

Monitoring lidia cattle with GPS-GPRS technology; a study on grazing behaviour and spatial distribution

Juan Manuel Lomillos Pérez^{1*}

 0000-0003-1114-4395

Marta Elena Alonso de la Varga²

 0000-0002-3810-0176

Juan José García³

Vicente Ramiro Gaudioso Lacasa²

¹ Departamento de Producción y Sanidad Animal, Salud Pública Veterinaria y Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Facultad de Veterinaria. Universidad Cardenal Herrera-CEU, CEU Universities (Spain).

² Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de León (Spain).

³ Línea de Investigación en Rumiantes. Instituto Tecnológico Agrario. Junta de Castilla y León. Consejería de Agricultura y Ganadería (Spain).

***Corresponding author:**
Email address:
jmlomillos@hotmail.com

Abstract

The behavior of grazing cattle has not been studied as much as farmed animals. In certain breeds, reared in extensive systems, human presence can cause an interruption or modification in their ethological patterns moving away from the person watching them. The use of technologies like a Global Position System and a General Packet Radio Service (GPS-GPRS) allows monitoring bovine animals exploited in extensive systems, providing information in real time about distances traveled, home range grazing areas, frequented territories, behavior patterns, etc. In the present work, GPS-GPRS collars were used to monitor 21 cows of the lidia cattle breed, with different ages, and from three different herds in the Salamanca province (Spain). The study lasted 8 months, the animals being distributed in enclosures of different dimensions and orographic characteristics, geographic position data being collected every 15 minutes. The proper functioning of the GPS-GPRS devices was proven and home range grazing area for each animal has been calculated, with an average of 56 hectares. A graph of animals' circadian rhythm with the distances traveled for hours has been developed. A trend was observed to start daily activity hours before dawn, diminishing its activity with the evening and overnight, with a night's rest phase of about 7 hours. We also report daily distance traveled (3.15 km on average), finding differences depending on age, available space allowance/animal, daylight and the season. Our results could be of relevance for a better pasture management using enclosures of size that increase the use of all the surface available.

Keywords: GPS, GPRS, spatial distribution, behavior, grazing, extensive systems, telemetry, remote sensing, home range.

Received: 2016-09-01
Accepted: 2017-09-18
Published: 2017-10-10

Additional information and declarations
can be found on page 13

© Copyright 2017
Juan Manuel Lomillos Pérez *et al.*

open access 



Distributed under Creative Commons CC-BY 4.0

Cite this as:

Lomillos Pérez JM, Alonso de la Varga ME, García JJ, Gaudioso Lacasa VR. Monitoring lidia cattle with GPS-GPRS technology; a study on grazing behaviour and spatial distribution. *Veterinaria México OA*. 2017;4(4). doi:10.21753/vmoa.4.4.405.

Introduction

Since there is consistent evidence that animals do not forage resources available in their pasture area in a uniform way, an objective of animal grazing research is to understand the factors that could have an influence over animal movements, and their distribution on the territory.¹⁻³ Information about the spatial distribution, habitat selection and preferential livestock locations opens a new way by which animal populations, both domestic and wild, can be managed with both conservation and productive purposes.

The use of Global Position System (GPS) devices to study the position of animals is a common technique in studies of wild animal's habitats, such as deer, bears, and wolves.⁴⁻¹⁰ GPS devices have also been used for localizing and monitoring marine animals,¹¹⁻¹⁴ studying the behaviour of female pigeons and dogs,¹⁵ and monitoring the position and velocity of horses during races or training, with the possibility of storing physiological data such as heart rate.¹⁶ Nevertheless, the application of GPS with the aim of developing better management practices on extensive livestock farming, is relatively recent. In the last 15 years this technology has been used for the study of different behavioral variables and monitoring of domestic animals: sheep,¹⁷⁻¹⁹ Iberian porcine,²⁰ and cattle.²¹⁻³⁶

General Packet Radio Service (GPRS) technology is used in mobile telephony and allows the transmission and reception of data from a terminal via packets. The traditional GSM networks (Global System for Mobile communications) do not adapt adequately to the needs of sending data with mobile terminals, so the GPRS technology unifies Internet Protocol (IP), with mobile telephony, creating an entire network, parallel to the GSM network and oriented exclusively to the transmission of data using the satellite telephone network.³⁷ Currently, this technology is being replaced by the 3G and 4G systems, but in livestock management it is very useful, since the farms are generally outside the range of 3G and 4G networks.

The present work aims at applying the GPS-GPRS technology to monitor extensive cattle pursuing two main objectives: firstly, to validate a methodology that allows to obtain position data of the animals and their remote access via Internet for extensive cattle; and secondly, to analyze the information of animals' positions to deepen the knowledge on the behaviour of grazing livestock, covering different aspects such as the circadian rhythms of locomotion and the use of the territory. We focus on the influence over the previously mentioned on pasture behaviour parameters of factors such as the available surface per animal, climate conditions and animals age. We anticipate that when animals have greater surface available, the percentage of surface used must be lower that when the surface is reduced; and that the climatological conditions must have an influence in the grazing circadian rhythms based on the temperatures and grass available.

Material and methods

GPS-GPRS Devices and Web Platform for data collection.

The GPS device used in this study was developed by the AMENA Company and the University of Extremadura for pigs,²⁰ being necessary to make a modification in the collar to adapt to the cattle's neck, in order that the collar could be used by the animals without discomfort (Figures 1 and 2). The system comprises: a GPS receiver,



Figure 1. Cow with device already installed.



Figure 2. Detail of GPS-GPRS collar.

which allows the determination of the animals' position using the appropriate frequency, with a precision calculated by the manufacturer between 1 and 3 meters, an own power system (rechargeable batteries) and communication through GPRS with a communications center, in which data on real-time position is stored. The device allows the tele-programming of the interval of time during which it registers the geographical position. The ORANGE M2M internet platform allowed us to remotely access the geographic position data of those animals equipped with the transmission device through simple web access. The information obtained through the GPS device, and sent to the satellite receiver, was stored and reflected on the ORANGE web page. The set of positions can be viewed as points on a satellite photo of the chosen farm, and exported in a database, expressed in geographical coordinates (longitude and latitude). There is also information about the charge level of the devices' batteries.

The combination of GPS-GPRS technology allows the transmission of information received by the GPS receiver, either at previously scheduled times, or continuously, so that complete information can be obtained in real time from the animal being monitored. In our case, we opted for a satellite frequency of twelve hours to

extend the life of the batteries. During the study, some problems were detected with the frequency of emission of the data and the duration of the batteries in the case of one of the animals, this information was discarded for data analysis.

- *Physical environment* - The farms studied are located in the province of Salamanca, in the southwest of the autonomous community of Castilla y León (Spain). With an average altitude of 823 m, it presents an inland Mediterranean climate with outstanding Atlantic influence. It is characterized by cold and semi-humid winters and hot, dry summers.

The farms chosen for the study are part of the natural ecosystem called "dehesa", a flat or slightly undulating terrain, with vegetation composed of *Quercus* spp (oak, cork oak), and grassland species, where there are ponds and small streams.

- *Animals* - In the extensive bovine cattle, we chose the fighting breed, as a representative of breeding in freedom. This breed presents some ethological peculiarities that make it difficult to manage and study its behavior,³⁸ therefore, of special value is the obtained information.

Three animals were used in each grazing fenced area, all of them female, of which 3 were young animals (2 years), 6 were middle aged (3 to 7 years old) and 9 were older (8 to 16 years old), all belonging to 3 different farms from the province of Salamanca (Spain). Dominant adult animals were chosen within each group, guided by the livestock keeper's criteria, so that their movements represented the entire herd.³⁹ The collars were placed coinciding with management tasks that required the animals handling through the cattle crush, so that their manipulation for this work did not imply an additional stress. A total of 21 animals were monitored: 3 in the first protocol and 18 in the second one:

- *Protocol 1* - Initially, a first working protocol was developed during the summer months in order to verify the proper functioning of the GPS device and the Orange platform to obtain the position data, distance traveled and geolocation on the satellite photography. It was also intended to observe the functionality and strength of the collar, the duration of the batteries, the behavior of the animal using the strange device, and find out that it does not alter its ethology and does not cause any discomfort or physical damage. To do this, three young animals, two years old, were chosen, assuming that they would be the most vulnerable throughout the study, as they could be affected by the weight of the GPS device (approximately 1 kg), which translates to 0.7 % of their body weight. The GPS collars were fitted to the animals for two months, with a positioning frequency of fifteen minutes. During this period, daily visualizations of the animals were performed at a distance with binoculars to compare the behavior of the animals monitored with the animals without GPS collar (Table 1).
- *Protocol 2* - The second protocol consisted of two working periods: the first during the months of April, May, June and July, which we call the warm period (WP); and the second period during the months of October, November, December and January, which we call cold period (CP).

Table 1. Features of the physical environment and animals studied.

Fenced area	Area (ha)	Features	Monitored animals	Total animals	Livestock load (animals / ha)	Age animals	Period
1	10,5	Completely flat and devoid of trees	3	13	1,2	2 - 2 - 2	CP
2	26	Flat with low density oak trees	3	36	1,4	5 - 10 - 13	WP
3	35	Minimum slope with a stream and good tree cover	3	45	1,3	4 - 9 - 15	CP
4	55	Small slope and woodland	3	30	0,5	3 - 7 - 16	WP
5	192	Higher slope and an artificial pond	3	60	0,3	5 - 10 - 14	CP
6	200	Variable slope and several water points	3	55	0,3	4 - 12 - 13	WP

- *Data processing and statistical analysis* - With the set of positions expressed in geographical coordinates (longitude and latitude), compiled in a database, the home range areas were calculated, with the application of the program ArcMap® for animal movements: Hawth's tool. Data were loaded on a georeferenced sheet with the ArcMap® program, using orthophotos of the study farms, obtaining images of the geographic dispersion of the animal and the trajectories covered by it. The distances between each position point taken with a frequency of fifteen minutes were calculated (Figure 3). This frequency was decided by taking into account the methodologies used in published studies.⁴⁰⁻⁴²

Travelling distance *per se* is not a good indicator of animal activity, however, accurate information on grazing, displacement and rest of livestock can be obtained with the data provided by GPS devices.³⁵ The distance traveled should be close to zero for an animal that is resting, and large for an animal that changes its location.³² Thus, to interpret our results we relied on previous studies,^{43,32} where distances and speeds are related to observed grazing, displacement and rest behaviors. In our case, we did not obtain data of instantaneous speed therefore we cannot differentiate between grazing and displacement, but we can deduce the pattern of movement as a function of the total displacement for hours. Additionally, we must take into account that we assumed a downward error of the distances traveled and the detected activity, because in our protocol as in most of the works cited, we used frequencies of 15 minutes, and assumed displacements in a straight line between two consecutive locations.

In order to analyze the influence of light on the activity of the animals, the information provided by the company Tutiempo Network S.L., on light and dark hours throughout the study in the province of Salamanca was used.

Statistical analysis was performed with the SPSS V.20 program (IBM Corp. 2012),⁴⁴ including one-way analysis of variance (ANOVA), linear correlation matrices with different independent and dependent variables, and post-hoc analysis using the Newman-Keuls test.

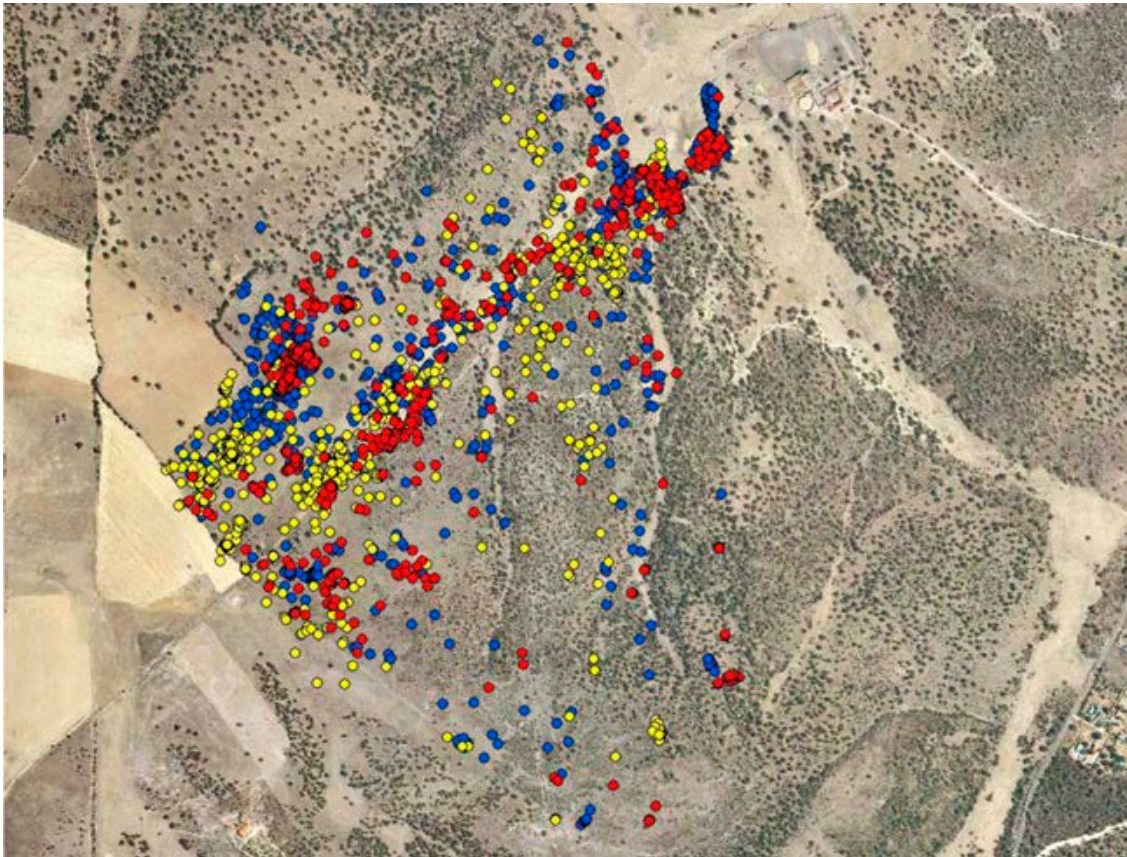


Figure 3. Image of fencing No. 5 positions of the 3 animals monitored. Red, Yellow, Blue.

