



universidad  
de león



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES

**ESTUDIO DE APRENDIZAJE POR  
CONDICIONAMIENTO OPERANTE Y  
MEMORIA ESPACIAL EN ÁGUILA HARRIS  
(*PARABUTEO UNICINCTUS*)**

**STUDY OF OPERANT CONDITIONING  
LEARNING AND SPATIAL MEMORY IN  
HARRIS'S HAWK (*PARABUTEO  
UNICINCTUS*)**

Igor Irazusta Peco

**GRADO EN BIOLOGÍA**

Julio, 2021



*Agradecimientos en primer lugar a mi hermano, Iñigo Irazusta Peco, sin el cuál el presente estudio no habría sido posible. Gracias por todo el trabajo y el apoyo.*

*Por otro lado, me gustaría dar las gracias a mi tutor Saúl Blanco Lanza, por toda su dedicación y su esfuerzo guiándome en este trabajo.*

*Finalmente, agradecer a mi Co-tutora Carmen Aranda Vázquez y a todos los trabajadores de la Fundación para la Investigación en Etología y Biodiversidad (FIEB) por su confianza y sus consejos a lo largo del diseño experimental.*



ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN:	1
1.1. Aprendizaje por condicionamiento operante:	2
1.2. Memoria espacial:	4
1.2.1. Visión cromática en aves rapaces:	4
1.2.2. Uso de la geometría:	5
2. MATERIAL Y MÉTODOS	6
2.1. Aprendizaje por condicionamiento operante:	7
2.1.1. Fase 1: Acondicionamiento	7
2.1.2. Fase 2: Evaluación:	8
2.1.3. Variables respuesta:	8
2.1.4. Variables independientes:	10
2.2. Memoria espacial	10
2.2.1. Fase de acondicionamiento	11
2.2.2. Fase de evaluación	11
2.3. Criterios empleados para la toma de datos	12
2.4. Análisis de datos:	12
3. RESULTADOS:	12
3.1. Aprendizaje por condicionamiento operante:	12
3.1.1. Global (40 días):	12
3.1.2. Fase 1: Acondicionamiento	15
3.1.3. Fase 2: Evaluación	16
3.2. Memoria espacial:	18
3.2.1. Global (29 días):	18
3.2.2. Evaluación (5 días):	18
4. DISCUSIÓN:	19
4.1. Condicionamiento operante:	19
4.2. Memoria espacial:	24
5. CONCLUSIÓN:	26
6. BIBLIOGRAFÍA	28

## ÍNDICE DE FIGURAS:

Fig. 1. Representación del diseño experimental de la memoria espacial. (a) Fase de acondicionamiento y (b) Fase de evaluación. ....	11
Fig. 2. Representación de los cambios en la latencia global a lo largo del tiempo. ....	13
Fig. 3. Representación gráfica de las latencias globales en función a las fases de estudio. ....	13
Fig. 4. Representación gráfica de las latencias iniciales en función al sexo. ....	13
Fig. 5. Representación gráfica de la cautela por fases.....	14
Fig. 6. Representación gráfica de la cautela global en función al sexo.....	14
Fig. 7. Representación gráfica de la cadencia global a lo largo del tiempo de estudio. Datos ajustados a una línea de suavización LOESS. ....	14
Fig. 8. Representación gráfica de la cadencia global en función a la fase de estudio. ....	15
Fig. 9. Representación gráfica de la cautela de la Fase 1 en función al sexo.....	15
Fig. 10. Representación gráfica de la cadencia de la Fase 1 en función al sexo. ....	15
Fig. 11. Representación gráfica de la latencia total de la Fase 2 en función al sexo.....	16
Fig. 12. Representación gráfica de la cadencia a lo largo de la Fase 2. Datos ajustados a una línea de suavización LOESS. ....	16
Fig. 13. Representación gráfica de la cadencia de la Fase 2 en función al sexo. ....	17
Fig. 14. Representación gráfica de la resiliencia a lo largo de la Fase 2 (Hembras = rojo; Machos = negro). Datos ajustados a una línea de suavización LOESS. ....	17
Fig. 15. Representación gráfica de la latencia total en función al color.....	18
Fig. 16. Representación gráfica de la latencia de la fase de evaluación en función al color.....	18

## RESUMEN:

En el presente estudio, se analizó como tres individuos de Águila Harris (*Parabuteo unicinctus*) aprenden a activar el mecanismo de la unidad de muestreo y determinar así si cumplen el modelo de aprendizaje por condicionamiento operante establecido por B. F. Skinner, donde la intensidad de una respuesta operante aumenta cuando es seguida de un estímulo reforzante. Por otro lado, se evaluó su capacidad de orientación o de memoria espacial. Al ser una especie social en el que existe una jerarquía donde la hembra domina sobre los machos, se analizó si este factor afecta a las variables de estudio. La unidad de muestreo consiste en una caja cuya apertura se produce al accionar un pulsador. Dicha unidad, posicionada en una de las esquinas del recinto, se encontraba dotada inicialmente de estructuras rectangulares rojas. Los últimos cinco días del estudio se añadió una segunda unidad y se alteraron las estructuras para determinar que estímulo (color o geometría) era más relevante a la hora de orientarse.

Los resultados determinaron, por un lado, que los individuos de estudio fueron capaces de relacionar la respuesta operante con el estímulo reforzante en un número medio de 15 eventos, aunque también se demostró que las variables se vieron influenciadas significativamente por el sexo. Por otro lado, se concluyó que existe una clara preferencia en los individuos de estudio por el uso del color como baliza frente a la geometría para orientarse en el entorno.

## PALABRAS CLAVE

Aprendizaje asociativo, Aprendizaje espacial, Condicionamiento Operante, *Parabuteo unicinctus*, Teoría asociativa, Teoría modular.

## ABSTRACT

In the present study, we analysed how three individuals of Harris's Hawk (*Parabuteo unicinctus*) learn to activate the mechanism of the sampling unit to determine if they comply with the operant conditioning learning model established by B. F. Skinner, where the intensity of an operant response increases when followed by a reinforcing stimulus. On the other hand, their orientation or spatial memory capacity was evaluated. As it is a social species in which there is a hierarchy in which the female dominates the males, we analysed whether this factor affects the study variables. The sampling unit consists of a box that is opened by pressing a button. This unit, positioned in one of the corners of the enclosure, was initially equipped with red rectangular structures. On the last five days of the study, a second unit was added and the structures were altered to determine which stimulus (colour or geometry) was more relevant for orientation.

The results determined, on the one hand, that the study subjects were able to relate the operant response to the reinforcing stimulus in an average number of 15 events, although it was also shown that the variables were significantly influenced by gender. On the other hand, it was concluded that there is a clear preference in the study individuals for the use of colour as a beacon over geometry for orientation in the environment.

## KEYWORDS

Associative learning, Associative theory, Operant Conditioning, Modularity theory, *Parabuteo unicinctus*, Spatial learning.

## 1. INTRODUCCIÓN:

El diseño del sistema nervioso y sensorial en aves refleja las diversas adaptaciones que han tenido que desarrollar para solventar las dificultades que conlleva el vuelo, la búsqueda de alimentos, el apareamiento y otros procesos vitales (Hickman *et al.*, 2009).

El águila Harris (*Parabuteo unicinctus*), es un ave Falconiforme de la familia Accipitridae que se encuentra distribuida en gran parte del continente americano, desde el sur de Estados Unidos hasta Chile, Paraguay y Argentina. Habitan principalmente ecosistemas abiertos como desiertos, sabanas, matorrales mediterráneos, bosques abiertos y praderas con árboles (Figueroa y González-Acuña, 2006) situadas en altitudes de entre 1000-1900 m habiéndose detectado casos excepcionales de individuos divagantes en altitudes de hasta 3300 m en el valle Guayllabamba (Ecuador) (Ferguson-Lees y Christie, 2001; BirdLife International, 2021). Estas aves presentan un estructurado sistema social donde la hembra, de mayor tamaño, domina sobre los machos, mientras que el macho más grande (macho alfa) domina sobre el macho más pequeño

(Mader, 1979). La estructura social más común en esta especie suele estar representada por grupos de tres individuos adultos, donde se distingue una pareja alfa acompañada de un macho beta ayudante (Dawson y Mannan, 1991). Los resultados de diversas investigaciones sugieren que los tríos suelen presentar mayor éxito en la nidada que las parejas (Mader, 1979). Esto se debe a que los machos adicionales participan en la obtención de alimento y en la defensa del nido disminuyendo, de esta manera, las probabilidades de fracaso del mismo si uno de los adultos muere durante la temporada de cría. Aunque se trata una de las pocas especies de Falconiformes junto con el halcón de las Galápagos (*Buteo galapagoensis*) en el que se ha registrado de manera regular sistemas de apareamiento poliándricos y la cría cooperativa (Mader, 1979), es importante destacar que en ocasiones también se pueden observar sistemas monógamos y poligínicos. El grado de sociabilidad exhibido por los individuos, por tanto, también varía a lo largo del área de reproducción (Coulson y Coulson, 2013). La vida en grupo de este accipítrido parece encontrarse relacionada con su dependencia con respecto a presas grandes y escurridizas, de manera análoga a los sistemas



sociales de los lobos (*Canis lupus*) o los licaones (*Lycaon pictus*) (Bednarz y Ligon, 1988). Otro estudio realizado el mismo año por Bednarz demostró que la caza cooperativa favorecía a la supervivencia de los grupos de águilas Harris, observándose un aumento significativo en la tasa de captura de conejos y liebres a medida que aumentaba el tamaño de grupo, llegándose a detectar formaciones de grupos de caza de hasta seis individuos. En su dieta, se incluyen una gran variedad de mamíferos, aves, reptiles, anfibios e invertebrados que van desde liebres, conejos (*Lepus* spp., *Oryctolagus cuniculus*), roedores (*Neotoma* spp., *Spermophilus* spp., *Oligoryzomys longicaudatus*), aves (*Callipepla* spp., *Colinus virginianus*, *Columba libia*), pequeñas lagartijas, ciertos sapos (*Rhinella arenarum*) e incluso algunos arácnidos (Figueroa y González-Acuña, 2006; Santander *et al.*, 2011; Coulson y Coulson, 2013; Ortega-Álvarez y Calderón-Parra, 2014; Gómez y Lires, 2015). También es destacable que se han reportado casos de ejemplares cazando serpientes (*Leptophis ahaetulla*) (Cadena-Ortiz, 2020) e incluso varias especies de murciélagos presentes en la ciudad de México (*Eptesicus fuscus*,

*Myotis* sp., *Eumops perotis*) (Ortega-Álvarez y Calderón-Parra, 2014).

