. Antes de comenzar, se realizó una caracterización de todos los individuos, incluyendo fotos y descripción de la forma de los cuernos, marcas, cicatrices, color y número de caravana, con la finalidad de identificar a cada ejemplar.

Los recintos contaban con áreas de pasto, árboles que proporcionaban sombra, y un quincho que servía como resguardo para los animales y donde se encontraba el tubo, con excepción del corral 7, que se encontraba fuera del quincho. Los recintos eran limpiados diariamente por el personal del parque. Una vez finalizada esta tarea se procedía a la alimentación de los ejemplares. El suministro consistía en fardos y ración formulada para antílopes y analizada para micotoxinas (máx. cornezuelo 0.003% y máx. DON 5ppm).



Figura 2: Imagen satelital del Parque Lecocq, donde se observa la distribución de los recintos (números 1 al 7) donde se alojaba la población de antílopes addax. El área señalada en un círculo rojo corresponde a la ubicación de los quinchos donde se encontraban los tubos de manipulación. Nota: adaptado de Google maps.

6.2 Manipulación y obtención de muestras

Se realizó una manipulación no invasiva en el tubo en cada estación del año. Esta manipulación consistió en dirigir a los individuos al tubo y hacerlos pasar de forma individual por el mismo. Durante la manipulación se colectó muestras de pelo en dos zonas del cuerpo diferentes (grupa y cuello), se tomaron fotos con una cámara termográfica y se realizó una medición colorimétrica del pelaje. Estas muestras no fueron consideradas en esta tesis, pero se detallan, ya que forman parte de la manipulación que fue realizada. Al momento de la toma de muestras se sujetaron los individuos en forma manual, por los cuernos, tal como se realiza en los procedimientos de rutina por los veterinarios del parque. Esto cumplió funciones de seguridad tanto de los animales como de los operarios. Las manipulaciones se realizaron siempre de igual forma entre individuos y manipulaciones, identificándose dos periodos de 48 h en relación a esta última: pre manipulación y post manipulación.

En cada estación, se registró el comportamiento mediante una técnica tipo scan, realizada cada 10 min durante 8 horas al día (8:00 a 12 h y 13:00 a 17:00 h), durante los dos días previos y los dos días posteriores a la manipulación (i.e. pre y post manipulación) acorde a Villagrán et al. (2023). Cada observador registró a los individuos de cada uno de los corrales, considerando el comportamiento locomotor (echado, parado o caminando), y los patrones de alimentación (comiendo ración,

comiendo fardo, tomando agua, pastando, rumiando). Posteriormente, el comportamiento de consumo de ración y de fardo se consideraron como una única variable, denominada “suplemento”. Además, en cada una de las manipulaciones, se colectaron dos muestras de materia fecal de cada individuo: una correspondiente al período pre manipulación y otra al período post manipulación. Ambas fueron utilizadas para la medición de metabolitos de cortisol (MCF).

6.3 Medición de metabolitos de cortisol en fecas

A partir de cada muestra de materia fecal, se determinó la concentración de metabolitos de cortisol presentes. Este es un método no invasivo para estimar los niveles de cortisol producidos por las glándulas adrenales (Mostl et al., 2002). La extracción de MCF se basó en el protocolo utilizado por Pereira et al., (2006). Para cada muestra, se colocó 2-3 g de fecas en un tubo de vidrio que luego fueron desecadas en horno a 60 °C durante 72 hs. Se molieron en mortero hasta su pulverización y se eliminó el material inerte grosero como semillas y fibras vegetales. Se pesó 0,5 gramos de esas fecas pulverizadas, se colocaron en tubo de vidrio y se les agregó 5 ml de metanol PPA. Dichas muestras se agitaron por 12 horas y se centrifugaron a 3000 rpm por 15 minutos. Luego, el sobrenadante se transfirió a tubos eppendorf. De los mismos se tomó una alícuota para realizar diluciones seriadas entre 1:2 y 1:32 utilizando PBS 1%, para establecer la dilución más adecuada para la determinación hormonal. Esta última se realizó utilizando un kit comercial de ELISA (Neogen, Corporation Europe, Ayr, RU). El coeficiente de variación intraensayo fue $7,3 \pm 3,3$, el coeficiente interensayo fue $9,3 \pm 2,3$ y la linealidad de las diluciones presentó una correlación de $R^2 = 0,99$.

6.4 Procesamiento de los datos

Para el análisis se consideró la manipulación realizada una vez en cada estación del año. Las manipulaciones se realizaron en primavera, verano, otoño e invierno (mencionados como M1, M2, M3 y M4, respectivamente).

Los comportamientos observados fueron transformados a frecuencias, calculadas como el número de eventos registrados en relación al total de observaciones realizadas en el día. Posteriormente, se calculó tanto el porcentaje de cambio para cada individuo y comportamiento, como la variación porcentual del uso del comportamiento en relación al registrado pre manipulación (100%). Esto permitió disminuir posibles efectos de las variaciones estacionales en los patrones comportamentales ocurridos en la especie (Villagrán et al., 2023). El mismo procedimiento se realizó para analizar la variación porcentual en la concentración de MCF en relación a las manipulaciones.

6.5 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados utilizando el software R, versión 4.3.2 (R Core Team, 2023). La normalidad de los mismos fue evaluada mediante la inspección visual de los residuos. Para las variables respuesta en consumo de suplemento y respuesta en rumiar se identificaron outliers, los cuales fueron eliminados previo al análisis. Las respuestas en los comportamientos considerados y en la concentración de metabolitos de cortisol fueron analizadas utilizando modelos lineales mixtos. Se consideró la manipulación, el sexo y la interacción manipulación*sexo como efectos fijos, y el individuo como efecto aleatorio. Los resultados se presentan como media \pm EEM, y se consideró significancia un nivel alfa de 0,05.

7. Resultados

7.1 Metabolitos de cortisol y uso de comportamientos previo a la manipulación

El promedio de la frecuencia de uso de los comportamientos locomotores y alimenticios, así como de la concentración de MCF durante los dos días previos a cada manipulación, se representan en la Tabla 1.