Results and discussion

The three GPS devices placed in eralas (2 years old females), for protocol 1, the verification of the good operation of the system and validation of the methodology, had an acceptable operation. Our results are in accordance with several authors who used a GPS collar system similar to ours, and did not affect the normal behavior of the species or its relationship with other individuals considering that the heifers behave as the rest of the herd after been fitted with the collars and this appreciation was made by direct observation by the researchers and the farm owners and workers.^{18,27,45,46,47}

Use of territory

With the position data obtained in the monitoring period of each animal, we calculated the home range foraging area, i.e. the minimum convex polygon⁴⁸ for each animal (Table 2); and as a surrogate of habitat use, we estimated the available space covered by the minimum convex polygon. The home range foraging areas was 56.0 ha on average, and was diverse and dependent on the available surface of the fenced pasture in which the animal was located. The smallest enclosures were almost completely (95 %) used by the animals, while the areas of animal breeding grazing in enclosures around 30 ha give us results of use close around 81 % of the available space. On the other hand, in the largest enclosure (number 6) with 200 ha

Table 2. Home range foraging areas obtained for each animal and percentage of occupied territory.

Fence	Animal 1 (ha)	Use of territory (%)	Animal 2 (ha)	Use of territory (%)	Animal 3 (ha)	Use of territory (%)	Average Use of territory (ha - %)
1	10,26	97,71	9,31	88,67	9,81	93,43	9,79 93,27
2	24,92	95,85	24,33	93,58	25,28	97,23	24,84 95,55
3	32,19	97,55	24,62	74,61	29,52	89,45	28,77 87,20
4	44,86	81,56	40,22	73,13	41,87	76,13	42,32 76,94
5	108,69	56,61	118,06	61,49	116,66	60,76	114,47 59,62
6	111,22	55,61	128,91	64,46	107,81	53,91	115,98 57,99

we observed a use of around 60 %, by the three devices analyzed in the fence, which reflects that the use of the territory is dependent on the available area.

Thus, our results are in line with those obtained by Ganskopp,²⁷ in a study of the movement of Hereford and Angus cows, using GPS collars, in a fenced area of 825 ha. This author obtained a home range area of 325 ha, corresponding to a degree of utilization of 39.4 %. Likewise, Barbari monitored 36 Angus cows obtaining a space utilization of 70.8 %, in small enclosures with good pasture of 2 to 3 ha.⁴⁹ The home range found is 2.4 ha, which, despite the differences between studies in terms of available area and cattle breed, reinforces our results of less use of the territory in the largest enclosures.

Based on the results, we could think that the space available is greater than the one required by the animals to cover its vital needs in the case of fences number 5 and 6 (animals occupied only the 60 % of the territory). It is necessary to take into account the supplementation with forage and concentrate provided in the three farms, a fact that can influence the reduction of the times and spaces dedicated to grazing when sated their appetite. If the animal has a null herbaceous stratum and feeds on concentrate and forage, which is administered at a particular point on the farm, its movements in search for food will be concentrated in that environment.⁵⁰ Thus, when there is good availability of grass, the dispersion of the animals is greater than at those periods when supplementation is needed, forming small groups.⁵¹

When we used large fences, unequal grazing can occur throughout the territory, which can reduce the carrying capacity of pastures and the efficiency of livestock production.²² In the larger areas of our study (numbers 4, 5 and 6) there may be less areas used by livestock, although with the monitoring of only three animals, even though they are considered representatives of the herd, we have to be cautious to determine which areas are underutilized because other animals not monitored could be using them. Authors argues that some management practices, such as strategic supplementation in certain areas of the farm, can modify animal behavior patterns to achieve a more efficient use of the available habitat, and thus correct the grazing imbalances, of the pasture area.⁵² Grazing activity is diminished when farms house many more animals than the land can hold.⁵³ This is the case for smaller enclosures and greater stocking density: 1, 2 and 3. In this case home range foraging areas resulting from the animals monitored are similar to the dimensions of the enclosures.

Another factor that could influence the use of the land is the age of the animals, however, analyzing the areas of championship as a function of age, we did not find significant differences between groups: for young animals 68.78 ha

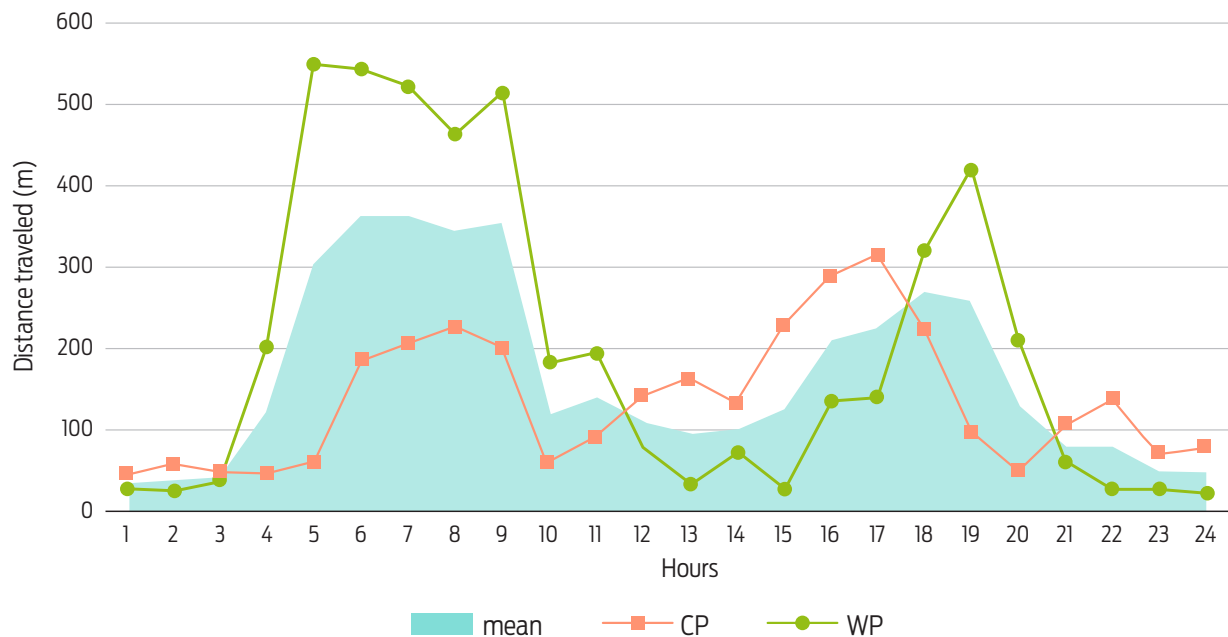


Figure 4. Average distance travelled during each hour for all the animals (y=meters, x=hours).

(2 years old), 56.21 ha for the middle aged (3 to 7 years old) and 70.67 ha for the elderly (8 to 16 years old).

Biorhythms of locomotion

To know the habitual patterns of locomotion throughout the day, and therefore activity (circadian rhythm), the mean distances travelled per hour were analyzed, considering the mobility of all the animals across all samples (Figure 4). From 04:00 p.m. to the night, the animals exhibited a period of maximum activity, from 5:00 a.m. to 9:00 p.m., where the animals travelled around 300 m each hour. The intensity of the movements decreased in a period of intermediate activity from 10:00 a.m. to 1:00 p.m. (100 m. per hour approximately); and a second activity period, from 4:00 p.m. to 7:00 p.m., ending with a phase of minimal locomotive activity, from 20:00 to 3:00 a.m. (with average trajectories of approximately 50 m), when we supposed that the animals were resting. The hours with the highest activity were 6:00 am and 7:00 am which coincides with the sunrise. Therefore, in general it can be deduced that there are two periods of grazing: from 5:00 a.m. to 9:00 p.m. and from 16:00 a.m. to 7:00 p.m. (Figure 4).

Analysis of biorhythm gives us an idea of the moments of daily activity and rest. In our study we found a common trend of circadian biorhythms, maintaining a rest period of 7 hours that goes from 20:00 to 3:00 h, and in this interval the animals travelled less than 100 meters per hour. These results are in accordance with previous bovine observations made by Reppert,⁵⁴ Sneva,⁵⁵ Senft et al.⁵⁶ and Brosh et al.²⁵ The rest of the day, the animals travelled from 100 to 600 m depending on the hour, with a peak of activity, of four hours, beginning at 5:00 am and ending at 9:00 am in the morning, which coincides approximately with the period of maximum activity found by Wilson.⁵⁷ Ganskopp²⁷ observed that cattle had a time dedicated to rest of about 10 h/day, and a time dedicated to the grazing of

11 h/day, although this author does not stated the daily distribution. Our results agree with this author joining the two rest and grazing periods. We also agree with Purroy,⁵³ who mentions a time spent in eating food between 5 and 10 hours a day, and the rest of the time, about 10 hours a day, dedicated to rest. Similar results were obtained by Schlecht et al.⁴⁷ whom reported a grazing period from 7.6 to 10.4 hours for extensive ruminants.

Considering the grouping of animals, accounting for the time of the year studied (CP and WP), we observed a very similar circadian scheme. Two moments of daily activity are clearly described, with a difference in the time frame of these moments, which are delayed in the cold period, compared to those observed in the warm period, with an offset of approximately 2 hours (Figure 4). In addition, the animals monitored during the warm period are the ones that travel the most during their period of maximum activity.

Taking into account the time of year, monitored animals describe a circadian rhythm of activity very similar to that published by Dolev et al.⁵⁸ in a study comparing the biorhythm of two bovine breeds grazing in different fences during the four seasons of the year. Bailey et al.,²¹ meanwhile points out that most animal movements occur in the early hours of the morning, coinciding with dawn, usually between 6:30 and 8:30 a.m., August and September, which agrees with the circadian rhythm described by the animals monitored in the warm period (WP). In Bailey's study,²² at 7:00 pm the animals moved to the rest area during sunset until the following morning, which would also fit our results, but an hour later (20:00 h). We also agree with the results of Schlecth et al,⁴⁷ whom describe two grazing moments that would start from 7:00 am to 9:00 pm, and would end from 16:00 p.m. to 7:00 pm hours, for 88% of their animals monitored.

Although most of the monitored individuals behave with a similar biorhythm, a clear influence of light and dark hours on the animals' schedule is observed, acting on the time of beginning of their activity, which is earlier in the warm months and approximately 2 hours later in the colder months.^{34,59}

In general, we can therefore consider the existence of two great moments of grazing, one at dawn and the other around sunset.⁶⁰ Half morning and night are times to rest.^{57,60} In our case we observed the onset of the activity before dawn (6:00 a.m. during the CP and 4:00 a.m. during the WP), a small recess in the activity at noon (from 10:00 a.m. to 2:00 p.m. during the WP and from 12:00 to 15:00 h during the WP), and the end of daily activity at dusk (19:00 h in the CP and 21:00 h in the WP).

Parallel to the study regarding daily activity of animals, the most frequented areas were analyzed in different moments by means of a detailed observation of position images on the orthophotos of the farm. As result of this analysis, we observed that animals occupied three different zones of each fence, where they remained daily with displacements of less than 100 m for at least 1 hour in three different moments of use: food, drink and rest. This fact has been more clearly described in enclosures 5 and 6 (those of greater dimension), where it has been verified that the feeding zone is frequented during the moment of maximum activity (from 5:00 am to 9:00 pm), while the pond area corresponds to the second activity period (from 4:00 pm to 7:00 pm). Finally, the animals remain mostly in the rest area throughout the night (from 20:00 to 3:00).

Table 3. Middle distances traveled by the animals in each enclosure studied average meters + Standard deviation.

Fence	1	2	3	4	5	6	Average
Distance / animal / day (m)	1829 ^a ± 329	2191 ^b ± 501	3209 ^b ± 551	3312 ^b ± 419	4031 ^c ± 720	4310 ^c ± 912	3147 ± 617
n	3	3	3	3	3	3	18

* Different letters indicate significant differences ($F_{5,12} = 15.04, p = 0.004$).

Regarding the drink events and their duration, we observed that the animals in the enclosures 4, 5 and 6 were positioned around the water point, but we cannot establish the events duration. In the rest of the enclosures it was not possible to clearly distinguish these zones of different use in each moment of activity. Thanks to the detailed analysis of the geographic position images in enclosures 3 and 4, we can see that all three animals were independently recorded in area of the land, but they do not usually repeat their daily resting place; contrary to what happens in the enclosures 5 and 6, where the animals repeated their resting place during the study period.

