

De acelerómetros a ritmos circadianos: aplicaciones de syncrosqueezing y coherencia wavelet para la valoración del comportamiento en aves de granja

Castigliony, Giuliana¹, Rossi, Florencia Belen², Spanevello, Florencia Sofia²,
Kembro, Jackelyn Melissa², and Flesia, Ana Georgina¹

¹ CIEM, CONICET-UNC. Córdoba, Argentina.
georgina.flesia@unc.edu.ar - orcidID 0000-0001-6936-3764
giuliana.castigliony@mi.unc.edu.ar

² IIByT, CONICET-UNC. Córdoba, Argentina.
jkembro@unc.edu.ar - orcidID 0000-0003-1127-8975
florencia.belen.rossi@mi.unc.edu.ar flor.spanevello@mi.unc.edu.ar

Abstract. La creciente demanda de mejorar el bienestar de las aves de corral en sistemas de cría intensiva requiere estrategias que vayan más allá del monitoreo de variables productivas, como el peso y la postura de huevos, e incluyan la evaluación del comportamiento individual. Para ello, proponemos combinar sensores inerciales (acelerómetros) con análisis de series temporales para extraer información biológicamente relevante. Dado que el comportamiento animal está naturalmente asociado al ciclo diario de 24 horas de luz y oscuridad, en este trabajo proponemos el uso de aproximaciones wavelet para evaluar la modulación de dichos ritmos en respuesta a cambios en el ambiente de cría. Específicamente, utilizamos la transformada Syncrosqueezing para caracterizar ritmos de 24 horas en distintas señales de comportamiento obtenidas a partir del vector de aceleración y coherencia wavelet para evaluar la relación entre estas señales. Esta metodología fue aplicada a la actividad y los baños de arena en codornices japonesas, monitoreadas durante 11 días con registros de aceleración obtenidos a 25 Hz bajo tres condiciones de sustrato de cría (piso de reja, suelo de viruta, o suelo de viruta con un arenero). Nuestros resultados muestran que el poder de los ritmos de baños de arena y la coherencia entre ambos ritmos de comportamiento pueden variar según el sustrato. Por ello, esta aproximación basada en wavelets proporciona una herramienta útil para el monitoreo continuo de ritmos de comportamiento relevantes en la valoración del bienestar animal.

Keywords: Análisis wavelet · series de tiempo · Acelerometría · Avicultura de precisión · Bienestar animal

From Accelerometers to Circadian Rhythms: Applications of Synchronizing and Wavelet Coherence for Assessing Behavior in Farm Poultry

Abstract. The growing demand for welfare improvement of poultry in intensive farming systems requires strategies that go beyond monitoring productive variables, such as weight and egg-laying, and include the assessment of individual behaviour. To this end, we propose combining inertial sensors (such as accelerometers) with time-series analysis to extract biologically relevant information. Since animal behavior is naturally associated with the 24-hour daily cycle of light and darkness, in this study, we propose the use of wavelet-based approaches to evaluate the modulation of these rhythms in response to changes in the rearing environment. Specifically, we use Synchronizing to characterize 24-hour rhythms in various behavioral signals derived from the acceleration vector and wavelet coherence to assess the relationship between these signals. This methodology was applied to activity and dust-bathing behaviors in Japanese quails, monitored over 11 days with acceleration data recorded at 25 Hz under three rearing substrate conditions (i.e., mesh floor, wood shavings floor, or wood shavings floor with a sandpit). Our results show that the strength of dust-bathing rhythms and the coherence between both behavioral rhythms can vary depending on the substrate. Therefore, this wavelet-based approach provides a valuable tool for the continuous monitoring of relevant behavioral rhythms in assessing animal welfare.

Keywords: wavelet analysis · time series · accelerometry · Precision Poultry Farming · animal welfare

1 Introducción

En la última década la ganadería de precisión (“Precision livestock farming”) aplicada a la avicultura, ha propuesto nuevas tecnologías con el potencial de proveer en tiempo real y de manera continua un panorama del estado de bienestar de las aves y así permitir medidas rápidas con impacto positivo sobre los planteles [1]. Para ello, son de particular interés los sensores que pueden ser llevados sobre el cuerpo del animal, como los acelerómetros triaxiales [5]. Estos sensores devuelven una estimación en valor real de la aceleración a lo largo de los ejes x,y,z. Luego, a partir del vector de aceleración diversos tipos de algoritmos pueden ser utilizados para obtener señales comportamentales de interés [4, 6].

Para detectar y caracterizar ritmos biológicos en las series temporales comportamentales obtenidas, así como para estudiar las relaciones entre distintas

señales, se ha desarrollado la metodología GaMoSEC. Este enfoque se basa en cinco etapas de análisis wavelet: 1) la transformada wavelet continua (CWT) utilizando una función gaussiana, 2) la CWT con función madre Morlet compleja, 3) wavelet synchrosqueezing, 4) la descomposición empírica wavelet (Empirical Wavelet De- composition, EWD), y 5) el análisis de coherencia wavelet [2, 3]. En este trabajo nos enfocamos en dos pasos del GaMoSEC: wavelet synchrosqueezing y coherencia wavelet, con el objetivo de explorar cómo los ritmos diarios de comportamiento son modulados por cambios en el ambiente de cría [2, 3].

