

Estimación de la conducta de ingesta de concentrado en un cebadero de corderos utilizando sensores de proximidad

José Alfonso Abecia^{1,*}, Pelin Erden² y Francisco Canto¹

¹ Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA), Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza, Miguel Servet, 177, 50013, Zaragoza.

² Departamento de Obstetricia y Ginecología, Facultad de Veterinaria, Bursa Uludag University, Bursa, Turquía.

Resumen

Los sensores de proximidad registran un encuentro cuando otro dispositivo similar está dentro de una cierta distancia, pudiéndose fijar a un animal, proporcionando nuevas perspectivas sobre el comportamiento individual y las interacciones con otros animales o su entorno. El objetivo de este estudio fue testar la capacidad de estos sensores para cuantificar la conducta de ingesta de concentrado en un cebadero de corderos, así como determinar si sigue un ritmo circadiano de 24 h. El sistema de monitorización y los animales utilizados en este estudio incluían: "sensores de proximidad móviles" fijados a un collar en ocho corderos; "sensores estacionarios", colocados dentro de dos comederos, que rastrean la proximidad de los móviles y la intensidad de la señal recibida; "puerta de enlace", colocada cerca de los comederos, que almacena los registros que envían los sensores, y una aplicación para teléfono móvil. Durante 11 días, los corderos visitaron las tolvas $20,43 \pm 10,53$ veces/d (rango 8-35), con una media por hora de $1,95 \pm 0,30$ conductas de ingesta, y duración media de $7,88 \pm 0,80$ min, observándose tres picos entre la madrugada y el inicio de la mañana, entre las 6:00 y las 9:00, y otro al atardecer, a las 18:00, coincidiendo con el ocaso. El número de ingestas por hora demostró que sigue un ritmo circadiano de 24 h de duración. En conclusión, los sensores de proximidad utilizados parecen apropiados para documentar los hábitos de ingesta de concentrado de corderos en cebadero, y serían adecuados para otros comportamientos que impliquen acercarse a otros animales u objetos.

Palabras clave: Sensores, cebo, ovinos, ritmo circadiano.

Estimation of concentrate intake behavior in a lamb feeder using proximity sensors

Abstract

Proximity sensors detect an encounter when another similar device is within a certain distance, and they can be attached to an animal, providing new insights into individual behavior and interactions with other animals or their environment. The aim of this study was to test the ability of these sensors to quantify the concentrate feeding behavior in a lamb feedlot. The monitoring system and the animals used in this

* Autor para correspondencia: alf@unizar.es

Cita del artículo: Abecia J.A., Erden P., Canto F. (en prensa). Estimación de la conducta de ingesta de concentrado en un cebadero de corderos utilizando sensores de proximidad. ITEA-Información Técnica Económica Agraria. Vol. xx: 1-13. <https://doi.org/10.12706/itea.2024.017>



study included: “mobile proximity sensors” attached to a collar on eight lambs; “stationary sensors”, placed inside two feeders, which scan the proximity of the mobile sensors and the received signal strength indicator; a “gateway” placed near the feeders, which stores the records sent by the stationary sensors; and a mobile phone application. The lambs visited the feeders 20.43 ± 10.53 times per day (range 8-35), with an hourly average of 0.82 ± 0.30 visits and an average duration of 7.88 ± 0.80 min. Three peaks were observed: between early morning and dawn, from 6 am to 9 am, and another at dusk, at 6 pm, coinciding with sunset. The number of feedings per hour followed a 24-hour rhythm. In conclusion, the proximity sensors used appear suitable for documenting the concentrate feeding habits of lambs in a feedlot and would be appropriate for other behaviors involving proximity to other animals or objects.

Keywords: Sensors, fattening, sheep, circadian rhythm.

Introducción

Los sensores de proximidad son dispositivos de biotelemedicina novedosos, que pueden utilizarse para cuantificar las interacciones entre animales de manera no invasiva (Watson-Haigh et al., 2012). Estos pequeños dispositivos registran un encuentro cuando otro dispositivo está dentro de una cierta distancia, pudiéndose fijarse a un animal, lo que puede proporcionar nuevas perspectivas sobre el comportamiento individual y las interacciones del animal con otros animales o su entorno (Kirkpatrick et al., 2021). En la especie ovina, los sensores de proximidad se han utilizado para estudiar interacciones entre parejas oveja-cordero (Broster et al., 2012), los efectos de la motivación alimentaria en la cohesión social entre ovejas (Freire et al., 2012), las interacciones sociales (Doyle et al., 2016), las asociaciones espaciales entre perros guardianes de ganado y el rebaño (Young et al., 2019), los efectos de la edad, el entorno y el manejo del rebaño en el comportamiento social (Ozella et al., 2020), y para documentar las relaciones sociales dentro de un grupo de ovejas y corderos (Ozella et al., 2022).