According to Sickel et al.³³ livestock grazing preferences are related to the amount of different herbaceous species present in the grazing area, but other factors such as the existence of ponds or drinking troughs, salt management points, and food supplementation also have influence.^{27,51} In our study, we observed different areas of preferential use in the enclosures studied, more defined in enclosures number 5 and 6, justified by a greater extent of land, however in the smaller surface enclosures (1, 2, 3 and 4) it has been impossible to differentiate this type of behavior, possibly because the scarcity of space means that not all the herd frequents an area at the same time, since this type of cattle maintains a hierarchical order in the herd and those who occupy the first positions are those who have first access to food or water.³⁸ In addition, there is no a clear tendency for the positioning around a pond in fences 1, 2 and 3, a fact that we attribute to the presence of water in different streams over the fencing area since drink behavior is not established during a particular moment during the day. However, the majority of monitored individuals have moved to the pond once or twice a day, usually after the ingestion of concentrate (first hours in the morning), although this frequency may vary depending on the climatology.^{47,61}

Daily distances traveled

Considering the distances daily traveled by the animals (Table 3) we obtained an average of 3147 m, with a minimum of 1829 m and a maximum of 4310 m. Distances traveled by animals in enclosure 1 were significantly lower than those of the animals in the enclosures 2, 3 and 4 ($F_{5,12} = 15.035, p = 0.0036$); and in turn with the animals monitored in the larger ones (5 and 6) that experience greater routes. The distances traveled by the animals of the enclosures 2, 3 and 4 do not show significant differences among them, like the animals of the enclosures 5 and 6.

Table 3 shows large differences between the distances traveled by the animals as a function of the available space, with higher values being recorded in the larger

Table 4. Distances traveled by the animals mean in terms of their age.

Age	Young (2 years)	Average (3-7 years)	Advanced (8-16 years)
Distance / animal / day (m)	1619 ^a ± 401	3107 ^b ± 678	3690 ^b ± 794
n	3	6	9

* Different letters indicate significant differences ($F_{2,6} = 71.48, p < 0.001$).

Table 5. Distances traveled by the animals mean in terms of the time of the year.

Group	CP	WP
Distance / animal / day (m)	2783 ^a ± 807	3511, ^b ± 1049
n	9	9

* Different letters indicate significant differences ($F_{1,16} = 49.91, p = 0.039$).

areas (fenced 5 and 6), results in accordance with those reported by Ganskopp.²⁷ The smaller distances recorded in the rest of the enclosures could be related to the smaller size and also the handling strategy to offer supplementary feed on the pasture, as Cibils et al. reported.¹⁷

The statistical analysis performed on the distances traveled daily did show significant differences ($F_{2,6} = 71.5, p < 0.001$) among groups of animals of different ages (Table 4), with the oldest animals (3-16 years) being more actives than young ones. No doubt the influence of age on the hierarchical status of each individual has a great weight in this breed,³⁸ since the defense and acquisition of the right to use space is fundamental in the herd hierarchy, and as we have mentioned, dominant animals were chosen to carry the GPS devices.⁵³

At the same time, significant differences ($F_{1,16} = 49.91, p = 0.039$) were observed in the distances traveled by the animals according to the studied period, considering the climatology and the solar cycle (Table 5). The longer duration of the day with a more pleasant temperature, coupled with lower pasture production during WP, could induce a need to graze for longer time to complete their nutritional requirements.

We have also analyzed the distances that each animal travels during the day and night according to the two studied periods (CP and WP) (Figure 5), taking into account the sunrise and sunset times for each month. Complementarily the average has been calculated with all animals. This analysis showed significant differences between day and night during the warm period and in the total average of all the enclosures ($F_{1,10} = 1178.78, p = 0.002$).

We see that the distance traveled during the day is greater than that during the night, a tendency reinforced by the schedules of activity of the biorhythms described in figure 4, where it is observed that the animals monitored rest mainly during the night, as other researchers point out.⁶⁰ However, these results contrast with those published by Barbari (2005), in a study with 36 cows in 2 and 3 ha

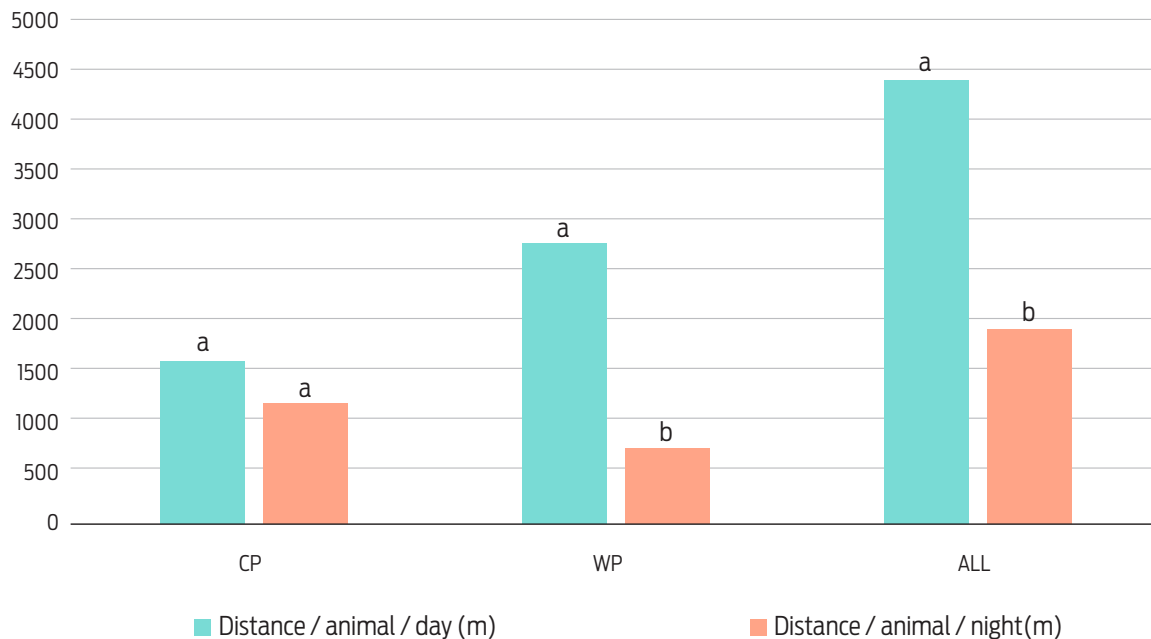


Figure 5. Distances traveled by the animals during the day and the night.

* Different letters indicate significant differences ($F_{1,10} = 1178.78$, $p = 0.002$).

pens in Kentucky during May 2004, who observed different degrees of utilization between day and the night, being more extended the zone used during the night.

Taking the data according to the climatology of the studied period (CP / WP), during the CP there are no statistical differences between the distances traveled during day and night, but the distances traveled at night were statistically lower than the diurnal ones during the WP. Several factors can influence these results, firstly the duration of the light phase, which varies greatly depending on the month of the year considered (January = 9 hours / July 14 hours). On the other hand, a more pleasant temperature during the night can increase the nocturnal grazing.⁶⁰ In our study, the animals monitored during the CP had a greater activity and began to graze very early (4:00 a.m.), two hours before individuals monitored during FP (6:00 h).

Finally, after verifying the results of monitoring and data collection via satellite, for visualization through the Web portal, we can infer that the use of GPS-GPRS technologies can be an alternative that reduces the time of permanence of the shepherds with the cattle that feed on vast natural territories. On the other hand, Rutter et al.¹⁹ and Aparicio et al.⁶² applying a similar technology in sheep and Iberian pig respectively, conclude that this technology is effective for the study of grazing behavior of individuals maintained in extensive regime. GPS-GPRS technology, supplemented by other sensors (e.g. temperature, luminosity, and pulsations), will increase the available information of the animal allowing a constant control of the herd and therefore of the production, growth and health of its members. The systems will allow not only to follow the animals but also to monitor their physiology, through additional information on factors such as heart rate, respiratory rate, body temperature, etc.

Conclusions

GPS-GPRS technology applied to monitor beef cattle is a good method for the study of grazing behavior, land use and spatial distribution. The obtained home range grazing area is around 56 ha, being influenced by factors such as grazing available surface. Cows tend to start their daily grazing activity a few hours before dawn, attenuating their activity with dusk and during the night. We also observed a marked nocturnal rest period, 7 hours of duration, and a tendency to frequent a certain area of the territory for such use. The mean daily distance traveled by the animals was 3147 m, with animals housed in larger enclosures performing higher grazing pattern and during the hours of sunshine. Animals older than 3 years traveled significantly more than younger cows. These results could be of relevance for a better pasture management using enclosures of size that increase the use of all the surface available.

Funding

This work was partly funded by the National Institute of Agricultural and Food Research and Technology (FEDER-INIA) through the TRT2006-00026-00-00 Project entitled "Application of new GPS-GPRS technologies for extensive cattle behavior study and production improvement".

Acknowledgements

We thank Don Ignacio Prieto of the Cartography Service of the University of León for the help provided in the treatment of geolocation data. We also want to thank the farmers for their support providing animals, handling facilities and personal.

Conflicts of interest

The authors declare having no conflict of interests with this study.

Author contributions

Juan Manuel Lomillos Pérez : contributed to fieldwork and analysis of results.

Marta Elena Alonso de la Varga: carried out the analysis of results and statistical analysis

Juan José Garcia: contributed to fieldwork

Vicente Ramiro Gaudioso Lacasa: carried out experimental development

References

1. Arnold GW. Grazing behavior. En: Morley FHW, editor. Grazing animals. Minnesota (US): Elsevier Scientific, 1981. p. 79–104.
2. Gillen, RL, Krueger WC, Miller RF. Cattle distribution on mountain rangeland in Northeastern Oregon. *Journal Range Management*. 1984;37:549–53. doi: 10.2307/3898856.
3. Irving, BD, Rutledge PL, Bailey AW, Naeth MA, Chanasyk DS. Grass utilization and grazing distribution within intensively managed fields in Central Alberta. *Journal Range Manage*. 1995;48:358–61. doi: 10.2307/4002489.
4. Bowman JL, Kochanny CO, Demarais S, Leopold BD. Evaluation of a GPS collar for white-tailed deer. *Wildl Soc Bull*. 2000;28:141.

5. Edenius L. Field test of a GPS location system for moose alces under scandinavian boreal conditions. *Wildl Biol.* 1997;3:39–43.
6. Janeau G, Adrados CH, Joachim J, Gendner JP, Pépin D. Performance of differential GPS collars in temperate mountain forest. *C R Biol.* 2004:327. doi: 10.1016/j.crv.2004.07.014.
7. Janeau G, Angibault JM, Cargnelutti B, Joachim J, Pépin D, Spitz F. Le Global Positioning System (GPS) et son utilisation (en mode différentiel) chez les grands mammifères: principes, précision, limites, contraintes et perspectives. *Arvicola Actes Amiens.* 1998;97:19–24.
8. Moen R, Pastor J, Cohen Y, Schwartz CC. Effects of moose movement and habitat use on GPS collar performance. *J Wildl Manage.* 1996;60:659–68.
9. Rempel RS, Rodgers AR. Effects of differential correction on accuracy of a GPS animal location system. *J Wildl Manage.* 1997;61(2):525–30.
10. Rodgers A, Anson P. Animal-borne GPS: tracking the habitat. *GPS World.* 1994;5:20–32.
11. Akesson S. Tracking fish movement in the ocean. *TREE.* 2002;17(2):56–7.
12. Bloch BA, Dewar H, Farwell CH, Prince ED. A new satellite technology for tracking the movements of Atlantic bluefin tuna. *Ecology.* 1998;95:9384–9.
13. Magnusson J. An assessment of Atlantic bluefin tuna. Washington, DC (US): National Academy Press. 1994.
14. Metcalfe JD, Arnold GP. Tracking fish with electronic tags. *Nature.* 1997;387:665–6.
15. Steiner I, Burgi C, Werffeli S, Dellomo G, Valenti P, Troster G, et al. A GPS logger and software for analysis of homing in pigeons and small mammals. *Physiol Behav.* 2000;71(5):589–96. doi: 10.1016/S0031-9384(00)00409-1.
16. Hebenbrock M, Due M, Holzhausen H, Sass A, Stadler P, Ellendorff F. A new tool to monitor training and performance of sport horses using Global Positioning System (GPS) with integrated GSM capabilities. *Dtsch Tierarztl Wochenschr.* 2005;112(7):262–5.
17. Cibils A, Peinetti R, Clifton G, Rial P, González L. Desarrollo de un método para estudiar el comportamiento ovino en condiciones de pastoreo extensivo mediante el uso de posicionadores satelitales. En: Gonzalez L, Iglesias RO, Cibils OA, editores. *Campo experimental Potrok Aike. Resultado de 15 años de labor técnica.* Provincia de Santa Cruz (AR): Estación Experimental Agropecuaria Santa Cruz Convenio INTA; 2005. p. 93–5.
18. Hulbert IAR, Wyllie J, Waterhouse A, French J, McNulty D. A note on the circadian rhythm and feeding behaviour of sheep fitted with a lightweight GPS collar. *Appl Anim Behav Sci.* 1998;60:359–64.
19. Rutter SM, Beresford SA, Roberts G. Use of GPS to identify the grazing areas of hill sheep. *Comput Electron Agric.* 1997;17:177–88.
20. Aparicio MA. Aplicación de las nuevas tecnologías a la montanera del cerdo ibérico. Conferencia de ingreso en la Real Academia de Ciencias Veterinarias de España. Madrid (ES): Real Academia de Ciencias Veterinarias de España. 2005. p. 70.
21. Bailey DW, Keil MR, Rittenhouse LR. Research observation: daily movement patterns of hill climbing and bottom dwelling cows. *J Range Manage.* 2004;57:20–8. doi: 10.2307/4003950.

