



I I B y T

Universidad Nacional de Córdoba

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Tesina de Grado para optar por el título de Biólogo

Estudio de la relación entre señales de aceleración y comportamiento reproductivo en machos adultos de codornices (*Coturnix japonica*) bajo diferentes contextos sociales

Tesinista: Victoria de la Fuente

Firma: 

Director/a: Jackelyn M. Kembro

Firma: 

Co-director/a: Diego A. Guzmán

Firma: 

2023

Tesina de grado para optar por el título de Biólogo

Estudio de la relación entre señales de aceleración y comportamiento reproductivo en machos adultos de codornices (*Coturnix japonica*) en diferentes contextos sociales

Alumno/a:

Director/a:

Co-director/a:

Tribunal Examinador

● Nombre y Apellido: Firma:
.....

● Nombre y Apellido: Firma:
.....

● Nombre y Apellido: Firma:
.....

● Calificación:

● Fecha:

Índice

Resumen	4
Abstract	5
Introducción	6
Hipótesis y predicciones	9
Hipótesis	9
Predicciones	9
Objetivos	10
Objetivos generales	10
Objetivos específicos	10
Materiales y métodos	10
Cría de animales	11
Previa caracterización de las parejas de codornices	11
Procedimiento general	12
Cálculo de métricas de aceleración	15
Análisis de datos y estadística	15
Resultados	16
Distribución de probabilidad de la amplitud de la aceleración dinámica y su relación con la interacción social macho-hembra	16
Variabilidad de los eventos reproductivos y su relación con el nivel de receptividad de las hembras	19
Conclusión y discusión	26
Bibliografía	29
Anexos	34
Anexo 1	34
Anexo 2	35

Estudio de la relación entre señales de aceleración y comportamiento reproductivo en machos adultos de codornices (*Coturnix japonica*) bajo diferentes contextos sociales

Palabras clave. Aves de corral, interacciones sociales, aprendizaje automático.

Resumen

Los sensores remotos tipo acelerómetros colocados sobre el cuerpo de un animal han sido utilizados en varios contextos, entre ellos, para detectar eventos reproductivos de codornices macho adultas (*Coturnix japonica*). En esta tesina se propuso combinar análisis de videograbaciones con acelerometría triaxial para avanzar sobre las bases biológicas que subyacen el comportamiento reproductivo de codornices macho, y la dinámica de interacción macho-hembra. 11 parejas (macho/hembra) fueron evaluadas durante 6h, luego de 36h de aislamiento social. Al macho se le colocó un acelerómetro sobre su dorso y fue estudiado en 3 etapas: 1) en aislamiento visual de su pareja, 2) separada mediante una reja de su pareja, y 3) interactuando físicamente con su pareja. Se estimó el número y duración de los eventos reproductivos y el nivel de receptividad de la hembra para cada evento. Se caracterizaron las fluctuaciones del vector de aceleración mediante la estimación de la aceleración dinámica (ejes x,y,z), y la aceleración dinámica general del cuerpo como aproximación del gasto energético. En la 3 etapa, las distribuciones de probabilidad de las aceleraciones dinámicas de eventos reproductivos mostraron mayores valores en comparación con los no-reproductivos, independientemente del nivel de receptividad de la hembra. Las primeras 2 etapas mostraron valores intermedios. La duración del evento reproductivo está relacionada con el nivel de receptividad y costo energético. Los resultados sugieren que fluctuaciones en la dinámica de aceleración de alta amplitud son característicos de los eventos reproductivos, y que el nivel de receptividad de las hembras podría estar ejerciendo un efecto modulador, impactando sobre el costo energético invertido por el macho.

Abstract

Remote sensors like accelerometers placed on the body of an animal have been used in various contexts, including the detection of reproductive events in adult male Japanese quails (*Coturnix japonica*). This thesis aimed to combine video analysis with triaxial accelerometry to advance our understanding of the biological underpinnings of male quail reproductive behavior and male-female interaction dynamics. Eleven pairs (male/female) were evaluated for 6 hours after 36 hours of social isolation. An accelerometer was placed on the male's back, and the study consisted of three stages: 1) in visual isolation from its partner, 2) separated from its partner by a barrier, and 3) physically interacting with its partner. The number and duration of reproductive events and the female's receptivity level for each event were estimated. Fluctuations in the acceleration vector were characterized by estimating dynamic acceleration (axes x, y, z), and overall body dynamic acceleration was used as an approximation of energy expenditure. In the third stage, the probability distributions of dynamic accelerations during reproductive events showed higher values compared to non-reproductive events, regardless of the female's receptivity level. The first two stages showed intermediate values. The duration of the reproductive event is related to receptivity level and energy cost. The results suggest that high-amplitude acceleration dynamics are characteristic of reproductive events, and the receptivity level of females may be exerting a modulatory effect, impacting the energy cost invested by the male.

1. INTRODUCCIÓN

En la última década una explosión tecnológica se introdujo en la agricultura y ganadería promoviendo nuevas estrategias apuntadas a mejorar la productividad y el rendimiento económico. En particular, la ganadería de precisión (“Precision livestock farming, PLF”) aplicada a los sistemas de cría de aves de corral, tiene el potencial de mejorar el bienestar animal, proveyendo en tiempo real y de manera continua el panorama del estado de las aves y permitiendo una rápida intervención que beneficiaría a los planteles actuales (Rowe y col., 2019). Entre las variables propuestas para el monitoreo se encuentran las condiciones ambientales de cría como temperatura y humedad, y a nivel del animal variables asociadas al peso, al comportamiento, al uso del espacio, a la capacidad y calidad de locomoción e incluso las muertes (Rowe y col., 2019; Ren y col., 2020; Ojo y col., 2022). Como estrategia, dichas tecnologías, en general, combinan sensores con algoritmos de aprendizaje automático (“Machine Learning”) en el marco del internet de las cosas (“Internet of Things, IoT”) (Rowe y col., 2019). Desde el punto de vista científico, esta estrategia abre nuevas puertas ya que potencialmente permitiría obtener un enorme caudal de información sobre las aves y su ambiente a lo largo de extensos periodos de tiempo, que difícilmente podría obtenerse usando únicamente metodologías tradicionales, ya que estas proporcionan una imagen instantánea de la situación evaluada y no una imagen completa como la que se obtiene a través del monitoreo continuo.

De particular interés para el estudio del comportamiento animal, son los sensores que pueden ser llevados sobre el cuerpo del animal para el monitoreo del individuo, incluso dentro de grupos sociales y ambientes complejos. En este contexto, se han propuesto el uso de acelerómetros que son sensores que devuelven una estimación en valor real de la aceleración a lo largo de uno o más ejes, a partir de la cual se pueden estimar la velocidad y movimiento (Banerjee y col., 2012). En general se utilizan acelerómetros triaxiales que permiten obtener los vectores de aceleración en los ejes x,y,z (Yang y col., 2021). La combinación de acelerómetros con algoritmos de aprendizaje automático, como redes neuronales (Yang y col., 2021), han sido utilizados hasta el momento en diferentes contextos. Por ejemplo, acelerómetros sujetos a gallinas ponedoras (*Gallus gallus domesticus*) han sido usados para determinar niveles de actividad (Kozak y col., 2016), caracterizar comportamientos asociados a fractura de quilla (Casey-Trott, 2018; Baker y col., 2020), lograr el seguimiento de actividad direccional de aves individuales (Ali y Siegford, 2018), y clasificar comportamientos de postura de huevos (Banerjee y col.,

2012). En pollos se han usado para detectar saltos, vuelos y caídas (Banerjee y col., 2014) y actividad locomotora (Yang y col., 2021), y en codornices para detectar comportamientos reproductivos (Simian y col., 2020).

El uso de acelerómetros para estudios comportamentales trae a colación un nuevo conjunto de complicaciones asociadas con la necesidad de mapear de manera confiable los patrones de aceleración con los comportamientos específicos. Se deben recopilar grabaciones de observaciones de comportamiento emparejadas con lecturas de acelerómetro para determinar el mapeo correcto (Hammond y col., 2016). Para los algoritmos de aprendizaje automático como las redes neuronales esto implica obtener series de tiempo de los comportamientos realizados por las aves con el acelerómetro a partir de la observación de video grabaciones de los animales (Yang y col., 2021). Estas series comportamentales luego son usadas para entrenar y validar modelos de aprendizaje automático, como las redes neuronales. En este contexto, es importante tener en cuenta que una crítica que a menudo se dirige a los algoritmos de aprendizaje automático es que son métodos de caja negra (“black box”) (Bidder y col., 2014). La noción de “caja negra”, que alude a los algoritmos en los que solo son observables los resultados y se desconoce el funcionamiento del modelo, o no se consigue explicar el fundamento por el cual se arrojan dichos resultados (Management Solutions, 2023). Por lo tanto, potencialmente podría quedar desacoplada la metodología de clasificación con el sentido biológico de dicha clasificación. Por ejemplo, en la tesina de grado de Catalina Simian se mostró que los comportamientos reproductivos de codornices macho eran evidenciables como fluctuaciones de alta amplitud en los vectores de aceleración, similar en amplitud a una sacudida (Simian y col., 2020; Bosch y col., 2022). Además, que redes neuronales podrían ser utilizadas para clasificar a las señales para así detectar indistinguiblemente los eventos reproductivos y sacudidas desarrollados. Sin embargo, no queda claro el fenómeno biológico que subyace a dichas fluctuaciones de alta amplitud, ya que no parece asociado a algún comportamiento en particular (i.e. agarre, monta, contacto cloacal) que podamos detectar en la videograbación del macho. Por lo que podría reflejar un estado de excitación del animal en vez de un comportamiento en particular.

La excitación junto con la saciedad son componentes del comportamiento sexual de las codornices macho. En particular, la excitación implica la persecución de las hembras y/o las respuestas conductuales y fisiológicas a las señales proporcionadas por las hembras, y la saciedad resulta del propio acto de la cópula (Ball y Balthazart, 2010). A su vez, el comportamiento reproductivo consiste en una secuencia de comportamientos. Cuando el

macho entra en contacto con una hembra, realiza una secuencia de comportamientos copulatorios que incluye una exhibición pre (y también a menudo post) copulatoria llamada pavoneo, así como la secuencia copulatoria *sensu stricto* durante la cual agarra las plumas del cuello de la hembra (agarre del cuello), intenta montarla (intentos de monta), finalmente consigue montarla (monta), y finalmente acerca su cloaca a la cloaca de la hembra (contacto cloacal) para que pueda producirse la transferencia del espermatozoides (Ball y Balthazart, 2010). Se ha propuesto que la hembra tiene un rol activo ya que puede solicitar ser copulada, caminando en frente al macho y agachándose, aparentemente invitando a un macho en particular a la monta (Nichols, 1991). Contrariamente, puede intentar prevenir una cópula indeseable resistiendo al macho o escapando de él (Nichols, 1991). Por lo que se puede observar un gradiente de receptividad de la hembra hacia el macho durante la interacción, desde hembras muy receptivas a aquellas no receptivas (Hanne y col., 2007). En este contexto, las características individuales de los machos y las experiencias previas de las hembras pueden influir en el nivel de receptividad de las hembras (Ophir et al, 2003, 2005, Pellegrini y col., 2019).