Existen diversos tipos de sensores de proximidad, como los basados en tecnología *Ultra High Frequency* (UHF), que transmiten su número de identificación y, simultáneamente, reciben señales de otros sensores dentro de un rango de distancias predefinido (Kour et

al., 2021). La tecnología de sistemas de localización en tiempo real (*Real-Time Location Systems*, RTLS) utiliza sensores y señales de radio para triangular una ubicación dentro de un sistema de coordenadas diseñado para un área de estudio (Shane et al., 2016). Otros sensores de proximidad intercambian paquetes de información mediante señales de radio de baja potencia (Ozella et al., 2020), siendo la intensidad de la señal de radio el indicador de la proximidad física. Finalmente, algunos sensores de proximidad, como los utilizados en el presente trabajo, están basados en la tecnología *Bluetooth Low Energy* (BLE) y registran directamente el contacto entre dos o más individuos, o individuos con objetos, proporcionando además la duración y la distancia entre los contactos. Estos dispositivos se han utilizado para estudiar una amplia variedad de interacciones. Recientemente, nuestro grupo ha utilizado este tipo de sensores para cuantificar la conducta de ingesta de agua (Abecia y Canto, 2024), pero no han sido empleados para estimar la conducta de ingesta de alimentos.

Los estudios con sensores para cuantificar la conducta de ingesta de alimentos en especies ganaderas han sido útiles para predecir su consumo real sin necesidad de una observación directa de los individuos, ya que monitorear estos comportamientos en sistemas intensivos es difícil, y más aún en extensivos. Tradicionalmente, estos comportamientos se

han monitoreado mediante observación directa o grabación en video, pero los sensores pueden eliminar esta necesidad de las observaciones visuales. La combinación de sensores estacionarios –unidades fijas que se colocan junto a estructuras, como bebederos o comederos–, y sensores fijados a los animales –normalmente en un collar–, ambos equipados con señales de radio o Bluetooth, proporcionan una nueva herramienta para documentar el comportamiento animal.

El objetivo de este estudio fue testar la capacidad de los sensores de proximidad para cuantificar la conducta de ingesta de concentrado en un cebadero de corderos.

Material y métodos

El trabajo se ha llevado a cabo en el cebadero de corderos Franco y Navarro (La Joyosa, Zaragoza) (41.73° N, 1.06° W), siguiendo procedimientos aprobados por el Comité de Ética para Experimentación Animal de la Universidad de Zaragoza. El cuidado y uso de los animales se realizaron de acuerdo con la Política Española de Protección Animal (Real Decreto 53/2013), que cumple con la Directiva 2010/63 de la Unión Europea sobre la protección de los animales utilizados para fines experimentales y otros fines científicos.

Descripción del sistema

El sistema de monitorización utilizado en este estudio (IoSA, Amberes, Bélgica) consta de los siguientes cuatro componentes: 1) “sensores de proximidad móviles” (0,9 g), alojados dentro de una caja de plástico (35 × 35 × 10 mm) y fijados a un collar (Figura 1) en ocho corderos machos (peso vivo (\pm SD): 25,4 \pm 2,5 kg; edad: 73 \pm 10 d), que estaban programados como balizas que transmiten su identidad a 2) “sensores estacionarios”, alojados dentro de cajas de plástico (80 × 80 × 46 mm) y colocados cada uno de ellos dentro de sendos

comederos de madera (Figura 2) –aunque estos sensores pueden programarse tanto como emisores como receptores, para el presente trabajo fueron únicamente programados como receptores, para rastrear la proximidad de los sensores móviles, registrando tanto el día y la hora exacta de su proximidad, la identidad de los sensores móviles y el indicador de intensidad de la señal recibida (*Received Signal Strength Indicator* o RSSI) del contacto con los sensores móviles–, 3) una “Gateway” o puerta de enlace, insertada en una caja de plástico (130 × 70 × 100 mm), colocada sobre la pared del cebadero de corderos, cerca de los comederos (Figura 3), que dispone de una tarjeta *microSD* que almacena los registros que envían los sensores estacionarios mediante Bluetooth –estos registros se descargan posteriormente en un ordenador portátil mediante la tarjeta SD– y 4) una aplicación para teléfono móvil que permite la programación, el monitoreo en tiempo real y controla la descarga de datos de los sensores y la *gateway*.

El sistema utiliza la tecnología de Bluetooth de baja energía (BLE), que puede funcionar en entornos con alta interferencia. Los sensores y la *gateway* son alimentados por baterías recargables. La *gateway* incluye una unidad GPS que proporciona la fecha y hora de su localización y rastrea continuamente las señales de los sensores. Cuando un sensor estacionario que va registrando datos supera el umbral de descarga, se establece una conexión con la *gateway* y los datos se transfieren a ésta.

Animales e instalaciones

Los ocho corderos incluidos en el estudio formaban parte de un grupo que contenía un total de cien corderos, los cuales estaban alojados en un corral sin luz artificial y a los que se les ofrecía una ración concentrada *ad libitum*. Los corderos llevaron los collares durante once días (N = 507.085 contactos entre los sensores móviles y estacionarios).



Figura 1. Sensores de proximidad móviles dotados de tecnología Bluetooth Low Energy (0.9 g) (A) usados en el experimento, protegidos en el interior de una caja de plástico (35 x 35 x 10 mm) (B) e insertadas en un collar (C).

Figure 1. Mobile proximity loggers equipped with Bluetooth Low Energy technology (0.9 g) (A) used in the experiment, enclosed within a plastic case (35 x 35 x 10 mm) (B) and inserted into a collar (C).