22. Bailey DW, van Wagoner HC, Weinmeister R. Individual animal selection has the potential to improve uniformity of grazing on foothill rangeland. *Rangeland Ecol Manag.* 2006;59:351–8. doi: 10.2111/04-165R2.1.
23. Barbari M, Conti L, Koostra BK, Masi G, Sorbetti F, Workman SR. The use of global positioning and geographical information systems in the management of extensive cattle grazing. *Biosystems Engineering.* 2006;95(2):271–80. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2006.06.012.
24. Brosh A, Henkin Z, Ungar ED, Dolev A, Orlov A, Yehuda Y, et al. Energy cost of cows grazing activity: use of the heart rate method and the Global Positioning System for direct field estimation. *J Anim Sci.* 2006;84:1951–67. doi: 10.2527/jas.2005-315.
25. Brosh A, Henkin Z, Ungar ED, Dolev A, Shabtay A, Orlov A, et al. Energy cost of activities and locomotion of grazing cows: a repeated study in larger plots. *J Anim Sci.* 2010;88:315–23. doi: 10.2527/jas.2009-2108.
26. Fehmi JS, Laca EA. A note on using a laser-based technique for recording of behaviour and location of free-ranging animals. *Appl Anim Behav Sci.* 2001;71:335–9.
27. Ganskopp D. Manipulating cattle distribution with salt and water in large arid-land pastures: a GPS/GIS assessment. *Appl Anim Behav Sci.* 2001;73:251–62.
28. Ganskopp D, Cruz R, Johnson DE. Least-effort pathways? A GIS analysis of livestock trails in rugged terrain. *Appl Anim Behav Sci.* 2000;68:179–90.
29. Henkin Z, Ungar ED, Dolev A. Foraging behaviour of beef cattle in the hilly terrain of a Mediterranean grassland. *Rangeland J.* 2012;34:163–72. doi: 10.2527/jas2013-6996.
30. Hunt LP, Petty S, Cowley R, Fisher A, Ash AJ, MacDonald N. Factors affecting the management of cattle grazing distribution in Northern Australia: Preliminary observations on the effect of paddock size and water points 1. *The Rangeland Journal.* 2007;29:169–79. doi: 10.1071/RJ07029.
31. Putfarken D, Dengler J, Lehmann S, Härdtle W. Site use of grazing cattle and sheep in a large-scale pasture landscape: A GPS/GIS assessment. *App Anim Behav Sci.* 2008;111:54–67. doi: 10.1016/j.applanim.2007.05.012.
32. Schlecht E, Hülsebuch CH, Mahler F, Becker K. The use of differentially corrected Global Positioning System to monitor activities of cattle at pastures. *Applied Animal Behaviour Science.* 2004;85:185–202. doi: 10.1016/j.applanim.2003.11.003.
33. Sickel H, Ihse M, Norderhaug A, Sickel M. How to monitor semi-natural key habitats in relation to grazing preferences of cattle in mountain summer farming areas. An aerial photo and GPS method study. *Landsc Urban Plan.* 2004;67:67–77. doi: 10.1016/S0169-2046(03)00029-X.
34. Turner LW, Udal MC, Larson BT, Shearer SA. Monitoring cattle behaviour and pasture use with GPS and GIS. *Can J Anim Sci.* 2000;80:405–13.
35. Ungar ED, Henkin Z, Gutman M, Dolev A, Genizi A, Ganskopp D. Interference of animal activity from GPS collar data on free-ranging cattle. *Rangeland Ecol Manag.* 2005;58:256–66.
36. Nyamurekung'e S, Cibils A, Estell R, Gonzalez A, Roacho-Estrada O, Rodriguez-almeida FA. Movement and spatial proximity patterns of rangeland-raised raramuri criollo cow-calf pairs. *J Anim Sci.* 2016;94:5–39. doi: 10.2527/jam2016-0089.

37. Ghribi B y Logrippo L. Understanding GPRS: The GSM Packet Radio Service. *Computer Networks*. 2000;34:763–79.
38. Gaudioso VR, Sánchez JM, Boissou MF. Influence de la réduction d'espace sur le comportement agonistique des taureaux. *Biol Behav*. 1987;12:239–44.
39. Liu T, Green AR, Rodríguez LF, Ramirez BC, Shike DW. Effects of number of animals monitored on representations of cattle group movement characteristics and spatial occupancy. *Plos One*. 2015;10(2):113–7. doi: 10.1371/journal.pone.0113117.
40. Ganskopp D, Bohnert D. Do pasture-scale nutritional patterns affect cattle distribution on rangelands? *Rangeland ecology & management*. 2006;59(2):189–96. doi.org/10.2111/04-152R1.1.
41. Ganskopp D, Johnson D. GPS error in studies addressing animal movements and activities. *Rangeland ecology & management*. 2007;60(4):350–58. doi.org/10.2111/1551-5028(2007)60[350:GEISAA]2.0.CO;2.
42. Woodside GJ. Rocky mountain elk (*Cervus elaphus* nelson) behavior and movement in relation to lunar phases. [Corvallis, Oregon (US)]: Oregon State University; 2010.
43. Harris NR, Johnson DE, George MR, Mcdougald NK. The effect of topography, vegetation, and weather on cattle distribution at the San Joaquin experimental range, California. *USDA Forest Service Gen Tech Rep*. 2002;184:53–63.
44. IBM Corp. *IBM SPSS Statistics for Windows*. 21.0. Armonk, NY. 2012.
45. Frost AR, Schofield CP, Beulah SA, Mottram TT, Lines JA, Wathes CM. A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. *Comput Electron Agric*. 1997;17:139–59.
46. Gaillard JM, Hebblewhite M, Loison A, Fuller M, Powell R, Basille M, et al. Habitat-performance relationships: finding the right metric at a given spatial scale. *Phil Trans R Soc B*. 2010;365:2255–65. doi: 10.1098/rstb.2010.0085.
47. Schlecht E, Hiernaux P, Kadaoure I, Hulsebusch C, Mahler F. A spatio-temporal analysis of forage availability and grazing and excretion behaviour of herded and free grazing cattle, sheep and goats in Western Niger. *Agric Ecosyst Environ*. 2006;226–42. doi: 10.1016/j.agee.2005.09.008.
48. Mohr CO. Table of equivalent populations of North American small mammals. *American Midland Naturalist*. 1947;37:223–49.
49. Barbari M. Planning individual showering systems for pregnant sows in dynamic group [PPT]. *Livestock environment VII – Proceedings of the seventh international symposium*. Beijing (CN). 2005. p. 130–7.
50. Purroy UA. Desarrollo integral del ganado de lidia. En: Buxadé CC, editor. *Producciones equinas y de ganado de lidia*. *Zootecnia: bases de producción animal*; Madrid (ES): Mundi-Prensa, 1996. p. 333–43.
51. De Miguel JM, Rodríguez MA, Gómez Sal A. Selección de hábitat y distribución territorial de un grupo de vacas en ambiente de dehesa. En: Bellot J, editor. *Jornadas sobre las bases ecológicas para la gestión en ecosistemas terrestres*. Zaragoza (ES): CIHEAM; 1989. p. 299–303. (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens n. 3.
52. Bailey DW. Identification and creation of optimum habitat conditions for livestock. *Rangeland Ecol Manag*. 2005;58:109–18. doi: 10.2111/03-147.1.
53. Purroy UA. Comportamiento del toro de lidia: en el campo, en el ruedo. Pamplona, Navarra (ES): Universidad Pública de Navarra; 2003.

54. Reppert JN. Forage preference and grazing habits of cattle at the Eastern Colorado range station. *J Range Manage.* 1960;13:58–65.
55. Sneva FA. Behavior of yearling cattle on Eastern Oregon range. *J Range Manage.* 1970;23:155–8.
56. Senft RL, Rittenhouse LR, Woodmansee RG. Factors influencing selection of resting sites by cattle on the shortgrass steppe. *J Range Manage.* 1985;38:295–9.
57. Wilson MA. Distribution and behavior of cattle grazing riparian pastures. [Corvallis, Oregon (US)]: Oregon State University; 2011.
58. Dolev A, Henkin Z, Brosh A, Yehuda Y, Ungar ED, Shabtay A et al. Foraging behavior of two cattle breeds, a whole-year study: II. Spatial distribution by breed and season. *J Anim Sci.* 2014;92:758–66. doi: 10.2527/jas.2013-6996.
59. Findlay JD. The effects of temperature, humidity, air movement and solar radiation on the behaviour and physiology of cattle and other farm animals: a review of existing knowledge. Glasgow (UK): Hannah Dairy Research Institute; 1950.
60. Houpt KA. Domestic animal behaviour for veterinarians and animal scientist. 5th ed. Iowa (US): Wiley-Blackwell; 2011.
61. Cory VL. Activities of livestock on the range. *Tex. Agr. Exp. Sta. Bul.* 1927;367:44–92.
62. Aparicio TMA, Vargas GJ, Atkinson A. Las nuevas tecnologías y la montanera del cerdo ibérico. *Mundo Ganadero.* 2006;186:42–8.

Monitorización del ganado lidia con tecnología GPS-GPRS; estudio del comportamiento en pastoreo y la distribución espacial

Juan Manuel Lomillos Pérez^{1*}

 0000-0003-1114-4395

Marta Elena Alonso de la Varga²

 0000-0002-3810-0176

Juan José García³

Vicente Ramiro Gaudioso Lacasa²

¹ Departamento de Producción y Sanidad Animal, Salud Pública Veterinaria y Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Facultad de Veterinaria. Universidad Cardenal Herrera-CEU, CEU Universities (Spain).

² Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de León (Spain).

³ Línea de Investigación en Rumiantes. Instituto Tecnológico Agrario. Junta de Castilla y León. Consejería de Agricultura y Ganadería (Spain).

***Corresponding author:**
Email address:
jmlomillos@hotmail.com

Recibido: 2016-09-01

Aceptado: 2017-09-18

Publicado: 2017-10-10

Información y declaraciones adicionales en la página 14

 Derechos de autor:

Juan Manuel Lomillos Pérez *et al.* 2017

acceso abierto 



Distribuido bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC-BY 4.0)

Resumen

En los últimos años, el comportamiento del ganado vacuno en pastoreo ha sido poco estudiado, en comparación con el comportamiento en granja. Además, en determinadas razas criadas en sistemas extensivos, la presencia humana puede modificar o interrumpir sus pautas etológicas: los animales se alejan de quien los observa. El uso de la tecnología GPS-GPRS en la monitorización de bovinos explotados en régimen extensivo nos permite disponer de datos de interés en tiempo real; proporciona información sobre desplazamientos, distancias recorridas, territorio pastoreado, zonas más frecuentadas, pautas de comportamiento, etc. En esta investigación, se monitorizaron, mediante la implantación de collares GPS, 21 vacas de diferentes edades, de tres ganaderías de la provincia de Salamanca pertenecientes a la raza bovina lidia. El estudio se llevó a cabo durante ocho meses, distribuimos a los animales en cercados de diferentes dimensiones y características orográficas, y recogimos datos de su posición geográfica cada 15 minutos. Además de corroborar el buen funcionamiento de los dispositivos GPS, se estableció el área de campeo para cada animal: la media fue de 56 ha. Elaboramos un gráfico de su ritmo circadiano con las distancias recorridas por horas, donde se observa una tendencia a iniciar la actividad diaria unas horas antes del amanecer, atenuar su actividad al anochecer y durante la noche, así como mantener una fase de reposo nocturno de aproximadamente siete horas. También analizamos la distancia diaria recorrida (3.15 km media/animal), donde encontramos diferencias sustanciales en función de la edad, la superficie/animal disponible en el cercado, el día y la noche, y la época del año. Nuestros resultados son valiosos para un mejor manejo de las superficies pastables con cercados en los que los animales utilicen toda la superficie disponible.

Palabras clave: GPS, GPRS, distribución espacial, pastoreo, sistemas extensivos, percepción remota, telemetría, ámbito hogareño.

Cómo citar este artículo:

Lomillos Pérez JM, Alonso de la Varga ME, García JJ, Gaudioso Lacasa VR. Monitoring lidia cattle with GPS-GPRS technology; a study on grazing behaviour and spatial distribution. *Veterinaria México OA*. 2017;4(4). doi:10.21753/vmoa.4.4.405.

Introducción

Existen indicios consistentes de que los animales no aprovechan los recursos forrajeros disponibles en su área de manera uniforme, por ello, uno de los objetivos de la investigación en el pastoreo es comprender los factores que influyen en los movimientos animales, y por tanto, su distribución sobre el territorio.¹⁻³ La información sobre la distribución espacial, selección de hábitat y localizaciones preferentes del ganado abre una nueva vía mediante la cual las poblaciones de animales, tanto domésticos como silvestres, podrán ser gestionadas con objetivos conservacionistas o productivos.