	Manipulaciones por estación			
	M1	M2	M3	M4
Pastando (%)	5,0 ± 0,7	4,8 ± 0,6	7,2 ± 1,1	5,0 ± 1,7
Rumiando (%)	8,7 ± 1,0	4,6 ± 0,8	6,4 ± 0,7	7,0 ± 0,7
Suplemento* (%)	16,7 ± 1,6	12,0 ± 1,4	17,9 ± 1,1	19,9 ± 1,4
Caminando (%)	11,4 ± 2,6	9,9 ± 2,3	12,0 ± 1,3	10,7 ± 2,0
Echado (%)	42,7 ± 3,3	53,7 ± 3,2	28,3 ± 1,5	25,2 ± 1,9
Parado (%)	45,9 ± 2,6	36,4 ± 2,6	59,7 ± 1,9	64,1 ± 2,7
MCF (pg/mg)				
Hembras	103,3 ± 7,0	93 ± 5,2	68,2 ± 3,4	57,6 ± 2,5
Machos	86,1 ± 10,3	93,6 ± 7,0	58,5 ± 5,6	56,6 ± 2,8

Tabla 1. Frecuencias (% del total de observaciones) de uso de comportamientos alimenticios y locomotores, y concentración de metabolitos de cortisol en fecas (MCF) previo a cada manipulación (M), en adultos de *Addax nasomaculatus* en cautiverio. Correspondiendo M1: primavera, M2: verano, M3: otoño, y M4: invierno. *Suplemento: incluye consumo de fardo y de ración ofrecidos diariamente.

7.2 Respuesta a la manipulación

7.2.1 Metabolitos de cortisol fecal

Hubo significativa interacción entre manipulación*sexo en la concentración de MCF ($p=0,035$; Figura 3). En M2, la respuesta en MCF fue positiva en los machos y negativa en las hembras, lo que resultó en una respuesta diferente entre sexos ($p=0,022$). Cuando se analizaron los efectos por separado, se observaron diferencias entre las manipulaciones ($p=0,005$), siendo M1 distinta a M2 y M3, y manteniendo la misma tendencia en M4 ($p=0,01$, $p=0,02$ y $p=0,08$, respectivamente). Existió también una variación entre los sexos, teniendo una respuesta promedio mayor en los machos que en las hembras ($109,8 \pm 8,43$ vs $87,1 \pm 6,68$ %, respectivamente, $p=0,04$).

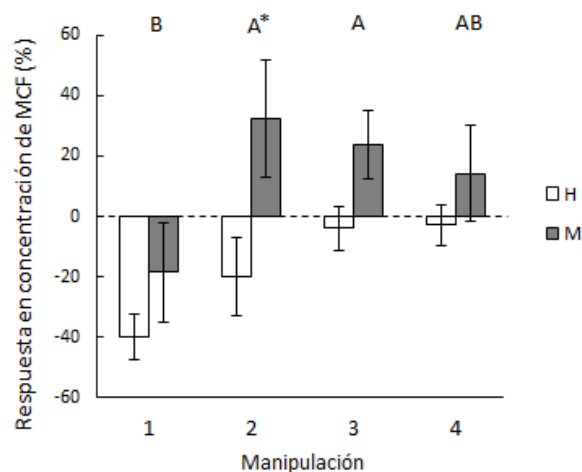


Figura 3. Respuesta a la manipulación (% según valores previos a la misma) en la concentración de metabolitos de cortisol en fecas (MCF) en machos (gris) y en hembras (blanco) de *Addax nasomaculatus* durante primavera (M1), verano (M2), otoño (M3) e invierno (M4). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las manipulaciones ($p < 0,05$). El símbolo (*) indica diferencias significativas entre los sexos para dicha manipulación.

7.2.2 Comportamiento alimenticio

La respuesta a la manipulación en la dedicación a consumir suplemento fue diferente entre las manipulaciones ($p=0,008$): la respuesta en M4 tendió a ser mayor que en M1 y M2 (Figura 4, $p=0,07$ y $p=0,08$, respectivamente). No se observaron diferencias entre sexos, ni tampoco hubo significativa interacción entre manipulación*sexo.

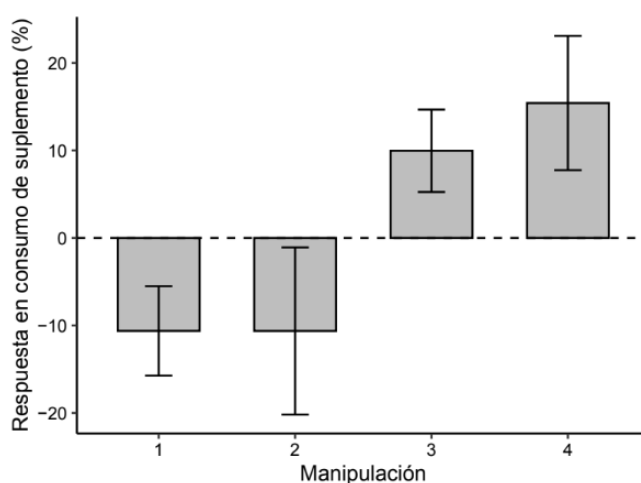


Figura 4. Respuestas a la manipulación (% según valores previos a la misma) de consumo de suplemento en una población de *Addax nasomaculatus* en cautiverio, durante primavera (M1), verano (M2), otoño (M3) e invierno (M4).

La rumia varió entre manipulaciones ($p=0,005$), siendo en M3 menor que en M1, M2 y M4 (figura 5, $p=0,029$, $p=0,002$ y $p=0,039$, respectivamente). No se observó

diferencia entre sexos o interacción entre manipulación*sexo.