Figura 2. Sensores de proximidad estáticos dotados de tecnología Bluetooth Low Energy (0.9 g) (A) usados en el experimento, protegidos en el interior de una caja de plástico (80 x 80 x 46 mm), colocados cada uno de ellos en el interior de una tolva de madera (B) que contiene el alimento concentrado.

Figure 2. Static proximity loggers equipped with Bluetooth Low Energy technology (0.9 g) (A) used in the experiment, enclosed within a plastic case (80 x 80 x 46 mm), placed each one inside a wooden feeder (B) that contains the concentrated feed.

Validación del sistema

Antes de iniciar el experimento, para confirmar que el sistema puede distinguir entre un evento de ingesta de pienso y un animal que se acerca o permanece cerca de un comedero, se realizaron pruebas manuales con los ocho sensores móviles, sin estar sujetos a los animales. Los collares se mantuvieron du-

rante 2 min a una distancia <25 cm de los sensores estacionarios, que estaban fijados a la pared dentro del comedero. Se registraron las señales RSSI de esos contactos y se calcularon los valores medios, máximos y mínimos de las señales en las diferentes distancias para identificar la intensidad de la señal asociada con un evento de alimentación.

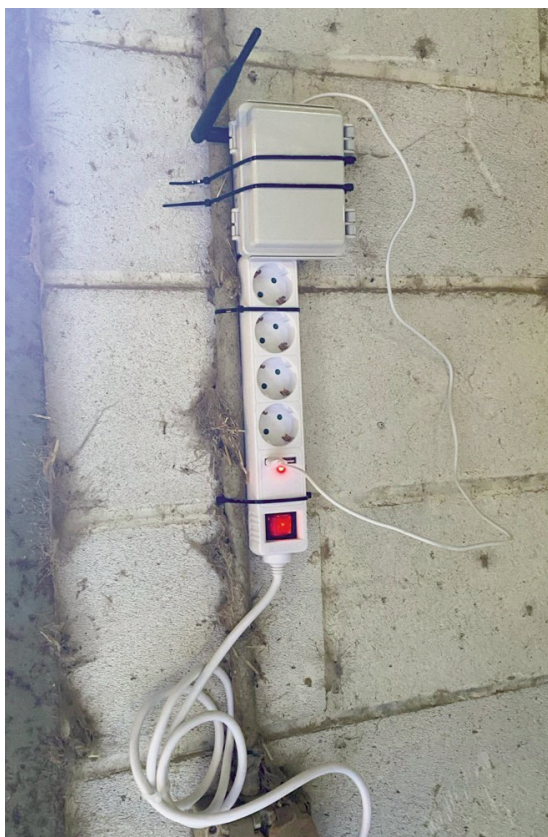


Figura 3. Gateway o puerta de enlace utilizada en el experimento, que contiene una tarjeta de memoria microSD para almacenar las lecturas de proximidad descargadas por los sensores estacionarios, colocada sobre la pared del cebadero de corderos. *Figure 3. Gateway used in the experiment, containing a microSD memory card to store proximity readings downloaded by the stationary loggers, mounted on the wall of the lamb feeder.*

Análisis estadístico

En primer lugar, se realizó una depuración de los datos, para determinar si la señal de proximidad y sus señales anteriores y posteriores representaban un evento de ingesta de concentrado. Se consideró un umbral máximo de RSSI de -79 (valor máximo registrado en las pruebas de validación) para considerar un

evento de ingesta en comedero. Además de tenerse en cuenta los valores RSSI, se tuvo en cuenta que las señales seleccionadas tuvieran una continuidad, fueran todas registradas por el mismo sensor estacionario y formaran un patrón regular de permanencia en el comedero, por un espacio de al menos 1 min. Se calcularon el número medio de visitas al comedero por cordero y día (número total de visitas dividido por el número de días y por el número de corderos), así como la duración media de cada evento. Para ambos parámetros se calculó también su distribución horaria media a lo largo del día.

Los efectos del día (11 días) y del cordero (8 corderos), y sus interacciones, sobre el número de ingestas/h de concentrado y el tiempo empleado fueron evaluados estadísticamente basándose en un modelo multifactorial. Este incluyó el día, y el cordero como efectos fijos, utilizando el método de mínimos cuadrados (*General Lineal Model*) en SPSS v.26 (IBM Corp. Released, 2019). Dentro de los efectos fijos que mostraron diferencias, se identificaron significaciones mediante el test DSM (diferencia menos significativa). El modelo utilizado fue el siguiente: $y = xb + e$, donde "y" es el $N \times 1$ vector de registros, "b" denota el efecto fijo en el modelo dentro de la matriz de asociación x, y "e" es el vector de efectos residuales. Las diferencias entre horas fueron analizadas mediante análisis de varianza.

La distribución horaria de eventos se ajustó a la curva de un ritmo circadiano de actividad de 24 h, obtenido mediante el método cosinor en la plataforma en línea Cosinor (Cosinor, 2019; Molcan, 2019). Se calculó el MESOR (*Midline Estimating Statistic of Rhythm*, que es el valor medio de la variable estimado sobre la curva ajustada); la amplitud (diferencia entre el valor máximo de la variable ajustada y el MESOR), y la acrofase (hora en la que la variable ajustada alcanza su valor máximo). Para confirmar la ritmicidad circadiana, una

prueba F comparó el modelo con la distribución real de los datos. Si se rechazaba la hipótesis nula ($P < 0,05$), los datos de entrada se ajustaban a un ritmo circadiano de 24 h.