En consecuencia, el sistema de apareamiento establecido en esta especie, junto con la cría cooperativa y su gran versatilidad de caza, contribuyen a maximizar su productividad en un ambiente árido con recursos alimenticios cambiantes (Mader, 1978).

### 1.1. Aprendizaje por condicionamiento operante:

La Real Academia Española (RAE) define “aprendizaje” como *la adquisición por la práctica de una conducta duradera* y “aprender” como *la adquisición de conocimiento de algo por medio de la experiencia*. Al mismo tiempo, la memoria es definida como *la facultad psíquica por medio de la cual se retiene y recuerda el pasado*. Por tanto, se podría obviar que la memoria también se obtiene como resultado o consecuencia del aprendizaje.

Además, partiendo de la base evolutiva de que toda información necesaria para la supervivencia y reproducción debería de recordarse, el razonamiento más obvio sería que la probabilidad de que la información se mantenga en la memoria se encuentra relacionada directamente con la probabilidad de que dicha

información sea necesitada (Anderson y Schooler, 1991).

Mediante el aprendizaje y, en efecto, la experiencia, se producen alteraciones adaptativas en el comportamiento (Carranza, 2016). Gracias a los estudios de infinidad de investigadores se han podido elaborar diversos modelos de aprendizaje. El aprendizaje no asociativo, el cual se produce como consecuencia de las respuestas repetidas a un estímulo, puede inducir una disminución (habitación) o un incremento (sensibilización) de las respuestas. En el aprendizaje asociativo o por condicionamiento, en contraposición, los mismos estímulos permiten al individuo aprender a cerca de las relaciones entre los estímulos y de estos con las respuestas. Las primeras investigaciones sobre este último tipo de aprendizaje datan de principios del siglo XX, realizándose inicialmente en lombrices (Yerkes, 1912). Dentro de este grupo, se han podido elaborar varios modelos. Así, el condicionamiento clásico se basa en la asociación de un estímulo inicialmente neutro con uno efectivo capaz de desencadenar una respuesta sin necesidad de aprendizaje previo. De esta manera, el estímulo neutro adquiere las propiedades del estímulo efectivo dejando de ser

necesaria la presentación de este último para provocar la respuesta. Dicho modelo se encuentra fundamentado en los estudios realizados por Iván J. Pavlov en 1927. En el condicionamiento operante o instrumental son las consecuencias de la conducta las que afectan al comportamiento que les precede (Carranza, 2016). Por su parte, el modelo conocido como Ley del Efecto (Thorndike, 1911) propone que, cuando un comportamiento va acompañado de satisfacción y la situación surja de nuevo, el animal tenderá a repetir el comportamiento; en cambio, si la acción va continuada de insatisfacción, el animal presentará una predisposición por evitar el comportamiento. En el modelo elaborado por B.F. Skinner denominado Ley del condicionamiento tipo R o Ley del refuerzo, si la ocurrencia de un operante es seguida por la presentación de un estímulo reforzante, la fuerza de la respuesta se incrementa (Skinner, 1938). En otras palabras, la frecuencia o intensidad del operante se encuentra influenciada en gran medida por las consecuencias que produce (Reynolds, 1973).

Dicho autor describe una respuesta operante como toda conducta emitida por un organismo que actúa modificando el entorno para inducir la aparición del



estímulo reforzador sin ningún estímulo previo que lo evoque.

El actual diseño experimental presenta ciertas similitudes con el diseño empleado con la caja de Skinner en ratas.

## 1.2. Memoria espacial:

Existen diversos antecedentes de estudios de memoria espacial. Este aspecto cognitivo otorga a los individuos la capacidad para recordar la localización de uno o más objetos en el ambiente que los rodea (Nieto y Bernal-Gamboa, 2017). También se puede definir como *la capacidad de recordar un punto de interés en el espacio a través de elementos del entorno* (Carranza, 2016). La mayoría de los animales, utilizan claves visuales externas para localizarse a sí mismos o a los objetivos en el espacio (Rodrigo, 2002). Ejemplo de ello son los estudios realizados en el pez *Carassius auratus*, donde se pudo demostrar que dichos organismos son capaces de nadar en una dirección concreta en función a las señales visuales (Ingle y Sahagian, 1973). También se ha observado que las tortugas son capaces de utilizar una clave visual para hallar el comedero con refuerzo (López *et al.*, 2004). Cuando la clave visual empleada por el animal para localizar el punto de

interés es única, esta clave se denomina faro o baliza. De esta manera, el individuo solo tendría que percibir el faro para conocer la ubicación del punto de interés (Rodrigo, 2002). Según Carranza (2016) existen dos estrategias empleadas para recordar el estímulo faro: 1) la *feature strategy*, que se basa en memorizar las características específicas (color, forma) de los objetos contiguos al punto de interés, y 2) la *estrategia espacial*, en la cual, utilizan indicios relacionados con el trazado de lugar, como su geometría o su orientación.

### 1.2.1. Visión cromática en aves rapaces:

La retina presenta una estructurada red de conos (participan en la captación de colores y la agudeza visual) y bastones (participan en la visión nocturna o crepuscular) que les permite captar la luz y enviar señales nerviosas que serán procesadas y convertidas en imágenes. Generalmente, los conos predominan en aves diurnas mientras que los bastones son más abundantes en las nocturnas (Hickman *et al.*, 2009). En consecuencia, existe una gran disparidad entre la agudeza visual de las rapaces nocturnas (menor al del ser humano) y el de las diurnas (el doble que el del ser humano). Las aves son organismos tetracromatas,

esto es, presentan cuatro tipos de conos que les permite percibir un mayor número de tonos cromáticos que los humanos (González-Martín-Moro *et al.*, 2017). Aunque durante un tiempo se creyó que las aves rapaces diurnas eran capaces de percibir la luz ultravioleta, análisis recientes de las secuencias de la proteína Opsina SWS1 en diversas especies depredadoras como el águila real (*Aquila chrysaetos*) parecen indicar que son más sensibles a la luz violeta que a la ultravioleta (Doyle *et al.*, 2014).

#### 1.2.2. Uso de la geometría:

Cheng (1986) describe la geometría en el espacio como la distancia entre puntos o líneas presentes en el ambiente. Por ejemplo, podría entenderse como la distancia presente entre varios arbustos y la geometría que podrían representar. Este tipo de clave podría considerarse muy eficaz ya que constituye una de las características más estables del ambiente (Nieto y Bernal-Gamboa, 2017), debido a que el color del entorno puede llegar a variar en cada estación del año.

Hasta el momento, debido al relativamente reducido número de investigaciones al respecto, existen discrepancias entre los resultados obtenidos en relación con la utilización

de la geometría como estímulo faro. Por ello, existen diversas corrientes que pretenden explicar el uso tanto de la información geométrica como de las claves visuales y cuál es la que prevalece a la hora de navegar.

A grandes rasgos, podemos distinguir dos ramas principales: las teorías abstractas como la teoría modular (Cheng, 1986) o la teoría asociativa (Miller y Shettleworth, 2008); y las teorías basadas en los sustratos neurales asociados a la navegación, como es la teoría computacional de dos factores (Sheynikhovich *et al.*, 2009). En términos generales, las diferencias entre estas dos corrientes radican principalmente en si se obvian o no los sustratos neurales encargados del almacenamiento de la información (Nieto y Bernal-Gamboa, 2017).

En este estudio, se evaluarán dos aspectos cognitivos en águila Harris (*Parabuteo unicinctus*), sobre el cual, no se ha encontrado ninguna investigación previa al respecto. Por un lado, se caracterizará la capacidad de aprendizaje asociativo por condicionamiento operante observando como los individuos de estudio aprenden a activar el mecanismo de la unidad de muestreo sin necesidad de estímulo visual. Por

otro lado, se evaluará su capacidad de memoria espacial.

### 1.3. Justificación y Objetivos:

Como se ha mencionado anteriormente, estudios previos de B. F. Skinner (1938) demostraron que la fuerza o intensidad de la respuesta operante se ve alterada a lo largo del tiempo cuando dicha conducta es seguida de un estímulo reforzante. En el presente estudio se comprobará si el águila Harris cumple con dicho modelo.

Al mismo tiempo estudios previos sugieren (Mader, 1979; Dawson y Mannan, 1991) que existe una relación jerárquica en los grupos de este acipítrido siendo dominante la hembra, hipótesis que será comprobada experimentalmente para conocer si pueden sesgar los resultados de las variables respuesta.

Se sabe que especies como *Carassius auratus* (Ingle y Sahagian, 1973), ratas (Cheng, 1986), tortugas (López *et al.*, 2004) y palomas (Bingman *et al.*, 2006) entre otros son capaces de emplear claves visuales para la orientación espacial. Planteamos como objetivo comprobar si el águila Harris cumple con este patrón de comportamiento y, si así fuese, verificar que tipo de estrategia de memoria espacial emplean.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

En el presente estudio se evaluará un grupo de tres individuos adultos de águila Harris (*Parabuteo unicinctus*) que consta de una hembra y dos machos.

Dicha investigación se llevó a cabo en la Fundación para la Investigación en Etología y Biodiversidad (FIEB) en Casarrubios del Monte (Toledo) durante los meses de octubre y diciembre.

Para la toma de datos se empleó el método de *behaviour sampling* (Altmann, 1974) o muestreo de conducta, que consiste en registrar únicamente una o unas pocas conductas concretas. Al tratarse de un número reducido de tipos de comportamiento, es más fácil registrar otros datos como el individuo que realiza la pauta, la hora o la duración de esta (De Miguel y Barja, 2015). Los eventos fueron registrados a partir de más de 650 vídeos con una duración aproximada de 30 segundos, obtenidos por cámaras de foto-trampeo. Se realizaron, además, inspecciones periódicas cada 20 minutos aproximadamente, procurando no llamar la atención de los individuos para evitar interferir en el estudio.