En esta tesina se propone avanzar sobre las bases biológicas que subyacen a un componente del comportamiento reproductivo de machos que se evidencia como fluctuaciones de gran amplitud en la aceleración dinámica proveniente de los acelerómetros. En este contexto, la aceleración dinámica de cada eje del acelerómetro (da_x, da_y, da_z), que se calcula a partir de los datos crudos del vector de aceleración, refleja la aceleración inducida por el movimiento mismo del animal (Collins y col., 2015). También, son importantes para la caracterización de las fluctuaciones medidas de la fuerza global del movimiento, como la aceleración dinámica general del cuerpo (ODBA) que es la suma de la aceleración dinámica del cuerpo de los tres ejes, y dinámica vectorial (VeDBA) es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la aceleración dinámica del cuerpo de los tres ejes (Collins y col., 2015). Específicamente, la ODBA ha sido propuesta como un estimador de la tasa específica de actividad de gasto de energía (Wilson y col., 2006), y en el marco de esta tesina fue utilizado también para estimar el gasto energético de cada evento reproductivo. Se pretende entonces, no sólo estudiar la variabilidad entre machos en el patrón de fluctuación registrado en el vector de aceleración asociado a la reproducción, sino también la relación del entorno social en el desarrollo del mismo y el nivel de receptividad de las hembras. Luego de más de 36h de aislamiento físico de su pareja (hembra), se evaluará a cada macho en tres contextos sociales diferentes de manera

consecutiva: 1) en aislamiento visual de su pareja , 2) separada mediante una reja de su pareja, y 3) interactuando con su pareja.

Se utilizarán machos que divergen con respecto a su nivel de agresividad y conducta reproductiva clasificados en el marco de la tesis doctoral de Gabriel Orso. Este diseño experimental permitirá avanzar sobre las siguientes preguntas sobre las fluctuaciones de alta amplitud observadas en los vectores de aceleración de machos adultos ¿Pueden ocurrir en la ausencia del contacto físico y solo ante la visualización o presencia observable de una hembra? ¿Coinciden temporalmente con la conducta sexual, o puede preceder o terminar después de lo visualmente observable? ¿Qué variabilidad existe entre los machos? ¿Son modulados por el nivel de receptividad de la hembra?

2. HIPÓTESIS Y PREDICCIONES

2.1. Hipótesis

La distribución de frecuencia de las fluctuaciones de alta amplitud en la aceleración dinámica son indicativas de un evento reproductivo, y dicha distribución es independiente del nivel de receptividad de la hembra.

La duración del evento reproductivo depende del nivel de receptividad de la hembra, lo cual afectará el gasto energético del macho.

2.2. Predicciones

En codornices japonesas macho:

- cuando está separado de la hembra físicamente, pero no visualmente, aumenta la amplitud y la variabilidad de la aceleración dinámica, el ODBA, y el VeDBA en comparación con cuando se encuentra en aislamiento visual.
- eventos reproductivos tienen una mayor amplitud y variabilidad en la aceleración dinámica, en el ODBA, y en el VeDBA comparado con eventos no reproductivos, independientemente del contexto social.
- eventos reproductivos de mayor duración tienen asociado un mayor gasto energético

➤ cuando están emparejados con hembras menos receptivas presentan un mayor número de eventos y dedican más tiempo al comportamiento reproductivo, con un mayor gasto energético que aquellos machos emparejados con hembras más receptivas

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Avanzar sobre las bases biológicas que subyacen el comportamiento reproductivo de codornices macho, y la dinámica de interacción macho-hembra.

3.2. Objetivos específicos

1. Estudiar la relación entre la amplitud y variabilidad de las fluctuaciones de alta amplitud en la aceleración dinámica, ODBA y VeDBA del macho y las posibilidades de interacción social con una hembra conocida en tres etapas 1) en aislamiento visual, 2) separada mediante una reja de una hembra conocida, y 3) interactuando con la hembra conocida.
2. Estudiar la variabilidad entre machos con respecto al comportamiento reproductivo, y la relación entre la duración del evento reproductivo y el gasto energético.
3. Evaluar potenciales asociaciones entre el nivel de receptividad de la hembra y los valores de amplitud en la aceleración dinámica, ODBA y VeDBA del macho en las tres etapas de prueba mencionadas en el objetivo 1.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Las codornices (*Coturnix japonica*) son consideradas como un excelente modelo de laboratorio para la extrapolación de datos a otras especies de aves de granja de mayor importancia comercial. Las parejas de animales que serán utilizadas en esta tesina serán previamente caracterizadas según su agresividad, comportamiento reproductivo y coloración de plumaje (Secciones 4.1 y 4.2), en el marco de la tesis doctoral de Biol.

Gabriel Orso, dirigido por el Dr. Diego Guzmán. De esta manera no solo se logra reducir y reusar estos animales de laboratorio siguiendo los principios de las 3 R's en experimentación animal (Jar, 2014).

4.1. Cría de animales

Un total de 200 pichones se utilizaron para las pruebas de clasificación, distribuidos en 6 tandas de nacimientos, separados entre sí por 2 semanas. Las primeras cuatro tandas provenían de la incubación de huevos provenientes del plantel reproductor de nuestro laboratorio y las dos últimas de una productora local de la provincia de Córdoba, adquiridos a la semana de edad. A los pichones de cada tanda se les colocaron anillos de identificación y fueron alojados en la sala de cría de pichones en una caja de cría de melamina blanca de 90 x 80 x 60 cm (ancho, largo, alto respectivamente). De esta manera, hasta 40 individuos de la misma edad fueron alojados en cada caja. Las cajas incluían un sistema automático de control de temperatura que se fijó en 37.5° C durante la primera semana de vida y luego se continuó con un programa de disminución de 3.0°C por semana hasta alcanzar la temperatura ambiente (24 a 27° C) en la cuarta semana de vida, siguiendo los protocolos estándares del laboratorio (Shanaway 1994; Kembro y col., 2012; Caliva y col., 2019). Las codornices fueron expuestas a un ciclo diario de 14 h de luz (300 a 320 lx).

A los 28 días de edad, los animales fueron sexados de acuerdo a la coloración del plumaje y 100 parejas de macho y hembra fueron alojadas en jaulas enriquecidas de 40 x 20 x 25 cm (largo x ancho x alto). La provisión de comida y agua fue provista *ad libitum*.

4.2. Previa caracterización de las parejas de codornices.

A los 50 días de edad, los animales fueron pesados, se midió el tamaño de la glándula cloacal de los machos y se determinó el estado de la piel, plumaje de la cabeza, cuello y espalda de las hembras utilizando un protocolo adaptado del WelfareQualityAssesment@ (2009) y modificado por Pellegrini y col., (2019). Luego, se realizaron fotografías del lateral de la cabeza y de la garganta de cada uno de los individuos bajo luz visible y luz UV (ISO 200, apertura 0, distancia focal 1 m, velocidad obturación luz visible 1/30 s, velocidad de obturación luz UV 5 s). Este procedimiento se repitió a los 75 y 100 días de edad. A los 50 y 100 días de edad también se tomaron

muestras de 5 plumas de la mejilla de las aves para determinar la coloración del plumaje utilizando un espectrofotómetro. A partir de los 90 días de edad, se realizaron 9 muestreos de 20 minutos por observación directa para determinar el número de picotazos, comportamientos sexuales (agarres, montas, contactos cloacales y receptividad de la hembra) y vocalizaciones realizadas por los integrantes de las parejas dentro de sus jaulas de cría. Para la caracterización de los mismos se contabilizó el número de picotazos que cada macho realiza a su hembra. Luego, aproximadamente a los 105 días de edad, se extrajo 1 ml de sangre de cada individuo para análisis hormonales, evitando que el procedimiento supere los 2 minutos para cada animal (Pellegrini y col., 2019). Cabe notar que esta caracterización fue realizada por Gabriel Orso y no corresponde a datos presentados y analizados en esta tesina.

4.3. Procedimiento general

La línea de tiempo del procedimiento se muestra en la Figura 1. Once parejas de más de 140 días de edad se trasladaron a cajas de cría de 45 x 88 x 35 cm (ancho, largo, alto respectivamente) con suelo cubierto con cascarilla de arroz, un bebedero automático y un comedero tipo tolva, con paredes de reja. Se intentó maximizar la variabilidad en las parejas priorizando parejas de cada extremo de la población con respecto a su agresividad hacia sus hembras (agresividad baja o alta) teniendo en cuenta el estado de plumaje de la hembra y el nivel de picotazos recibidos en las pruebas de interacción social. Luego de por lo menos una semana en estas cajas de cría, se le colocó al macho un sistema de sujeción tipo arnés, que se asemeja a una mochila (Simian y col., 2020; Rossi y col., 2022) similar al usado en pollos (Banerjee y col., 2012 ; Yang y col., 2021). Fue impreso en 3D en plástico negro y se ubicó sobre el lomo sujeto a la base de las alas mediante dos cordones elásticos (Fonseca, 2022). Luego, 36h antes del inicio del experimento, la pareja fue trasladada a la habitación experimental. Cada ave fue alojada de manera individual, y aislada visualmente de su pareja en cajas idénticas a las de cría. El macho fue ubicado en ese momento en la caja experimental. Este procedimiento de aislación es un método que acelera e incrementa la expresión de comportamientos reproductivos al momento de volver a entrar en contacto con una pareja reproductiva (Marin y Satterlee, 2003).

Dos cámaras filmadoras se encontraban en posición lateral y superior a la caja para el registro de comportamientos. Las mismas estaban conectadas por un circuito cerrado a

una computadora. En una caja con las mismas características y adyacente a la caja experimental se encontraba una pareja de codornices (macho y hembra) que permite establecer contacto visual y auditiva con conespecíficos, pero no física. Para comenzar la prueba, el macho fue retirado de la caja de cría y al macho se le colocó el acelerómetro TechnoSmArt@ encendido dentro de la mochila (Fig. 2) siguiendo el protocolo desarrollado por Fonseca y col. (2022). Simultáneamente, se colocó en la caja una reja divisoria removible que la separa en dos hemicajas iguales.

