

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS ALIMENTARIAS EN TERNERAS DE RECRÍA UTILIZANDO GANADERÍA DE PRECISIÓN

Trabajo Final de Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

ALUMNA: MARÍA ÁNGELES MARTÍNEZ GAMIR

TUTOR: DR. FERNANDO ESTELLÉS BARBER

COTUTORA: DRA. ARANTXA VILLAGRÁ GARCÍA

Curso académico 2020-2021

Valencia, julio de 2021

Evaluación de estrategias alimentarias en terneras de recría utilizando ganadería de precisión.

RESUMEN

La recría de las terneras de producción de leche es un momento crítico en su desarrollo y para su futuro productivo. Las estrategias de manejo de la alimentación tienen un gran impacto sobre el comportamiento, bienestar, salud y desarrollo de los animales. En la actualidad el uso de nuevas tecnologías que permiten monitorizar a los animales para conocer y predecir los comportamientos propios de la especie es cada vez más elevado. En el caso del vacuno lechero en etapas adultas la ganadería de precisión está más presente, pero en el caso de las terneras el desarrollo es muy inferior.

El objetivo de este trabajo es evaluar diferentes estrategias alimentarias sobre el comportamiento de terneras lactantes utilizando sensores automáticos. Incrementar el uso de estos elementos en las primeras etapas de su vida podría ayudarnos a detectar de forma más temprana el celo, algunas enfermedades e incluso la rumia. Todo ello nos proporcionaría mayor calidad de vida para los animales y una gestión óptima de la explotación, repercutiendo posteriormente de forma positiva en la producción.

Para ello, se instalaron sensores en las terneras a la llegada a un centro de recría y se monitorizó su actividad hasta el destete con el fin de recoger el efecto de los diferentes tratamientos sobre el desarrollo de diferentes comportamientos. Los animales se emplazaron en dos grupos con diferencias en el manejo de la alimentación líquida, proporcionándoles la misma cantidad de lactoreemplazante pero a un grupo con 2 tomas diarias y a otro con 3 tomas. Se registró también el crecimiento de los animales durante este periodo.

Tras analizar estadísticamente los datos almacenados por los sensores y el peso de los animales se puede concluir del presente estudio que proporcionar dos o tres tomas diarias a las terneras no influye de manera significativa en el incremento de peso de los animales, tampoco se muestra una diferencia significativa en el comportamiento reflejado.

El uso de los sensores se ha presentado como una herramienta útil para la monitorización de los animales y para establecer un modelo de comportamiento de las terneras de recría.

Dado que no se han encontrado diferencias significativas entre tratamientos, no se puede proporcionar al sector ganadero una recomendación de un tratamiento frente al otro. En cualquier caso, se recomienda aumentar el tamaño de muestra en futuras pruebas, así como homogeneizar la edad y peso de los animales al inicio del estudio.

Palabras clave:

Recría de terneras, ganadería de precisión, comportamiento, alimentación y lactación.

Alumna: María Ángeles Martínez Gamir

Tutor: Fernando Estellés Barber

Cotutora: Arantxa Villagrà García

Valencia, julio 2021

Assessment of feeding strategies on dairy calves using precision livestock farming tools.

ABSTRACT

The dairy farming of milk-producing calves is a critical moment in their development and for their productive future. Feed management strategies have a major impact on the behavior, well-being, health and development of animals. At present, the use of new technologies that allow animals to be monitored in order to know and predict the species' own behaviors is increasingly high. In the case of dairy cattle in adult stages precision livestock is more present, but in the case of calves the development is much lower.

The objective of this paper is to evaluate different food strategies on the behavior of lactating calves using automatic sensors. Increasing the use of these elements in the early stages of your life could help us detect earlier heat, some diseases and even rumination. All this would provide us with a higher quality of life for the animals and optimal management of the farm, subsequently having a positive impact on the production.

To do this, sensors were installed in the calves on arrival at a dairy center and their activity was monitored until weaning in order to collect the effect of different treatments on the development of different behaviors. The animals were placed in two groups with differences in the management of liquid feed, providing them with the same amount of lactoreplacent but to a group with 2 daily shots and another with 3 shots. The growth of animals during this period was also recorded.

After statistically analyzing the data stored by the sensors and the weight of the animals it can be concluded from the present study that provide two or three daily intakes to calves does not significantly influence the weight gain of animals, nor does it show a significant difference in reflected behavior.