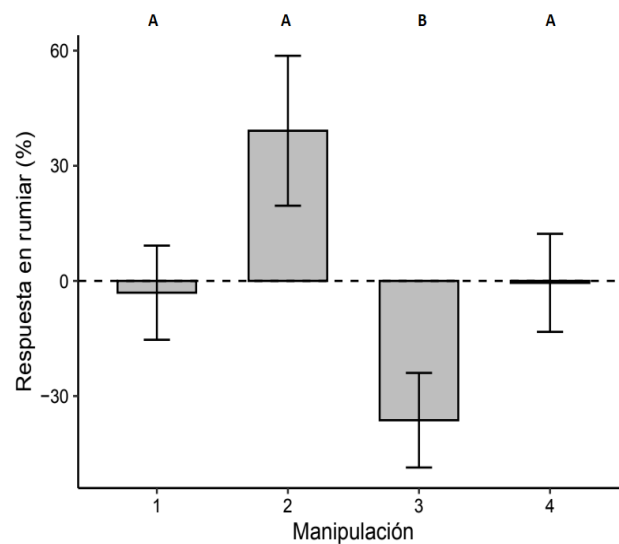


Figura 5. Respuestas a la manipulación (% según valores previos a la misma) de rumia en una población de *Addax nasomaculatus* en cautiverio, durante primavera (M1), verano (M2), otoño (M3) e invierno (M4). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

La respuesta en pastar varió con la manipulación ($p < 0,001$): la respuesta en M1 fue mayor que la observada en las demás manipulaciones ($p = 0,027$, $p < 0,001$, $p = 0,005$, M2 a M4 respectivamente). La respuesta también varió con el sexo, siendo la respuesta de los machos mayor que la de las hembras ($50,2 \pm 33,3$ vs $-71,8 \pm 29,1\%$, respectivamente, $p = 0,003$). No hubo interacción entre manipulación*sexo.

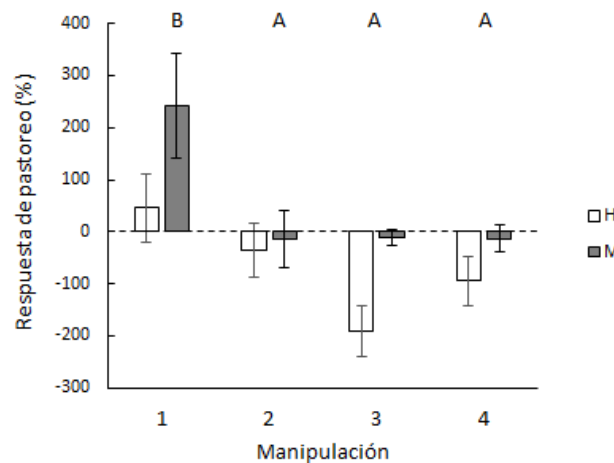


Figura 6. Respuesta a la manipulación (% según valores previos a la misma) en el comportamiento de pastoreo para machos (gris) y hembras (blanco) de *Addax nasomaculatus* en cautiverio durante primavera (M1), verano (M2), otoño (M3) e invierno (M4). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

7.2.3 Comportamiento locomotor

Hubo significativa interacción entre manipulación*sexo en el comportamiento de estar parado ($p=0,011$; Figura 7). No se observaron diferencias significativas entre machos y hembras, ni entre manipulaciones, cuando se analizaron estos efectos por separado.

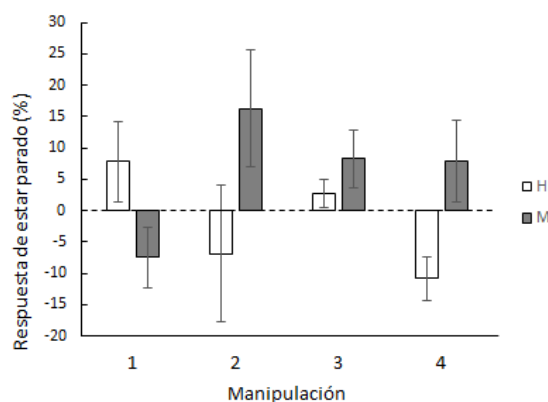


Figura 7. Respuesta a la manipulación (% según valores previos a la misma) en el comportamiento de estar parados en machos (gris) y hembras (blanco) de *Addax nasomaculatus* en cautiverio, durante primavera (M1), verano (M2), otoño (M3) e invierno (M4).

Respecto a la respuesta en la utilización del comportamiento estar echado, se observó una interacción entre manipulación*sexo ($p=0,006$, Figura 8). No se observaron cambios significativos entre machos y hembras ni entre manipulaciones, cuando se analizaron estos efectos por separado.

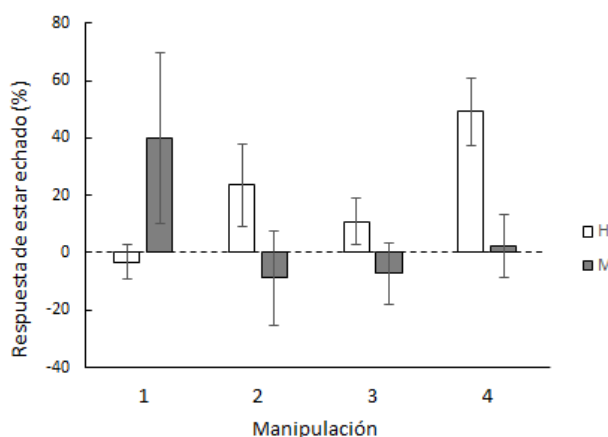


Figura 8. Respuesta a la manipulación (% según valores previos a la misma) en el comportamiento de estar echados en machos (gris) y hembras (blanco) de *Addax nasomaculatus* en cautiverio durante primavera (M1), verano (M2), otoño (M3) e invierno (M4).

Para la respuesta en el comportamiento caminar no se observó interacción entre manipulación*sexo, tampoco cambios significativos entre machos y hembras, ni entre manipulaciones (promedio general = $14,4 \pm 12,0$ %).