La prueba se dividió en 3 etapas con la finalidad de estudiar la relación entre el contexto social y el estado asociado a las fluctuaciones de alta amplitud en la aceleración dinámica: 1°) en aislamiento visual de su pareja, 2°) separada mediante una reja de su pareja, y 3°) interactuando con su pareja. En la primera etapa, el macho fue colocado en una de las hemicajas de la caja experimental. Después de 15 minutos, se inició la segunda etapa, que consiste en introducir a la hembra dentro de la otra hemicaja, por lo tanto, físicamente separada del macho pero no visualmente. La tercera etapa ocurre cuando se retira la reja divisoria permitiendo que estos interactúen durante un periodo de 6h (Figura 1). La duración de esta última etapa fue seleccionada para favorecer encontrar un número de eventos reproductivos elevado (>30 eventos). Se sabe por bibliografía que el número promedio de intentos de apareamientos durante el día entre los individuos oscila entre 2,5 y 4,56 intentos/h., y el promedio de contactos cloacales es de 1.06 a 2.13/h dependiendo del individuo (Ottinger y col., 1982).

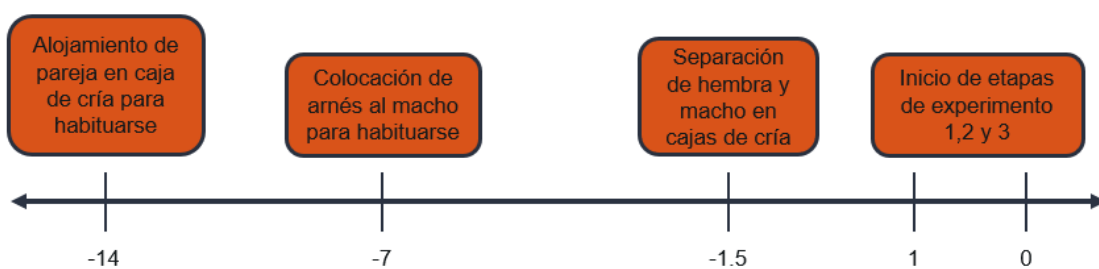


Fig. 1. Línea de tiempo de pruebas experimentales. Los valores negativos representan la cantidad días previo al inicio del experimento que se realizó cada actividad. Mientras que el experimento propiamente dicho, con sus tres etapas se realizaron el día 0.

El acelerómetro registró en 3 dimensiones el movimiento del animal con una resolución de 25 datos/segundo, obteniendo así las series de tiempo de la aceleración dinámica. En simultáneo el comportamiento de los animales fue grabado a lo largo de todo

el experimento utilizando las dos cámaras (superior y lateral). De las videograbaciones se registraron las siguientes variables (Simian y col., 2020):

**Sacudida*, en posición parado, se aprecia el despliegue de gran parte del plumaje, junto con la agitación del cuerpo completo.

**Agarre*, el macho toma las plumas de la hembra con el pico para sostenerla.

**Monta*, el macho se posiciona sobre el lomo de la hembra.

**Contacto cloacal*, el macho curva su cuerpo sobre el de la hembra de modo que las aperturas cloacales de ambos entren en contacto.

Obteniendo así series de tiempos de comportamientos reproductivos y sacudidas para todos los machos.

Por otra parte, se evaluó el nivel de receptividad de las hembras a partir de los registros de montas y contactos cloacales obtenidos durante la tercera etapa del experimento.

El comportamiento de las mismas se evaluó en una escala de resistencia del 1 al 4 adaptado de Hanne y col. (2007), 1= Hembra se agacha antes del primer agarre; 2= Hembra se agacha después del primer agarre; 3= Hembra se mueve durante el agarre, luego se queda quieta permitiendo la monta; 4= Hembra corre, y se resiste a la monta).

Se considerará que una monta es resistida por una hembra si se le asigna una puntuación de 4, mientras que si se le asigna las puntuaciones restantes de 1,2 o 3 la monta es exitosa.

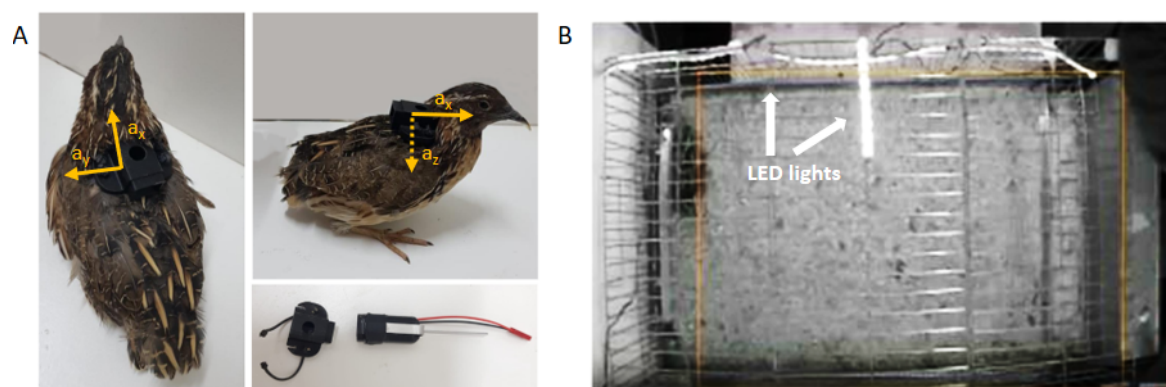


Fig. 2. Registros con acelerómetros en codornices machos. A) Vista superior y lateral del macho con la mochila que contiene el acelerómetro. Las flechas indican los componentes del vector de aceleración tridimensional. El panel inferior derecho muestra la mochila y el dispositivo de aplicación del acelerómetro.

B) Vista superior de la caja experimental con flechas que indican las luces LED que se encienden para la sincronización.

4.4. Cálculo de métricas de aceleración:

A partir de los datos crudos de aceleración registrados se calculó:

- Aceleración dinámica para cada eje (da_x, da_y, da_z): a cada valor de aceleración se le resta la tendencia local (i.e. aceleración estática) estimado en el ventanas de 1s. Específicamente, la tendencia se obtiene aplicando un promedio móvil (moving average) a los datos crudos de aceleración utilizando una ventana de 1 segundo (Collins y col., 2015).
- La desviación estándar de los valores de aceleración dinámica se calcularon durante un período móvil de segundo.
- Aceleración dinámica general del cuerpo (ODBA): como la suma de la aceleración dinámica del cuerpo de los tres ejes (Collins y col., 2015).
- Dinámica vectorial (VeDBA): como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la aceleración dinámica del cuerpo de los tres ejes (Collins y col., 2015).
- Dinámica vectorial al cuadrado (VeDBA²): el cuadrado de VeDBA.

4.5. Análisis de datos y estadística

Se estudió la distribución de probabilidad de alta amplitud de la aceleración dinámica en los 3 ejes da_x, da_y, da_z , y en las variables ODBA, VeDBA y VeDBA² en los diferentes etapas y de acuerdo al nivel de receptividad de la hembra. Para los histogramas se agruparon los datos de todos los machos correspondientes. El tamaño de ventana del histograma (bin) siguió una escala logarítmica siguiendo la metodología propuesta por Barberis y col. (2023).

Con los datos de la etapa 3, se calculó la probabilidad de coincidir los estados estimados a partir de la aceleración dinámica con los comportamientos reproductivos observados en las videograbaciones, y se cuantificó el momento de inicio y finalización de cada evento, para así obtener el número y duración de los mismos. Se definió como evento a periodos de tiempo continuo en el mismo estado, también se cuantificó con alta resolución el desfase temporal entre el inicio y finalización de los eventos estimados a

partir de la aceleración dinámica y de las videograbaciones. Luego se calculó cuántos eventos representan la secuencia completa de agarre, monta, y contacto cloacal, como aproximación para estimar el nivel de receptividad de la hembra.

Para estimar diferencias en los eventos reproductivos que fueron clasificados según el nivel de receptividad de las hembras se construyó un histograma de distribución de probabilidad de alta amplitud y desvío estándar de la aceleración dinámica, ODBA, VeDBA y $VeDBA^2$. El total de puntos de tiempo utilizado en los histogramas de distribución de probabilidad es de aproximadamente 6 millones de puntos de muestreo ($6h \cdot 60 \text{ min} \cdot 60 \text{ s} \cdot 25 \text{ datos/s} \cdot 11 \text{ animales}$). También se estimó la duración del periodo inter-evento (i.e. tiempo entre eventos).

Por otro lado, para estimar si existe una relación entre la aceleración dinámica general del cuerpo (ODBA) y la duración de eventos reproductivos se realizó un análisis de correlación mediante el uso del software SigmaPlot.

Para evaluar la variabilidad interindividual de acuerdo al nivel de receptividad de las hembras se observó a cada pareja por separado y se usó el número de eventos reproductivos que ya había sido calculado anteriormente, se clasificó a los machos según interactuaron con hembras no receptivas o con hembras receptivas (MHNR o MHR, respectivamente). A su vez también se analizó la distribución de probabilidad de $VeDBA^2$ entre MHNR y MHR según un rango de valores, para estimar diferencias entre grupos se realizó un ANOVA mediante el uso del software InfoStat. Todos los supuestos del ANOVA fueron comprobados. Un valor de $p < 0.05$ fue considerado indicativo de diferencias significativas.

5. RESULTADOS

5.1. Distribución de probabilidad de la amplitud de la aceleración dinámica y su relación con la interacción social macho-hembra.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de la aceleración dinámica en los tres ejes (da_x , da_y , da_z) y el cuadrado de la aceleración dinámica vectorial ($VeDBA^2$). La clave de color de la figura indica las 3 etapas de prueba y si corresponde o no al comportamiento reproductivo. Se evidencia variabilidad en la amplitud de las fluctuaciones de la aceleración dinámica en las 3 etapas de prueba (Fig. 3 A-C). En particular, se observa que

las etapas 1 y 2 de aceleración dinámica aparentemente poseen una distribución diferente respecto a la etapa 3, en general con mayores amplitudes. También se puede observar que las mayores amplitudes registradas por el acelerómetro en la etapa 3 corresponden con los eventos reproductivos observados. En la Figura 4, paneles A-C, se muestra la distribución de probabilidad correspondiente estimada a partir de los datos de todos los machos. La mayor diferencia en la distribución de probabilidad ocurre en la etapa 3 entre los eventos no reproductivos y reproductivos, con los eventos no reproductivos mostrando valores de amplitud predominantemente bajos y los reproductivos valores altos (Fig. 4 A-C, también ver Anexo 8.1 y 8.2). Mientras que las amplitudes de las etapas 1 y 2 tienen distribuciones de probabilidad intermedias. Consistentemente, la distribución de probabilidad de las variables ODBA, VeDBA y VeDBA² muestran una relación similar entre etapas y tipo de eventos (Figs. 3D ; 4D-I), con valores menores en los eventos no reproductivos, y mayores en los reproductivos de la etapa 3, con las etapas 1 y 2 mostrando valores intermedios.