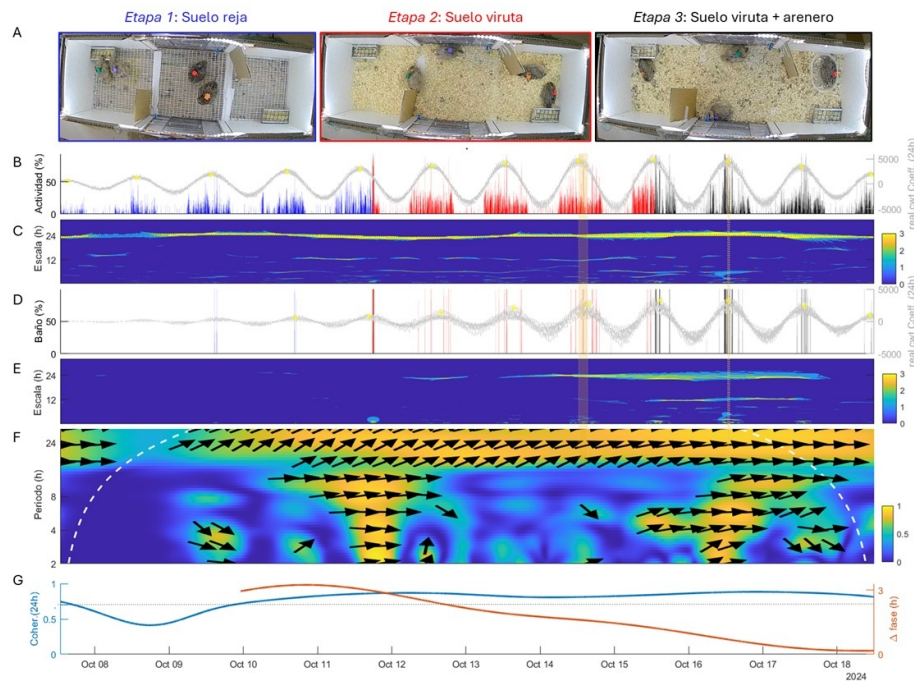


Fig. 1. Detección y caracterización de series de tiempo comportamentales de codornices japonesas. A) Fotografías de las etapas experimentales. Cada codorniz lleva una mochila de color sujeta al dorso que contiene un acelerómetro. B, D) Series temporales de actividad (B) y baños de arena (D). La altura de la barra representa el tiempo dedicado al comportamiento en intervalos de 1 minuto, y su color indica la etapa experimental. Líneas grises muestran la parte real de los coeficientes del CWT de Morlet Compleja en la escala de 24 h. C, E) Análisis de synchrosqueezing de cada serie, donde el color indica el módulo de los coeficientes. F) Análisis de coherencia wavelet entre ambas series. Las flechas indican la relación de fase entre ellas. G) Cuantificación de la fase (línea azul) y la coherencia (línea naranja) a la escala de 24 h, obtenida del panel F. Transparencias naranjas horizontales denotan el desfase entre señales.

2 Materiales y métodos

Para la obtención de las series de tiempo comportamentales, se alojaron 20 codornices hembras adultas (*Coturnix japonica*) en grupos de cuatro, en cajas de melamina de $40 \times 40 \times 110$ cm (ancho \times alto \times largo), equipadas con dos bebederos y dos comederos. A cada hembra se le colocó una mochila plástica de color que contenía un acelerómetro triaxial TecnoSmart [4]. El experimento consistió en tres etapas que diferían en el tipo de sustrato del ambiente de cría: i) piso de reja, ii) sustrato de viruta y iii) sustrato de viruta con acceso a un arenero (Fig. 1A). Cada etapa tuvo una duración mínima de tres días, durante las cuales se registraron datos de aceleración de forma continua a 25 Hz. Del vector de aceleración de cada individuo se extrajeron dos series comportamentales: actividad (asociada al movimiento) y baño de arena [4], específicamente el porcentaje de tiempo dedicado al comportamiento durante un intervalo de muestreo de 1 min. Cada una de las series comportamentales fue analizada con GaMoSEC. Synchronosqueezing fue utilizada para caracterizar ritmos diarios de 24 h en distintas señales comportamentales a partir del análisis de su potencia espectral. Con Coherencia wavelet fue examinada la relación temporal de fase entre dichas señales, aportando información sobre su sincronización. Finalmente, se graficó la parte real de la CWT con la wavelet de Morlet compleja para visualizar la fase del ritmo diario [2, 3].