El uso del sistema GPS (*Global Position System*) para estudiar la posición de los animales es una técnica común en estudios de hábitats de animales salvajes, como ciervos, osos y lobos.⁴⁻¹⁰ Asimismo, se ha empleado para la localización y seguimiento de animales marinos,¹¹⁻¹⁴ para el estudio del comportamiento de palomas mensajeras y perros,¹⁵ incluso se ha utilizado para controlar la posición y velocidad de los caballos durante las carreras o el entrenamiento, con posibilidad de almacenamiento de datos fisiológicos como la frecuencia cardíaca.¹⁶ Sin embargo, la aplicación del GPS con el objetivo de determinar mejores prácticas de gestión relacionadas con la ganadería extensiva es relativamente reciente. En los últimos 15 años esta tecnología se ha usado para el estudio de diferentes variables de comportamiento y seguimiento de animales domésticos: ovejas,¹⁷⁻¹⁹ cerdos ibéricos²⁰ y ganado bovino.²¹⁻³⁶

La tecnología GPRS (*General Packet Radio Service*) es utilizada en telefonía móvil y permite la transmisión y recepción de datos desde una terminal por medio de paquetes. Las tradicionales redes GSM (*Global System for Mobile Communications*) no se adaptan adecuadamente a las necesidades de envío de datos con terminales móviles, por ello surge una nueva tecnología portadora denominada GPRS que unifica el mundo IP (*Internet Protocol*) con el mundo de la telefonía móvil, creándose toda una red paralela a la red GSM y orientada exclusivamente a la transmisión de datos usando la red de telefonía por vía satélite.³⁷ Esta tecnología hoy está siendo sustituida por los sistemas 3G y 4G, pero en el mundo ganadero es muy útil, ya que las explotaciones se sitúan generalmente en zonas donde no existe cobertura de tercera y cuarta generación.

Mediante el presente trabajo pretendemos aplicar la tecnología GPS-GPRS a la monitorización del vacuno extensivo persiguiendo dos objetivos principales: primero validar una metodología que permita obtener datos de posición de los animales y su acceso remoto vía internet con ganado vacuno extensivo, en segundo lugar, analizar la información de posiciones de los animales para profundizar en el conocimiento del comportamiento del ganado en pastoreo, abarcando distintos aspectos como los ritmos circadianos de locomoción y el uso del territorio.

Comprobaremos la influencia de factores tales como la superficie disponible por animal, las condiciones climáticas y la edad de los animales, sobre los parámetros de comportamiento en pastoreo mencionados anteriormente. Comprobaremos la hipótesis de que cuando los animales tienen mayor superficie disponible, el porcentaje de superficie utilizada es menor que cuando la superficie se reduce y de que las condiciones climatológicas influyen en los ritmos circadianos de pastoreo en función de la temperatura y la disponibilidad de pasto.



Figura 1. Vaca con dispositivo ya instalado.



Figura 2. Detalle del collar GPS-GPRS.

Material y métodos

Dispositivos GPS-GPRS y Plataforma Web de recogida de datos

La empresa AMENA y la Universidad de Extremadura para ganado porcino desarrollaron el modelo de dispositivo GPS utilizado.²⁰ Fue necesario modificar el collar adaptado al cuello del ganado vacuno, de manera que fuera portado por el animal sin molestias (Figuras 1 y 2). El sistema comprende: un receptor GPS, que permite determinar la posición del animal con la frecuencia que se considere oportuna, y una precisión calculada por el fabricante de entre 1 y 3 metros, un sistema de alimentación propio (baterías recargables), y se comunica mediante GPRS con una central de comunicaciones a la que envía archivos de información de posición en tiempo real. El dispositivo permite la teleprogramación del intervalo de tiempo durante el cual registra la posición geográfica. La plataforma de internet M2M de ORANGE nos permitió el acceso de manera remota a los datos de posición geográfica de aquellos animales equipados con el dispositivo de transmisión mediante un sencillo acceso web. En la página web de ORANGE, se almacenó y reflejó la información obtenida mediante el GPS, que a su vez la enviaba al receptor del satélite. El conjunto de posiciones puede verse como puntos sobre una foto de satélite de

la finca escogida, y exportarse a una hoja de Excel; las posiciones se expresan en coordenadas geográficas (longitud y latitud). También se dispone de información sobre el nivel de carga de las baterías de los dispositivos.

La combinación de tecnología GPS-GPRS permite la transmisión de la información recibida por el receptor GPS, bien en momentos previamente programados, o bien de forma continua, de modo que se puede tener información completa en tiempo real del animal objeto de la monitorización. En nuestro caso, decidimos optar por una frecuencia de envío al satélite de doce horas para prolongar la duración de las baterías. Durante el estudio se detectaron algunos problemas con la frecuencia de emisión de los datos y la duración de las baterías en el caso de uno de los animales, esta información fue descartada para el análisis de datos.

- *Medio físico.* Las fincas estudiadas se localizan en la provincia de Salamanca, en el sudoeste de la comunidad autónoma de Castilla y León, España. Con una altitud media de 823 m, con clima mediterráneo continentalizado y destacada influencia atlántica. Se caracteriza por inviernos fríos y semihúmedos, y veranos calurosos y secos. Las explotaciones elegidas para el estudio se enmarcan en el ecosistema natural denominado “dehesa”, un terreno llano o ligeramente ondulado, con vegetación compuesta por especies arbóreas del género *Quercus* spp. (encina, alcornoque) y pastos, en el que abundan las charcas y los pequeños arroyos.

- *Animales.* Dentro del ganado vacuno extensivo elegimos la raza de lidia, como representante de la cría en libertad, ya que sus peculiaridades etológicas dificultan su manejo y el estudio de su comportamiento,³⁸ por ello, es de especial valía la información obtenida. Se distribuyeron tres individuos por cercado, todos hembras, de las cuales, tres eran animales jóvenes (2 años), seis animales de media edad (3 a 7 años) y nueve de edad avanzada (8 a 16 años), todos pertenecientes a tres ganaderías diferentes de Salamanca, España. Se eligieron animales adultos dominantes dentro de cada grupo, guiados por el criterio del ganadero, de forma que sus movimientos representaran a todo el rebaño.³⁹ Los collares se colocaron coincidiendo con labores de manejo que requerían del paso por la manga de contención de los animales, de modo que su manipulación para este trabajo no supusiera un estrés adicional. Se monitorizaron en total 21 animales: tres en el primer protocolo y 18 en el segundo:

- *Protocolo 1.* Inicialmente se desarrolló un primer protocolo de trabajo (Cuadro 1), durante los meses de verano, con el fin de comprobar el adecuado funcionamiento del dispositivo GPS y de la plataforma de ORANGE para la obtención de los datos de posición, distancias recorridas y geolocalización sobre la fotografía satélite. Por otra parte se pretendía también, observar la funcionalidad y resistencia del collar diseñado, la duración de las baterías, el comportamiento del animal ante el artilugio extraño, y constatar que no altera su etología y no le causa ninguna molestia o daño físico. Para ello se escogieron tres animales jóvenes, de dos años, asumiendo que serían los más vulnerables de todo el estudio, ya que podrían aquejarse del peso del dispositivo GPS (un kilogramo aproximadamente), lo que se traduce en un 0.7 % del peso corporal del animal. A estos animales se les instaló el collar GPS durante dos meses, con una frecuencia de toma de posición de

Cuadro 1. Características del medio físico y de los animales estudiados.

Cercado	Superficie (ha)	Características	Nº animales monitorizados	Nº animales en total	Carga ganadera (animales/ha)	Edad animales	Periodo
1	10.5	Completamente llano y desprovisto de arbolado	3	13	1.2	2 - 2 -2	PF
2	26	Llano con arbolado de encinas poco denso	3	36	1.4	5 - 10 -13	PC
3	35	Mínima pendiente con un riachuelo y buena cubierta arbórea	3	45	1.3	4 - 9 -15	PF
4	55	Pequeñas pendientes y arbolado	3	30	0.5	3 - 7 - 16	PC
5	192	Mayor pendiente, posee una charca artificial	3	60	0.3	5 - 10 - 14	PF
6	200	Pendiente variable y varios puntos de agua	3	55	0.3	4 - 12 - 13	PC

15 minutos. Durante este periodo, se visualizó diario, a distancia con prismáticos, a los animales para comparar el comportamiento de los animales monitorizados con el de los animales sin collar GPS (**Cuadro 1**).

- **Protocolo 2.** El segundo protocolo constó, a su vez, de dos periodos de trabajo: el primero durante los meses de abril, mayo, junio y julio, que denominamos periodo cálido (PC) y el segundo durante los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero, que denominamos periodo frío (PF).
- **Procesamiento de datos y tratamiento estadístico.** Con el conjunto de posiciones expresadas en coordenadas geográficas (longitud y latitud), recopiladas en una hoja de Excel, se calculan las áreas de campeo, con la aplicación del programa ArcMap® para movimientos animales: Hawth's tool. A su vez, los datos se cargan en una hoja georreferenciada con el programa ArcMap®, utilizando ortofotos de las fincas de estudio, así se obtienen imágenes de la dispersión geográfica del animal y sus trayectos. Se calculan las distancias entre cada punto de posición tomado con una frecuencia de 15 minutos (**Figura 3**). Esta frecuencia se decidió teniendo en cuenta las metodologías utilizadas en los trabajos publicados.⁴⁰⁻⁴²

La distancia recorrida, por sí sola, no es un buen indicador de la actividad animal, pero se puede obtener información precisa sobre el pastoreo, los desplazamientos y el descanso del ganado con los datos proporcionados por los dispositivos GPS.³⁵ La distancia recorrida debe ser próxima a cero para un animal que está descansando, y alta para un animal que cambia de ubicación.³² Por lo tanto, para interpretar nuestros resultados nos basamos en estudios previos,^{43,32} donde se relacionan las distancias y las velocidades con los comportamientos observados en pastoreo, el desplazamiento y el descanso. En nuestro caso, no obtuvimos datos de velocidad instantánea por tanto no podemos diferenciar entre pastoreo y desplazamiento propiamente dicho de modo fehaciente pero si podemos deducir el patrón de movimiento en función del desplazamiento total por horas. Por otro lado, debemos de tener en cuenta que

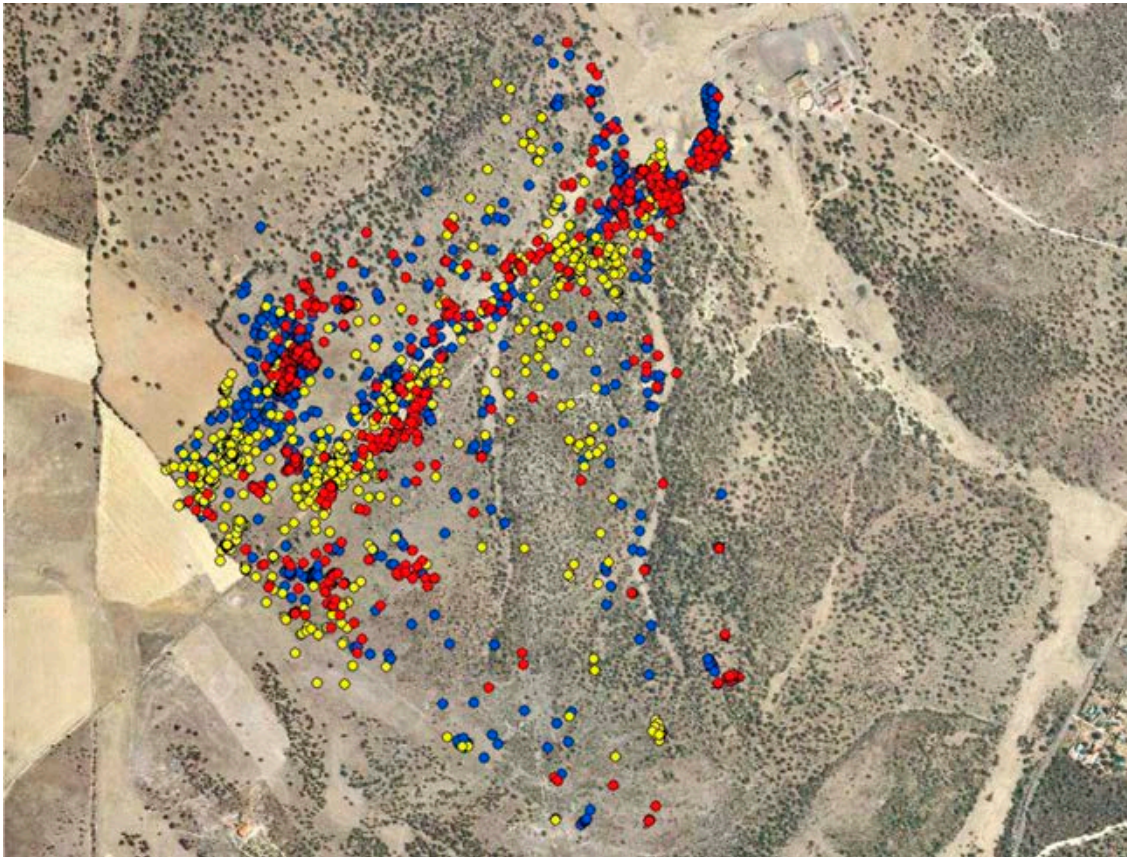


Figura 3. Imagen del cercado 5 con las posiciones de los tres animales monitorizados. Rojo, amarillo y azul.

se asume un error a la baja de las distancias recorridas y la actividad detectada, pues en nuestro protocolo al igual que en la mayoría de los trabajos citados, empleamos frecuencias de 15 minutos, y asumimos desplazamientos en línea recta entre dos ubicaciones consecutivas.

Para analizar la influencia de la luz sobre la actividad de los animales se han usado la información proporcionada por la plataforma (Tutiempo Network, SL) sobre las horas de luz y oscuridad a lo largo del estudio en Salamanca.