8. Discusión

Este es el primer estudio que evalúa los efectos de la manipulación en tubo en el antílope addax, y cómo estos se relacionan con el sexo y la repetición de las manipulaciones. Se evaluó la concentración de MCF como indicador endocrino y se analizaron los comportamientos alimenticios y locomotores para comprender cómo el sexo y manipulación repetida puede afectar las respuestas. Algunas de esas respuestas, tanto fisiológicas como comportamentales, difirieron entre sexos y/o evolucionaron diferente según el sexo y las manipulaciones. Por lo tanto, podría establecerse un punto de partida en la caracterización de la respuesta endócrina y comportamental al estrés asociada a la manipulación en tubo en el addax en cautiverio. Dado que esta especie se encuentra en peligro crítico de extinción y la mayoría de sus ejemplares viven en cautiverio (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], 2025), la manipulación es necesaria. Comprender estas dinámicas y su impacto en el comportamiento y fisiología de estrés en los addax es esencial para optimizar su manejo y bienestar, pudiendo generar estrategias que minimicen los impactos negativos de las manipulaciones estresantes y favorecer la viabilidad de las poblaciones en programas de conservación de la especie.

Respecto a lo planteado en nuestra hipótesis, el sexo influyó en la respuesta de estrés a la manipulación, observado a través de cambios en la concentración de MCF y en el comportamiento de pastar. Sin embargo, fueron los machos los que reaccionaron de forma más intensa en estas variables. En los demás comportamientos alimenticios no se evidenció diferencias entre los sexos, pero sí variaciones estacionales, mientras que en el comportamiento locomotor existió una interacción entre la manipulación y el sexo para los comportamientos de estar parado o echado, pero no hubo variaciones en el comportamiento de caminar tras la manipulación.

Los machos presentaron una respuesta más intensa que las hembras, evidenciada en la concentración de MCF en M2 (verano) y en el comportamiento de pastar en M1 (primavera). Sin embargo, estas diferencias no se mantuvieron en las demás manipulaciones, lo que podría sugerir una modulación estacional de la respuesta, relacionada con el sexo del individuo. En otro estudio, en la misma población de addax y período experimental que en esta tesis, se registraron concentraciones más elevadas de cortisol en pelo en los machos en comparación con las hembras, con valores máximos durante el verano en ambos sexos, asociado al estrés térmico (Damián et al., 2024). Esto refuerza la importancia de considerar tanto el sexo como las condiciones ambientales al interpretar las respuestas fisiológicas al estrés. Por otro lado, si bien existió una disminución en los MCF posterior a todas las manipulaciones en las hembras, su reducción no fue constante ni progresiva, por lo que no se evidenció un patrón claro de habituación al manejo.

En cuanto a las respuestas de comportamiento alimenticio, ambos sexos respondieron a la primera manipulación con un aumento en el comportamiento de pastoreo, con una mayor intensidad en los machos. Este incremento inicial podría atribuirse a una disminución temporal de la presión intraespecífica sobre el pastoreo tras un evento estresante, lo que facilitaría el acceso de todos los individuos al alimento (McArthur et al., 2014). En contraste, en las siguientes manipulaciones, la respuesta de pastoreo fue negativa. En cuanto a la respuesta a la manipulación observada en otros comportamientos alimenticios, no se observaron diferencias entre machos y hembras, pero sí entre las distintas manipulaciones. Los patrones de variación no tuvieron direcciones sostenidas, crecientes o decrecientes entre manipulaciones que indiquen la ocurrencia de fenómenos de habituación o sensibilización.

Se evidenció una respuesta negativa en el consumo de suplemento en M1 y M2 (primavera y verano), mientras que en invierno se registró una respuesta positiva y significativamente mayor. Por otro lado, la respuesta en rumiar fue menor en M3 (otoño) en comparación con las otras manipulaciones. Aunque los mecanismos involucrados pueden variar entre especies, diversos estudios sugieren que el estrés agudo generalmente conduce a una reducción en la ingesta de alimento (Calvez et al., 2012; Upton & Riley 2013; Valles, 2000). Sin embargo, en épocas de estrés térmico debido a bajas temperaturas, se encontró que los animales tienden a aumentar el consumo de alimentos calóricos (Sahib, 2024; Young, 1981). Además, el estrés crónico puede alterar la regulación del apetito, induciendo un mayor consumo de alimentos con alta densidad energética (Cortés Romero et. al, 2018; Teegarden & Bale, 2018). Es posible que la respuesta fisiológica a la manipulación actúe potenciando el mecanismo subyacente frente al estrés térmico (Ferland et al., 2014; Zamora et al., 2013). Al estrés crónico por baja temperatura, se le agregaría un estresor puntual, potenciando la respuesta y aumentando la ingesta de suplemento (Akana et al., 1999). Por el contrario, durante períodos cálidos, los rumiantes responden disminuyendo el consumo de alimento (Marai & Haeeb, 2010). Al reducir el consumo, se reduce la tasa metabólica y el calor producido (Yousef et al., 1967). Las estrategias para favorecer la disipación de calor han sido documentadas también en otras especies de antílopes, donde parecen cumplir un rol especialmente relevante en el contexto de ambientes cálidos (Berry et al., 2024; Bro-Jørgensen, 2016; Semenzato et al., 2020;). En este contexto se debe considerar que los estresores agudos activan respuestas de los ejes HHA y SAM, aumentando el metabolismo y generando un incremento adicional del calor metabólico (Álvarez & Johnson, 1973; Ratnakaran et al., 2017; Yousef et al., 1967). Esto explicaría la respuesta de reducción en el consumo de suplemento observada en M1 y M2 (primavera y verano).