The use of sensors has been presented as a useful tool for monitoring animals and for establishing a model of behavior of calves.

Since no significant differences have been found between treatments, the livestock sector cannot be given a recommendation of one treatment over the other. In any case, it is recommended to increase the sample size in future tests, as well as to homogenize the age and weight of the animals at the beginning of the study.

Key words:

Calf breeding, precision livestock farming, behavior, feeding and lactation.

Alumna: María Ángeles Martínez Gamir

Tutor: Fernando Estellés Barber

Cotutora: Arantxa Villagrà García

Valencia, julio 2021

AGRADECIMIENTOS

Por supuesto, quiero agradecer a Fernando Estellés por aceptar ser mi tutor y por guiarme en todo el proceso de elaboración del trabajo, de igual manera, agradezco a Arantxa que depositara su confianza en mí con este proyecto y me dejara formar parte de él.

Por otro lado, le doy las gracias a Patricia y Adrián, quienes han tenido una labor fundamental en el desarrollo de este proyecto y a los cuales les deseo mucha suerte en los suyos.

Finalmente, me siento muy agradecida por todas aquellas personas que han influido en mí y me han ayudado a mejorar a lo largo de los años de la titulación, ya sean familiares, compañeros de clase, compañeros de Delegación, profesores y técnicos de laboratorio o personal administrativo de la UPV.

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Antecedentes	1
1.2.	La recría en vacuno de leche	1
1.2.1.	El proceso de recría	2
1.2.2.	Desarrollo del sistema digestivo de la ternera.....	3
1.2.3.	Comportamiento de las terneras como indicador de bienestar	5
1.3.	Ganadería de precisión en la recría del vacuno lechero	6
2.	OBJETIVOS	8
3.	MATERIAL Y MÉTODOS	9
3.1.	Planteamiento metodológico general.....	9
3.2.	Material animal y alojamientos.....	9
3.3.	Sensores de movimiento.....	10
3.4.	Análisis estadístico	12
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
4.1.	Resultados productivos	14
4.2.	Efecto del tratamiento y la edad sobre el comportamiento.....	14
5.	LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y PROPUESTAS DE MEJORA	20
6.	CONCLUSIONES	21
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	22

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El elevado valor nutricional y energético de la leche la sitúa como un alimento de primera necesidad para el ser humano (Fernández *et al.*, 2015), es por ello por lo que en el mercado no solo la podemos encontrarla en su estado natural, sino que existe una amplia gama de productos derivados como son el queso, el yogurt, la cuajada o la nata, entre muchos otros. La industria alimentaria no es la única que se beneficia de este producto, sino que la leche de burra, vaca o cabra es un elemento base en la composición de productos cosméticos destinados a la hidratación de la piel.

Si se analizan los datos que proporciona la FAO (2021), se observa que durante las últimas dos décadas la producción de leche ha incrementado en un 32,6% siendo Europa el mayor productor a nivel mundial, seguido muy de cerca por Asia y América. En la actualidad, se producen más de 880 millones de toneladas de leche al año y aproximadamente el 80% proviene de ganado vacuno, por lo que es importante comprender que el sector bovino es de gran relevancia socioeconómica en este campo (FAO, 2021).

La composición de la leche varía en función de la especie y la raza, así como, según el tipo de alimentación que se le proporcione al animal. Generalmente la composición de la leche de vaca es en un 85% agua y el porcentaje restante son proteínas de elevado valor biológico y de fácil digestibilidad, hidratos de carbono, siendo la lactosa la de mayor importancia; grasas, vitaminas y minerales, especialmente calcio y fósforo (Fernández *et al.*, 2015).

Así, el sector vacuno de leche se ha convertido en un importante pilar en la alimentación a nivel mundial y se espera que, en los próximos años, la demanda siga aumentando a consecuencia del crecimiento demográfico. Este desarrollo del sector debe ser sostenible (FAO, 2018), considerando todas las dimensiones de este concepto, por lo que se enfrenta a retos económicos, sociales, ambientales y de bienestar animal. Es sabido que las fases tempranas del desarrollo de los animales tienen un elevado impacto sobre su futuro productivo (Heinrichs y Heinrichs, 2011) y es por eso por lo que este trabajo se enfoca en la recría de novillas de leche como estrategia para la mejora productiva.