El recinto donde se llevó a cabo el diseño experimental presenta unas dimensiones

de 300 m<sup>3</sup> (6 x 20 x 2,5 m) con orientación norte.

La unidad de muestreo consta de una puerta de 40 x 40 cm con una apertura máxima de 38 cm. Al mismo tiempo, se le ha incorporado un pulsador de 40 x 40 cm en el que los individuos tendrán que posarse para accionar el sistema. Dicho pulsador ha sido diseñado en función al tamaño requerido por los individuos de estudio y se ha calibrado teniendo en cuenta al peso medio de los mismos (850-1100 g), de manera que les permita posarse y accionarlo sin ningún problema.

La caja fue colocada en la esquina del recinto como medio de precaución para evitar cualquier tipo de contacto de los individuos con el sistema eléctrico. Al mismo tiempo, por seguridad, el cuadro eléctrico fue establecido dentro de una caja de plástico en uno de los lados de la unidad de muestreo. Tras su apertura, la caja se mantuvo abierta para evitar accidentes.

Como se ha mencionado anteriormente, este diseño experimental presenta ciertas similitudes con la realizada en los estudios de B. F. Skinner. Al igual que en la actual investigación, el operante estudiado por dicho autor fue la conducta de presionar una mecanismo hacia abajo. Cabe destacar que, a diferencia del

mecanismo de Skinner y debido a la dificultades técnicas para la introducción del refuerzo derivadas del tipo de alimento de los individuos de estudio, el pulsador del diseño actual solo se podrá activar una vez al día. En consecuencia, no se pudo emplear la frecuencia de pulsaciones por día como variable respuesta. En este caso, la unidad de muestreo podría representar el comedero en el que se introducía la comida en la caja mientras que el recinto del estudio podría representar el espacio disponible en la misma.

Se trata de dos experimentos realizados de manera simultánea en el mismo grupo de individuos.

## 2.1. Aprendizaje por condicionamiento operante:

En este apartado, el diseño experimental consta de dos fases:

### 2.1.1. Fase 1: Acondicionamiento

Esta fase consistió en un periodo de tiempo que permitió a los individuos de estudio habituarse al nuevo lugar de alimentación y al mecanismo del pulsador respectivamente. Dicha fase se divide a su vez en dos subfases:

En la primera subfase (**punto de alimentación**) se tomaron datos de 12

días, en los cuales se alimentó a los individuos agregando las piezas de comida en el interior de la caja y en el pulsador.

En la segunda subfase (**pulsador**) se tomaron datos a lo largo de 10 días, en los cuales, la caja fue cerrada. Al igual que en la anterior subfase, se añadieron piezas de alimento tanto en el interior de la caja como en el pulsador para así aumentar la frecuencia de eventos y facilitar el acondicionamiento al mecanismo.

Se justifica la realización de la fase de acondicionamiento, por un lado, debido al tamaño del recinto en el que se encontraban los individuos de estudio. Al ser muy amplio, la probabilidad de que un individuo se posara sobre el mecanismo de manera aleatoria era muy reducida.

Además, son animales de cautiverio que no están acostumbrados a tener que realizar esfuerzos para la obtención de alimento y son capaces de pasar largos periodos de tiempo sin alimentarse.

#### 2.1.2. Fase 2: Evaluación:

En esta fase se tomaron datos de 18 días, durante los cuales, la caja fue cerrada tras introducir todas las piezas de comida en el interior de esta. De esta manera se pudo comprobar si los individuos eran

capaces de emplear el mecanismo del pulsador sin necesidad de estímulo directo de alimento que los indujesen a la realización del comportamiento, esto es, se evaluó la capacidad de los individuos de asociar de manera independiente el pulsador con la apertura de la caja y, en consecuencia, con la obtención de alimento.

#### 2.1.3. Variables respuesta:

En el análisis de resultados se estudiaron las siguientes variables:

1. **Latencia:** definida como el periodo de tiempo que acontece desde que se introduce la comida hasta que se produce el comportamiento de estudio:

**Latencia: H. ocurrencia – H. inicio**

Inicialmente se optó por analizar las latencias de manera global contrastando los posibles efectos que pudiesen tener las diversas variables independientes en el comportamiento en cuestión. Entre otras cosas, se pudo observar que las variables de estudio cambiaban en función a las fases de estudio, por lo que se optó por analizar las diversas fases por separado.

A la hora de evaluar el aprendizaje, inicialmente se optó por dividir la latencia en dos componentes:

a) **Búsqueda:** periodo de tiempo que acontece desde que se introduce alimento hasta que el individuo de estudio es avistado cerca de la caja.

**Búsqueda = H. avistamiento – H. inicio.**

Podría considerarse como la capacidad para recordar el punto de alimentación.

b) **Cautela:** periodo que transcurre desde que el individuo es avistado cerca de la caja hasta que se produce el comportamiento.

**Cautela = H. ocurrencia – H. avistamiento**

Podría indicar dificultad debido a la reducción gradual del estímulo de alimento que se hace a lo largo de las diversas fases, alterando la cantidad a la vista, explicando la diferencia de la latencia por fases.

A partir de la fase 2, la cautela inicial podría entenderse como el tiempo de resolución de problema.

2. **Resiliencia:** capacidad para recordar que pulsando el botón se abre la puerta y se obtiene el alimento:

**Resiliencia = H. avistamiento después de pulsar – H. ocurrencia Inicial.**

A lo largo de la fase experimental se observó que el individuo que pulsaba el botón tendía a asustarse y huir del sitio como respuesta a la apertura de la caja. Mediante dicha variable, por tanto, se puede medir el tiempo que pasa desde que el individuo pulsa y huye, hasta que vuelve a por el alimento. De esta manera, se presupone que el valor de esta variable debería ir reduciéndose con el tiempo como consecuencia del aprendizaje asociativo. No se tuvo en cuenta dicha variable en la fase 1 debido a que, al presentar piezas de alimento en el pulsador, no requerían del uso del aprendizaje para la apertura de la caja.

Se asignó un valor de 0 al comportamiento en el cual los individuos pulsan, esperan sin salir del plano, entran y cogen la comida.

Si el valor es diferente a 0, indicaría que el individuo desaparece del plano durante un periodo de tiempo y vuelve a coger el alimento.

3. **Cadencia:** Se trata del periodo de tiempo que acontece desde que un individuo realiza el comportamiento hasta que lo realiza el siguiente:

**Cadencia: H. ocurrencia – H. ocurrencia anterior.**

La cadencia se ha considerado una variable relevante debido a que la evaluación se realiza sobre tres individuos en conjunto y cada uno de ellos podrían, en cierta medida, imitar o aprender de las acciones de sus conespecíficos. Por consiguiente, y al igual que en la variable anterior, se presupone que el valor de dicha variable se reducirá a lo largo del tiempo.

#### 2.1.4. Variables independientes:

**Tiempo:** se trata de una variable importante a tener en cuenta. Al hacer uso de ello, simplemente se reconoce que los datos observados de un comportamiento determinado aparecen a un ritmo más o menos ordenado (Skinner, 1938).

**Alimento:** se han analizado varios aspectos para determinar si el tipo de alimento (pollo, codorniz y conejo), y su interacción con otros factores de variación (sexo, fase...) influyen de alguna manera en las variables de estudio. Por un lado, se analizó la preferencia alimentaria. Para ello, se examinó el alimento en función a la latencia inicial para compensar la cantidad desigual de piezas de cada tipo de alimento. También se tuvieron en

cuenta otros factores como el porcentaje sobrante y el porcentaje de capturas. Debido a la diferencia de tamaño muestral entre machos y hembras, se optó por analizar el ratio de capturas entre ambos sexos (**% captura Hembras / % captura Machos**) como otra variable a tener en cuenta, la cual, se denominó como H/M.

**Sexo:** como bien se ha mencionado anteriormente, el sistema social de las águilas Harris se encuentra estructurado de manera jerárquica con una clara dominancia de las hembras. Este hecho podría llegar a influenciar de manera significativa en los resultados, por lo que se trata de un factor a tener en cuenta. Para valorar esta posibilidad, se analizarán las latencias iniciales en función al sexo y el H/M. De esta manera, podremos conocer cuál de los dos sexos presenta mayor tendencia a acercarse primero al punto de alimentación y cuál de ellos obtiene mayor número de capturas.

## 2.2. **Memoria espacial**

La *memoria espacial* se define como la capacidad para recordar un punto de interés en el espacio a través de elementos del entorno. El propósito de

este apartado del estudio es determinar cuál de las dos estrategias anteriormente nombradas (*feature strategy* o *estrategia espacial*) emplea el águila Harris. Al igual que en la sección anterior, podemos distinguir dos fases:

### 2.2.1. Fase de acondicionamiento

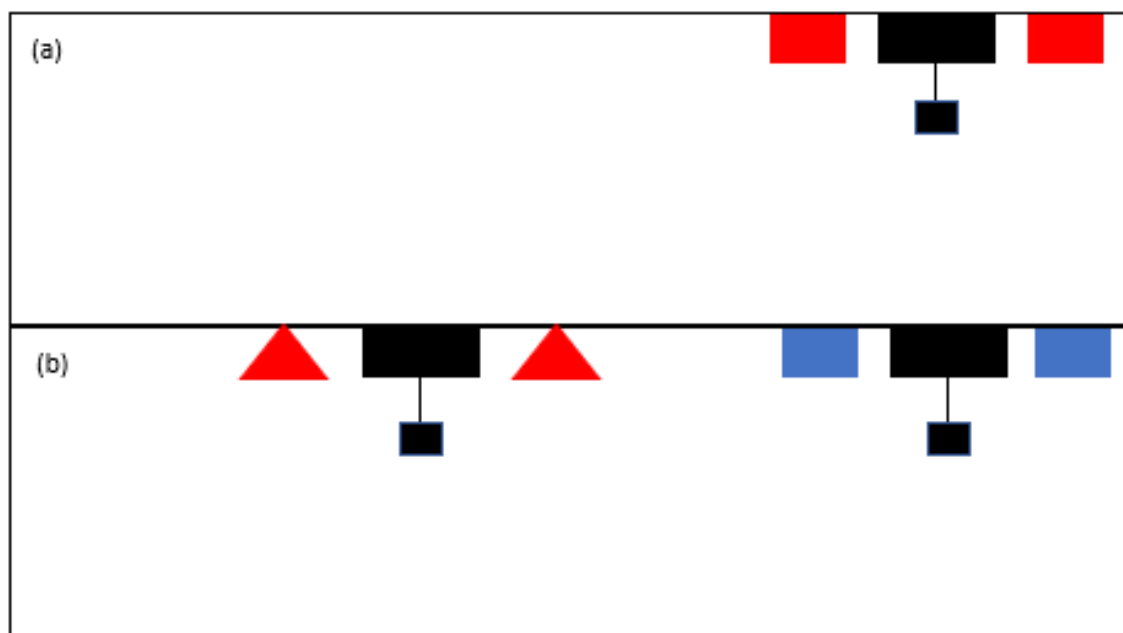
Los individuos de estudio fueron alimentados en un entorno con estructuras rectangulares de color rojo (Fig. 1a). Se tomaron datos de un total de 24 días previos a la fase de evaluación (5 días).