Respecto al comportamiento locomotor, este varió con la manipulación y el sexo. Machos y hembras mostraron respuestas diferenciales en permanecer parados o echados post manipulación, pero no para el comportamiento de caminar. En primavera, los machos respondieron con mayor utilización del comportamiento echados, en detrimento del uso de estar de pie. Estas respuestas podrían estar mayormente influenciadas por factores hormonales y estacionales. Algunos autores han reportado una disminución en la actividad locomotora posterior al estrés en machos, vinculada a los niveles de testosterona (Perrot-Sinal et al., 2000). Asimismo, en rumiantes se ha reportado que una respuesta común a un estresor consiste en permanecer de pie y vigilantes, modificando los patrones de comportamiento locomotor (Seri et al., 2018), aunque otros factores como el tamaño del grupo también influyen en la respuesta (Michelena et al., 2012; Risenhoover & Bailey, 1985; Roberts, 1996). Es importante considerar que el comportamiento predominante en estos addax durante la primavera y verano, es pasar más tiempo echados que en otras épocas del año (Villagrán et al., 2023), posiblemente para reducir el metabolismo basal y la generación de calor (Seri et al., 2018). Estudios con otros antílopes, también observaron que, durante las épocas de mayor temperatura y radiación solar, los animales priorizan comportamientos de disipación de calor, concentrando cualquier aumento de actividad en horas de la tarde o noche (Shrestha et al., 2014). En cuanto a la variable caminar, fue la única en la cual no se observaron diferencias significativas entre machos y hembras ni entre temporadas, post manipulación. Este efecto puede deberse a que en cautiverio, los animales disponen de recursos alimenticios como ración y fardo diariamente, así como también agua libre a disposición. Además, el recinto, por su tamaño, no ofrece variedad en las especies vegetales, por lo que no ocurría una competencia por alimentos de mayor calidad. En consonancia, en ungulados se observó que particularmente el comportamiento de caminar se modificaba en función de la localización de los recursos y la competencia por ellos (Seri et al., 2018; Shrestha et al., 2014) y se ha reportado que los desplazamientos son mínimos cuando existe disponibilidad de alimento y agua (Owen-Smith & Cain, 2007).

En función de los resultados obtenidos, el pasaje por el tubo y las manipulaciones inducen una respuesta de estrés, pero sin alcanzar gran magnitud. Dado que se trata de animales nacidos en cautiverio que están habituados tanto a la presencia humana como al uso del tubo, su percepción de novedad o amenaza podría haberse visto atenuada. Entendemos que la respuesta observada en los addax ante las manipulaciones no fue simplemente una reacción a esta perturbación puntual, sino que se trató de una interacción entre esta y los mecanismos fisiológicos y conductuales que ya se encontraban activados como respuesta a las variaciones ambientales propias de cada estación. La manipulación podría actuar como un factor adicional, potenciando procesos como la regulación del consumo alimenticio, la modulación de los comportamientos locomotores y la respuesta endócrina asociada al balance térmico, demandas energéticas y estado fisiológico de los individuos.

Es importante considerar que, tanto los comportamientos locomotores como los alimenticios, así como los niveles de cortisol, pueden variar frente a un mismo estresor (Ellis et al., 2006). Estas respuestas flexibles al estrés integran diversos factores, como el sexo, el estado fisiológico, la época del año y los requerimientos energéticos y nutricionales de los individuos (Pontzer & McGrosky, 2022). La capacidad de modular estas respuestas en función de las condiciones ambientales permite a los organismos adaptarse a entornos cambiantes y optimizar su desempeño biológico, incrementando su aptitud en diferentes contextos (Ellis et al., 2006; Wingfield, 2008). Por estas razones, consideramos que las respuestas detectadas tras la manipulación estuvieron fuertemente influenciadas por la estación del año y las variaciones térmicas, interactuando de manera compleja con los estresores de manejo. Estas variables no pueden analizarse de forma aislada, ya que solo una interpretación en conjunto puede permitir la comprensión de dinámicas hormonales y comportamentales que se expresan ante un mismo estresor en contextos ambientales distintos. Entendemos que es necesario profundizar en este aspecto en futuras investigaciones para interpretar con mayor precisión las respuestas de la especie en condiciones de cautiverio y optimizar el manejo y bienestar de los individuos.

Por lo tanto, para obtener resultados más precisos, sería necesario repetir la observación, realizar un análisis más prolongado en cada una de las estaciones, incluyendo otros datos relacionados con el estrés térmico, así como aumentar el número de muestreos para MCF, con el fin de correlacionar de manera más efectiva estas variables con la respuesta comportamental.

9. Conclusiones

Se concluyó que la permanencia y manipulación en el tubo fueron eventos que generaron una respuesta de estrés, pero de escasa magnitud. No se observaron diferencias claras entre sexos en las respuestas comportamentales y endócrina, aunque los machos mostraron cierta sensibilidad diferencial a las hembras en primavera-verano. Además, no se evidenció un patrón consistente de respuesta a la manipulación que sugiera habituación o sensibilización a la misma.

10. Referencias bibliográficas

- Akana, S. F., Strack, A. M., Hanson, E. S., Horsley, C. J., Mulligan, E. D., Bhatnagar, S., & Dallman, M. F. (1999). Interactions among chronic cold, corticosterone and puberty on energy intake and deposition. *Stress*, 3(2), 131-146.
- Altan, B. (2000). *Addax nasomaculatus*. Animal Diversity Web. https://animaldiversity.org/accounts/Addax_nasomaculatus/
- Alvarez, M. B., & Johnson, H. D. (1973). Environmental heat exposure on cattle plasma catecholamine and glucocorticoids. *Journal of Dairy Science*, 56(2), 189-194.
- Arias, N., Requena, M., & Palme, R. (2013). Measuring faecal glucocorticoid metabolites as a non-invasive tool for monitoring adrenocortical activity in South American camelids. *Animal Welfare*, 22(1), 25-31.
- Arias, N., & Velapatiño, B. (2015). Cortisol como indicador fiable del estrés en alpacas y llamas. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 26(1), 1-8.
- Arnold, W. (2020). Review: Seasonal differences in the physiology of wild northern ruminants. *Animal*, 14, s124–s132.
- Atkinson HC., & Waddell, BJ. (1997). Circadian variation in basal plasma corticosterone and adrenocorticotropin in the rat: sexual dimorphism and changes across the estrous cycle. *Endocrinology*, 138, 3842-8.
- Bale, T. L., & Epperson, C. N. (2015). Sex differences and stress across the lifespan. *Nature Neuroscience*, 18, 1413-1420.
- Berry, P., Dammhahn, M., Hauptfleisch, M., Hering, R., Jansen, J., Kraus, A., & Blaum, N. (2024). African dryland antelope trade- off behaviours in response to heat extremes. *Ecology and evolution*, 14, e11455.
- Beudels-Jamar, R. C., Devillers, P., Lafontaine, R. M., & Newby, J. (2005). *Addax nasomaculatus*. En *Sahelo-Saharan Antelopes. Status and Perspectives. Report on the Conservation Status of the Six Sahelo-Saharan Antelopes* (pp. 39-56). Royal Belgian Institute of Natural Sciences.
- Bro-Jørgensen, J. (2016). Evolution of the ungulate dewlap: thermoregulation rather than sexual selection or predator deterrence?. *Frontiers in Zoology*, 13, 1-7.
- Broom, D. M. (1986). Indicators of poor welfare. *British Veterinary Journal*, 142, 524-526.
- Calvez, J., Fromentin, G., Nadkarni, N., Darcel, N., Even, P., Tomé, D., Ballet, N., & Chaumontet, C. (2011). Inhibition of food intake induced by acute stress in rats is due to satiation effects. *Physiology & Behavior*, 104(5), 675-683.