1.2. La recría en vacuno de leche

Son diversos factores los que afectan a las vacas en producción, entre los más destacados se encuentran el manejo de los animales, la alimentación que se les proporciona, las condiciones sanitarias en las que se encuentran, el tipo de alojamiento del que disponen y, por supuesto, la raza.

En una explotación ganadera de vacuno lechero es necesario contar con un porcentaje de animales de reposición para sustituir a aquellos que finalizan su ciclo productivo. Los animales que se introducen nuevos se denominan de recría. Estos animales pueden ser nacidos de las vacas que hay en producción en la misma explotación, lo cual resulta beneficioso si se ha invertido una gran cantidad de dinero en introducir buena genética. Por otro lado, como indica Fernández (2011) existe la alternativa de comprar novillas a un proveedor externo con el fin de reducir el coste de las instalaciones y mano de obra necesaria para la recría. Esta segunda alternativa, puede resultar llamativa para los ganaderos ya que consideran el periodo de recría un periodo en el cual el animal es improductivo y solo genera costes. Este punto de vista surge porque no se aprecian los beneficios de forma inmediata y por ello, generalmente, los ganaderos tienden a destinar una elevada cantidad de tiempo a gestionar las vacas que están en producción y a dejar de lado a las terneras (Tejero, 2017). Tal y como corroboraron Heinrichs y Heinrichs,

(2011), esta gestión resulta ser un grave error ya que la nutrición, la salud y el manejo que se le proporciona a la ternera en el momento de la recría, tiene una notable repercusión posteriormente en la producción a pesar de que no se observe en el momento.

1.2.1. El proceso de recría

El proceso de recría engloba el periodo que va desde el momento en el que nace la ternera hasta el primer parto de la misma. Este proceso puede dividirse principalmente en tres fases, primero encontramos la de lactación, seguidamente viene la fase de crecimiento y finalmente la reproductiva, aunque algunos autores subdividen estos periodos hasta en seis fases diferentes (Aguilar *et al.*, 2015).

La fase de lactación engloba el tiempo que transcurre entre el nacimiento de la ternera y el destete. Es crucial tener especial cuidado de los animales en este periodo ya que son extremadamente débiles y sensibles a sufrir infecciones o trastornos por estrés. A simple vista, esto puede resultar un problema a corto plazo, pero realmente, si la ternera sufre algún tipo de enfermedad puede derivar en un crecimiento más lento, en una producción menor en edad adulta e incluso puede ocasionar la muerte (Ishihara *et al.*, 2001).

En el momento del parto, Tejero (2017) recomienda secar bien a los animales al nacer, desinfectarles el cordón umbilical, sacarlos del patio de partos lo antes posible y administrarles el calostro, de este modo se reducen las posibilidades de infección.

Uno de los puntos críticos en el manejo de la recría es el encalostrado. Como se ha mencionado anteriormente, las crías de vacuno son extremadamente sensibles y ello es debido a que, durante el proceso de formación del feto, las terneras no pueden recibir inmunidad de la madre a través de la placenta, sino que pasan al torrente sanguíneo a través del intestino mediante la absorción del calostro (Wattiaux, 2006). El calostro es la primera secreción que produce la madre tras el parto y tiene la capacidad de proporcionar anticuerpos a la cría debido a los oligosacáridos, las hormonas, la inmunoglobulina y las proteínas que forman parte de su composición (Blättler *et al.*, 2001). Schäff *et al.* (2014) detectaron que tras la toma del calostro se produce una mayor absorción de la glucosa en los animales, lo cual produce un aumento del crecimiento de la mucosa intestinal y de la capacidad de absorción que presenta el intestino.

Los cuatro días siguientes al parto, tras la producción del calostro, la madre secreta un tipo de leche denominada de transición y con el paso de los días la leche que produce se asemeja cada vez más a la leche entera (Godden, 2008). Se ha estudiado que suministrar a las terneras esta leche de transición resultaría beneficioso para el animal y que le ayudaría a realizar una transición gradual entre el calostro y la leche entera (Kargar *et al.*, 2020). Además de mejorar en la transición de un alimento a otro, Kargar *et al.* (2021) indicaron que los animales alimentados con la leche de transición frente a los alimentados con leche de deshecho (aquella que no es vendible por la explotación ya que en su composición quedan residuos del calostro o de antibióticos) muestran un mayor aumento de peso, mayor eficiencia en la transformación de los nutrientes y periodos con diarrea más cortos.