### 2.2.2. Fase de evaluación

En la fase de evaluación, se incorporó una segunda unidad de muestreo y se alteraron las estructuras presentes en

torno a los mismos. Una de las cajas fue dotada con estructuras piramidales de color rojo mientras que en la otra se añadieron estructuras rectangulares de color azul (Fig. 1b). Dichas estructuras fueron alternándose cada día entre las unidades de muestreo para evitar sesgos a la hora de seleccionar el punto de alimentación.

En este caso, se analizó la variable latencia en función al color y la geometría en dos niveles de tiempo; a lo largo de los 29 días de estudio (acondicionamiento + evaluación) y en el periodo de evaluación de la memoria espacial (5 días). Esto se debe a que, al realizarse de manera simultánea con la evaluación del aprendizaje por



**Fig. 1.** Representación del diseño experimental de la memoria espacial. (a) Fase de acondicionamiento y (b) Fase de evaluación.



condicionamiento operante, se optó por analizar también los periodos de tiempo a distintos niveles para comprobar si los resultados pueden verse afectados.

De esta manera, si existen diferencias significativas en las latencias en función a las variables “color” y “geometría”, los resultados nos podrían indicar cuál de las posibles estrategias de memoria espacial podrían estar utilizando los individuos de estudio.

Como bien se ha explicado anteriormente, las aves presentan un arco cromático más amplio al humano.

Esto nos permite confirmar que la selección de colores de las estructuras en el diseño experimental no debería producir ningún sesgo en los resultados. También hay que destacar que, para mantener las condiciones más homogéneas posibles, se estableció un posadero central por unidad de muestreo situados a distancias similares.

### **2.3. Criterios empleados para la toma de datos**

- El periodo diario para la toma de datos corresponde al tiempo que transcurre desde que se añade el alimento, hasta que se terminan todas las piezas o hasta que cesan su actividad.

- Si no se observa el comportamiento en el vídeo, pero hay constancia de que el evento ha acontecido entre dos tomas, a la hora final de la primera toma se le ha sumado la mitad del tiempo transcurrido entre ellas para obtener la hora de ocurrencia.

### **2.4. Análisis de datos:**

Para el análisis de datos, se empleó el programa Past3.0. (Hammer *et al.*, 2001) Inicialmente, se realizaron las pruebas de normalidad y homocedasticidad para determinar el tipo de pruebas que se deberían de emplear. En este caso, al tratarse de datos muy heterocedásticos, se emplearon principalmente dos pruebas no paramétricas; 1) la prueba de Spearman y 2) la prueba de Mann Whitney.

## **3. RESULTADOS:**

### **3.1. Aprendizaje por condicionamiento operante:**

#### **3.1.1. Global (40 días):**

Para el análisis y representación de los datos durante este periodo de tiempo, se

emplearon datos transformados en su raíz cuadrada para intentar estabilizar en cierta medida la varianza de los resultados.

### 3.1.1.1. Latencia:

A nivel global, se observó que, a diferencia de lo esperado inicialmente, el valor de la latencia iba aumentando a medida que avanzaba el tiempo (Fig. 2). En vista de dicho resultado, se optó por analizar la latencia en función a las fases de estudio. Se realizó la prueba de Mann Whitney ( $U = 5384,5$ ,  $p < 0,001$ ) y se confirmó que las latencias eran considerablemente superiores en la fase 2 (Fig. 3). Se llevó a cabo la misma prueba con las latencias iniciales y se comprobó que los resultados eran similares.

Al mismo tiempo, tampoco se obtuvieron diferencias significativas en las latencias globales en función al sexo. En contraposición, la prueba de Mann Whitney ( $U = 106$ ,  $p = 0,046$ ) confirmó que la hembra acumuló más latencia inicial que los machos (Fig. 4). A nivel global, el 67,5% de las veces la hembra era la primera del día en ser avistada realizando el comportamiento.

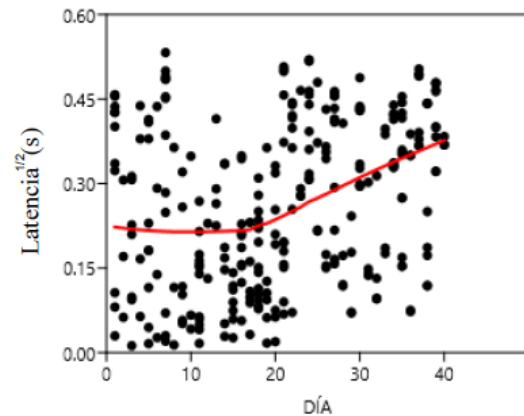


Fig. 2. Representación de los cambios en la latencia global a lo largo del tiempo.

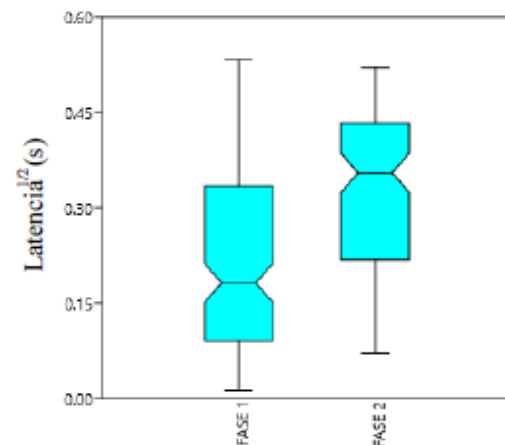


Fig. 3. Representación gráfica de las latencias globales en función a las fases de estudio.

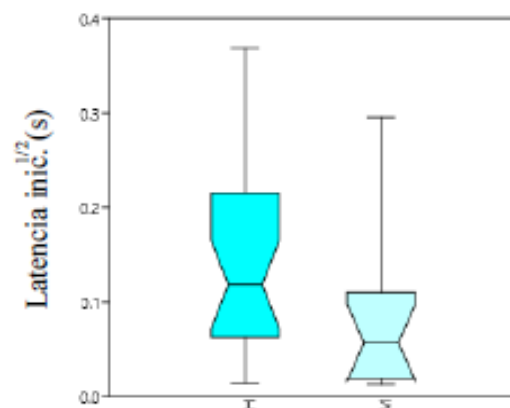


Fig. 4. Representación gráfica de las latencias iniciales en función al sexo.

### 3.1.1.2. Cautela:

Al igual que con la variable anterior, la prueba de Mann Whitney ( $U = 7856$ ,  $p = 0,004$ ) confirmó que la cautela aumentaba de manera considerable a lo largo de las fases, siendo superior en la fase 2 (Fig. 5). En dicha variable, a diferencia de en la latencia, se pudo observar que existen diferencias significativas en función al sexo siendo superior en la hembra (Fig. 6).

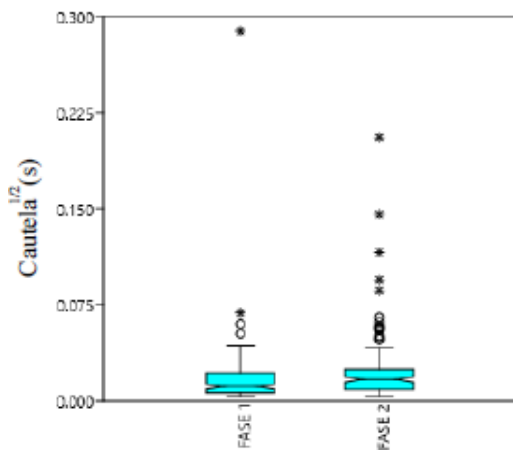


Fig. 5. Representación gráfica de la cautela por fases.

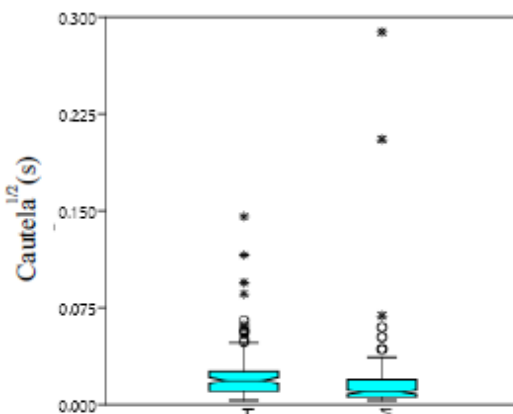


Fig. 6. Representación gráfica de la cautela en función al sexo.

### 3.1.1.3. Búsqueda:

En este caso, se pudo observar que los resultados no distaban de manera significativa de los obtenidos en la latencia, por lo que se decidió descartar dicha variable.

### 3.1.1.4. Cadencia:

En contraposición con el resto de las variables, los resultados de la prueba de Mann Whitney ( $U = 5521,5$ ,  $p = 0,02$ ) parecen indicar que la cadencia se reduce a lo largo del tiempo (Fig. 7) presentando, por tanto, valores inferiores en la fase 2 (Fig. 8).