3 Resultados

El uso de acelerómetros para el monitoreo continuo del comportamiento animal tiene el potencial de permitir analizar de manera precisa las modificaciones inducidas en la dinámica comportamental a lo largo del período de cría. En este contexto, es importante considerar que las aves de corral son especies diurnas, es decir, presentan mayor actividad durante las horas de luz. Por lo tanto, la escala de 24 horas es especialmente relevante, ya que captura los ritmos diarios predominantes de actividad. La serie de actividad (Fig. 1B; barras verticales) muestra un ritmo diario a lo largo de todo el experimento, lo que se refleja en el análisis de Synchronosqueezing como una banda horizontal continua amarilla en la escala de 24 h (Fig. 1C). En cambio, en las series de baños de arena (Fig. 1D; barras verticales), el ritmo aparece recién en la segunda etapa según los coeficientes de Synchronosqueezing (Fig. 1E). Este patrón también se evidencia en la parte real de los coeficientes del CWT de Morlet Compleja (Fig. 1B, línea gris) y en la coherencia entre ambas señales (Fig. 1F), que alcanza valores superiores a 0.7 únicamente en la Etapa 2 (Fig. 1G). Es interesante remarcar que, en la tercera etapa, se observa un cambio de fase entre los comportamientos, pasando de un desfase de 2h a una diferencia nula (Fig. 1G).

El análisis completo de todas las hembras reveló la presencia de ritmos diarios de actividad a lo largo de todo el experimento en el 100% de los individuos analizados. En contraste, la ritmicidad diaria en los baños de arena se observó en el 50 %, 100 % y 85 % de los individuos durante las etapas 1, 2 y 3, respectivamente. En aquellos casos en que ambas series presentaron ritmicidad

diaria dentro de una misma etapa, se registraron valores elevados de coherencia (superiores a 0,7) en el 57%, 86% y 55% de los casos para las etapas 1, 2 y 3, respectivamente.

4 Discusión y Conclusión

Las series de comportamiento animal constituyen ejemplos de señales no estacionarias, cuyas propiedades pueden cambiar a lo largo del tiempo en función de factores ambientales y contextuales [2, 3, 6]. En este trabajo, observamos que la actividad general de las codornices presentó un patrón circadiano claro y estable, coherente con su naturaleza diurna [3]. En contraste, el patrón de baño de arena dependió fuertemente del tipo de sustrato disponible. La mitad de los individuos no mostraron evidencia de un patrón rítmico diario en la Etapa 1. En estos individuos (ver ejemplo Fig. 1) el ritmo diario emergió claramente en la Etapa 2 una vez que se les brindó un sustrato adecuado para su desarrollo.

El tipo de sustrato también influyó en la relación temporal entre los comportamientos, evidenciada por los cambios en la coherencia y la fase entre las señales. Este hallazgo sugiere que el entorno no solo facilita la expresión de ciertos comportamientos, sino que también puede modular su sincronización relativa. En este contexto, el enfoque analítico basado en wavelets se presenta como una herramienta poderosa para la detección y caracterización de ritmos comportamentales.”Por lo tanto, este enfoque tiene un gran potencial para la evaluación objetiva del bienestar animal, dada su capacidad para identificar no solo la presencia de ritmos comportamentales, sino también su modulación por factores ambientales cambiantes.

References

1. Rowe, E., Dawkins, M. S., Gebhardt-Henrich, S. G. (2019). A Systematic Review of Precision Livestock Farming in the Poultry Sector: Is Technology Focussed on Improving Bird Welfare? *Animals*, 9(9)1-18.
2. Flesia, A. G., Nieto, P. S., Aon, M. A. y Kembro, J. M. (2022). Computational Approaches and Tools as Applied to the Study of Rhythms and Chaos in Biology. *Methods Mol Biol.*, 2399:277-341.
3. Kembro, J. M., Flesia, A. G., Nieto, P. S., Caliva, J. M., Lloyd, D., et al. (2023) A dynamically coherent pattern of rhythms that matches between distant species across the evolutionary scale, *Scientific Reports*, 13, 5326.
4. Fonseca, R. G., Bosch, M. C., Spanevello, F. C., de la Fuente, M. V., Marin, R. H., Barberis, L., Kembro, J. M., Flesia, A. G. (2024). Thanks to repetition, dust-bathing detection can be automated combining accelerometry and wavelet analysis. *Ethology*, 130, e13466.
5. Yang, X., Zhao, Y., Street, G. M., Huang, Y., Filip To, S. D., Purswell, J.L. (2011) Classification of broiler behaviours using triaxial accelerometer and machine learning. *Animal: The international journal of animal biosciences*, 15, 100269.
6. Rossi, F. B., Simian, C., Fonseca, R., Bosch, M. C., et al. (2025). Potential of accelerometer tags for monitoring of Japanese quail (*Coturnix japonica*) reproductive behaviour. *Brotosh Poultry Science* (1), 19-30.