- Cancino, X. (2023, 12-17 febrero). *Megafauna sahelo-sahariana* [Punto 29.2 del orden del día]. En Convención sobre las especies migratorias. Convención sobre las especie migratorias, 14ª Reunión de la conferencia de las partes, Uzbekistán.
- Carere, C., Caramaschi, D., & Fawcett, T. W. (2010). Covariation between personalities and individual differences in coping with stress: converging evidence and hypotheses. *Current Zoology*, 56, 728-740.
- Carere, C., Groothuis, T. G. G., Möstl, E., Daan, S., & Koolhaas, J. M. (2003). Fecal corticosteroids in a territorial bird selected for different personalities: daily rhythm and the response to social stress. *Hormones and Behavior*, 43, 540-548.
- Chichinadze, K., & Chichinadze, N. (2008). Stress-induced increase of testosterone: contributions of social status and sympathetic reactivity. *Physiology & Behavior*, 94, 595-603.
- Cockrem, J. F. (2007). Stress, corticosterone responses and avian personalities. *Journal of Ornithology*, 148, 169-178.
- Correa, L. M., & Fernández, J. L. (2017). Influencia de la melatonina sobre la fisiología y la conducta de ungulados. *Revista de investigaciones altoandinas*, 19, 337-350.
- Cortés Romero, C. E., Escobar Noriega, A., Cebada Ruiz, J., Soto Rodríguez, G., Bilbao Reboledo, T., & Vélez Pliego, M. (2018). Estrés y cortisol: implicaciones en la ingesta de alimento. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 37(3), 1-15.
- Damián, J. P., Banguese, M. E., Bentancor, S., Pérez, A., Sierra, S., Echaides, C., Pérez-Sarasqueta, A., Menezes, A. C., Pessina, P., & Villagrán, M. (2024). Further than fur: Effects of sex, body site, and season on hair color and hair cortisol concentration in captive *Addax nasomaculatus* Antelopes. *Ruminants*, 4(2), 280-291.
- Damián, J. P., Bausero, M., & Bielli, A. (2015). Acute stress, hypothalamic-hypophyseal-gonadal axis and testicular function-A review. *Annals of Animal Science*, 15, 31-50.
- De Andrés, P. J., Cáceres, S., Crespo, B., Silván, G., & Illera, J. C. (2021). Non-Invasive determination of annual fecal cortisol, androstenedione, and testosterone variations in a herd of male Asian elephants (*Elephas maximus*) and their relation to some climatic variables. *Animals*, 11, 2723.
- Dolan, J. Jr. (1996). Notes on *Addax nasomaculatus* (De Blainville, 1816). *Zeitschrift-Saeugetierkunde*, 31, 23-31.
- Durant, S. M., Wachter, T., Bashir, S., Woodroffe, R. D., De Ornellas, P., Ransom, C., & Pettorelli, N. (2014). Fiddling in biodiversity hotspots while deserts burn? Collapse of the Sahara's megafauna. *Diversity and Distributions*, 20, 114-122.

- Ellis, B. J., Jackson, J. J., & Boyce, W. T. (2006). The stress response systems: Universality and adaptive individual differences. *Developmental Review*, 26(2), 175-212.
- Faraday, M. M. (2002). Rat sex and strain differences in responses to stress. *Physiology & Behavior*, 75, 507-522.
- Farm Animal Welfare Council (1992). FAWC updates the Five Freedoms. *Veterinary record*, 17, 357.
- Ferland, C. L., Harris, E. P., Lam, M., & Schrader, L. A. (2014). Facilitation of the HPA axis to a novel acute stress following chronic stress exposure modulates histone acetylation and the ERK/MAPK pathway in the dentate gyrus of male rats. *Endocrinology*, 155(8), 2942-2952.
- Geist, V. (2011). Wildlife habituation: advances in understanding and management application. *Human-Wildlife Interactions*, 5(1), 9–12.
- Groves, P. M., & Thompson, R. F. (1970). Habituation: a dual-process theory. *Psychological review*, 77(5), 419.
- Haller, J., Makara, G. B., & Kruk, M. R. (1997). Catecholaminergic involvement in the control of aggression: hormones, the peripheral sympathetic, and central noradrenergic systems. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 22(1), 85-97.
- Handa, R. J., Burgess, L. H., Kerr, J. E., & O'Keefe, J. A. (1994). Gonadal steroid hormone receptors and sex differences in the hypothalamo-pituitary-adrenal axis. *Hormones and Behavior*, 28(4), 464-476.
- Herman, J. P. (2013). Neural control of chronic stress adaptation. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 7, 61. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2013.00061>
- Hogstad, O. (1987). Social rank in winter flocks of willow tits *Parus montanus*. *Ibis*, 129(1), 1-9.
- Hucklebridge, F. H., Gamal-el-Din, L., & Brain, P. F. (1981). Social status and the adrenal medulla in the house mouse (*Mus musculus*, L.). *Behavioral and Neural Biology*, 33(3), 345-363.
- Keller-Wood, M. E., & Dallman, M. F. (1984). Corticosteroid inhibition of ACTH secretion. *Endocrine Reviews*, 5(1), 1-24.
- Knight, J. (2009). Making wildlife viewable: habituation and attraction. *Society & Animals*, 17(2), 167-184.
- Khonmee, J., Brown, J. L., Rojanasthien, S., Thumasanukul, D., Kongphoemphun, A., Siriaronrat, B., & Thitaram, C. (2014). Seasonality of fecal androgen and

glucocorticoid metabolite excretion in male goral (*Naemorhedus griseus*) in Thailand. *Animal reproduction science*, 146(1-2), 70-78.