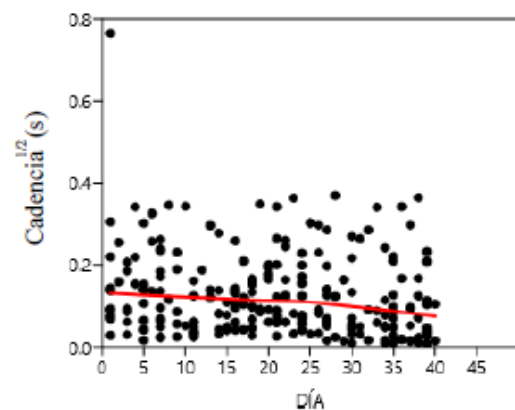


Fig. 7. Representación gráfica de la cadencia global a lo largo del tiempo de estudio. Datos ajustados a una línea de suavización LOESS.

### 3.1.1.5. Alimento:

No se encontraron diferencias significativas en las latencias iniciales en función al tipo de alimento. Tampoco se detectaron diferencias significativas en

los valores de H/M. A nivel global, el porcentaje de alimento sobrante fue del 21%.

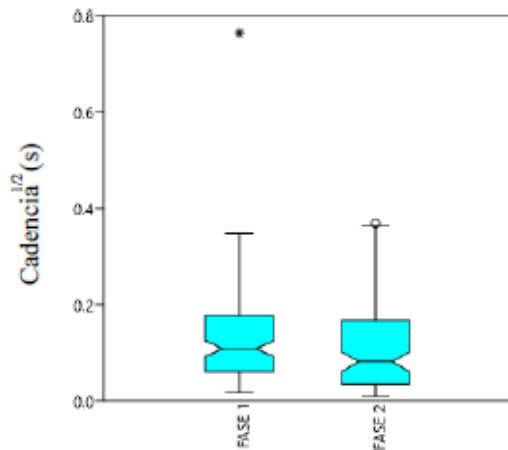


Fig. 8. Representación gráfica de la cadencia global en función a la fase de estudio.

### 3.1.2. Fase 1: Acondicionamiento

#### 3.1.2.1. Latencia:

A diferencia de lo que podemos encontrar a nivel global, no se observan diferencias significativas de dicha variable a lo largo de la fase. En relación a la variable sexo, tampoco se obtuvieron diferencias significativas ni en las latencias totales ni en las iniciales.

#### 3.1.2.2. Cautela:

No se observan cambios significativos en los valores de cautela a lo largo de esta fase. Al igual que en los valores globales, la prueba de Mann Whitney ( $U = 2516$ ,  $p = 0,03$ ) indica que existen diferencias significativas en función al sexo, siendo superior en la hembra (Fig. 9).

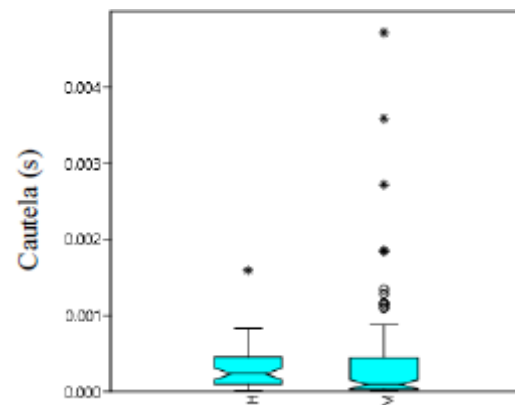


Fig. 9. Representación gráfica de la cautela de la Fase 1 en función al sexo.

#### 3.1.2.3. Cadencia:

En este caso, no se distinguen diferencias significativas de los valores a lo largo de la fase 1. También cabe destacar que se detectaron diferencias marginalmente significativas ( $U = 1376,5$ ,  $p = 0,043$ ) con relación a dicha variable y el sexo. Los valores de cadencia en esta fase parecen ser superiores en la hembra (Fig. 10).

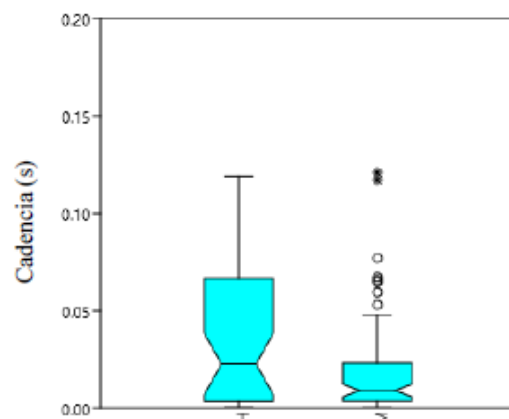


Fig. 10. Representación gráfica de la cadencia de la Fase 1 en función al sexo.

#### 3.1.2.4. Alimento:

No se han detectado diferencias significativas en las latencias iniciales en función al tipo de alimento. Al igual que en los valores globales, tampoco existen diferencias significativas en los valores de H/M. En este caso, el porcentaje de alimento sobrante fue del 16%.

#### 3.1.3. Fase 2: Evaluación

##### 3.1.3.1. Latencia:

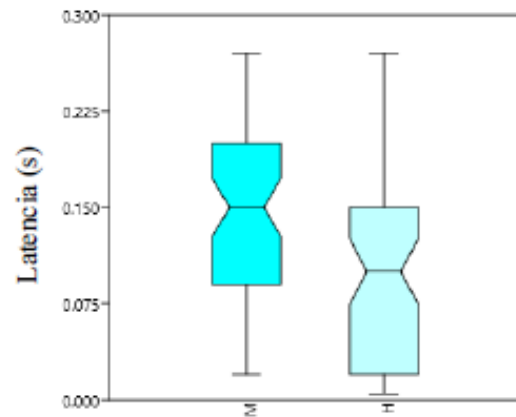
No se han detectado diferencias significativas ni en los valores de latencias totales ni en los valores iniciales a lo largo de la fase 2.

Los resultados de la prueba de Mann Whitney ( $U = 1308,5$ ,  $p = 0,006$ ) parecen indicar que los valores de las latencias totales son más reducidos en la hembra (Fig. 11). Al mismo tiempo, existe una considerable diferencia entre los valores de la latencia inicial; En este caso, en el 88% de las ocasiones la hembra es partícipe del primer evento del día.

##### 3.1.3.2. Cautela:

No se han observado diferencias significativas en los valores de la cautela a lo largo de la fase 2.

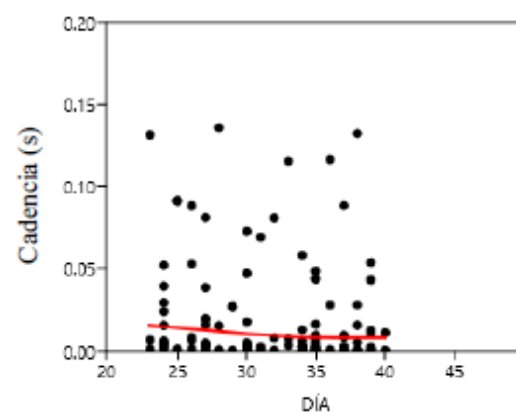
Al igual que en los casos anteriores, los valores de cautela son más elevados en la hembra.



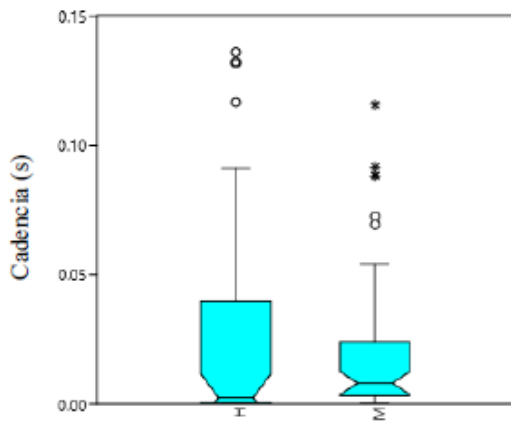
**Fig. 11.** Representación gráfica de la latencia total de la Fase 2 en función al sexo.

##### 3.1.3.3. Cadencia:

Los resultados de la prueba de Spearman ( $\rho = -0,21045$ ,  $p = 0,03$ ) parecen indicar que la cadencia se va reduciendo a lo largo de la fase 2 (Fig. 12). Cabe destacar que, en contraposición con lo obtenido en la fase 1, el valor de la cadencia es significativamente menor en la hembra (Fig. 13).



**Fig. 12.** Representación gráfica de la cadencia a lo largo de la Fase 2. Datos ajustados a una línea de suavización LOESS.



**Fig. 13.** Representación gráfica de la cadencia de la Fase 2 en función al sexo.

#### 3.1.3.4. Resiliencia:

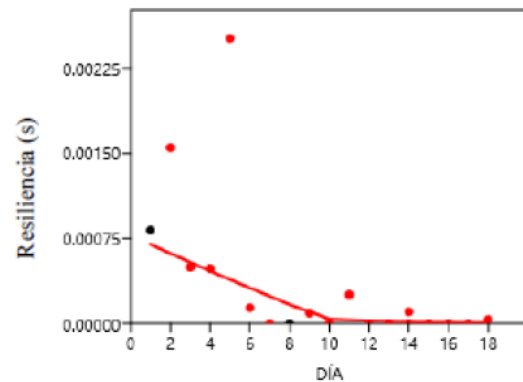
Como se puede observar en la Fig. 14, se ha detectado un descenso significativo en los valores de resiliencia a lo largo de la fase 2. Cabe destacar que el día 7 de la evaluación se pudo observar por primera vez un caso de resiliencia nula. Además, la prueba de Spearman ( $\rho = -0,67505$ ,  $p < 0,001$ ) determinó que dicha variable presenta una correlación negativa con el tiempo. En consecuencia, se empleó la siguiente ecuación de la recta de tendencia para obtener el valor medio aproximado de días en el cuál la resiliencia pasaría a ser 0:

$$y = -7,1968 \times 10^{-5}x + 0,0010443$$

El resultado obtenido indica que la resiliencia media tornaría a 0 en un tiempo aproximado de 14,5 días.

En relación a la variable sexo, no existen suficientes muestras de machos para

realizar la prueba de Mann Whitney debido a que en la mayor parte de las ocasiones era la hembra la que accedía primero a la unidad de muestreo.