Resultados

El valor RSSI medio, máximo y mínimo a la distancia probada entre los sensores móviles y los sensores estacionarios colocados en el interior de las tolvas fue -68 , -57 y -79 , con una desviación estándar (SD) media para todos los dispositivos de $4,99$ y un coeficiente de variación del $8,7$ %. La SD de todos los sensores presentó un rango de entre $1,4$ y $5,4$.

Se registraron un total de 507.085 contactos de proximidad durante el experimento, aunque solo un $6,9$ % (34.853) dieron valores $RSSI \leq -79$, valor considerado para tener en cuenta una aproximación al comedero inferior a 25 cm y con una continuidad de al menos 1 min. Esto reveló que los corderos visitaron las tolvas para ingerir concentrado una media (\pm SD) de $20,43 \pm 10,53$ veces/d, con un rango de 8 - 35 . La media por hora fue de $1,95 \pm 0,30$ conductas de ingesta/h, con una duración media de cada ingesta de $7,88 \pm 0,80$ min. El tiempo medio pasado ingiriendo por hora fue de $3,47 \pm 1,02$ min, con un total de $2,68$ h en las tolvas.

Tanto el cordero como el día de estudio mostraron ejercer un efecto significativo sobre el número de ingestas y el tiempo invertido ($P < 0,001$) (Tabla 1), mientras que no se observaron diferencias entre las horas del día (Figura 4). La Figura 4 muestra la distribución del número de ingestas de concentrado por hora, observándose tres picos entre la madrugada y el inicio de la mañana, entre las $6:00$ y las $9:00$, y otro al atardecer, a las $18:00$, coincidiendo con el ocaso. El tiempo medio pasado en las tolvas a lo largo del día se muestra en la Figura 5, donde se observa un mayor tiempo coincidiendo con el amanecer

y el atardecer; no se apreciaron diferencias significativas entre las horas del día.

La Figura 6 muestra el patrón circadiano del número de ingestas por hora, que presentó un ajuste estadístico a un ritmo de 24 h de duración ($P < 0,05$). Los animales presentaron un MESOR de $0,82$ ingestas/h, una amplitud de $0,19$, siendo la acrofase a las $22:43$ h.

Discusión

Diversos estudios han cuantificado el comportamiento de ingesta de alimento en ovinos mediante diferentes tecnologías, aunque, en nuestro conocimiento, este es el primer trabajo donde se estima el consumo de alimento concentrado en corderos en un cebadero mediante el uso de sensores de proximidad con tecnología BLE. Shane et al. (2016) estimaron el tiempo invertido por un grupo de terneros comiendo o bebiendo mediante tecnología RTLS, para triangular la localización de un animal dentro de un espacio, concluyendo que dicha tecnología, a pesar de presentar un gran valor como herramienta indirecta del monitoreo del comportamiento, puede no ser un buen predictor de la cantidad de tiempo realmente dedicado a participar en el comportamiento de comer y beber. Zervas et al. (2001) y Teixeira et al. (2014) utilizaron grabaciones de video para determinar el consumo de alimentos de corderos, con las consiguientes sesiones de visionado necesarias para analizar los resultados. Los sensores de proximidad, al no depender de la observación directa del comportamiento, minimizan los sesgos introducidos por los humanos que puedan influir en la recopilación de datos, como el error de apreciación o la interrupción del comportamiento natural.

Por otro lado, Aguilar et al. (2020) utilizaron corderos castrados con crotales dotados de radio frecuencia (RFID), de modo que al co-

Tabla 1. Número de ingestas/h y tiempo utilizado para cada ingesta (min), de corderos en un cebadero, estimados mediante sensores de proximidad, en función del día y del cordero (a,b; c,d; e,f indican diferencias significativas, al menos $P < 0,05$).
Table 1. Number of intakes/h and time used for each intake (min), of lambs in a feedlot, estimated using proximity sensors, depending on the day and the lamb (a,b; c,d; e,f indicate differences significant, at least $P < 0.05$).

	Ingestas/h	Tiempo (min)
Día		
1	2,37 ± 1,35 ^{ac}	10,47 ± 4,53 ^{ac}
2	1,86 ± 1,21 ^{bc}	7,34 ± 7,33 ^{bc}
3	1,92 ± 1,06 ^{bc}	8,34 ± 7,63 ^{bc}
4	1,73 ± 0,92 ^{bc}	8,42 ± 7,40 ^{bc}
5	1,94 ± 1,03 ^{bc}	7,81 ± 5,73 ^{bc}
6	1,82 ± 0,82 ^{bc}	7,05 ± 5,38 ^{bc}
7	1,72 ± 0,91 ^{bc}	7,66 ± 6,45 ^{bc}
8	1,88 ± 1,11 ^{bc}	7,29 ± 4,47 ^{bc}
9	1,87 ± 1,14 ^{bc}	7,56 ± 5,78 ^{bc}
10	2,08 ± 1,56 ^c	9,58 ± 8,68 ^{ac}
11	2,92 ± 1,56 ^{bd}	14,64 ± 10,67 ^{bd}
Cordero		
1	1,77 ± 0,89 ^a	6,47 ± 4,53 ^{ac}
2	1,97 ± 1,14 ^{ae}	9,69 ± 8,15 ^{ad}
3	1,86 ± 1,01 ^a	7,92 ± 6,81 ^{ac}
4	1,86 ± 0,98 ^a	6,80 ± 5,60 ^{ac}
5	1,59 ± 0,84 ^{ac}	5,89 ± 4,30 ^{ac}
6	2,49 ± 1,53 ^{bc}	13,04 ± 9,05 ^{bd}
7	1,65 ± 0,90 ^{acf}	5,60 ± 4,82 ^{ac}
8	2,06 ± 1,20 ^{ad}	8,33 ± 7,48 ^{ac}