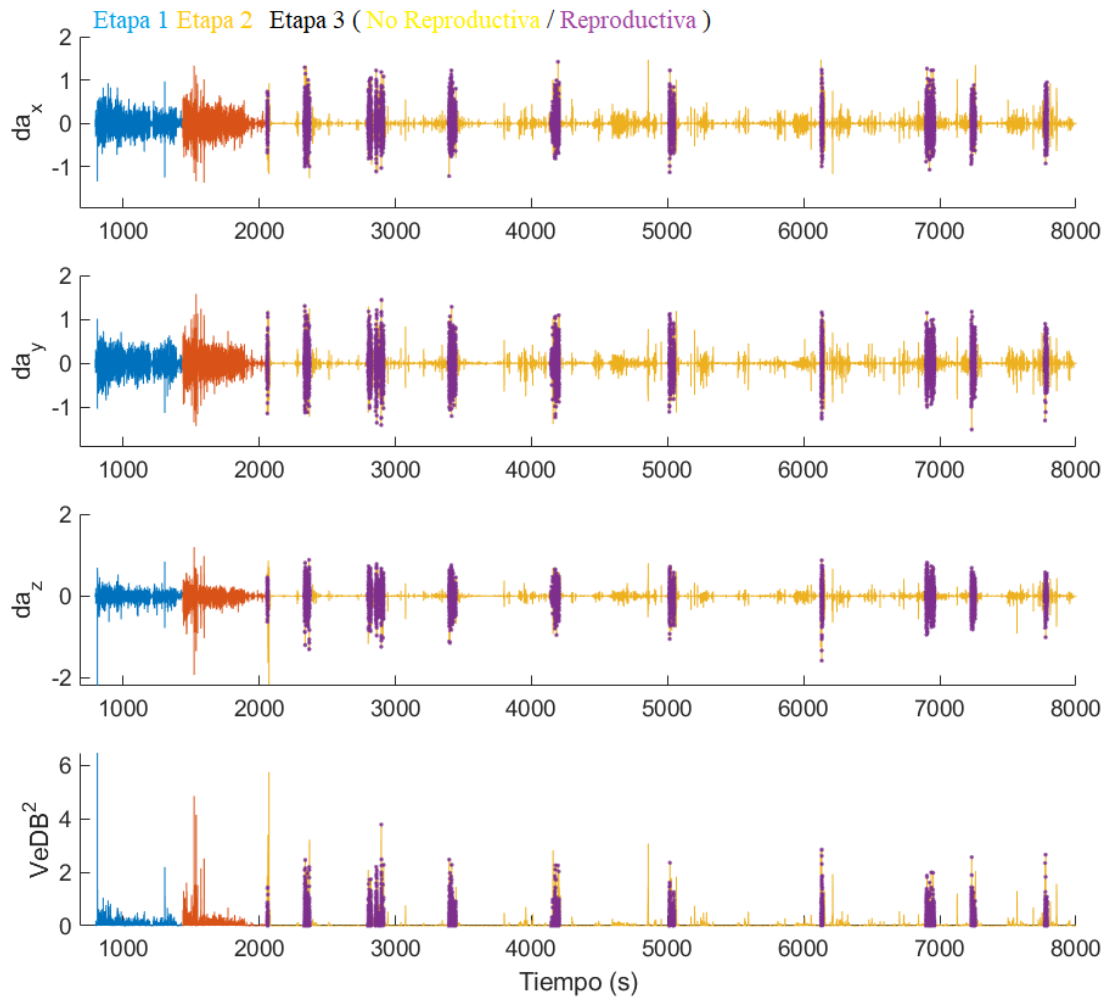


Figura 3. Ejemplo de series de tiempo de aceleración dinámica (da_x , da_y , da_z) y aceleración dinámica vectorial al cuadrado ($VeDBA^2$) obtenidos de codornices machos durante las tres etapas experimentales. Para cada serie se muestran las 3 etapas de pruebas. Etapa 1 (línea celeste) cuando el macho está en aislamiento visual de su pareja, Etapa 2 (línea naranja) aislamiento físico de su pareja, y Etapa 3 en contacto físico. Dentro de la última etapa se divide en eventos reproductivos (puntos violeta) y no reproductivos (línea amarilla).

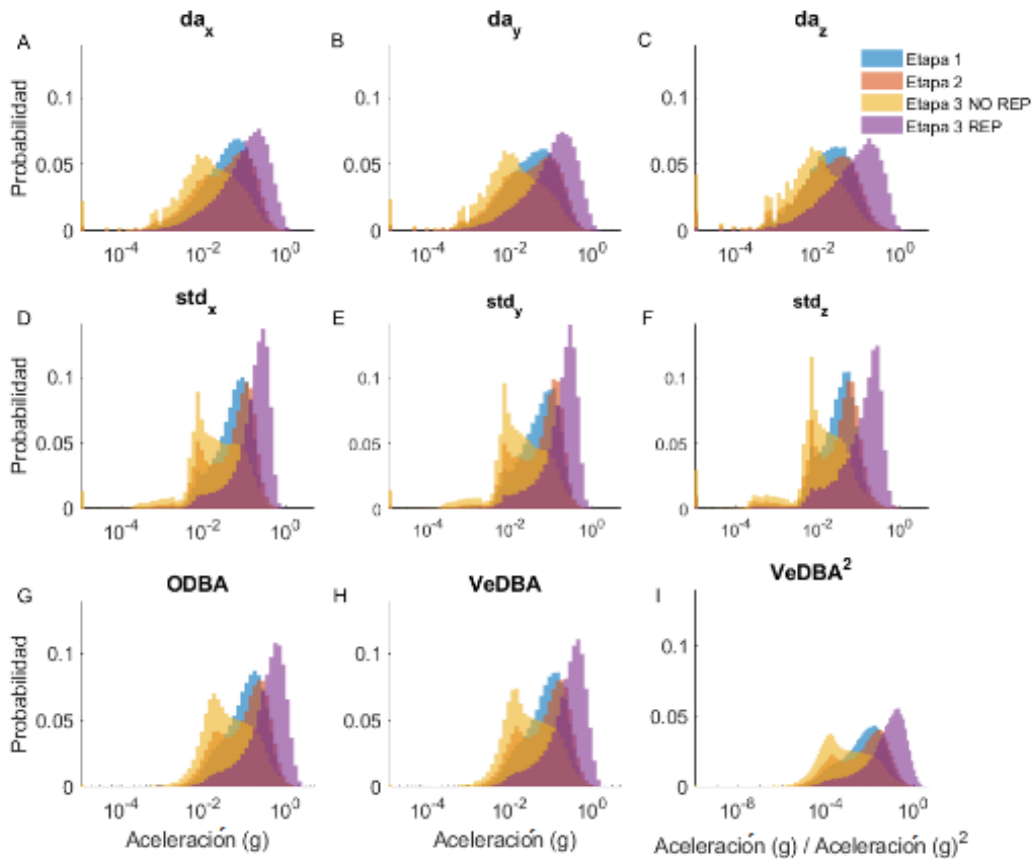


Figura 4. Comparación de las fluctuaciones en variables asociadas al vector de aceleración entre las etapas de la prueba. Distribución de probabilidad de A-C) aceleración dinámica (da_x , da_y , da_z), D-F) y su desvío estándar dentro de una ventana de 1s ($stda_x$, $stda_y$, $stda_z$), G) aceleración dinámica general del cuerpo (ODBA), H) aceleración dinámica vectorial (VeDBA) e I) aceleración dinámica vectorial al cuadrado ($VeDBA^2$).

5.2. Variabilidad de los eventos reproductivos y su relación con el nivel de receptividad de las hembras.

Cuando se clasifican los eventos reproductivos según el nivel de receptividad de las hembras, no se observa una marcada diferencia en la distribución de probabilidad de la amplitud y desvío estándar de la aceleración dinámica (Fig. 5A-F), ODBA (Fig. 5G), VeDBA (Fig. 5H) ni en el $VeDBA^2$ (Fig. 5I) entre niveles.

En la Figura 6 se muestra la duración de eventos e inter-eventos reproductivos de acuerdo al nivel de receptividad de la hembra mediante un gráfico de violín. Se observa en las hembras de alta receptividad (nivel 1) una predominancia de eventos de corta duración

(parte ancha Fig. 6A en rojo). Sin embargo, cuando la receptividad de las hembras es menor, aumenta la probabilidad de encontrar eventos reproductivos de larga duración (Fig. 6A), pudiendo ver que la distribución de los niveles 3 y 4 es el doble de la distribución de los 2 primeros niveles.

En la Figura 6B se observa en el nivel 4, que la variabilidad es mayor que los restantes niveles, e incluso se puede observar mayores duraciones de inter-evento, aunque este aumento está representado por unos pocos valores. La Figura 7 muestra un gráfico de puntos de los mismos datos de duración de eventos e inter-eventos previamente mostrados en la Figura 6 pero en escala logarítmica. En esta escala se resalta el aumento de variabilidad en la duración de los eventos a medida que disminuye la receptividad de las hembras (Fig. 7A). Además, es notorio que la duración de los inter-eventos adquiere duraciones más cortas a menor receptividad (Fig. 7B), con 40% (51/129) de los eventos durando menos de 200s en el nivel 4 en comparación con un 10% (4/39) en el nivel 1 (Fig. 7B). Interesantemente, cuando se relaciona la duración del evento con ODBA, se observó una correlación positiva ($R^2=0.81$) entre ellos (Fig. 8).