**Fig. 14.** Representación gráfica de la resiliencia a lo largo de la Fase 2 (Hembras = rojo; Machos = negro). Datos ajustados a una línea de suavización LOESS.

#### 3.1.3.5. Tiempo de Resolución:

No se han observado diferencias significativas en el tiempo de resolución durante la fase 2. En lo referente al sexo y al igual que en la resiliencia, no existen suficientes muestras de machos debido a que la hembra ha invertido mucho más tiempo en la apertura de la caja.

#### 3.1.3.6. Alimento:

No se han detectado diferencias significativas en los valores de las latencias iniciales en función al tipo de alimento. En este caso tampoco se ha observado ningún resultado significativo en relación con el H/M. En esta última ocasión, el porcentaje de alimento sobrante fue del 29%.

### 3.2. Memoria espacial:

Como se mencionó anteriormente, se analizaron los resultados en varios niveles de tiempo:

#### 3.2.1. Global (29 días):

A nivel global se pudo observar que, al igual que en el apartado de aprendizaje por condicionamiento operante, los valores de las latencias variaban entre fases, siendo más elevados en la fase de evaluación.

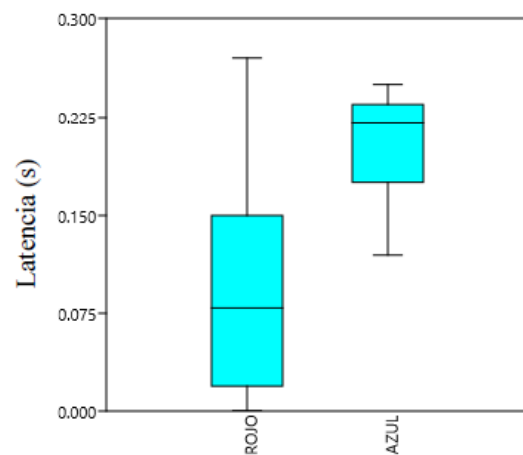
En relación con las claves visuales, la prueba de Mann Whitney ( $U = 280,5$ ,  $p < 0,001$ ) detectó diferencias significativas en la latencia en función al color, siendo superior en el color azul (Fig. 15). Además, no se obtuvieron diferencias significativas en lo referente a la geometría a nivel general.

#### 3.2.2. Evaluación (5 días):

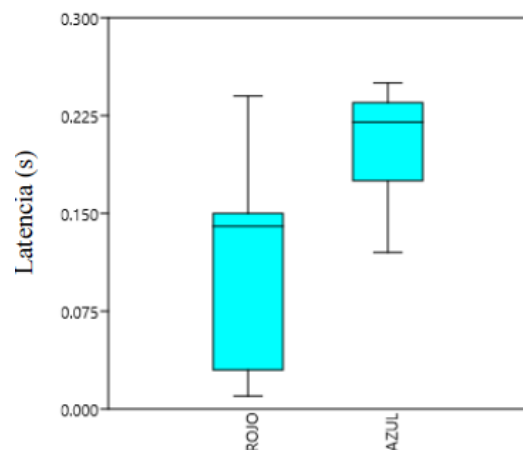
En lo referente al color, los resultados de la prueba de Mann Whitney ( $U = 40,5$ ,  $p < 0,001$ ) parecen indicar de manera concluyente que existen diferencias significativas en las latencias, siendo superiores en las unidades de muestreo cuyas estructuras son de color azul (Fig. 16). Además, cabe destacar que en el 100% de los casos los individuos

accedían primero a la unidad con estructuras rojas.

Al mismo tiempo, los datos obtenidos parecen denotar la existencia de diferencias significativas en las latencias en función a la geometría donde los valores de la latencia tienden a ser más elevados en las unidades de muestreo cuyas estructuras son rectangulares.



*Fig. 15. Representación gráfica de la latencia total en función al color.*



*Fig. 16. Representación gráfica de la latencia de la fase de evaluación en función al color.*

#### 4. DISCUSIÓN:

##### 4.1. Condicionamiento operante:

En relación a los resultados obtenidos, se ha podido observar que tanto los valores de las latencias como los de las cautelas y el tiempo de resolución aumentan a lo largo del tiempo siendo significativamente superiores en la fase de evaluación. Aunque inicialmente se creía que a medida que iba pasando el tiempo los valores de dichas variables irían disminuyendo como consecuencia del aprendizaje, la interpretación más lógica de los resultados obtenidos podría indicar que las diferencias en la dificultad para la obtención de alimento han podido influenciar en los valores de dichas variables. Al estar el alimento oculto en las unidades de muestreo, no existe un estímulo visual que evoque al individuo a la realización de la conducta en cuestión. En consecuencia, tanto los análisis a nivel global de las latencias y las cautelas totales como las del tiempo de resolución en función al tiempo podría no aportar información útil para la caracterización del aprendizaje por condicionamiento operante o de tipo R. Como se puede observar en la Fig. 4, la hembra ha acumulado una latencia inicial considerablemente superior al de ambos machos juntos a lo largo de todo

el periodo de estudio. Esto podría indicar que, como bien se sospechaba al inicio de la investigación, la variable sexo y, por consiguiente, la jerarquía, podría influir de manera significativa en los valores de las latencias.

Aunque los análisis de la fase 1 parecen indicar que no existen diferencias significativas en las latencias iniciales en función al sexo, es necesario destacar que se observaron diversas situaciones en las cuales, al macho, mayormente cuando era el primero en obtener el alimento, se le era arrebatado por la hembra nada más salir de la unidad de muestreo. Además, se han llegado a distinguir incluso casos en los cuales el macho beta o subordinado accedía a la comida, se lo presentaba a la hembra en el posadero y se iba del lugar. En estudios relacionados con la jerarquía de varios grupos de águila Harris (Dawson y Mannan, 1991), se pudo detectar que los individuos beta y gamma a menudo tenían restringido el acceso al nido. En consecuencia, cuando dichos individuos vuelan cerca del nido con una presa los individuos alfa (generalmente la hembra) tienden a arrebatárselos el alimento para el cuidado de los polluelos. La misma investigación demostró también que los machos beta, al igual que en el presente estudio, eran



los que más alimento aportaban al nido y, por consiguiente, a los individuos dominantes.

Estos hechos podrían aclarar la diferencia de latencias iniciales de la hembra entre ambas fases ya que, en la primera de ellas a menudo no requería acercarse a la caja para la obtención de alimento. Esto también explicaría el exceso de cadencia de la hembra durante la fase 1 ya que, al saciarse con las piezas de alimento que arrebató o recibe de los machos, tiende a tardar más en acceder a la unidad de muestreo a diferencia de los machos, los cuales, vuelven a ingresar inmediatamente después.

El análisis a nivel general de la cautela y del tiempo de resolución en función al sexo parece denotar que la hembra ha acumulado valores más elevados. Esto probablemente se deba, entre otras cosas, al hecho de que la hembra ha invertido más tiempo en la apertura de las cajas ya que, como se acaba de mencionar, en la mayor parte de las ocasiones era ella la que accedía primero. Además, se puede observar que los machos siempre tienden a valores más extremos de cautela mientras que la hembra tiende a valores más centrales y menos variables. La alta variabilidad de los valores de cautela en los machos podría estar producido como efecto de la presión de dominancia

ejercida por la hembra sobre el punto de alimentación. Se han descrito conductas relacionadas con la obtención de la comida donde los individuos silvestres se posan uno encima de otro formando columnas. A diferencia de lo que se esperaría, la hembra alfa es la que ocupa la posición más baja (Pareja-Obregón de los Reyes, 2015). Esto se debe a que el individuo dominante es el que accede primero tanto al posadero más ventajoso como a la presa. En consecuencia, la acción de posarse en la espalda del individuo dominante podría considerarse como una señal de pedida de alimento. Al mismo tiempo, también se han observado conductas de cubrir la captura con las alas mientras la consume en el interior de la caja, proceso descrito como natural en las rapaces para evitar el robo de la presa (Cadena-Ortiz, 2020). Es recalable que dicho comportamiento solo fue detectado en el macho subordinado y mayormente cuando se trataban de las últimas piezas de alimento, por lo que podría ser otro indicador más de la presión ejercida por los individuos alfa.

En relación a los valores de cadencia, como se esperaba inicialmente, los análisis a nivel global denotan la existencia de un descenso en los valores de dicha variable, siendo inferior en la

fase 2. Este hecho podría determinar que en cierta manera los individuos se guían de las acciones de sus conespecíficos a la hora de entrar en la unidad de muestreo. Al mismo tiempo, podría llegar a pensarse que, al presentar diferencias significativas en la dificultad para la obtención del alimento entre fases, el individuo que accede inicialmente a la caja requiere invertir más tiempo para hacerse con la pieza de comida. En consecuencia, los individuos restantes presentarán una mayor predisposición a acercarse tras la apertura debido a que el tiempo de espera también ha sido más elevado.

Al contrario que en la fase 1, los valores de cadencia en la fase 2 también se reducen a lo largo del tiempo. Esto podría encontrarse relacionado con la adición de la segunda unidad de muestreo para la evaluación de la memoria espacial ya que, al requerir de una mayor inversión de tiempo para la apertura de ambas cajas, los individuos restantes presentarán una mayor necesidad de alimentarse por lo que accedieron de manera más inmediata.

Analizando las cadencias en función al sexo se pudo observar que a nivel global no se distinguen diferencias significativas. Al mismo tiempo, en contraposición con lo obtenido en la

primera fase, la hembra es la que presenta valores más reducidos de cadencia en la fase 2. Es destacable que en esta última fase no se observaron ni el comportamientos de arrebatarse capturas ni el de entregarlas. Esto puede deberse, entre otras cosas, a la carencia de un estímulo visual que induzca a los machos a la realización de la respuesta, por lo que la hembra tiene que acercarse de manera más frecuente a la unidad de muestreo para la obtención del alimento. Este hecho puede verse reflejado en las diferencias observadas a nivel global en los avistamientos iniciales de la hembra, donde pasa de un 50% en la fase 1, a un 88% en la fase 2.