Para llevar a cabo todo el estudio estadístico, se ha utilizado el programa SPSS V.20 (IBM Corp. Released, 2012)⁴⁴ para Windows, incluyendo análisis de varianza de una vía (ANOVA) y matrices de correlación lineal con distintas variables independientes y dependientes, así como el análisis *post-hoc* utilizando el test de Newman-Keuls.

Resultados y discusión

Los tres dispositivos GPS colocados en eralas (hembras de dos años), para el protocolo 1, la comprobación del buen funcionamiento del sistema y la validación de la metodología tuvieron un funcionamiento correcto. Nuestros resultados están de acuerdo con varios autores que usaron un sistema de collar GPS similar al nuestro, y se comprobó que el dispositivo no afecta al comportamiento normal de la especie o ni a su relación con otros individuos, si se considera que los animales se

Cuadro 2. Áreas de campeo obtenidas para cada animal y porcentaje de territorio ocupado.

Cercado	Animal 1 (ha)	Uso del territorio (%)	Animal 2 (ha)	Uso del territorio (%)	Animal 3 (ha)	Uso del territorio (%)	Media uso del territorio (ha - %)
1	10.26	97.71	9.31	88.67	9.81	93.43	9.79 93.27
2	24.92	95.85	24.33	93.58	25.28	97.23	24.84 95.55
3	32.19	97.55	24.62	74.61	29.52	89.45	28.77 87.20
4	44.86	81.56	40.22	73.13	41.87	76.13	42.32 76.94
5	108.69	56.61	118.06	61.49	116.66	60.76	114.47 59.62
6	111.22	55.61	128.91	64.46	107.81	53.91	115.98 57.99

comportaban como el resto de la manada después de que se les equipó con los collares. Los investigadores, los propietarios y los trabajadores de la granja hicieron esta apreciación mediante observación directa.^{18,27,45,46,47}

Uso del territorio

Con el conjunto de los datos de posición obtenidos en el periodo de monitorización de cada animal, hemos calculado el área de campeo, es decir el mínimo polígono convexo⁴⁸ para cada animal (**Cuadro 2**); y como un sustituto del uso del hábitat, estimamos el uso del espacio disponible mediante el mínimo polígono convexo. Las áreas de campeo resultantes son variadas y dependen de la extensión del vallado en que se encuentra el animal, siendo la media de 56 hectáreas. Los animales cubrieron el 95 % del espacio de los cercados más pequeños, mientras que las áreas de campeo de los animales que pastaban en los cercados en torno a 30 ha, usaron aproximadamente el 81 % del espacio disponible. Por su parte, en el cercado más grande (número 6) con 200 ha, observamos una utilización entorno al 60 %, por los tres dispositivos, lo que refleja que el uso del territorio depende del área disponible.

Así, nuestros resultados están en consonancia con los obtenidos por Ganskopp,²⁷ en un estudio del movimiento de vacas hereford y angus, que utilizaron collares GPS en un cercado de 825 ha, los animales campearon 325 ha (39.4 %). Barbary también monitoriza a 36 vacas angus, donde el espacio utilizado fue del 70.8 % en pequeños cercados con pasto de 2 a 3 hectáreas.⁴⁹ El área de campeo hallada es de 2.4 ha, lo que a pesar de las diferencias entre estudios en cuanto a la superficie disponible y la raza, refuerza nuestros resultados de menor utilización del territorio cuanto mayor es el mismo.

Basándonos en los resultados obtenidos, podríamos pensar que el espacio disponible es mayor que el requerido por el animal para cubrir sus necesidades vitales en el caso de los cercados 5 y 6 (solo 60 % del cercado). En las tres ganaderías, hay que tener en cuenta la suplementación con forraje y pienso, hecho que puede influir en la disminución de los tiempos y espacios dedicados al pastoreo al verse saciado su apetito. Si el animal dispone de un estrato herbáceo nulo y se alimenta con pienso y forraje, que se le administra en un punto determinado de la finca, sus movimientos en busca de alimento se concentrarán en ese entorno.⁵⁰ Así, cuando existe buena disponibilidad de pasto, la dispersión de los animales

es mayor que en aquellos momentos en los que se necesita suministrar forraje, formándose pequeños grupos.⁵¹

En cercados que ocupan grandes extensiones de terreno se suele producir un pastoreo desigual, puesto que los animales frecuentan mayoritariamente las zonas más cómodas y apetecibles, hecho que puede reducir la capacidad de carga de los pastizales y la eficiencia de la producción ganadera.²² En los cercados más grandes de nuestro trabajo (4, 5 y 6) efectivamente hemos detectado zonas donde nuestros animales monitorizados apenas pastan, aunque el seguimiento de tan solo tres animales nos impide determinar con seguridad qué zonas en concreto son infrutilizadas por la totalidad del rebaño. Algunos autores afirman que algunas prácticas de manejo, tales como la suplementación estratégica en determinadas zonas de la finca, pueden modificar los patrones de comportamiento de los animales para conseguir un uso más eficiente del hábitat disponible y así corregir los desequilibrios, en cuanto al pastoreo, del total de la finca.⁵²

La actividad de pastoreo se ve disminuida cuando las fincas albergan muchos más animales de los que el territorio puede mantener,⁵³ es el caso de los cercados de menores dimensiones y mayor carga ganadera: 1, 2 y 3. En este caso, las áreas de campeo resultantes de los animales monitorizados son similares a las dimensiones de los cercados.

Otro factor que podría influir en el uso del terreno es la edad de los animales, sin embargo, analizando las áreas de campeo en función de la edad, no encontramos diferencias significativas entre grupos, de manera que para los animales jóvenes fue de 68.78 ha (de dos años), 56.21 ha para los de media edad (de tres a siete años), y 70.67 ha para los de edad avanzada (de ocho a dieciséis años).

Biorritmos de locomoción

Con el fin de conocer las pautas habituales de locomoción a lo largo del día y, por tanto, de actividad (ritmo circadiano), se estudiaron las distancias medias recorridas por hora considerando, conjuntamente, la movilidad de todos los animales (Figura 4). A partir de las 04:00 horas de la noche los animales comienzan su actividad, desarrollan su máxima actividad de 5:00 a 9:00 h, donde los animales recorren en torno a 300 m cada hora. A continuación desciende la intensidad de los desplazamientos en un periodo de actividad intermedia de 10:00 a 15:00 h (100 m por hora aproximadamente) y un segundo periodo de actividad, de 16:00 a 19:00 h, terminando con una fase de mínima actividad locomotora, de 20:00 a 3:00 h (con trayectos medios de 50 m aproximadamente), periodo que suponemos de descanso. Las horas con mayor actividad son las 6:00 h y las 7:00 h que coincide con el amanecer. Por lo tanto, de forma global, se pueden deducir que existen dos periodos de pastoreo: de 5:00 a 9:00 h y de 16:00 a 19:00 h (Figura 4).

El análisis nos da una idea de los momentos de actividad y de descanso diarios. En nuestro estudio vemos que existe una tendencia común de biorritmo circadiano, manteniendo un periodo de reposo de siete horas, que va desde las 20:00 a las 3:00 h, en este intervalo recorren menos de cien metros por hora, resultados en la línea de anteriores observaciones de ganado bovino realizadas por Reppert⁵⁴, Sneva,⁵⁵ Senft et al.⁵⁶ y Brosh et al.²⁵ El resto del día recorren de 100 a 600 m dependiendo de la hora, con un pico de actividad, de cuatro horas de duración,

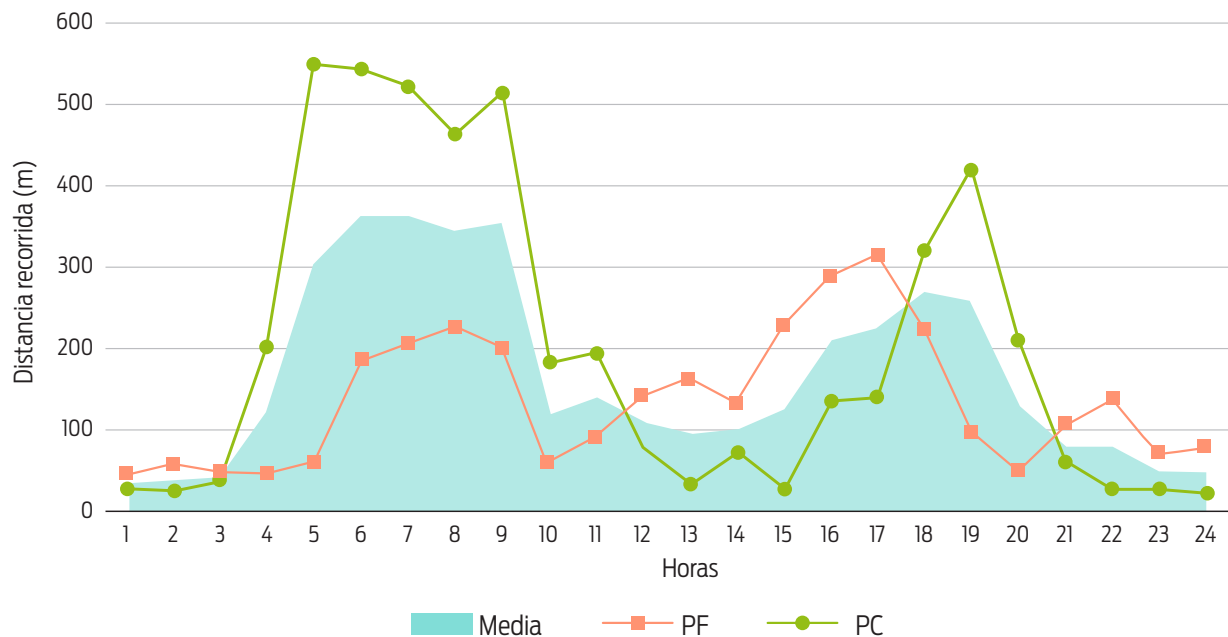


Figura 4. Media de las distancias recorridas durante cada hora por el conjunto de los animales (y = metros, x = horas).

comenzando a las 5:00 h y terminando a las 9:00 h de la mañana, que coincide aproximadamente con el periodo de máxima actividad encontrado por Wilson⁵⁷.

Ganskopp²⁷ observa un tiempo dedicado al descanso de unas 10 h/día y un tiempo dedicado al pastoreo de 11 h/día, aunque dicho autor no precisa un rango de horas determinado. Nuestros resultados coinciden con Purroy,⁵³ quien menciona un tiempo empleado en la ingestión de alimento de entre cinco y diez horas diarias y el resto del tiempo, unas diez horas diarias, dedicado a descansar. Resultados semejantes obtiene Schlecht et al.⁴⁷ quienes describen un periodo de pastoreo de 7.6 a 10.4 horas para rumiantes en extensivo.

Atendiendo a la agrupación de animales realizada en función de la época del año analizada (PF y PC), observamos un esquema circadiano muy parecido, con dos momentos de actividad diaria claramente descritos, con una diferencia en el encuadre horario de estos momentos, que se retrasan en el periodo frío, respecto a los observados en el periodo cálido, con un desfase de aproximadamente dos horas (Figura 4). Además, son los animales monitorizados durante el periodo cálido los que más distancia recorren en su periodo de máxima actividad.

Teniendo en cuenta la época del año, los animales monitorizados describen un ritmo circadiano de actividad muy semejante al publicado por Dolev et al.⁵⁸ en una investigación donde compara el biorritmo de dos razas bovinas que pastorean en diferentes cercados durante las cuatro estaciones del año. Bailey et al.²¹ por su parte, apuntan que la mayoría de los movimientos animales se producen en las primeras horas de la mañana, coinciden con el alba, por lo general entre las 6:30 h y las 8:30 h, de los meses de agosto y septiembre, lo que concuerda con el ritmo circadiano descrito por los animales monitorizados en el periodo cálido (PC). En el estudio de Bailey et al.²², a partir de las 19:00 h los animales se desplazan hacia la zona de descanso durante el ocaso hasta la mañana siguiente, lo cual también encajaría con nuestros resultados, pero una hora más tarde (20:00 h). Igual-

mente coincidimos con los resultados de Schletch et al.,⁴⁷ quienes describen dos momentos de pastoreo que comenzarían de 7:00 a 9:00 h y finalizarían de 16:00 a 19:00 h horas para el 88 % de sus animales monitorizados.

A pesar de que la mayor parte de los individuos monitorizados describen un biorritmo similar, se observa una clara influencia de las horas de luz y oscuridad en el horario de los animales, influencia que actúa sobre el momento de inicio de su actividad, más temprana en los meses cálidos y, aproximadamente dos horas más tardía en los meses más fríos.^{34,59}

De forma general, podemos considerar la existencia de dos grandes momentos de pastoreo, uno al amanecer y otro durante la tarde, hasta el anochecer.⁶⁰ Media mañana y noche son tiempos de reposo.^{57,60} En nuestro caso, observamos una tendencia del comienzo de la actividad antes del amanecer (6:00 h durante el PF y 4:00 h durante el PC), un pequeño receso en la actividad a medio día (de 10:00 a 14:00 h durante el PF y de 12:00 a 15:00 h durante el PC) para concluir la actividad diaria al anochecer (19:00 h en el PF y 21:00 h en el PC).