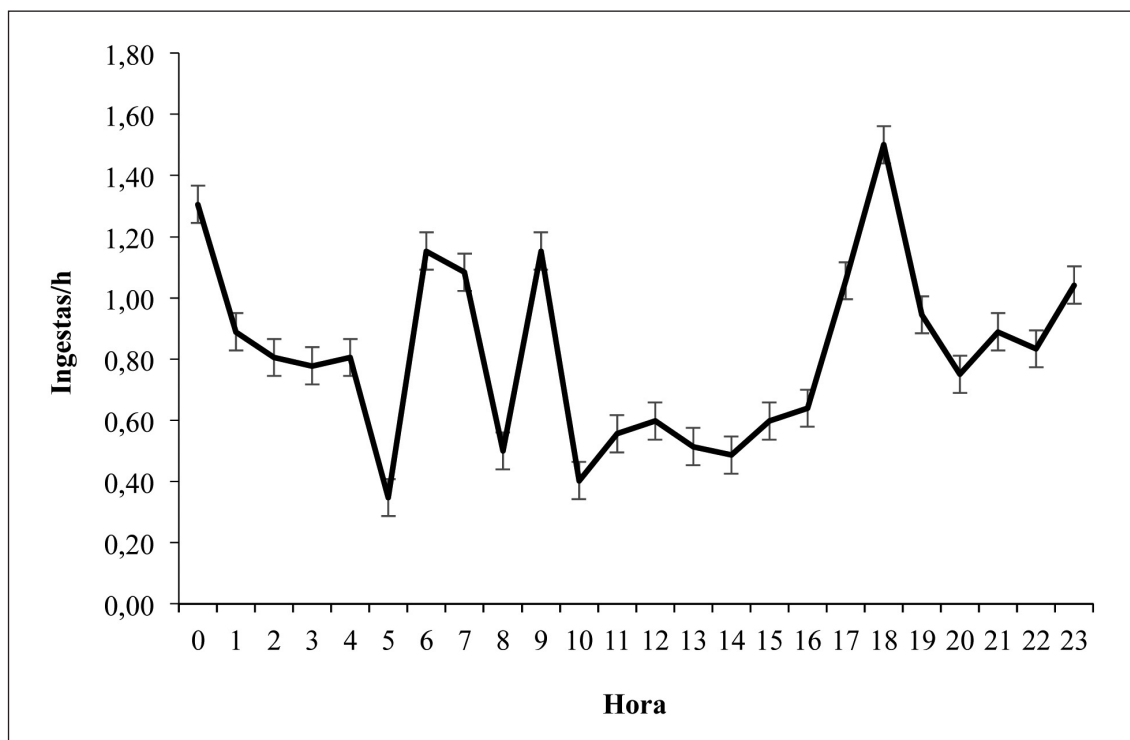


Figura 4. Distribución horaria (media \pm ES) de las ingestas de concentrado diarias de corderos en un cebadero, estimadas mediante sensores de proximidad.

Figure 4. Hourly distribution (mean \pm SE) of daily concentrate intake by lambs in a feeder, estimated using proximity loggers.

locar antenas en bebederos y comederos se estimaba la frecuencia de ingesta de agua y concentrado de estos animales. Las estaciones de alimentación automáticas capaces de determinar de modo individual el consumo de alimentos han aportado información muy fiable sobre el consumo real de alimento de pequeños rumiantes. François *et al.* (2007) registraron la ingesta individual de corderos en un cebadero utilizando comederos monoplaza con fines de selección genética, de modo que cada vez que un animal visita el comedero, se registra el número del animal mediante RFID, la hora exacta de su entrada y salida, y la diferencia en el peso del alimento existente el comedero entre esos dos momentos con una precisión de un gramo. Las

mayores ventajas de los sensores de proximidad respecto a estos sistemas radican en que son poco invasivos para el animal, integrándose en el ambiente natural del animal sin interferir drásticamente en su comportamiento, como sí hacen los comederos monoplaza o las estaciones de alimentación. Además, estos sensores permiten detectar la cercanía entre individuos de manera precisa, lo cual es esencial para estudiar las interacciones sociales, patrones de agrupamiento o actividades de colaboración entre animales, y permiten el monitoreo continuo durante largos períodos, lo cual facilita el análisis de patrones a lo largo del tiempo, incluyendo el comportamiento diurno y nocturno, sin necesidad de observación directa. La recopilación