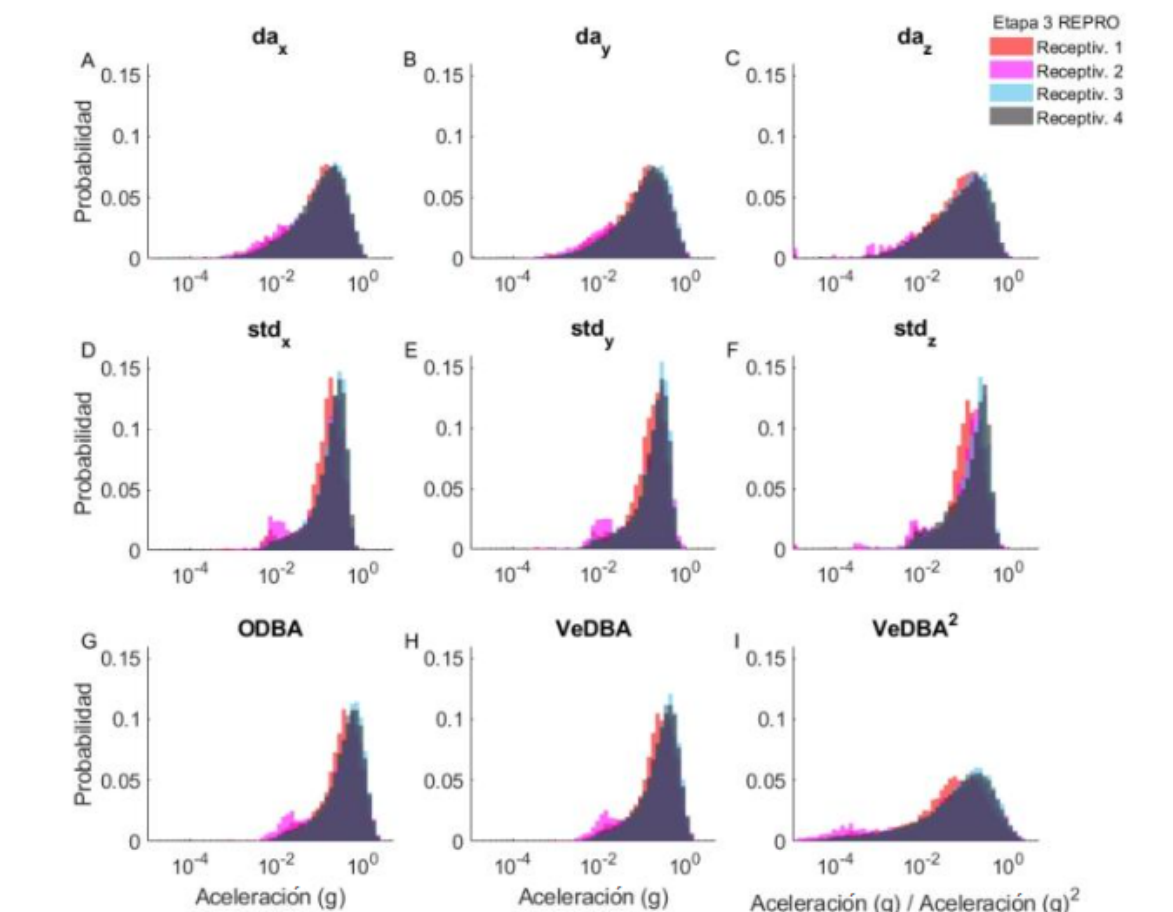
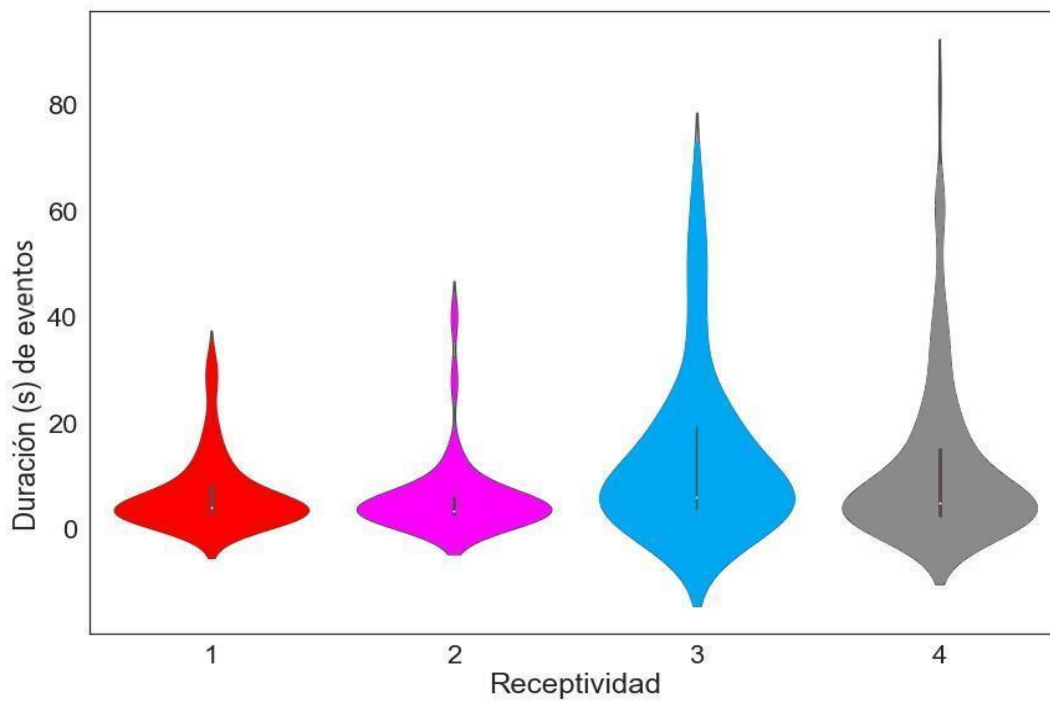


Figura 5. Comparación entre las fluctuaciones en el vector de aceleración en eventos reproductivos de codornices japonesas macho clasificados según una escala del nivel de receptividad de la hembra. Distribución de probabilidad de A-C) aceleración dinámica (da_x , da_y , da_z), D-F) desvío estándar dentro de una ventana de 1s ($stda_x$, $stda_y$, $stda_z$), G) aceleración dinámica general del cuerpo (ODBA), H) aceleración dinámica vectorial (VeDBA) e I) aceleración dinámica vectorial al cuadrado (VeDBA²). Receptividad nivel 1 (rojo), receptividad nivel 2 (magenta), receptividad nivel 3 (celeste) y receptividad nivel 4 (gris).

A



B

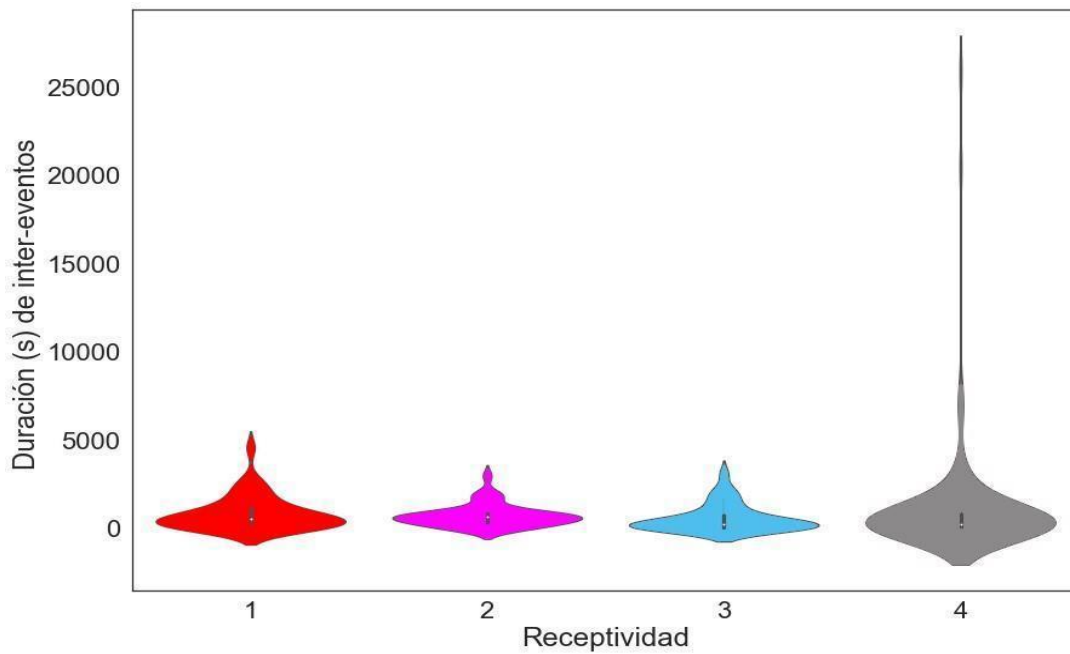
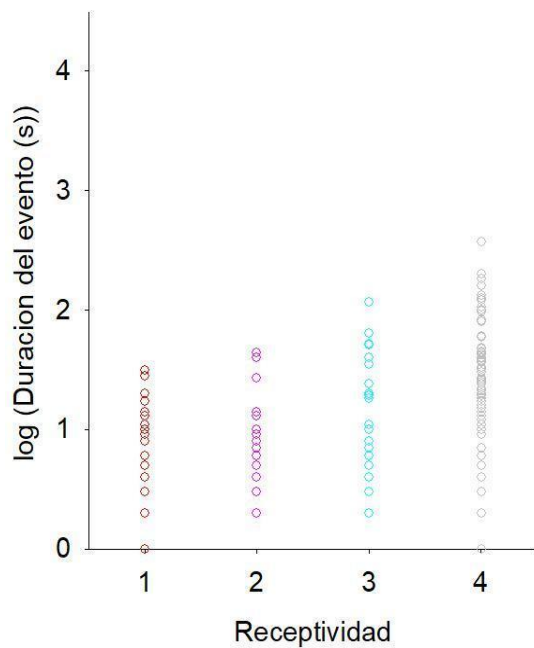


Figura 6. Gráfico de violín de la duración de A) eventos reproductivos y B) inter-eventos de codornices japonesas macho respecto al nivel de receptividad de la hembra. En el eje x se muestra un gradiente de receptividad decreciente de izquierda a derecha. Receptividad nivel 1 (rojo), receptividad nivel 2 (magenta), receptividad nivel 3 (celeste) y receptividad nivel 4 (gris).

A



B

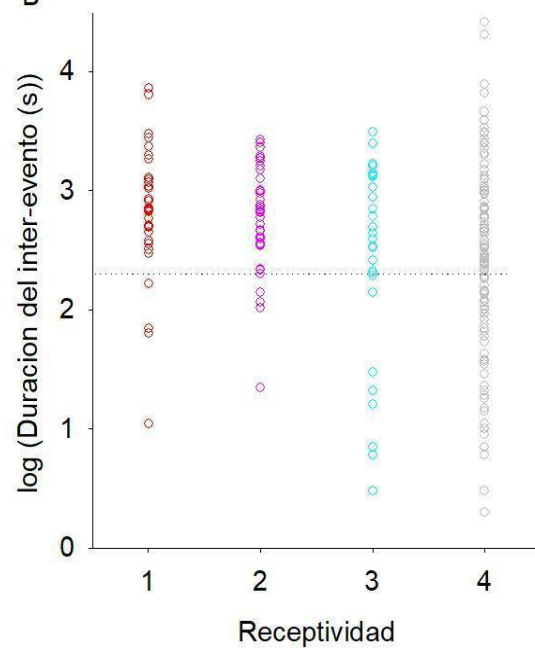


Figura 7. Log de duración de A) eventos y B) inter-eventos reproductivos respecto al nivel de receptividad de las hembras. En el eje x se muestra un gradiente de receptividad decreciente de izquierda a derecha. Receptividad nivel 1 (rojo), receptividad nivel 2 (magenta), receptividad nivel 3 (celeste) y receptividad nivel 4 (gris). La línea de puntos horizontal en el panel B se encuentra a las 200s.