En consecuencia y debido a la presión de dominancia observada ejercida por la hembra sobre el punto de alimentación, los machos tardan más tiempo en acceder a la unidad de muestreo tras la entrada previa de otro individuo.

También es destacable señalar que al igual que en los resultados observados en el estudio realizado por Mader en 1979, y de la misma manera que se han observados eventos donde la hembra agrade a los machos al entrar al punto de alimentación, también se detectó dicha conducta en el macho más grande sobre el más pequeño.

Diversas investigaciones realizadas en varias especies concluyeron que en la mayor parte de los casos el factor más relevante que determina la dominancia de un individuo sobre otro era el tamaño, continuado por la familiaridad con la zona, la edad y, por último, el sexo. Aunque es relevante mencionar que a menudo el tamaño va determinado por el sexo y por la edad siendo muy difícil separar los efectos independientes de estas variables, el factor tamaño es el mejor indicador individual del estatus del grupo (Ketterson, 1979).

La disminución de la respuesta de huida o la resiliencia podría llegar a entenderse como la consecuencia del aprendizaje no asociativo por habituación, ya que se produce una reducción gradual en la magnitud de la respuesta a medida que se realizan evocaciones consecutivas (Reynolds, 1973). Pero, en este caso, al tratarse de una respuesta inducida como consecuencia de la activación del mecanismo, podría permitirnos determinar la intencionalidad de la respuesta operante de accionar el pulsador y caracterizar así la capacidad de aprendizaje asociativo. Los resultados parecen indicar que el condicionamiento se produce de media en un periodo aproximado de 14,5 días. En otras palabras, podría considerarse

que la conducta de accionar el pulsador pasaría a ser una respuesta operante en una media de 14-15 eventos ya que, si no se hubiese producido un condicionamiento de tipo R, la frecuencia o la intensidad de la respuesta seguiría dependiendo únicamente de los mismos factores accidentales iniciales de manera que no se observarían diferencias significativas en los resultados (Skinner, 1938). En este caso, la intensidad de la respuesta podría considerarse como la variación en el tiempo que transcurre hasta que vuelven a por el alimento. En consecuencia, la resiliencia podría ayudarnos a separar en cierta manera las respuestas inicialmente accidentales de las posteriormente operantes.

Es destacable que, al ser la caja transparente, en los inicios de la fase 2 los individuos trataban de buscar el alimento desde los laterales, posándose sobre la caja o intentando abrir la puerta físicamente sin acercarse al pulsador. Estos hechos podrían indicar que los individuos no relacionaron la apertura de la caja con el pulsador durante la fase 1 y que la conducta de accionar el pulsador en dicha fase se produjo únicamente con el fin de obtener el alimento (No hay aprendizaje).

Además, es destacable el avistamiento de la hembra realizando la respuesta

operante encontrándose la unidad de muestreo abierta y sin alimento. Esto podría considerarse como una prueba más del asentamiento de la conducta condicionada.

Aunque, como se ha mencionado anteriormente, la capacidad de relacionar un comportamiento concreto con sus consecuencias directas es una característica básica del aprendizaje por condicionamiento operante, no es lo mismo establecer una secuencia entre eventos como consecuencia de una relación espacial o temporal que fundamentar la asociación en una relación auténticamente causal (Hanus y Call, 2011). Esto es, aunque la ocurrencia del operante vaya seguida de la apertura de la caja y la obtención de comida, tal vez el comportamiento observado podría señalar que solo son capaces de asociar el operante con la obtención de comida sin relacionarlo en ningún momento con la apertura de la caja.

Considerando el factor jerarquía, los resultados resaltan un desequilibrio en los valores de resiliencia en función al sexo ya que, como se ha mencionado anteriormente, la hembra tuvo acceso al mecanismo del pulsador en un mayor número de ocasiones que los machos siendo, por tanto, espectadora de un

mayor número de eventos. Por consiguiente, conociendo la influencia significativa que produce dicho factor sobre todas las variables de estudio, sería conveniente la realización de dicho diseño experimental en sujetos de manera individual.

Además, el hecho de haber observado a la hembra realizando el comportamiento con resiliencia nula el séptimo día de la evaluación podría denotar que el periodo de tiempo para el asentamiento del operante podría ser menor a lo observado.

Estudios relacionados con el entrenamiento de aves rapaces, realizado en diversas especies (*Buteo jamaicensis*, *Bubo virginianus*, *Buteo nitidus* y *Caracara cheriway*) distribuidas en territorios similares al del águila Harris, donde se comparan la eficiencia de las técnicas de habituación y la del condicionamiento operante, parecen indicar que en todas las actividades los individuos adiestrados mediante la segunda técnica mencionada presentan una mayor eficiencia de aprendizaje, cumpliendo cada una de las actividades en un plazo máximo de siete días (Miranda-Escamilla, 1995). Aunque dichas tareas, como la de subir al guante para obtener el alimento, parecen presentar una dificultad más reducida

que la planteada en la presente investigación debido a que en este último caso el estímulo reforzante se encuentra oculto, se podría emplear como dato orientativo de la capacidad de aprendizaje que podrían presentar de manera individual.

Los análisis realizados en relación al tipo de alimento parecen indicar que, a diferencia de lo esperado, la preferencia alimentaria no influye en las variables respuesta. Se han realizado innumerables estudios para caracterizar la dieta de este acipítrido. Existe un consenso absoluto en los resultados de todas las investigaciones al respecto realizadas en Argentina, Chile, Brasil y América del Norte, donde los mamíferos representaron la mayor parte de la dieta seguidos de las aves (Figuroa y González-Acuña, 2006; Santander *et al.*, 2011; Gómez y Lires, 2015). En consecuencia, aunque podemos afirmar que el tipo de alimento no ha influenciado significativamente en las variables respuesta, no tenemos datos suficientes para negar la existencia de una preferencia alimentaria.

#### 4.2. Memoria espacial:

En el presente estudio se acostumbró a tres individuos de águila Harris (*Parabuteo unicinctus*) a comer en torno a estructuras rojas rectangulares localizadas sobre y al lado de la unidad de muestreo. Dicha unidad de muestreo se encontraba localizada en la esquina derecha de una de las paredes largas de un recinto a su vez rectangular.

Las latencias en función a las fases de este apartado del estudio parecen denotar que existe una diferencia notoria, siendo superior en la fase de evaluación. Esto puede deberse en gran medida a la adición de una segunda unidad de muestreo que, como se mencionaba anteriormente, requeriría de un periodo de tiempo más amplio para accionar ambos mecanismos. La segunda unidad de muestreo se localizó en el centro de la misma pared.

En relación a las claves visuales, se puede observar que tanto analizando los resultados a nivel global como a lo largo del periodo de la fase de evaluación, los resultados indican que los individuos presentaron una mayor predisposición por acceder primero a las unidades de muestreo cuyas estructuras presentasen color rojo, mientras que no se observaron diferencias significativas a nivel global en función a la geometría.

Es destacable señalar que las diferencias observadas en las latencias en función a la geometría en la fase de evaluación, indicativos de que los individuos tardan más en acceder a las unidades de muestreo cuyas estructuras son rectangulares, confirma aún más la preferencia del uso del color para la orientación espacial. Tampoco se observó ninguna tendencia a acceder primero a la unidad de muestreo localizada en la posición inicial.

En este caso, por tanto, parece que los resultados señalan que las elecciones en la selección del punto de alimentación no se encuentran influenciadas por razones geométricas. Estos hechos contradicen la teoría modular, la cuál postula que los organismos registran las relaciones geométricas del objetivo con la forma del recinto para orientarse en el entorno (Cheng, 1986). Aunque es destacable que el mismo autor también mencionaba que las claves no geométricas se empleaban en ciertas circunstancias para dirigir la búsqueda de alimentos.

La teoría asociativa (Miller y Shettleworth, 2008), por lo contrario, asume que el aprendizaje relacionado con la memoria espacial puede describirse mediante la ecuación del modelo de Rescorla-Wagner (1972), en la que todas las claves de una

determinada localización compiten mediante la fuerza asociativa:

$$\Delta V_t = \alpha\beta (\lambda - V_t)$$

El término fuerza asociativa ( $V_t$ ) hace referencia al grado de emparejamiento existente entre un estímulo y una consecuencia concreta. Dicho grado de asociación correspondería a la diferencias existentes entre la realidad ( $\lambda$ ), cuyo valor es de 1 o 0 respectivamente en función de si se cumple o no el evento, y la fuerza asociativa previa al suceso ( $V_t$ ). Mediante la ecuación mencionada, por tanto, se puede medir la variación de la fuerza asociativa de un determinado estímulo después de cada evento, la cuál se encontraría modulada por la velocidad de aprendizaje ( $\alpha\beta$ ) cuyo valor, a su vez, es determinado por la relevancia de los estímulos. Además, las visitas con refuerzo producen cambios en las fuerzas asociativas de los elementos de una determinada localización.

Según la teoría asociativa, la probabilidad de visitar un lugar ( $P_L$ ) podría ser proporcional a la fuerza asociativa total de las claves presentes en ese lugar ( $V_L$ ) en relación a la suma de la fuerza asociativa de las claves de todos los lugares de interés ( $\Sigma V_L$ ):

$$P_L = V_L / \sum V_L$$

Siguiendo dicho modelo, el hecho de que parezca existir una preferencia a guiarse en función a las claves visuales frente a la geometría podría deberse a que la relevancia del estímulo y, por consiguiente, la velocidad de aprendizaje o de asimilación de la información podrían ser diferentes. Esto se debe a que, si ambos estímulos (color rojo y geometría rectangular) se han expuesto el mismo periodo de tiempo presentando el mismo número de visitas reforzantes y la misma relevancia, no debería de haberse observado ningún desequilibrio en los resultados de las latencias.

Es destacable que varios estudios realizados en el carpín mexicano de cola roja (*Xenotoca eiseni*) (Sovrano *et al.*, 2007) y en pollos (Sovrano y Vallortigara, 2006) relacionaron la elección de la estrategia de orientación con el tamaño del recinto donde se encontraban los individuos. En estos casos, mientras que los estímulos geométricos parecen ser responsables de la orientación en los recintos pequeños, las características del entorno son más empleadas en recintos grandes.