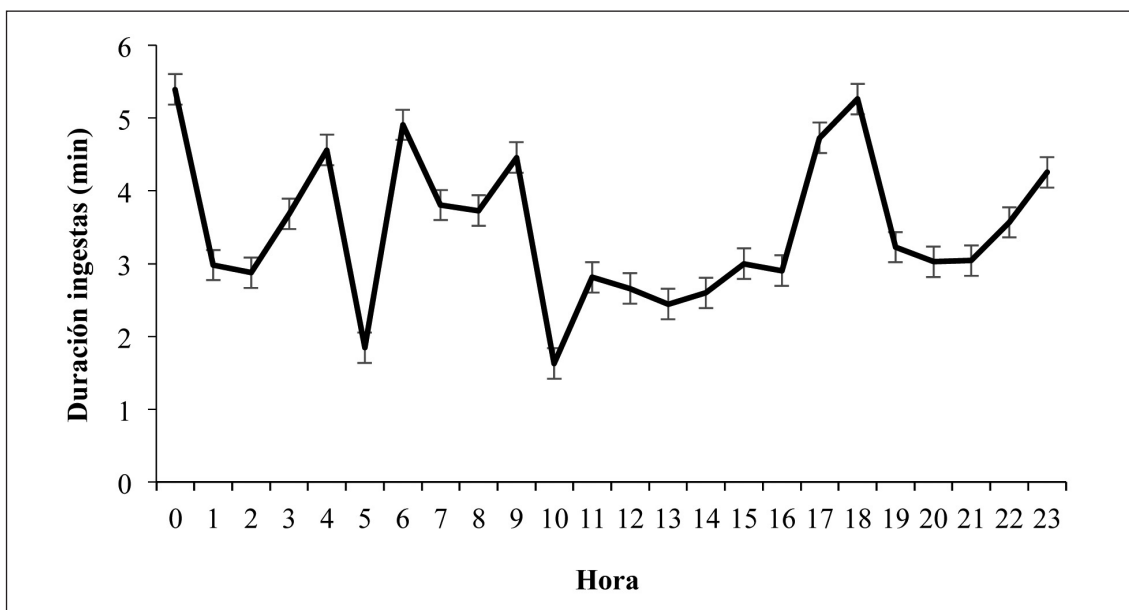


Figura 5. Tiempo medio (\pm ES) (min) ingiriendo concentrado cada hora (min) en un cebadero de corderos, estimado mediante sensores de proximidad.

Figure 5. Mean time (\pm SE) (min) eating concentrate per hour, of lambs in a feed-lot, estimated using proximity loggers.

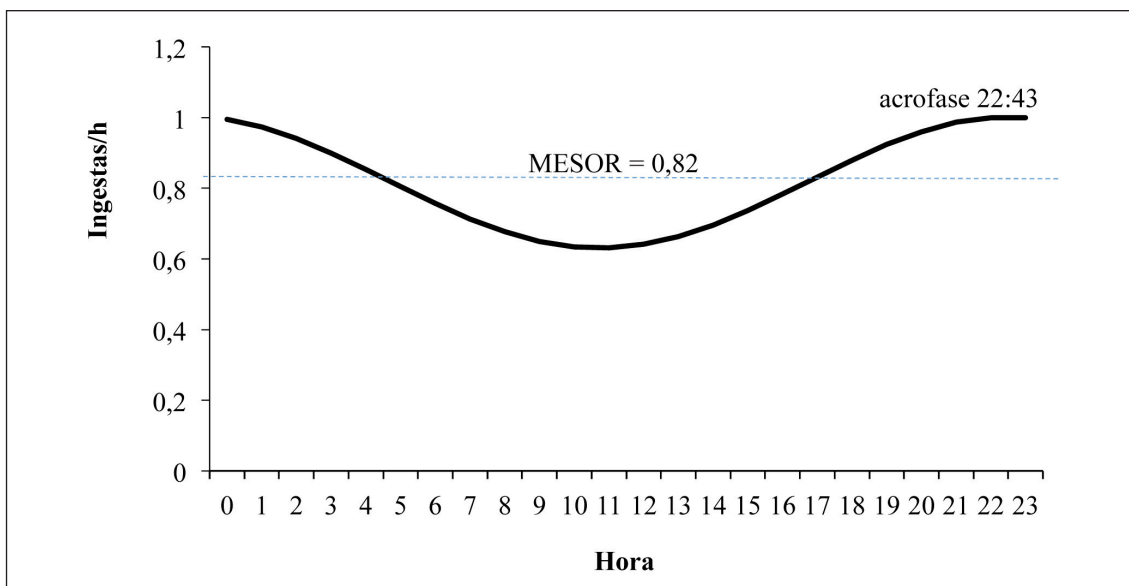


Figura 6. Curva cosinor del número de ingestas de concentrado por hora, estimadas mediante sensores de proximidad, de corderos en un cebadero, ajustada a un ritmo circadiano de 24 horas.

Figure 6. Cosinor curve of the number of concentrate intakes per hour, estimated using proximity loggers, of lambs in a feeder, adjusted to a 24-hour circadian rhythm.

ción automática de datos por sensores de proximidad permite manejar grandes volúmenes de información, lo que proporciona datos robustos y detallados para análisis estadísticos y modelos de comportamiento.