Generalmente, durante la lactación, al animal se le alimenta con aproximadamente 6 litros de leche al día en dos tomas, aunque actualmente se sigue experimentando con otras alternativas (Grice *et al.*, 2020). A menudo no se le proporciona leche entera sino sustitutos compuestos por lactorreemplazantes o la leche de desecho (Elizondo-Salazar *et al.*, 2007). Además de la leche, el animal tiene a libre disposición alimentos sólidos que le ayudaran a desarrollar la actividad ruminal.

Normalmente, en esta fase pre-destete, los animales se alojan individualmente, facilitando el control de los animales a nivel productivo y sanitario. A pesar de ello, una característica destacable de las vacas es que son animales muy sociables y tienden a crear relaciones, hay estudios que demuestran que si estas relaciones se establecen al poco de nacer son más fuertes que si se hacen tiempo después (Duve y Jensen, 2011). Ante esta situación, surge la incógnita de si es preferible juntar a los animales prematuramente a pesar de que puedan contagiarse alguna enfermedad o mantenerlos separados hasta que alcancen una edad más avanzada. Vieira *et al.* (2010) informaron de que los animales que han tenido un alojamiento social o en pareja previo al destetado, proporcionan mejores rendimientos ya que tienden a ingerir mayor cantidad de concentrado durante la lactación.

La segunda fase de la recría se inicia tras realizarse el destetado del animal y se alarga hasta el primer año de edad. En este periodo las terneras reciben de los piensos o concentrados la energía necesaria para llevar a cabo el crecimiento y del forraje la capacidad de aumentar la cantidad de ingesta y el proceso digestivo. Cuando finaliza este periodo, el animal debe tener las condiciones físicas idóneas para llevar a cabo el proceso de inseminación artificial (Aguilar *et al.*, 2015).

Finalmente, se inicia la fase reproductiva con la inseminación de la vaca. La edad en este instante puede variar en función de la constitución y el crecimiento del animal, por lo que suele realizarse ente los 13 y 15 meses. Esta última fase finaliza con el parto de la novilla, cuando llega este momento es importante tener buen control de su condición corporal para que no se produzcan problemas durante el parto y, además, es conveniente realizar un proceso de adaptación de la ternera a las condiciones de alojamiento y alimentarias en las que se encontrará tras el parto (Aguilar *et al.*, 2015).

Como se ha mencionado anteriormente, todos los factores que afecten a la ternera en esta fase de recría tendrán repercusión en su desarrollo y en su posterior productividad. Uno de los aspectos clave es el desarrollo del sistema digestivo en esta edad temprana, que condicionará la capacidad productiva futura del animal. Más allá de los indicadores productivos de desarrollo, es imprescindible conocer el nivel de bienestar de los animales, puesto que puede tener una influencia sobre el mismo desarrollo, la salud y el futuro productivo. A través del estudio del comportamiento se puede evaluar el grado de bienestar de los animales, por ello es necesario conocer cuáles son los comportamientos habituales de la especie y en qué casos, la variación de los mismos, pueden ayudar a identificar problemas.

1.2.2. Desarrollo del sistema digestivo de la ternera

Uno de los puntos clave durante la recría es la gestión alimentaria. Realizar una correcta transición entre la alimentación con leche y el alimento sólido puede influir positivamente en los animales, reduciendo la tasa de mortalidad y proporcionándoles un aumento de peso (Drackley, 2008).

Durante los tres primeros meses de vida las terneras no se comportan como un verdadero rumiante, sino que su sistema digestivo se asemeja más al de un monogástrico (Hofmann y Schnorr, 1982). Esto ocurre porque, de los cuatro compartimentos que forman el estómago de los rumiantes, solo el abomaso es funcional. Con el paso del tiempo el rumen se va desarrollando, lo que origina un aumento de su volumen y por tanto una mayor absorción de alimentos en su interior (Grijalva y Aldean, 1992). Este proceso de desarrollo del rumen es de gran importancia, puesto que un correcto desarrollo conllevará una mejora digestiva del animal en el futuro.