- Knol, B. W. (1991). Stress and the endocrine hypothalamus- pituitary- testis system: A review. *Veterinary Quarterly*, 13(2), 104-114.
- Koolhaas, J. M., De Boer, S. F., Coppens, C. M., & Buwalda, B. (2010). Neuroendocrinology of coping styles: towards understanding the biology of individual variation. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 31(3), 307-321.
- Koolhaas, J. M., Korte, S. M., De Boer, S. F., Van Der Vegt, B. J., Van Reenen, C. G., Hopster, H., & Blokhuis, H. J. (1999). Coping styles in animals: current status in behavior and stress-physiology. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 23(7), 925-935.
- Korte, S. M., Koolhaas, J. M., Wingfield, J. C., & McEwen, B. S. (2005). The Darwinian concept of stress: benefits of allostasis and costs of allostatic load and the trade-offs in health and disease. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 29(1), 3–38.
- Krausman, P. R., & Casey, A. L. (2007). *Addax nasomaculatus*. *Mammalian Species*, (807), 1-4.
- Manteca, X., & Salas, M. (2015). Concepto de bienestar animal. *Zawec Zoo Animal Welfare Education Center*, (1), 1-2.
- Marai, I. F. M., & Haezeb, A. A. M. (2010). Buffalo's biological functions as affected by heat stress-a review. *Livestock Science*, 127, 89-109.
- McArthur, C., Banks, P. B., Boonstra, R., & Forbey, J. S. (2014). The dilemma of foraging herbivores: dealing with food and fear. *Oecologia*, 176, 677-689.
- McEwen, B. S., & Sapolsky, R. M. (1995). Stress and cognitive function. *Current Opinion in Neurobiology*, 5(2), 205-216.
- McGee, M. (2009). *The Use of Non-invasive Monitoring Techniques for Profiling Hormonal Changes Associated with Stress and Reproductive Cyclicity in Domestic and Non-domestic Species* [Tesis de Maestría, Universidad Estatal de Mississippi]. Theses and Dissertations. <https://scholarsjunction.msstate.edu/td/4688/>
- Meyer, L., Caston, J., & Mensah-Nyagan, A. G. (2006). Seasonal variation of the impact of a stressful procedure on open field behaviour and blood corticosterone in laboratory mice. *Behavioural Brain Research*, 167(2), 342-348.
- Michelena, P., Pillot, M. H., Henrion, C., Toulet, S., Boissy, A., & Bon, R. (2012). Group size elicits specific physiological response in herbivores. *Biology Letters*, 8(4), 537-539.

- Möstl, E., Maggs, J. L., Schrötter, G., Besenfelder, U., & Palme, R. (2002). Measurement of cortisol metabolites in faeces of ruminants. *Veterinary Research Communications*, 26, 127-139.
- Ottenweller, J. E., Meier, A. H., Russo, A. C., & Frenzke, M. E. (1979). Circadian rhythms of plasma corticosterone binding activity in the rat and the mouse. *European Journal of Endocrinology*, 91(1), 150-157.
- Owen-Smith, N., & Cain, J. W. (2007). Indicators of adaptive responses in home range utilization and movement patterns by a large mammalian herbivore. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 53(3-4), 423-438.
- Pereira, R. J. G., Polegato, B. F., de Souza, S., Negrão, J. A., & Duarte, J. M. B. (2006). Monitoring ovarian cycles and pregnancy in brown brocket deer (*Mazama gouazoubira*) by measurement of fecal progesterone metabolites. *Theriogenology*, 65(2), 387-399.
- Perrot-Sinal, T., Ossenkopp, K. P., & Kavaliers, M. (2000). Influence of a natural stressor (predator odor) on locomotor activity in the meadow vole (*Microtus pennsylvanicus*): modulation by sex, reproductive condition and gonadal hormones. *Psychoneuroendocrinology*, 25(3), 259-276.
- Pontzer, H., & McGrosky, A. (2022). Balancing growth, reproduction, maintenance, and activity in evolved energy economies. *Current Biology*, 32(12), R709-R719.
- Ratnakaran, A. P., Sejian, V., Jose, V. S., Vaswani, S., Bagath, M., Krishnan, G., Beena, V., Indira Devi, P., Varma, G., & Bhatta, R. (2017). Behavioral responses to livestock adaptation to heat stress challenges. *Asian Journal of Animal Sciences*, 11(1), 1–13.
- Risenhoover, K. L., & Bailey, J. A. (1985). Relationships between group size, feeding time, and agonistic behavior of mountain goats. *Canadian Journal of Zoology*, 63(11), 2501-2506.
- Roberts, G. (1996). Why individual vigilance declines as group size increases. *Animal Behaviour*, 51(5), 1077-1086.
- Sahara Conservation Fund. (s.f.). *Sahel and Sahara fauna: Addax*. <https://saharaconservation.org/sahel-and-sahara-fauna/addax>.
- Sahib, Q. S., Aafaq, I., Ahmed, H. A., Sheikh, G. G., & Ganai, I. A. (2024). Mitigating cold stress in livestock by nutritional interventions: A comprehensive review. *Indian Journal of Animal Research*, 58(3), 353-363.
- Salas, M., & Manteca, X. (2016). *Evaluación del bienestar en animales de zoológico: indicadores basados en el animal*. <https://awecadvisors.org/animales-salvajes/evaluacion-del-bienestar-en-animales-de-zoologico-indicadores-basados-en-el-animal/>