En nuestro experimento, los datos de los sensores de proximidad indicaron que, en promedio, los corderos se acercaron a las tolvas a consumir concentrado cada día unas 20 veces, pero con amplio rango, considerando el número de días y de corderos utilizados, de entre 8 a 35 veces. Este amplio rango coincide con lo publicado por Muir et al. (2018), quien, utilizando estaciones automáticas de alimentación, observaron un rango de visitas a las estaciones cada día de entre 2 y 31, con una media de 10, para ovejas recién destetadas, y de entre 3 y 28, con una media de 10, para corderas de reposición. Igualmente, Šenfelde y Kariša (2018) registraron entre 10 y 15 visitas diarias a las estaciones de alimentación, dependiendo de la fase de engorde de la que se tratara o de la raza estudiada.

En relación a la distribución horaria de las ingestas de concentrado diarias cada día y la variación horaria analizada para el tiempo empleado en visitar las tolvas de concentrado, Šenfelde y Kariša (2018) observaron que el número de visitas dependía de la hora del día, viendo una mayor intensidad entre las 2:00 y 3:00, 8:00 y 10:00, y 19:00 y 21:00, todo ello medido mediante estaciones electrónicas de alimentación. En nuestro caso se observaron picos de actividad de ingesta de alimentos a las 0:00, entre 6:00 y 7:00, a las 9:00 y a las 18:00. Por su lado, Nugroho et al. (2015), mediante observación directa de los animales, revelaron un aumento de la actividad de alimentación a las 6:00-6:29, 12:00-12:29, 18:00-18:29 y 0:00-0:29. Indudablemente, los factores que podrían afectar los resultados reportados son los diversos sistemas de alimentación, la raza y la edad de los corderos, el fotoperiodo, la temperatura del aire, la humedad del aire, la iluminación en el cebadero u otros.

Los corderos de nuestro estudio mostraron dos picos de actividad, en los que se registró una mayor frecuencia de ingesta de concentrado, de madrugada y al final del día. La especie ovina presenta un comportamiento crepuscular, mostrando picos de actividad de pastoreo al amanecer y al atardecer de modo que evitan pastar durante la noche como una estrategia innata contra los depredadores, siendo al amanecer, consumen alimento con el contenido energético más alto (Pipia et al., 2008). Obviamente, cuando las ovejas se crían bajo condiciones de manejo intensivo, no son libres de mostrar su comportamiento natural de alimentación, aunque mantienen intactos sus hábitos crepusculares. Trabajos realizados por nuestro grupo utilizando acelerómetros tri-axiales para medir la actividad locomotora de corderos en cebadero han evidenciado este comportamiento crepuscular, con un pico matutino y otro vespertino, siendo el segundo de mayor amplitud (Abecia et al., 2023 y 2024; Viola et al., 2023), coincidentes con los picos de actividad de ingesta de concentrados observados en este trabajo.

La modelización del ritmo de ingesta de concentrado a un ritmo circadiano de 24 h de duración reveló que los corderos presentan dicho ritmo diario, con la acrofase observándose alrededor de las 22:00. Estos mismos dispositivos mostraron también un ritmo circadiano en ovejas adultas en estabulación permanente de ingesta de agua (Abecia y Canto, 2024).

Conclusión

En conclusión, los sensores de proximidad utilizados en el presente experimento parecen apropiados para documentar los hábitos de ingesta de concentrado de corderos en un cebadero y, probablemente, serían adecuados para estudios de otros comportamientos que implican acercarse a otros animales u

objetos. Estos sensores han demostrado una sensibilidad capaz de detectar diferencias entre días y animales para los hábitos de ingesta de concentrado de los corderos, ofreciendo una alternativa más eficiente y menos disruptiva, lo que permite una mejor comprensión del comportamiento animal sin alterar su entorno natural.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer la colaboración del Servicio General de Apoyo a la Investigación-SAI, Universidad de Zaragoza. Trabajo financiado por el Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). F. Canto fue financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo / Programa de Becas / Doctorado Becas Chile / 2020 – 72210031.