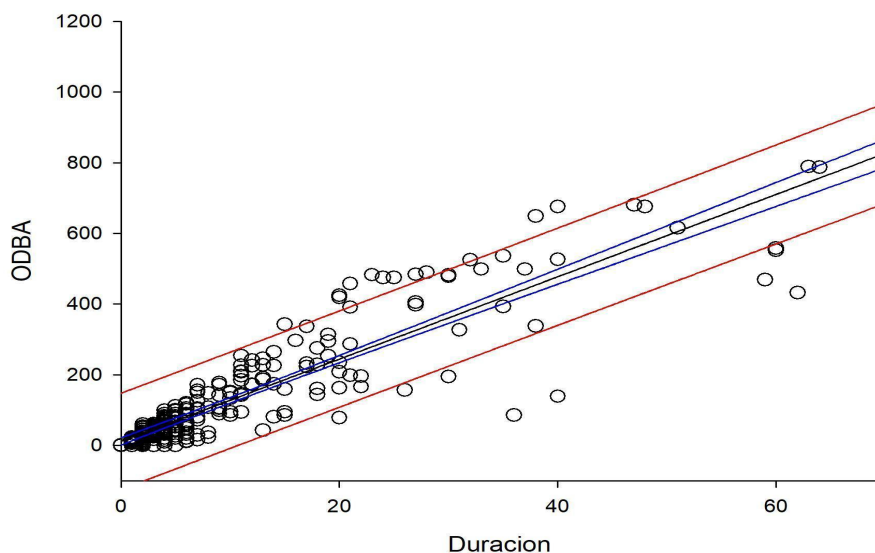


Figura 8. Relación entre la aceleración dinámica general del cuerpo (ODBA) y la duración de los eventos reproductivos. Los datos de cada evento se muestran como un círculo negro y el ajuste como una línea negra. La línea roja muestra el intervalo de predicción del 95%.

Cuando se analiza a cada pareja por separado se observa que en promedio realizan 25 ± 4 (rango 7-51) eventos reproductivos cada uno. A su vez, con respecto al nivel de receptividad, se observó la variabilidad interindividual con el 64% de las parejas presentando hembras predominantemente no receptivas (MHNR) y las restantes con receptivas (MHR). No se observan diferencias significativas entre el número de eventos ni en la duración total del comportamiento reproductivo entre MHNR y MHR, ni el gasto energético (Tabla 1). Sin embargo, cuando se analiza la distribución de probabilidad de $VeDBA^2$ entre MHNR y MHR se observan diferencias marcadas entre grupos en la etapa 2 con un desplazamiento hacia valores mayores en los MHR con respecto a los MHNR (Fig. 9B). La comparación estadística entre grupos mostró, en la etapa 2, una tendencia hacia un menor porcentaje de valores bajos y un significativamente menor porcentaje de valores medios en el grupo MHR en comparación con el MHNR (Tabla 1). No se observaron diferencias significativas entre las etapas restantes (Fig. 9A, C, D y Tabla 1).

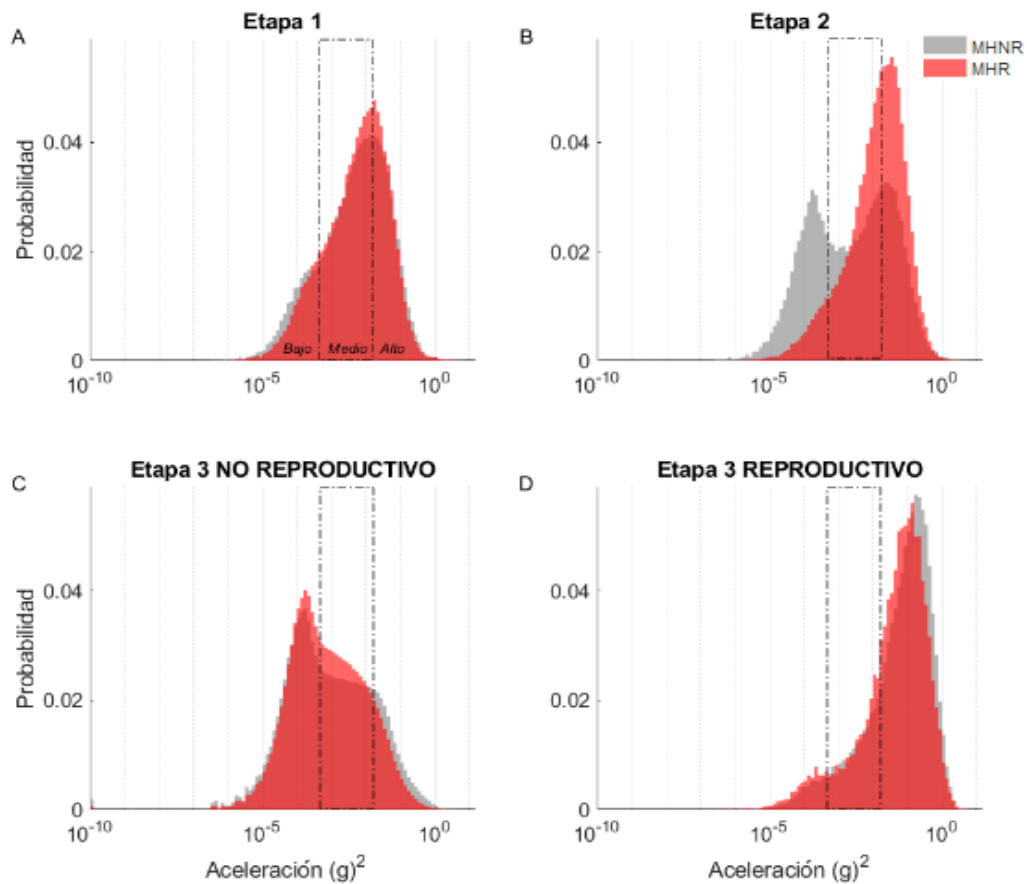


Figura 9. Comparación entre la distribución de probabilidad del cuadrado de la aceleración dinámica vectorial ($VeDBA^2$) entre codornices japonesas macho clasificados según la receptividad de la hembra en machos con hembras no receptivas (MHNR) y machos con hembras receptivas (MHR). Líneas verticales representan los límites de los valores de aceleración dinámica vectorial valores considerados como bajos (menores a 0.0005), altos (mayores a 0.02) y medio (i.e., si presentaban valores intermedios entre alto y bajo).

Tabla 1. Comparación entre grupos de macho adultos (N=11) que fueron clasificados de acuerdo al nivel de receptividad de las hembras (mediana \pm E.E) en MHMR= machos con hembras no receptivas y MHR= machos con hembras receptivas. Abreviaturas: aceleración dinámica general del cuerpo (ODBA) y aceleración dinámica vectorial al cuadrado (VeDBA²).

VALOR BAJO < 0.0005				
	HR	HNR	F (2,10)	Valor-P
Número de eventos reproductivos	23 \pm 4	27 \pm 7	0,17	0,69
Duración total de eventos reproductivos (s)	173 \pm 18	303 \pm 113	0,71	0,42
Etapa 1				
ODBA general	13 \pm 6	12 \pm 5	0,03	0,87
VeDBA ² general	9 \pm 4	8 \pm 3	0,49	0,50
VeDBA ² bajos (%)	16 \pm 7	19 \pm 7	0,06	0,81
VeDBA ² medios (%)	71 \pm 4	67 \pm 5	0,33	0,58
VeDBA ² altos (%)	13 \pm 4	14 \pm 2	0,09	0,77
Etapa 2				
ODBA general	19 \pm 10	10 \pm 4	3,23	0,11
VeDBA ² general	13 \pm 6	7 \pm 3	2,62	0,14
VeDBA ² bajos (%)	8 \pm 4	34 \pm 8	4,46	0,06
VeDBA ² medios (%)	68 \pm 2	51 \pm 5	5,15	0,05
VeDBA ² altos (%)	24 \pm 4	14 \pm 4	2,05	0,19
Etapa 3 No Rep.				
ODBA general	4 \pm 0,3	5 \pm 1,4	0,81	0,39
VeDBA ² general	3 \pm 0,2	3 \pm 1	0,54	0,48
VeDBA ² bajos (%)	47 \pm 2	47 \pm 7	0,001	0,96
VeDBA ² medios (%)	48 \pm 2	45 \pm 5	0,14	0,73
VeDBA ² altos (%)	5 \pm 1	8 \pm 3	0,69	0,43
Etapa 3 Rep.				
ODBA general	38 \pm 19	53 \pm 20	3,21	0,11
VeDBA ² general	26 \pm 13	35 \pm 13	3,16	0,11
VeDBA ² bajos (%)	7 \pm 4	4 \pm 1	0,86	0,38
VeDBA ² medios (%)	36 \pm 4	26 \pm 3	3,34	0,10
VeDBA ² altos (%)	57 \pm 7	70 \pm 4	3,01	0,12

* Los valores de aceleración dinámica vectorial (VeDBA²) fueron clasificados como bajos si los valores fueron menores a 0.0005, alto si fueron mayores a 0.02 y medio si presentaban valores intermedios entre alto y bajo (ver Fig. 6).

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se logró avanzar en la valoración de las bases biológicas que subyacen el comportamiento reproductivo de machos adultos (*Coturniz japonica*) que se evidencian como fluctuaciones de gran amplitud en la aceleración dinámica proveniente de los acelerómetros. Primeramente pudimos observar, que al observar la distribución de probabilidad de la aceleración dinámica y sus variables asociadas (Fig. 4) se encontró que el comportamiento reproductivo posee valores más altos con respecto a los comportamientos no reproductivos e independiente del nivel de receptividad de la hembra, con las etapas 1 y 2 presentando valores intermedios. Esto también se evidencia en el ejemplo de la serie de tiempo (Fig. 3) donde se observa que las mayores amplitudes corresponden al comportamiento reproductivo de la etapa 3. Por lo tanto, estas altas fluctuaciones se corresponden con los componentes de la secuencia copulatoria *sensu stricto* (agarre, monta y contacto cloacal) (Ball y Balthazart, 2010). Además, teniendo en cuenta que la receptividad de la hembra no cambia la probabilidad de distribución de las fluctuaciones de la aceleración dinámica (Figs. 5; 9D), estas altas amplitudes se asocian con lo que ocurre durante la cópula. Posiblemente esto ocurre por las notorias características del comportamiento copulatorio del macho de codorniz japonesa que se considera altamente vigoroso y distintivo (Mills y col., 1997).