Paralelamente al estudio de la actividad diaria de los animales, hemos analizado las zonas que frecuentan en los momentos diferenciados de pastoreo o descanso mediante una observación pormenorizada de las imágenes de posición sobre las ortofotos de la finca. Fruto de este análisis observamos cómo los animales ocuparon tres diferentes zonas de cada cercado, donde permanecieron diariamente con desplazamientos menores a 100 m durante al menos una hora en tres diferentes momentos de uso: alimentación, bebida y descanso. Este hecho se ha descrito de forma más clara en los cercados 5 y 6 (los de mayor extensión), donde se ha constatado que la zona de alimentación es frecuentada durante el momento de máxima actividad (de 5:00 a 9:00 h), mientras que la zona de la charca corresponde al segundo periodo de actividad (de 16:00 a 19:00 h). Finalmente, los animales permanecen mayoritariamente en el área de descanso a lo largo de la noche (de 20:00 a 3:00 h).

Respecto a los momentos de cuando beben y su duración, observamos que los animales en los cercados 4, 5 y 6 se posicionan entorno al punto de agua, pero no podemos establecer su duración. En el resto de cercados no se pudo distinguir claramente estas zonas de uso en cada momento de actividad. Gracias al análisis pormenorizado de las imágenes de posición geográfica en los cercados 3 y 4 comprobamos que los tres animales, de forma independiente, frecuentan una zona del terreno, pero no suelen repetir su lugar de descanso diario, al contrario de lo que acontece en los cercados 5 y 6, donde los animales monitorizados sí repitieron su lugar de descanso durante el periodo de estudio.

De acuerdo con Sickel et al.³³ las preferencias de pastoreo del ganado están relacionadas con la localización y concentración de las diferentes especies herbáceas del área de pastoreo, pero otros factores como la existencia de charcas o bebederos, puntos de administración de sal y complementación alimentaria también tienen influencia.^{27,51}

En nuestro caso, observamos diferentes áreas de uso preferente en los cercados estudiados, más definidas en los cercados 5 y 6, justificado por una mayor extensión de terreno, sin embargo, en los cercados de menor superficie (1, 2, 3 y 4) ha sido imposible diferenciar este tipo de comportamiento debido, posiblemente, a que la escasez de espacio hace que no todo el rebaño frecuentara un área al mismo tiempo, pues este tipo de ganado mantiene un orden jerárquico en

Cuadro 3. Distancias medias recorridas por los animales de cada cercado estudiado. Media (m) \pm desviación estándar.

Cercado	1	2	3	4	5	6	Media
Distancia/animal/ día (m)	1 829 ^a \pm 329	2 191 ^b \pm 501	3 209 ^b \pm 551	3 312 ^b \pm 419	4 031 ^c \pm 720	4 310 ^c \pm 912	3 147 \pm 617
n	3	3	3	3	3	3	18

* Diferentes letras indican diferencias significativas ($F_{(5,12)} = 15.04$, $p = 0.0036$).

el rebaño y los que ocupan los primeros puestos son los que primero acceden al alimento o agua.³⁸

La disponibilidad de agua en forma de pequeños riachuelos por varios puntos de los cercados 1, 2 y 3 ha influido en el comportamiento de bebida de los animales, que beben pequeñas dosis de agua en ellos durante el pastoreo y únicamente se desplazan hasta las grandes charcas dos veces por día como término medio, generalmente tras el momento de ingestión de concentrado (primera hora de la mañana) cuando es mayor su necesidad de hidratación, si bien esta frecuencia podría variar dependiendo de la climatología.^{47,61}

Distancias diarias recorridas

En cuanto a las distancias diarias recorridas por los animales (Cuadro 3) hemos obtenido una media de 3 147 m, con un mínimo de 1 829 m y un máximo de 4 310 m. Las distancias de los animales que pastorean en la finca de menor superficie (cercado 1) en comparación con las de los animales de los cercados 2, 3 y 4, así como con los animales monitorizados en las más amplios (5 y 6) que experimentan mayores trayectos, fueron menores significativamente ($F_{(5,12)} = 15.035$, $p = 0.0036$). Las distancias recorridas por los animales de los cercados 2, 3 y 4 no muestran diferencias significativas entre sí, al igual que los animales de los cercados 5 y 6.

El Cuadro 3 refleja grandes diferencias entre las distancias recorridas por los animales en función del espacio disponible, los valores registrados fueron superiores en las fincas de mayor superficie (cercados 5 y 6), resultados que coinciden con los señalados por Ganskopp.²⁷ Las distancias menores recogidas en el resto de cercados podrían tener relación con el menor tamaño y la práctica de suministro de alimentación complementaria al pasto, como apuntan Cibils et al.¹⁷

El análisis estadístico realizado sobre las distancias recorridas diariamente sí arroja diferencias significativas ($F_{(2,6)} = 71.48$, $p < 0.001$) entre los grupos de animales de diferente edad (Cuadro 4), donde los animales que más distancia recorren son los de mayor edad (3-16 años). Sin duda la influencia de la edad en el estatus jerárquico de cada individuo tiene un gran peso en esta raza,³⁸ pues la defensa y adquisición del derecho de uso del espacio es fundamental en la jerarquización del rebaño y, como hemos mencionado, se eligieron animales dominantes a la hora de la instalación del dispositivo.⁵³

A su vez, se observan diferencias significativas ($F_{(1,16)} = 49.91$, $p = 0.039$) en las distancias recorridas por los animales en función del periodo estudiado, es decir de la climatología y el ciclo solar (Cuadro 5). La mayor duración del día con una temperatura más agradable, unidos a una menor producción de pasto durante el

Cuadro 4. Distancias medias (\pm desviación estándar) recorridas por los animales en función de su edad.

Edad	Joven (2 años)	Media (3-7 años)	Avanzada (8-16 años)
Distancia/animal/día (m)	1 619 ^a \pm 401	3 107 ^b \pm 678	3 690 ^b \pm 794
n	3	6	9

* Diferentes letras indican diferencias significativas ($F_{(2,6)} = 71.48$, $p < 0.001$).

Cuadro 5. Distancias medias (\pm desviación estándar) recorridas por los animales en función de la época del año.

Grupo	PF	PC
Distancia/animal/día (m)	2 783 ^a \pm 807	3 511 ^b \pm 1049
n	9	9

* Diferentes letras indican diferencias significativas ($F_{(1,16)} = 49.91$, $p = 0.039$).

PC pudo inducir una necesidad de pastar durante más tiempo para completar sus requerimientos nutritivos.

Hemos analizado también, las distancias que recorre cada animal durante el día y la noche en función de los dos periodos estudiados (PF y PC) (Figura 5), teniendo en cuenta las horas de salida y puesta del sol, para cada mes. De forma complementaria, se ha obtenido la media con todos los animales. Este análisis reflejó diferencias significativas entre el día y la noche durante el periodo cálido y en la media total de todos los cercados ($F(1,10) = 1178.78$, $p = 0.0023$).

Vemos que la distancia recorrida durante el día es mayor que la de la noche, tendencia reforzada por los horarios de actividad del biorritmo descritos en la Figura 4, donde se observa que los animales monitorizados reposan fundamentalmente durante la noche, como apuntan otros investigadores.⁶⁰ Sin embargo, estos resultados contrastan con los publicados por Barbari (2005), en un estudio con 36 vacas en cercados de 2 y 3 ha, en Kentucky, durante el mes de mayo de 2004, quien observó diferentes grados de utilización entre el día y la noche: fue más amplia la zona registrada durante la noche.

Si tomamos los datos en función de la climatología del periodo estudiado (PF/PC), durante el PF no se encuentran diferencias estadísticas entre las distancias con sol y las nocturnas; las distancias recorridas por la noche son estadísticamente inferiores a las diurnas durante el PC. Varios factores pueden influir en estos resultados, en primer lugar la duración de la fase lumínica, que varía mucho dependiendo del mes del año considerado (enero = 9 horas / julio 14 horas), por otro lado, una temperatura más agradable puede hacer que aumente el comportamiento de pastoreo,⁶⁰ como es nuestro caso en los animales monitorizados durante el PC, donde hay una mayor actividad y los animales comienzan a pastorear muy temprano (4:00 h), dos horas antes que los individuos monitorizados durante el PF (6:00 h).

Finalmente, tras comprobar los resultados de monitorización y recogida de datos vía satélite, para su visualización mediante el portal web, nos permiten inferir que el empleo de las tecnologías GPS-GPRS puede ser una alternativa que dismi-

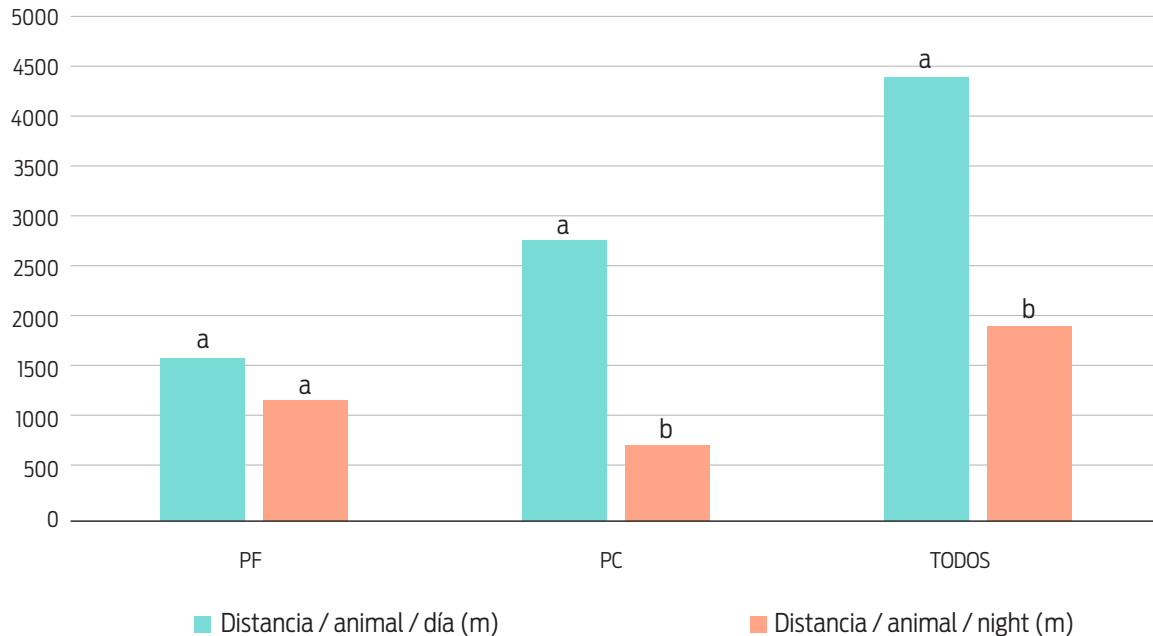


Figura 5. Distancias medias recorridas por los animales durante el día y la noche

* Diferentes letras indican diferencias significativas ($F(1,10) = 1\ 178.776$, $p = 0.0023$).

nuya el tiempo de permanencia de los pastores con el ganado que se alimentan en amplios territorios naturales. Por su parte Rutter et al.¹⁹ y Aparicio et al.⁶², quienes aplicaron una tecnología similar en ovejas y cerdos ibéricos respectivamente, concluyen que dicha tecnología es eficaz para el estudio del comportamiento en pastoreo de individuos explotados en un régimen extensivo. La tecnología GPS-GPRS, complementada con otro tipo de sensores (de temperatura, luminosidad, pulsaciones, etc.), aumentará la información disponible del animal permitiendo un control constante del rebaño y por lo tanto de la producción, crecimiento y salud de sus integrantes. Los sistemas permitirán no solo seguir a los animales sino también supervisar su fisiología, mediante información adicional sobre factores tales como ritmo cardíaco, respiratorio, temperatura corporal, etcétera.

Conclusiones

La monitorización mediante el uso de la tecnología GPS-GPRS aplicada al ganado vacuno de lidia, evidencia ser un buen método para el estudio del comportamiento en pastoreo, uso del territorio y distribución espacial. El área de campeo obtenida se sitúa próxima a las 56 ha, y se ve influenciada por factores como la superficie de pastoreo disponible. Las vacas de lidia tienden a iniciar su actividad diaria de pastoreo unas horas antes del amanecer, atenuando su actividad con el anochecer y durante la noche. Asimismo observamos una marcada fase de reposo nocturno, con una duración de siete horas, y cierta tendencia a frecuentar una determinada zona del territorio para tal uso. La distancia diaria media recorrida por los animales fue de 3 147 m, de la que además el patrón cambió en los animales alojados en cercados de mayor superficie y durante las horas de sol: aumentó el espacio de

pastoreo. Los animales mayores de tres años desarrollaron desplazamientos significativamente mayores a los descritos por las vacas más jóvenes. Estos resultados podrían ser relevantes para un mejor manejo de los pastos, donde se utilicen recintos con un tamaño tal que aumente el uso de toda la superficie disponible.

Financiamiento

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) mediante el proyecto TRT2006-00026-00-00 titulado "Aplicación de nuevas tecnologías de GPS-GPRS para el estudio del comportamiento y mejora de la producción del ganado vacuno extensivo."

Agradecimientos

Agradecemos a Don Ignacio Prieto del Servicio de Cartografía de la Universidad de León la ayuda prestada en el tratamiento de los datos de geolocalización. También queremos agradecer a los ganaderos que han participado en este estudio su ayuda poniendo a nuestra disposición animales, instalaciones de manejo y personal.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflicto de intereses con este estudio.

Contribución de los autores

Juan Manuel Lomillos Pérez. Apoyó en el trabajo de campo y el análisis de resultados.
Marta Elena Alonso de la Varga. Llevó a cabo el análisis de resultados y el análisis estadístico.

Juan José García. Apoyó con el trabajo de campo.

Vicente Ramiro Gaudioso Lacasa. Llevó a cabo el desarrollo experimental.