Referencias bibliográficas

- Abecia J.A., Canto F., Plaza J., Palacios C. (2023). Body temperature, heart rate, and locomotor activity measured by bio-loggers before and after a progestogen+eCG treatment for artificial insemination in sheep: effect of pregnancy. *Animal Production Science* 63: 1376-1384. <https://doi.org/10.1071/AN23081>.
- Abecia J.A., Canto F. (2024). Proximity loggers to study drinking pattern of sheep. *Book of Abstracts of the International Workshop on Measurements and Applications in Veterinary and Animal Sciences (MeAVeAS 2024)*, 22-24 de abril, Turín, Italia, pp. 40.
- Abecia J.A., Bello J.M., Marco L., Viola I., Canto F., Miranda-de la Lama G. (2024). Locomotor activity measured by actigraphy as a means of estimating social mixing and animal density-induced stress in lambs. *Large Animal Review* 30: 119-124.
- Aguilar L.A., Collins T., Dunston-Clarke E.J., Wickham S.L., Fleming P.A., Barnes A.L. (2020). Impact of shearing sheep on feeding and behaviour during the pre-embarkment feedlot phase of live export. *Animal Production Science* 60: 936-943. <https://doi.org/10.1071/AN19238>.
- Broster J.C., Rathbone D.P., Robertson S.M., King B.J., Friend M.A. (2012). Ewe movement and ewe-lamb contact levels in shelter are greater at higher stocking rates. *Animal Production Science* 52: 502-506. <https://doi.org/10.1071/AN11264>.
- Cosinor (2019). Plataforma en línea Cosinor. Disponible en: <https://cosinor.online/app/cosinor.php> (Consultado: 13 noviembre 2024).
- Doyle R.E., Broster J.C., Barnes K., Browne W.J. (2016). Temperament, age and weather predict social interaction in the sheep flock. *Behavioural Processes* 131: 53-58. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2016.08.004>.
- François D., Brunel J.C., Ricard E., Weisbecker J.L., Bouix J., Bourdillon Y., Bibé B. (2007). Use in selection of the measurements of feed intake and feeding behaviour parameters in sheep. En: *Advanced nutrition and feeding strategies to improve sheep and goat*. (Eds. Priolo A., Biondi L., Ben Salem H., Morand-Fehr P.), p. 441-447. (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 74). CIHEAM, Zaragoza.
- Freire R., Swain D.L., Friend M. (2012). Spatial distribution patterns of sheep following manipulation of feeding motivation and food availability. *Animal* 6: 846-851. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002126>.
- IBM Corp. Released (2019). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 26.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Kirkpatrick L., Herrera-Olivares I., Massawe A., Sabuni C., Leirs H., Berkvens R., Eens M., Weyn M. (2021). ProxLogs: Miniaturised proximity loggers for monitoring association behaviour in small animals. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy* 32: 165-175. <https://doi.org/10.4404/hystrix-00430-2021>.
- Kour H., Patison K.P., Corbet N.J., Swain D.L. (2021). Recording cattle maternal behaviour using proximity loggers and tri-axial accelerometers. *Applied Animal Behaviour Science* 240: 105349. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105349>.

- Molcan L. (2019). Time distributed data analysis by cosinor. BioRxiv. 805960 (Online application). <https://doi.org/10.1101/805960>.
- Muir S.K., Linden N., Knight M., Behrendt R., Kearney G. (2018). Sheep residual feed intake and feeding behaviour: are 'nibblers' or 'binge eaters' more efficient? *Animal Production Science* 58: 1459-1464. <https://doi.org/10.1071/AN17770>
- Nugroho T.A., Dilaga W.S., Purnomoadi A. (2015). Eating behaviour of sheep fed at day and/or night period. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture* 40: 176-182. <https://doi.org/10.14710/jitaa.40.3.176-182>.
- Ozella L., Langford J., Gauvin L., Price E., Cattuto C., Croft D.P. (2020). The effect of age, environment and management on social contact patterns in sheep. *Applied Animal Behaviour Science* 225: 104964. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.104964>.
- Ozella L., Price E., Langford J., Lewis K.E., Cattuto C., Croft D.P. (2022). Association networks and social temporal dynamics in ewes and lambs. *Applied Animal Behaviour Science* 246: 105515. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105515>.
- Pipia A., Ciuti S., Grignolio S., Luchetti S., Madau R., Apollonio M. (2008). Influence of sex, season, temperature and reproductive status on daily activity patterns in Sardinian mouflon (*Ovis orientalis musimon*). *Behaviour*, 145: 1723-1745. <https://doi.org/10.1163/156853908786279628>.
- Real Decreto 53/2013, de 1 de febrero, por el que se establecen las normas básicas aplicables para la protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines científicos, incluyendo la docencia. Boletín Oficial del Estado, núm. 34, de 8 de febrero de 2013, pp. 11370-11421.
- Šenfelde L., Kariša D. (2018). Effect of Automatic Feeding Station use on fattening performance in lambs and intake activity periods. *Agronomy Research* 16: 884891. <https://doi.org/10.15159/AR.18.132>.
- Shane D.D., White B.J., Larson R.L., Amrine D.E., Kramer J.L. (2016). Probabilities of cattle participating in eating and drinking behavior when located at feeding and watering locations by a real time location system. *Computers and Electronics in Agriculture* 127: 460-466. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.005>.
- Teixeira D.L., Miranda-de la Lama G.C., Villarroel M., Escós J., María G.A. (2014). Lack of straw during finishing affects individual and social lamb behavior. *Journal of Veterinary Behavior* 9: 177-183. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2014.02.008>.
- Viola I., Canto F., Abecia J.A. (2023). Effects of melatonin implants on locomotor activity, body temperature, and growth of lambs fed a concentrate-based diet. *Journal of Veterinary Behavior* 68: 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2023.08.004>.
- Watson-Haigh N.S., O'Neill C.J., Kadarmideen H.N. (2012). Proximity loggers: data handling and classification for quality control. *IEEE Sensor Journal* 12: 1611-1617. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2011.2175215>.
- Young J., Draper J.P., Kinka D. (2019). Spatial associations of livestock guardian dogs and domestic sheep. *Human-Wildlife Interactions* 13: 6. <https://doi.org/10.26076/frv4-jx12>
- Zervas G., Rissaki M., Deligeorgis S. (2001). Free-choice consumption of mineral lick blocks by fattening lambs fed *ad libitum* alfalfa hay and concentrates with different trace mineral content. *Livestock Production Science* 68: 251-258. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00230-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00230-X).

(Aceptado para publicación el 14 de noviembre de 2024)