Interesantemente, la actividad exacerbada que se observa en la etapa 1 y 2 presenta valores intermedios entre comportamientos reproductivos y no reproductivos de la etapa 3 (Figs. 3; 4), esta actividad podría estar relacionada con intentos de restablecer el contacto social (Gallup y Suárez 1980; Domjan y Hall 1986; Guzmán y col., 2021), ya que actividades ambulatorias como correr, saltar, empujar la reja o incluso intentar atravesarla podrían deberse a la interacción social que también podría tener un componente de motivación reproductiva. Efectivamente, el estudio de Pellegrini y col. (2019), donde hembras de codorniz observaban interactuar una pareja de conspecíficos a través de una reja, mostró que los machos también interactúan a través de la reja con estas hembras que formaban parte de la audiencia. Las interacciones observadas entre estos machos y las hembras que formaban parte de la audiencia por Pellegrini y col. (2019) comprenden tanto componentes agonistas (picotazos) como sexuales (agarres). Por lo que los valores intermedios de la distribución de aceleración dinámica podrían estar asociados tanto a intentos de restablecer contacto social como por intento de acercarse a la hembra para lograr un intento de monta.

Contrariamente hemos observado que comportamientos no reproductivos de machos en la etapa 3 muestran una distribución con menores valores de amplitud de la aceleración dinámica, con predominancia de valores bajos con respecto a los reproductivos. Estudios previos realizados en cormoranes mostraron que bajos valores de aceleración dinámica corresponden a un bajo nivel de movimiento o movimientos poco bruscos (Wilson y col., 2007). Esto es consistente con los estudios previos de Kembro y col. (2008, 2013) donde mostraron que codornices macho y hembra en su caja hogar pueden mantenerse, en promedio entre el 80 y 90% del tiempo sin desplazamiento espacial. Pocos valores altos que se pudieron observar, podrían corresponder a eventos de sacudida donde se observa que el individuo agita todo el cuerpo (Simian y col., 2020).

Se sabe también que las características individuales de los machos y las experiencias previas de las hembras pueden influir en el nivel de receptividad de las hembras, a su vez esto puede estar relacionado con la duración de los eventos reproductivos (Figs. 6; 7).

Es posible también que estos cambios diarios en los niveles de receptividad de las hembras podrían estar controlados por cambios hormonales (Delville y col., 1986).

Como hemos descrito en párrafos anteriores a partir de la aceleración dinámica se puede estimar la ODBA, además el ODBA ha sido propuesto como un buen estimador del gasto energético (Wilson y col., 2006). Si bien, en el marco de la teoría de selección sexual, el estudio del gasto energético de la reproducción tradicionalmente se ha enfocado en la hembra, hay un creciente interés en entender la relación entre esfuerzo y costo energético en machos (Lane y col., 2009; Glaudas y col., 2020). En este sentido, en nuestro experimento observamos una relación lineal entre la ODBA y duración de eventos reproductivos (Fig. 8), cuantificando la noción intuitiva que eventos reproductivos más largos implicaría un mayor costo energético.

Hemos podido observar también una variabilidad entre hembras con respecto a su receptividad, encontrando que las mismas podrían clasificarse como hembras receptivas (HR) y hembras no receptivas (HNR) según su predominancia de receptividad. Esto es consistente con estudios previos de Delville y col. (1986) donde observaron una serie de comportamientos tras la introducción de un macho sexualmente activo en la jaula de las hembras, logrando luego clasificar a las hembras en receptivas o no receptivas de acuerdo a como respondían ante la presencia de dichos machos. Si bien no se encontraron diferencias entre machos que interactúan con hembras MHR y MHNR en la etapa 1 y 3, si se observaron diferencias estadísticamente significativas en la etapa 2 (Fig. 9B).

Específicamente, los machos con parejas HNR mostraron un desplazamiento hacia menores valores de amplitud de la aceleración dinámica en comparación con los machos con parejas HR, indicando una menor actividad de los machos con parejas HNR en la respuesta de restablecimiento de contacto social con su hembra. Domjan y Hall (1986) observaron un fenómeno similar, aunque dichas diferencias no fueron estadísticamente diferentes, donde machos parecen mostrar mayor cercanía hacia hembras maduras sexualmente en comparación a hembras jóvenes no sexualmente maduras. Por lo que, machos podrían presentar menor excitación asociada a restablecer contacto social con una HNR conocida, en comparación con la excitación asociada a establecer contacto social con una HR conocida.

El presente trabajo contribuye con una parte importante en el desarrollo de la tecnología de los acelerómetros, ya que explora el potencial de la acelerometría para identificar comportamientos reproductivos y permite determinar cómo las codornices dividen su tiempo y energía en comportamientos particulares, también nos permite entender mejor las interacciones entre machos y hembras en diferentes contextos sociales. Asimismo, el avance en el uso de acelerómetros en este contexto abre nuevas perspectivas para aplicar esta tecnología en otras áreas de investigación y monitoreo del comportamiento animal.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Ali, A., Siegford, J., (2018). An approach for tracking directional activity of individual laying hens within a multi-tier cage-free housing system (aviary) using accelerometers. In Proceedings of 11th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research, 5-8 June 2018 Manchester, UK, 176–180.
- Baker, L. S., Robison, I. C., Karcher, D. M., Toscano, M. J., Makagon, M. M., (2020). Keel impacts and associated behaviors in laying hens, *Applied Animal Behaviour Science*, 222, 104886.
- Ball G. F., Balthazart J., (2010). Japanese Quail as a Model System for Studying the Neuroendocrine Control of Reproductive and Social Behaviors, *ILAR Journal*, 51(4), 310–325.
- Banerjee, D., Biswas, S., Daigle C., Siegford, J. M., (2012). Clasificación de actividad remota de gallinas que utilizan sensores inalámbricos montados en el cuerpo. Novena Conferencia internacional sobre redes de sensores corporales portátiles e implantables, 107-112.
- Banerjee, D., Daigle, C. L., Dong, B., Wurtz, K., Newberry, R. C., Siegford, J. M., Biswas, S. (2014). Detection of jumping and landing force in laying hens using wireless wearable sensors. *Poultry Science*, 93, 2724–2733.
- Bidder, O., Campbell, H.A., Gomez-Larch, P., Walker, J., Cai, Y., Gao, L., Quintana, F., Wilson, R. P. (2014). Love Thy Neighbour: Automatic Animal Behavioural Classification of Acceleration Data Using the K-Nearest Neighbour Algorithm, *PLOS ONE* 9(2), e88609.
- Bosch, M. C., Fonseca, R. G., Flesia, A. G., Barberis, L., Kembro, J. M. (2022) Detección de comportamiento reproductivo en machos de codorniz japonesa utilizando aprendizaje automático. [Sesión de congreso]. Congreso Argentino de Producción Animal.
- Cassey-Trott, T. M (2018). Validación de un acelerómetro para cuantificar la inactividad en gallinas ponedoras con o sin fracturas de quilla. *Federación de Universidades para el Bienestar Animal*, 27(2), 103-114.

- Collins, P. M., Green, J. A., Warwick-Evans, V., Dodd, S., Shaw, P. J., Arnould, J. P., Halsey L. G. (2015). Interpreting behaviors from accelerometry: a method combining simplicity and objectivity. *Ecology and Evolution*, 5(20),4642-4654.
- Delville, Y., Sulon, J., Balthazart, J. (1986). Diurnal variations of sexual receptivity in the female Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Hormones and Behavior*, 20(1), 13-33.
- Domjan, M., Hall, S. (1986). Determinants of social proximity in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*): Male behavior. *Journal of Comparative Psychology*, 100(1), 59–67.
- Gallup, G. G., Suarez, S. D. (1980). An ethological analysis of open-field behaviour in chickens. *Animal Behaviour*, 28(2), 368-378.
- Glaudas, X., Rice, S. E., Clark, R. W., Alexander, G. J. (2020). Male energy reserves, mate-searching activities, and reproductive success: alternative resource use strategies in a presumed capital breeder. *Oecologia*, 194, 415–425.
- Guzmán, D. A., Kembro J. M., Marin R. H. (2021). Japanese quail classified by their permanence in proximity to a high or low density of conspecifics: a search for underpinning variables, *Poultry Science*, 100(3), 100950.
- Fonseca, R. (2022) Medición remota de comportamiento de codornices japonesas utilizando acelerómetros. [Sesión de congreso]. 51° Jornadas Argentinas de informática. Buenos Aires, Argentina.
- Hammond, T. T., Springthorpe, D., Walsh, R. E., Berg-Kirkpatrick T. (2016) Using accelerometers to remotely and automatically characterize behavior in small animals. *Journal of Experimental Biology*, 219,1618-1624.
- Hanne L., Tommaso P. (2007). Sex in the Morning or in the Evening? Females Adjust Daily Mating Patterns to the Intensity of Sexual Harassment. *The American Naturalist*,170 (1) 1-13.