En el caso de los animales adultos es preciso tener desarrollados los cuatro compartimentos digestivos para utilizar al máximo la amplia gama de alimentos de los que disponen. Cada compartimento tiene su función, en el caso del rumen y el retículo se produce la fermentación de la materia vegetal, las sustancias generadas pasan al organismo a través de la pared ruminal (Clauss y Hummel, 2017). Por otro lado, el omaso realiza la absorción del agua por lo que su superficie de absorción es elevada y con una textura más sólida (Hofmann y Schnorr, 1982). El abomaso, conocido como estómago verdadero por su similitud con el de los humanos, realiza la digestión ácida y enzimática de los alimentos (Moran, 2002).

Durante el periodo de tiempo en el que el sistema digestivo no está del todo desarrollado, tiene gran importancia la gotera esofágica, la cual se encarga de transportar la leche directamente al abomaso para su digestión (Pochón, 2016). Este proceso puede realizarse gracias a un acto reflejo producido por la acción de mamar, de ahí la importancia de suministrar la leche en biberón a las terneras (Relling y Mattioli, 2003).

Generalmente el sistema de alimentación implantado para los terneros recién nacidos consta de una parte líquida con una cantidad limitada de leche entera o un sustituto de ella y una parte sólida de iniciación. Con este sistema se logra acelerar el desarrollo del rumen y disminuir la edad de los terneros en el destete, lo cual resulta beneficioso para el ganadero porque como consecuencia tiene una reducción en los costes de recría (Baldwin *et al.*, 2004).

Como hemos visto anteriormente, los animales de recría no pueden tomar toda la leche que quisieran, sino que el ganadero les suministra una cantidad, pero las cantidades que se les proporciona equivalen únicamente a la mitad de la cantidad que tomarían si tuvieran la leche a libre disposición (Appleby *et al.*, 2001). Normalmente estos terneros tienen acceso a alimentos sólidos, pero durante el primer mes de vida consumen una cantidad muy reducida y en ocasiones no es suficiente como para compensar la cantidad de leche que se les restringe (Jasper y Weary, 2002). Vieira *et al.* (2008) detectaron que aquellos animales que disponían de leche *ad libitum* tendían a ser menos activos que los animales a los que se les racionaba la leche.

La rumia es el proceso mediante el cual los animales regurgitan la comida ingerida para poder masticarla y mezclarla de nuevo, de esta manera pueden reducir el tamaño de los alimentos y aumentar la secreción salivar, todo ello conlleva una mejora en el acceso de microorganismos en el sistema digestivo y en la regulación del nivel de pH ruminal (Beauchemin, 1991).

Durante las dos primeras semanas de vida, la rumia es casi nula, pero a medida que el animal se va alimentando de sólidos va desarrollando esta capacidad. A partir de las dos semanas Swanson y Harris (1958) observaron que más de la mitad de los terneros presentes en su estudio realizaban la rumia de forma eficaz. Grijalva y Aldean (1992) indicaron que si la dieta está compuesta por sólidos se puede finalizar el desarrollo del rumen a los tres meses de vida, además establecieron que la edad y el nivel de leche afectan al desarrollo ruminal.

Los factores que promueven el desarrollo del rumen son varios y entre ellos encontramos la influencia de la dieta que se le proporciona a los animales, los métodos de alimentación empleados y la capacidad de colonización microbiana. Por ejemplo, Górká *et al.* (2011) observaron que alimentar a los animales con remplazantes de la leche que cuenten con proteína de soja en su composición afecta directamente a la ralentización del desarrollo del intestino delgado e indirectamente al del rumen. Khan *et al.* (2011) indicaron que suministrar heno picado a una edad temprana, en la que los terneros son alimentados con leche, produce una mejora en la cantidad total de alimento sólido ingerido por ellos. Y Li *et al.* (2011) establecieron que, al cambiar la dieta de leche a heno, por un lado, se ve disminuido el número de especies microaerólicas y, por otro lado, se produce una expansión de las bacterias Grampositivas en la microbiota del rumen. Además, todo ello facilita que se establezcan enzimas fibrolíticas como las celulasas y las xilanasas en el rumen.

1.2.3. Comportamiento de las terneras como indicador de bienestar

Como se ha comentado anteriormente, el comportamiento es uno de los indicadores que se puede utilizar para evaluar el bienestar de los animales. Es importante que los animales desarrollen un comportamiento normal durante la fase de recría, sin alteraciones significativas que puedan resultar en indicadores de problemas de bienestar.