Una de las posibles explicaciones establecidas por los autores radica en que en los recintos pequeños se puede ver una mayor parte del espacio desde una misma posición. Esto aumenta en gran medida la probabilidad de que la forma general del espacio se codifique, revelándose la geometría del recinto pudiendo usarse así en la orientación espacial (Cheng *et al.*, 2013).

En relación a los resultados obtenidos en el presente estudio y teniendo en cuenta las teorías mencionadas, podría decirse que, al tratarse de un recinto relativamente grande, la relevancia de los estímulos geométricos podría haberse visto mermada o eclipsada por la del color. En consecuencia, la fuerza de la asociación obtenida entre el color rojo y el alimento podría ser más elevada que la establecida con la geometría rectangular o la posición inicial de la unidad de muestreo respecto a la geometría del recinto, determinando así la selección del lugar de alimentación.

## 5. CONCLUSIÓN:

Vista la información obtenida a partir de los resultados del estudio y su comparación con experimentos previos relacionados, se ha podido detectar un cambio significativo en la intensidad de

la respuesta operante, el cual, puede verse reflejado en una disminución de la respuesta de huida o la resiliencia. Además de en esta variable, solo se han detectado resultados significativos en la cadencia, en la cual también se ha podido observar una notoria disminución de los valores.

Se considera, por tanto, que los individuos de estudio han sido capaces de asociar con éxito el uso del mecanismo de la unidad de muestreo con la obtención de alimento de manera independiente en un número medio de 15 eventos.

En relación al factor jerarquía, se ha podido constatar que los valores de todas las variables se ven afectados por el sexo, siendo recomendable, como se ha mencionado anteriormente, la realización del diseño experimental de manera individual y en un ambiente controlado.

Los resultados obtenidos en cuanto a la memoria espacial parecen denotar una clara preferencia al empleo del color como baliza frente a las relaciones geométricas del entorno a la hora de orientarse en el espacio. Comparando las diversas teorías mencionadas, se ha llegado a la conclusión de que el tamaño del espacio ha podido influir en la selección de la estrategia de memoria

espacial, por lo que sería conveniente la realización de dicho diseño en espacios más reducidos para comparar estos efectos. Al mismo tiempo, a diferencia de varios de los estudios mencionados (Cheng, 1987; Sovrano y Vallortigara, 2006; Sovrano *et al.*, 2007) en los cuales se colocaba al individuo de estudio en una posición inicial preestablecida, los sujetos del presente estudio se encontraban libres durante todo el periodo de estudio.

Al mismo tiempo, es destacable que, aún teniendo un mayor arco cromático que el ser humano, las aves presentan generalmente una mejor visión cromática para el extremo rojo del espectro (Hickman *et al.*, 2009), por lo que sería adecuada la realización de dicho diseño experimental en orden de aparición inversa de colores para comprobar si ambos niveles influyen de manera similar en los valores de la latencia. De todas formas, indiferentemente del grado de relevancia o lo “llamativo” que pueda resultar un color u otro, se seguirían orientando mediante criterios cromáticos, ya que si se guiasen por estrategias geométricas el grado de relevancia del color no debería de influir en los resultados.

En conclusión, dicho estudio nos ha permitido conocer capacidades



cognitivas del águila Harris que, pudiendo saber que las presentaban, nunca se había caracterizado con anterioridad, por lo que, corrigiendo los sesgos mencionados, dicho diseño experimental podría abrir precedentes para futuros estudios relacionados con un grupo animal cuyos límites cognitivos están aún por descubrir.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Bednarz, J. C. (1988) “Cooperative Hunting in Harris’s Hawks (*Parabuteo unicinctus*)”, *Science*, 239(4847), pp. 1525-1527.
- Bednarz, J. C. y Ligon, J. D. (1988) “A study of the ecological bases of cooperative breeding in the Harris’s hawk”, *Ecology*, 69(4), pp. 1176-1187.
- Bingman, V. P. y Sharp, P. E. (2006) “Neuronal implementation of Hippocampal-Mediated Spatial Behavior: A comparative evolutionary perspective”, *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 5(2), pp. 80-91.
- BirdLife international (2021) Species factsheet: *Parabuteo unicinctus*. Disponible en: <http://www.birdlife.org> (Accedido 3 de mayo de 2021).
- Cadena-Ortiz, H. (2020) “Gavilán de Harris *Parabuteo unicinctus* depredando una serpiente”, *Revista Ecuatoriana de Ornitología*, 6, pp. 98-99.
- Carranza, J. (ed.) (2016) *Etología Adaptativa. El comportamiento como producto de la selección natural*. Córdoba: UCOPress y Publicaciones de la Universidad de Extremadura.
- Cheng, K. (1986) “A purely geometric module in the rat’s spatial representation”, *Cognition*, 23, pp. 149-178.
- Cheng, K., Huttenlocher, J. y Newcombe, N. S. (2013) “25 years of research on the use of geometry in spatial reorientation: a current theoretical perspective”, *Psychonomic Bulletin & Review*, 20, pp. 1033-1054.
- Coulson, J. O. y Coulson, T. D. (2013) “Reexamining cooperative hunting in Harris’s Hawk (*Parabuteo unicinctus*): Large Prey or Challenging habitats?”, *The Auk*, 130(3), pp. 548-552.
- Dawson, J. W. y Mannan, R. W. (1991) “Dominance hierarchies and helper contributions in Harris’s Hawks”, *The Auk*, 108, pp. 649-660.
- De Miguel, J. y Bargas, I. (2015) *Técnicas en Biología de la Conservación – n°5. Manual de métodos de estudio del*

*comportamiento en carnívoros*. Tundra ediciones.

Doyle, J.M., Katzner, T.E., Bloom PH, Ji, Y., Waiavawardena, B.K., DeWoody, J.A. (2014) “The genoma sequence of a widespread apex predator, the Golden Eagle (*Aquila Chrysaetos*)”, *PLoS one*, 9(4); e95599.

Ferguson-Lees, J. y Christie, D. A. (2004) *Guía de identificación: Rapaces del mundo*. Barcelona: Ediciones Omega.

Figueroa, R.A. y González-Acuña, D. (2006) “Prey of the Harris’s hawk (*Parabuteo unicinctus*) in a suburban area of Southern Chile”, *The Raptor Research Foundation*, 40(2), pp. 164-168.

Gómez, R. O. y Lires, A. I. (2015) “Dieta del Gavilán Mixto (*Parabuteo unicinctus*) en un humedal de la ciudad de Buenos Aires”, *Nuestras Aves*, 60, pp. 97-101.

González-Martín-Moro, J., Hernández-Verdejo, J. L. y Clement-Corral, A. (2017) “The visual system of diurnal raptors: updated review”, *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, vol. 92(5), pp. 225-232.

Hanus, D. y Call, J. (2011) “Chimpanzee problema-solving: contrasting the use of

causal and arbitrary cues”, *Animal Cognition*, 14, pp. 871-878.

Hammer, O., Harper, D. A. T. y Royan, P. D. (2001) *PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis* (Versión 3.0) [Programa de ordenador]. Disponible en: [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm) (Accedido: 12 de octubre de 2020).

Hickman, C. P., Roberts, L. S., Keen, S. L., Larson, A., Anson, H. y Eisenhour, D. J. (2009). *Principios integrales de zoología*. 14ª ed. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España.

Ingle, D. y Sahagian, D. (1973) “Solution of a spatial constancy problema by goldfish”, *Physiological Psychology*, 1(1), pp. 83-84.

Ketterson, E. D. (1979) “Aggressive behavior in wintering Dark-eye Juncos: determinants of dominance and their posible relation to geographic variation in sex ratio”, *Wilson Bull*, 91(3), pp. 371-383.

López, J. C., Vargas, J. P., Gómez, Y. y Salas, C. (2004) “Diferentes estrategias de aprendizaje espacial en tortugas reveladas mediante un procedimiento de inversión en un laberinto radial”, *Psicológica*, 25, pp. 147-162.

- Mader, W. J. (1978) "A comparative nesting study of red-tailed Hawks and Harris Hawks in southern Arizona", *The Auk*, 95, pp. 327-337.
- Mader, W. J. (1979) "Breeding behavior of a polyandrous trio of Harris Hawks in southern Arizona", *The Auk*, 96, pp. 776-788.
- Miller, N. Y. y Shettleworth, S. J. (2008) "An associative model of geometry learning: A modified choice rule", *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 34(3), pp. 419-422.
- Miranda-Escamilla, S. S. V. (1995) *Entrenamiento básico de aves rapaces en el Estado de Oaxaca, Méx.* Tesina de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Nieto, J. y Bernal-Gamboa, R. (2017) *Estudios contemporáneos de cognición comparada.* Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortega-Álvarez, R. y Calderón-Parra, R. (2014) "Hunting the unexpected: Harris's Hawks (*Parabuteo unicinctus*) preying on bats in a Neotropical megacity", *Revista Brasileña de Ornitología*, 22(3), pp. 297-299.
- Pareja-Obregón de los Reyes, M.D. (2015) *La leyenda del Águila Harris.* 2ª edición. Editorial Autor-Editor.
- Reynolds, G. S. (1973) *Compendio de Condicionamiento Operante.* México: Editorial Ciencia de la Conducta.
- Rodrigo, T. (2002) "Navigational strategies and models", *Psicológica*, 23, pp. 3-32.
- Santander, F. J., Alvarado, S. A., Ramírez, P. A. y Figueroa, R. A. (2011) "Prey of Harris's hawks (*Parabuteo unicinctus*) during autumn and winter in a coastal area of Central Chile", *The Southwestern Naturalist*, 56(3), pp. 419-424.
- Skinner, B. F. (1938) *The behavior of organism: An experimental análisis.* New York: D.Appleton-Century Company.
- Sovrano, V. A. y Vallortigara, G. (2006) "Dissecting the geometric module. A sense linkage for metric and landmark information in animal's spatial reorientation", *Psychological Science*, 17(7), pp. 616-621.
- Sovrano, V. A., Bisazza, A. y Vallortigara, G. (2007) "How fish do geometry in large and small spaces", *Animal cognition*, 10, pp. 47-54.