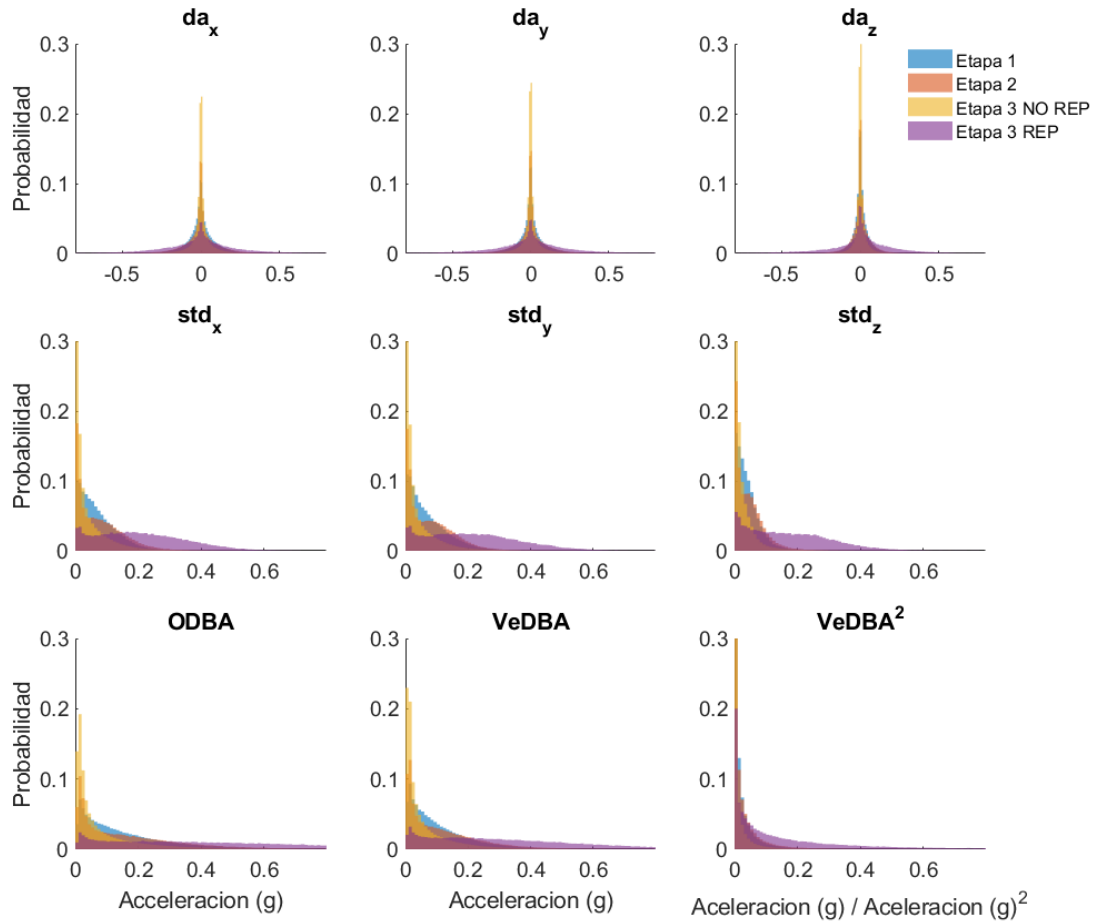
- Jar, A. M. (2014). Bienestar animal y el uso de animales de laboratorio en la experimentación científica. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(2),77-79
- Kembro, J. M., Satterlee, D. G., Schmidt, J. B., Perillo, M. A., Marin, R. H. (2008). Open-field temporal pattern of ambulation in Japanese quail genetically selected for contrasting adrenocortical responsiveness to brief manual restraint. *Poultry Science* 87, 2186-95.
- Kembro, J. M., Guzman, D. A., Perillo, M. A., Marin, R. H. (2012). Temporal pattern of locomotor activity recuperation after administration of propofol in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Research in Veterinary Science*, 93 (1),156-162.
- Kembro, J. M., Flesia, A. G., Gleiser, R. M., Perillo, M. A., Marin, R. H. (2013). Assessment of long-range correlation in animal behavior time series: The temporal pattern of locomotor activity of Japanese quail (*Coturnix coturnix*) and mosquito larva (*Culex quinquefasciatus*). *Physica A* 392, 6400-6413.
- Kozak, M., Tobalske, B., Springthorpe, D., Szkotnicki, B., Harlander-Matauschek, A. (2016). Development of physical activity levels in laying hens in three-dimensional aviaries. *Applied Animal Behaviour Science*, 185, 66-72.
- Management Solutions (2023). Explainable artificial intelligence (XAI). Desafios en la interpretabilidad de los modelos.
<https://www.managementsolutions.com/sites/default/files/minisite/static/22959b0f-b3da-47c8-9d5c-80ec3216552b/iax/pdf/explainable-artificial-intelligence-sp-01.pdf>
- Marin, R. H., Satterlee, D. G. (2003) Selection for contrasting adrenocortical responsiveness in Japanese quail (*Coturnix japonica*) influences sexual behaviour in males. *Applied Animal Behaviour Science*, 83, 187-199.
- Mills, A. D., Crawford, L. L., Domjan, M., Faure, J. M. (1997). The behavior of the japanese or domestic quail *Coturnix japonica*. *Neuroscience y Biobehavioral Reviews*, 21(3), 261-281.
- Nichols, C. R. (1991). A comparison of the reproductive and behavioural differences in feral and domestic Japanese quail. [Master's thesis] University of British Columbia.

- Lane J. E., Boutin S., Speakman J. R., Humphries M. M. (2009). Energetic costs of male reproduction in a scramble competition mating system. *Journal of Animal Ecology*, 79(1), 27-34.
- Ojo R. O., Ajayi A. O., Owolabi H. A., Oyedele L. O., Akanbi L. A. (2022). Internet of Things and Machine Learning techniques in poultry health and welfare management: A systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 200, 107266.
- Ophir, A. G., Galef, B. G., Galef B. G. Jr. (2003). Female Japanese quail that 'eavesdrop' on fighting males prefer losers to winners. *Animal Behavior*, 66, 399-407.
- Ophir, A. G., Persaud, K. N., Galef Jr, B. G. Galef, J. B. G. (2005). Avoidance of relatively aggressive male Japanese quail (*Coturnix japonica*) by sexually experienced conspecific females. *Journal of Comparative Psychology*, 119, 3-7.
- Pellegrini, S., Condat, L., Caliva, J. M., Marin, R. H., Guzman, D, A. (2019). Can Japanese quail male aggressions toward a female cagemate predict aggressiveness toward unknown conspecifics? *Elsevier Science, Livestock Science*, 222 (4), 65-70.
- Pellegrini, S. (2019). Estudios sobre la dinámica de interacción social de hembras de Codornices Japonesas y potenciales variables influyentes: Un nuevo enfoque experimental [Tesis de postgrado] Universidad Nacional de Córdoba.
- Ren, G., Lin T., Ying, Y., Chowdhary, G., Tinga, K. C. (2020). Agricultural robotics research applicable to poultry production: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105216.
- Rossi, F. B. (2022). Evaluación de dos métodos de sujeción de acelerómetros para registros automáticos comportamentales en codornices (*Coturnix japonica*). [Tesina de grado] Universidad Nacional de Córdoba.

- Rowe, E., Dawkins, M. S., Gebhardt-Henrich, S. G. A. (2019). Systematic Review of Precision Livestock Farming in the Poultry Sector: Is Technology Focussed on Improving Bird Welfare? *Animals*, 9(9), 1-18.
- Shanaway, M. M. (1994). *Quail production systems*. Rome. FAO.
- Simian, C. (2020). Etogramas de alta resolución temporal y uso de acelerómetros para la detección automática de comportamientos reproductivos en codornices japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) [Tesina de grado] Universidad Nacional de Córdoba.
- WelfareQuality® (2009). WelfareQuality® assessment protocol for poultry (broilers, laying hens). WelfareQuality® Consortium, Lelystad, Netherland.
- Wilson, R. P., White, C. R., Quintana, F., Halsey, L. G., Liebsch, N., Martin, G. R., Butler, P. J. (2006). Moving towards acceleration for estimates of activity-specific metabolic rate in free-living animals: the case of the cormorant. *Journal of Animal Ecology*, 75(5), 1081-1090.
- Wilson R. P., E. Shepard, E. L., Liebsch, N. (2007) Prying into the intimate details of animal lives: use of a daily diary on animals. Institute of Environmental Sustainability, School of the Environment and Society, University of Wales Swansea, Singleton Park, Swansea SA2 8PP, UK
- Yang, X. Y., Zhao, G. M., Street, Y., Huang, S. D., Filip To, Purswell, J. L. (2021). Classification of broiler behaviours using triaxial accelerometer and machine learning. *Animal*, 15(7), 100269.

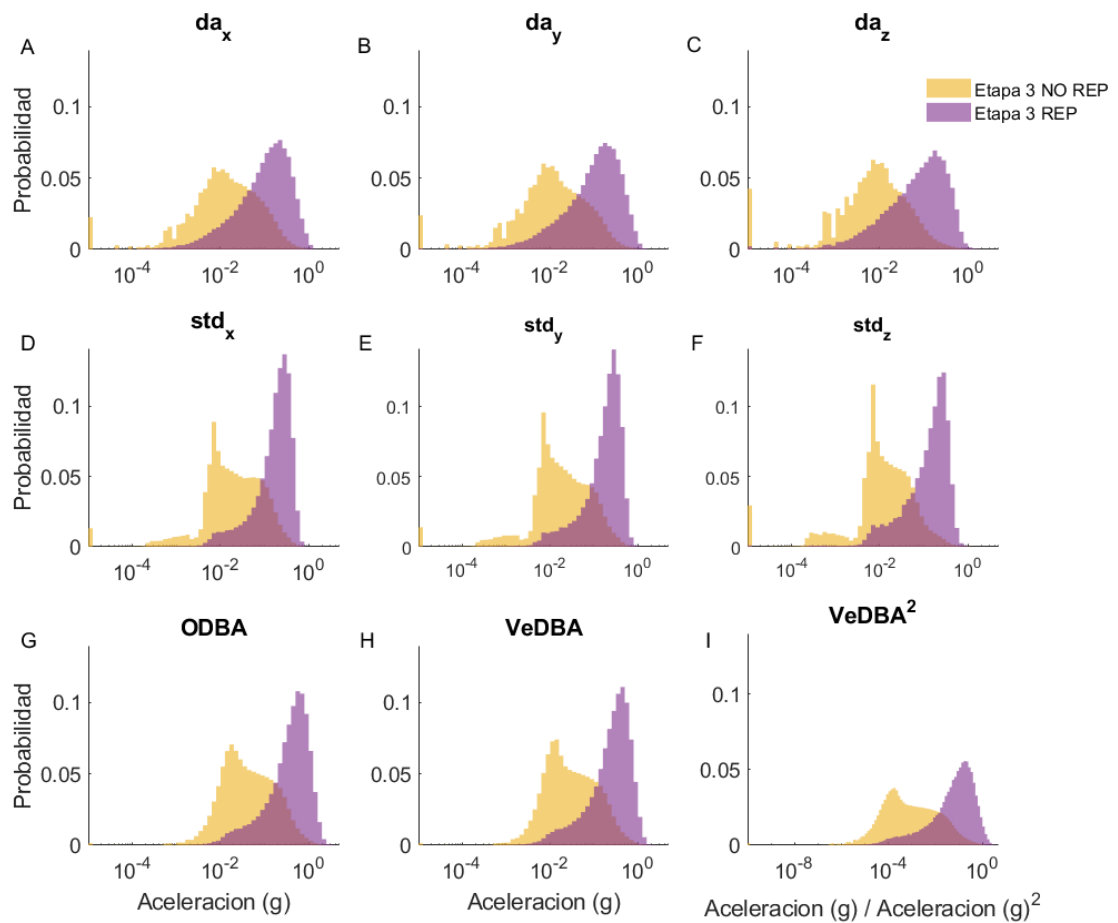
8. ANEXOS

8.1 Anexo 1



Comparación entre las etapas de pruebas de las fluctuaciones en variables asociados al vector de aceleración mostrado utilizando escala lineal. Distribución de probabilidad de A-C) aceleración dinámica (da_x , da_y , da_z), D-F) y su desvío estándar dentro de una ventana de 1s (std_x , std_y , std_z), G) aceleración dinámica general del cuerpo (ODBA), H) aceleración dinámica vectorial (VeDBA) e I) aceleración dinámica vectorial al cuadrado (VeDBA²). Comparar con la escala logarítmica utilizada en la Figura 4.

8.2 Anexo 2



Comparación entre eventos reproductiva y no reproductiva en la etapa 3 en variables asociados al vector de aceleración. Distribución de probabilidad de A-C) aceleración dinámica (da_x , da_y , da_z), D-F) y su desvío estándar dentro de una ventana de 1s (std_x , std_y , std_z), G) aceleración dinámica general del cuerpo (ODBA), H) aceleración dinámica vectorial (VeDBA) e I) aceleración dinámica vectorial al cuadrado ($VeDBA^2$).