En referencia al comportamiento habitual de las terneras, durante los primeros tres meses de vida las terneras invierten aproximadamente un 50% del día en descansar acostadas sobre el esternón y cerca del 2% acostadas de lado (Ruckerbusch, 1975). Se han realizado estudios que demuestran que existe una correlación positiva entre la tasa de crecimiento y la cantidad de descanso (Mogensen *et al.*, 1997), por otro lado, de Wilt (1985) observó que el descanso de los animales puede verse afectado por diversos factores, como son las condiciones de alojamiento o el manejo.

Es habitual ver en las terneras comportamientos conocidos como de juego. Este tipo de comportamiento es un gran indicativo de bienestar animal y se ha utilizado en diversos estudios para su evaluación (Dannenman *et al.*, 1985). Dentro del juego pueden observarse diversos tipos, Reinhardt (1980) clasificó como juego locomotor aquellos en los que se observan comportamientos como son los saltos vigorosos, las patadas o las carreras con paradas y giros. En el caso de Brownlee (1954) estableció el juego en el suelo, en esta situación las terneras tienden a frotar el cuello y la cabeza contra el suelo o a tocar y empujar objetos.

Por otro lado, estos animales tienden a realizar comportamientos de exploración, como son olfatear o lamer cuando se encuentran en lugares nuevos (de Passillé *et al.* 1995) y de acicalamiento o aseo propio (Reinhardt *et al.*, 1978).

Respecto a la interacción social, es frecuente ver a los terneros tener comportamientos anormales cuando se alojan de forma individualizada sin tener contacto con otros individuos, normalmente mueven la lengua con frecuencia como si jugaran con ella y tienden a manipular los objetos que tienen a su alcance, estos comportamientos son síntoma de que el nivel de bienestar animal es reducido (de Wilt, 1985). Además, Jensen *et al.* (1997) observaron que los animales criados en estas mismas circunstancias se muestran más temerosos ante situaciones desconocidas y que les cuesta más interactuar socialmente e incluso eran más agresivos (Duve y Jensen, 2011). Vieira *et al.* (2010) observaron que en el momento del destete los animales criados de forma individual tienden a vocalizar más y a encontrar dificultades para controlar los sistemas de alimentación automatizados.

Posteriormente Vieira *et al.* (2012a) realizaron investigaciones que demostraron que aquellos terneros que no tienen contacto social antes del destete les resulta más estresante hacer frente a un elemento novedoso o entablar relaciones sociales nuevas, sin embargo, Jensen y Larsen (2014) observaron que los terneros alojados en pareja no presentan este nivel de dificultad adaptativa. Se ha estudiado como tercera alternativa, realizar la recría con un compañero algo mayor, el cual ayuda a que el ternero comience a comer más alimento sólido antes del destete y por ello tenga una mejor adaptabilidad al cambio de alimento. Por otro lado, le ayuda a fortalecer el vínculo social del grupo, por lo que puede resultar beneficioso para el desarrollo del comportamiento social (Vieira *et al.* 2012b).

Es sabido que los animales que sufren alguna enfermedad tienden alterar sus pautas de comportamiento como pueden ser cambios en la conducta alimentaria o en la actividad del animal, o una disminución de sus conductas de exploración y sus interacciones sociales que ayudan al ganadero a detectar los problemas. A estos cambios se les denomina conducta enfermiza (Hart, 1988). Duthie *et al.* (2021) observaron que los días previos a alcanzar el pico de

signos clínicos los animales enfermos y los sanos mostraban actitudes diferentes, esta diferencia de actitud es la que puede servir como señales de alerta para enfermedades. Por otro lado, también observaron que los animales enfermos, a pesar de haber pasado el pico de la enfermedad seguían realizando comportamientos diferentes.

El uso de sistemas automatizados permite tener un monitoreo de los animales de forma continua y sin resultar invasivo. Knauer *et al.* (2017) indicaron que estos sistemas tienen como ventaja que permiten al ganadero recopilar información de forma individual, de esta manera pueden evaluar su comportamiento y detectar posibles irregularidades. A través de estos sistemas se puede llegar a una detección temprana de alguna enfermedad, lo que permite suministrar el tratamiento necesario lo antes posible, resultando así en un menor impacto sobre la salud y el bienestar del animal e indirectamente en la futura producción (Duthie *et al.*, 2021).