- Sapolsky, R. M. (2004). *Why Zebras Don't Get Ulcers*. Henry Holt & Company.
- Sapolsky, R. M. (2005). The influence of social hierarchy on primate health. *Science*, 308(5722), 648-652.
- Sapolsky, R. M., & Meaney, M. J. (1986). Maturation of the adrenocortical stress response: neuroendocrine control mechanisms and the stress hyporesponsive period. *Brain Research Reviews*, 11(1), 65-76.
- Sapolsky, R. M., Romero, L. M., & Munck, A. U. (2000). How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocrine Reviews*, 21(1), 55-89.
- Semenzato, P., Cagnacci, F., Ossi, F., Eccel, E., Morellet, N., Hewison, A. M., Sturaro, E., & Ramanzin, M. (2021). Behavioural heat- stress compensation in a cold-adapted ungulate: Forage- mediated responses to warming Alpine summers. *Ecology Letters*, 24(8), 1556-1568.
- Seri, H., Chammem, M., Ferreira, L. M., Kechnebou, M., Khorchani, T., & Silva, S. R. (2018). Effects of seasonal variation, group size and sex on the activity budget and diet composition of the addax antelope. *African Journal of Range & Forage Science*, 35(2), 89-100.
- Sheriff, M. J., Dantzer, B., Delehanty, B., Palme, R., & Boonstra, R. (2011). Measuring stress in wildlife: techniques for quantifying glucocorticoids. *Oecologia*, 166(4), 869-887.
- Shrestha, A. K., Van Wieren, S. E., Van Langevelde, F., Fuller, A., Hetem, R. S., Meyer, L., & Prins, H. H. T. (2014). Larger antelopes are sensitive to heat stress throughout all seasons but smaller antelopes only during summer in an African semi-arid environment. *International Journal of Biometeorology*, 58, 41-49.
- Sistema Departamental Zoológico Montevideo, Intendencia de Montevideo. (s.f.). *Historia del zoológico Parque Lecocq. Zoo Montevideo*. <https://zoo.montevideo.gub.uy/parque-lecocq/historia-del-zoologico-parque-lecocq>
- Stabach, J. A., Rabeil, T., Turmine, V., Wachter, T., Mueller, T., & Leimgruber, P. (2017). On the brink of extinction—habitat selection of addax and dorcas gazelle across the Tin Toumma desert, Niger. *Diversity and Distributions*, 23(6), 581-591.
- Stanojević, A., Marković, V. M., Maćešić, S., Kolar-Anić, L., & Vukojević, V. (2018). Kinetic modelling of testosterone-related differences in the hypothalamic–pituitary–adrenal axis response to stress. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 123, 17-30.
- Teegarden, S. L., & Bale, T. L. (2008). Effects of stress on dietary preference and intake are dependent on access and stress sensitivity. *Physiology & Behavior*, 93(4-5), 713-723.

- Tallo-Parra, O., Salas, M., & Manteca, X. (2023). Zoo animal welfare assessment: where do we stand?. *Animals*, 13(12), 1966.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2025). *The IUCN Red List of Threatened Species* (versión 2025- 1). <https://www.iucnredlist.org>. Consultado el 4 de julio de 2025.
- Upton, K. R., & Riley, L. G. (2013). Acute stress inhibits food intake and alters ghrelin signaling in the brain of tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Domestic Animal Endocrinology*, 44(3), 157-164.
- Valdespino, C., Martínez-Mota, R., García-Feria, L. M., & Martínez-Romero, L. E. (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.
- Vallès, A., Martí, O., García, A., & Armario, A. (2000). Single exposure to stressors causes long-lasting, stress-dependent reduction of food intake in rats. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 279(3), R1138-R1144.
- Verbeek, M. E., Boon, A., & Drent, P. J. (1996). Exploration, aggressive behaviour and dominance in pair-wise confrontations of juvenile male great tits. *Behaviour*, 133(11-12), 945-963.
- Viau, V. (2002). Functional cross- talk between the hypothalamic- pituitary- gonadal and- adrenal axes. *Journal of Neuroendocrinology*, 14(6), 506-513.
- Villagrán, M., Ceva, M., Machiñena, A., Perdomo, M., Berro, L., Echaidés, C., & Damián, J. P. (2023). The environment matters: season and female contact affect the behavior of captive *Addax nasomaculatus* male antelope. *Acta Ethologica*, 26(2), 109-117.
- Vogel, W. H., & Jensh, R. (1988). Chronic stress and plasma catecholamine and corticosterone levels in male rats. *Neuroscience letters*, 87(1-2), 183-188.
- Walton, J. C., Weil, Z. M., & Nelson, R. J. (2011). Influence of photoperiod on hormones, behavior, and immune function. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 32(3), 303-319.
- Whittaker, D., & Knight, R. L. (1998). Understanding wildlife responses to humans. *Wildlife Society Bulletin*, 26, 312-317.
- Wingfield, J. C. (2008). Organization of vertebrate annual cycles: implications for control mechanisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1490), 425-441.

- Wingfield, J. C., Lynn, S. E., & Soma, K. K. (2001). Avoiding the 'costs' of testosterone: ecological bases of hormone-behavior interactions. *Brain Behavior and Evolution*, 57(5), 239-251
- World Association of Zoos and Aquariums. (2015). *WAZA animal welfare strategy 2015*. <https://www.waza.org/>
- World Organisation for Animal Health. (s.f). *Inicio World organisation for Animal Health*. <https://www.woah.org/es/inicio/>
- Young, B. A. (1981). Cold stress as it affects animal production. *Journal of animal science*, 52(1), 154-163.
- Young, K. M., Walker, S. L., Lanthier, C., Waddell, W. T., Monfort, S. L., & Brown, J. L. (2004). Noninvasive monitoring of adrenocortical activity in carnivores by fecal glucocorticoid analyses. *General and comparative endocrinology*, 137(2), 148-165.
- Yousef, M. K., Kiblee, H. H., & Johnson, H. D. (1967). Thyroid activity and heat production in cattle following sudden ambient temperature changes. *Journal of Animal Science*, 26(1), 142-148.
- Zamora-González, E. O., Santerre, A., Palomera-Avalos, V., & Morales-Villagrán, A. (2013). A chronic combinatory stress model that activates the HPA axis and avoids habituation in BALB/C mice. *Journal of Neuroscience Methods*, 213(1), 70-75.