Referencias

1. Arnold GW. Grazing behavior. En: Morley FHW, editor. *Grazing animals*. Minnesota (US): Elsevier Scientific, 1981. p. 79–104.
2. Gillen RL, Krueger WC, Miller RF. Cattle distribution on mountain rangeland in Northeastern Oregon. *Journal Range Management*. 1984;37:549–53. doi: 10.2307/3898856.
3. Irving BD, Rutledge PL, Bailey AW, Naeth MA, Chanasyk DS. Grass utilization and grazing distribution within intensively managed fields in Central Alberta. *Journal Range Manage*. 1995;48:358–61. doi: 10.2307/4002489.
4. Bowman JL, Kochanny CO, Demarais S, Leopold BD. Evaluation of a GPS collar for white-tailed deer. *Wildl Soc Bull*. 2000;28:141.
5. Edenius L. Field test of a GPS location system for moose alces under scandinavian boreal conditions. *Wildl Biol*. 1997;3:39–43.
6. Janeau G, Adrados CH, Joachim J, Gendner JP, Pépin D. Performance of differential GPS collars in temperate mountain forest. *C R Biol*. 2004:327. doi: 10.1016/j.crv.2004.07.014.
7. Janeau G, Angibault JM, Cargnelutti B, Joachim J, Pépin D, Spitz F. Le Global Positioning System (GPS) et son utilisation (en mode différentiel) chez les grands

- mammifères: principes, précision, limites, contraintes et perspectives. *Arvicola Actes Amiens*. 1998;97:19–24.
8. Moen R, Pastor J, Cohen Y, Schwartz CC. Effects of moose movement and habitat use on GPS collar performance. *J Wildl Manag*. 1996;60:659–68.
 9. Rempel RS, Rodgers AR. Effects of differential correction on accuracy of a GPS animal location system. *J Wildl Manage*. 1997;61(2):525–30.
 10. Rodgers A, Anson P. Animal-borne GPS: tracking the habitat. *GPS World*. 1994;5:20–32.
 11. Akesson S. Tracking fish movement in the ocean. *TREE*. 2002;17(2):56–7.
 12. Bloch BA, Dewar H, Farwell CH, Prince ED. A new satellite technology for tracking the movements of Atlantic bluefin tuna. *Ecology*. 1998;95:9384–9.
 13. Magnusson J. An assessment of Atlantic bluefin tuna. Washington, DC (US): National Academy Press. 1994.
 14. Metcalfe JD, Arnold GP. Tracking fish with electronic tags. *Nature*. 1997;387:665–6.
 15. Steiner I, Burgi C, Werffeli S, Dellomo G, Valenti P, Troster G, et al. A GPS logger and software for analysis of homing in pigeons and small mammals. *Physiol Behav*. 2000;71(5):589–96. doi: 10.1016/S0031-9384(00)00409-1.
 16. Hebenbrock M, Due M, Holzhausen H, Sass A, Stadler P, Ellendorff F. A new tool to monitor training and performance of sport horses using Global Positioning System (GPS) with integrated GSM capabilities. *Dtsch Tierarztl Wochenschr*. 2005;112(7):262–5.
 17. Cibils A, Peinetti R, Clifton G, Rial P, González L. Desarrollo de un método para estudiar el comportamiento ovino en condiciones de pastoreo extensivo mediante el uso de posicionadores satelitales. En: Gonzalez L, Iglesias RO, Cibils OA, editores. *Campo experimental Potrok Aike. Resultado de 15 años de labor técnica*. Provincia de Santa Cruz (AR): Estación Experimental Agropecuaria Santa Cruz Convenio INTA; 2005. p. 93–5.
 18. Hulbert IAR, Wyllie J, Waterhouse A, French J, McNulty D. A note on the circadian rhythm and feeding behaviour of sheep fitted with a lightweight GPS collar. *Appl Anim Behav Sci*. 1998;60:359–64.
 19. Rutter SM, Beresford SA, Roberts G. Use of GPS to identify the grazing areas of hill sheep. *Comput Electron Agric*. 1997;17:177–88.
 20. Aparicio MA. Aplicación de las nuevas tecnologías a la montanera del cerdo ibérico. Conferencia de ingreso en la Real Academia de Ciencias Veterinarias de España. Madrid (ES): Real Academia de Ciencias Veterinarias de España. 2005. p. 70.
 21. Bailey DW, Keil MR, Rittenhouse LR. Research observation: daily movement patterns of hill climbing and bottom dwelling cows. *J Range Manage*. 2004;57:20–8. doi: 10.2307/4003950.
 22. Bailey DW, van Wagoner HC, Weinmeister R. Individual animal selection has the potential to improve uniformity of grazing on foothill rangeland. *Rangeland Ecol Manag*. 2006;59:351–8. doi: 10.2111/04-165R2.1.
 23. Barbari M, Conti L, Koostra BK, Masi G, Sorbetti F, Workman SR. The use of global positioning and geographical information systems in the management of extensive cattle grazing. *Biosystems Engineering*. 2006;95(2):271–80. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2006.06.012.

24. Brosh A, Henkin Z, Ungar ED, Dolev A, Orlov A, Yehuda Y, et al. Energy cost of cows grazing activity: use of the heart rate method and the Global Positioning System for direct field estimation. *J Anim Sci.* 2006;84:1951–67. doi: 10.2527/jas.2005-315.
25. Brosh A, Henkin Z, Ungar ED, Dolev A, Shabtay A, Orlov A, et al. Energy cost of activities and locomotion of grazing cows: a repeated study in larger plots. *J Anim Sci.* 2010;88:315–23. doi: 10.2527/jas.2009-2108.
26. Fehmi JS, Laca EA. A note on using a laser-based technique for recording of behaviour and location of free-ranging animals. *Appl Anim Behav Sci.* 2001;71:335–9.
27. Ganskopp D. Manipulating cattle distribution with salt and water in large arid-land pastures: a GPS/GIS assessment. *Appl Anim Behav Sci.* 2001;73:251–62.
28. Ganskopp D, Cruz R, Johnson DE. Least-effort pathways? A GIS analysis of livestock trails in rugged terrain. *Appl Anim Behav Sci.* 2000;68:179–90.
29. Henkin Z, Ungar ED, Dolev A. Foraging behaviour of beef cattle in the hilly terrain of a Mediterranean grassland. *Rangeland J.* 2012;34:163–72. doi: 10.2527/jas2013-6996.
30. Hunt LP, Petty S, Cowley R, Fisher A, Ash AJ, MacDonald N. Factors affecting the management of cattle grazing distribution in Northern Australia: Preliminary observations on the effect of paddock size and water points 1. *The Rangeland Journal.* 2007;29:169–79. doi: 10.1071/RJ07029.
31. Putfarken D, Dengler J, Lehmann S, Härdtle W. Site use of grazing cattle and sheep in a large-scale pasture landscape: A GPS/GIS assessment. *Appl Anim Behav Sci.* 2008;111:54–67. doi: 10.1016/j.applanim.2007.05.012.
32. Schlecht E, Hülsebuch CH, Mahler F, Becker K. The use of differentially corrected Global Positioning System to monitor activities of cattle at pastures. *Applied Animal Behaviour Science.* 2004;85:185–202. doi: 10.1016/j.applanim.2003.11.003.
33. Sickel H, Ihse M, Norderhaug A, Sickel M. How to monitor semi-natural key habitats in relation to grazing preferences of cattle in mountain summer farming areas. An aerial photo and GPS method study. *Landsc Urban Plan.* 2004;67:67–77. doi: 10.1016/S0169-2046(03)00029-X.
34. Turner LW, Udal MC, Larson BT, Shearer SA. Monitoring cattle behaviour and pasture use with GPS and GIS. *Can J Anim Sci.* 2000;80:405–13.
35. Ungar ED, Henkin Z, Gutman M, Dolev A, Genizi A, Ganskopp D. Interference of animal activity from GPS collar data on free-ranging cattle. *Rangeland Ecol Manag.* 2005;58:256–66.
36. Nyamurekung'e S, Cibils A, Estell R, Gonzalez A, Roacho-Estrada O, Rodriguez-almeida FA. Movement and spatial proximity patterns of rangeland-raised raramuri criollo cow-calf pairs. *J Anim Sci.* 2016;94:5–39. doi: 10.2527/jam2016-0089.
37. Ghribi B y Logrippio L. Understanding GPRS: The GSM Packet Radio Service. *Computer Networks.* 2000;34:763–79.
38. Gaudio VR, Sánchez JM, Boissou MF. Influence de la réduction d'espace sur le comportement agonistique des taureaux. *Biol Behav.* 1987;12:239–44.
39. Liu T, Green AR, Rodríguez LF, Ramirez BC, Shike DW. Effects of number of animals monitored on representations of cattle group movement characteristics and spatial occupancy. *Plos One.* 2015;10(2):113–7. doi: 10.1371/journal.pone.0113117.

40. Ganskopp D, Bohnert D. Do pasture-scale nutritional patterns affect cattle distribution on rangelands? *Rangeland ecology & management*. 2006;59(2):189–96. doi.org/10.2111/04-152R1.1.
41. Ganskopp D, Johnson D. GPS error in studies addressing animal movements and activities. *Rangeland ecology & management*. 2007;60(4):350–58. doi.org/10.2111/1551-5028(2007)60[350:GEISAA]2.0.CO;2.
42. Woodside GJ. Rocky mountain elk (*Cervus elaphus nelson*) behavior and movement in relation to lunar phases. [Corvallis, Oregon (US)]: Oregon State University; 2010.
43. Harris NR, Johnson DE, George MR, Mcdougald NK. The effect of topography, vegetation, and weather on cattle distribution at the San Joaquin experimental range, California. *USDA Forest Service Gen Tech Rep*. 2002;184:53–63.
44. IBM Corp. IBM SPSS Statistics for Windows. 21.0. Armonk, NY. 2012.
45. Frost AR, Schofield CP, Beulah SA, Mottram TT, Lines JA, Wathes CM. A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. *Comput Electron Agric*. 1997;17:139–59.
46. Gaillard JM, Hebblewhite M, Loison A, Fuller M, Powell R, Basille M, et al. Habitat-performance relationships: finding the right metric at a given spatial scale. *Phil Trans R Soc B*. 2010;365:2255–65. doi: 10.1098/rstb.2010.0085.
47. Schlecht E, Hiernaux P, Kadaoure I, Hulsebusch C, Mahler F. A spatio-temporal analysis of forage availability and grazing and excretion behaviour of herded and free grazing cattle, sheep and goats in Western Niger. *Agric Ecosyst Environ*. 2006;226–42. doi: 10.1016/j.agee.2005.09.008.
48. Mohr CO. Table of equivalent populations of North American small mammals. *American Midland Naturalist*. 1947;37:223–49.
49. Barbari M. Planning individual showering systems for pregnant sows in dynamic group [PPT]. *Livestock environment VII – Proceedings of the seventh international symposium*. Beijing (CN). 2005. p. 130–7.
50. Purroy UA. Desarrollo integral del ganado de lidia. En: Buxadé CC, editor. *Producciones equinas y de ganado de lidia*. *Zootecnia: bases de producción animal*; Madrid (ES): Mundi-Prensa, 1996. p. 333–43.
51. De Miguel JM, Rodríguez MA, Gómez Sal A. Selección de hábitat y distribución territorial de un grupo de vacas en ambiente de dehesa. En: Bellot J, editor. *Jornadas sobre las bases ecológicas para la gestión en ecosistemas terrestres*. Zaragoza (ES): CIHEAM; 1989. p. 299–303. (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens n. 3.
52. Bailey DW. Identification and creation of optimum habitat conditions for livestock. *Rangeland Ecol Manag*. 2005;58:109–18. doi: 10.2111/03-147.1.
53. Purroy UA. Comportamiento del toro de lidia: en el campo, en el ruedo. Pamplona, Navarra (ES): Universidad Pública de Navarra; 2003.
54. Reppert JN. Forage preference and grazing habits of cattle at the Eastern Colorado range station. *J Range Manage*. 1960;13:58–65.
55. Sneva FA. Behavior of yearling cattle on Eastern Oregon range. *J Range Manage*. 1970;23:155–8.
56. Senft RL, Rittenhouse LR, Woodmansee RG. Factors influencing selection of resting sites by cattle on the shortgrass steppe. *J Range Manage*. 1985;38:295–9.
57. Wilson MA. Distribution and behavior of cattle grazing riparian pastures. [Corvallis, Oregon (US)]: Oregon State University; 2011.

58. Dolev A, Henkin Z, Brosh A, Yehuda Y, Ungar ED, Shabtay A et al. Foraging behavior of two cattle breeds, a whole-year study: II. Spatial distribution by breed and season. *J Anim Sci.* 2014;92:758–66. doi: 10.2527/jas.2013-6996.
59. Findlay JD. The effects of temperature, humidity, air movement and solar radiation on the behaviour and physiology of cattle and other farm animals: a review of existing knowledge. Glasgow (UK): Hannah Dairy Research Institute; 1950.
60. Houpt KA. Domestic animal behaviour for veterinarians and animal scientist. 5th ed. Iowa (US): Wiley-Blackwell; 2011.
61. Cory VL. Activities of livestock on the range. *Tex. Agr. Exp. Sta. Bul.* 1927;367:44–92.
62. Aparicio TMA, Vargas GJ, Atkinson A. Las nuevas tecnologías y la montanera del cerdo ibérico. *Mundo Ganadero.* 2006;186:42–8.