1.3. Ganadería de precisión en la recría del vacuno lechero

Ante los retos actuales de la producción ganadera, donde el tamaño medio de las explotaciones se encuentra en continuo crecimiento, es muy complicado llevar un seguimiento continuo de la salud y el bienestar de los animales a nivel individual (Berckmans y Guarino, 2017). Hace ya 15 años que Berckmans (2006) estableció la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías para realizar el seguimiento de los animales de la granja de manera automática, continua e individual con la finalidad de proporcionarle un apoyo al ganadero con información puramente cuantitativa sobre el estado en el que se encuentran los animales.

La ganadería de precisión se puede definir como el uso de las tecnologías para realizar un monitoreo a tiempo real de los animales, especialmente para medir datos de forma individual y detectar posible variabilidad en el tiempo (Halachmi y Guarino, 2016). Gracias a estos avances los esfuerzos del ganadero se destinarán a solucionar los problemas y no a detectarlos.

Tal y como identificaron Lopreiato *et al.* (2018), se abre todo un abanico de posibilidades para estas tecnologías en el ganado vacuno, puesto que se podrían emplear para establecer el mejor momento de destete, estudiar el comportamiento de alimentación de los animales, establecer el punto de desarrollo del rumen o conocer las interacciones sociales entre los animales. Además, conocer todos estos datos da la posibilidad de mejorar la salud y el bienestar de los animales, así como, de optimizar la producción y desarrollar todo lo posible su potencial de producción. En el mercado actual podemos encontrar diversos dispositivos de ganadería de precisión en el ganado de vacuno de leche, ya sea para controlar el suministro de alimentos o los movimientos propios de cada animal, en este caso los más conocidos son los collares, los crotales o los podómetros (Costa *et al.*, 2021).

La utilización de la ganadería de precisión en las vacas adultas productoras de leche es frecuente, sin embargo, no es habitual verla en el caso de las terneras de recría. Costa *et al.* (2021) consideran que es una desventaja no aplicarla en dicha situación ya que los sistemas automatizados tienen la capacidad de registrar una considerable cantidad de comportamientos como la velocidad de alimentación, el tiempo invertido en la misma, el número de visitas a los puntos de alimentación o las cantidades suministradas de leche y sólidos.

Para la primera fase de la recría resulta interesante detectar enfermedades o patologías para llevar a cabo intervenciones tempranas o prevenir problemas en el futuro. Como se ha comentado anteriormente, los cambios de comportamiento pueden ser indicadores precoces y resulta más práctica su detección apoyándose en el uso de las nuevas tecnologías. Los problemas digestivos y metabólicos son fáciles de detectar a través de sensores de movimiento porque se reduce el tiempo empleado para la rumia o la actividad física (Stangaferro *et al.*, 2016). Por otro lado, la temperatura corporal es, frecuentemente, un síntoma de enfermedad y

se puede monitorizar de diferentes maneras: Knauer *et al.* (2016) realizaron la medición de la temperatura del reticulorumenal para detectar enfermedades antes de tiempo, McCorkell *et al.* (2014) midieron la temperatura del oído timpánico y Schaefer *et al.* (2007) utilizaron cámaras infrarrojas. Estas mediciones se pueden realizar también con microchips de temperatura implantados bajo la piel (Lee *et al.*, 2016), aunque en este caso la aplicación a nivel comercial es más limitada.

En la segunda etapa de la recría, realizar una monitorización sería beneficioso para controlar el peso corporal y el crecimiento y de esta manera conocer su estado nutricional y su capacidad de reproducción (Martins *et al.*, 2020). La formulación del pienso se podría cambiar al conocer el estado de los animales y así ser más eficaz. El gran problema que surge en esta situación es que llevar a cabo estas evaluaciones resulta muy complejo porque son muy laboriosas y requieren de un entrenamiento previo. Por ello se está estudiando la posibilidad de utilizar cámaras 3D para realizar este tipo de observaciones, aunque Spoliensky *et al.* (2016) encontraron dificultades ya que la calidad de imagen es, de momento, baja.

Finalmente, en la tercera etapa lo más importante es detectar el celo con la mayor exactitud posible. De igual modo que se hace con vacas adultas, Dolecheck *et al.* (2015) informaron de la posibilidad de utilizar este tipo de tecnologías para detectar el momento del estro a través del recuento de pasos, de la monitorización del tiempo que pasa el animal acostado y del tiempo que invierten en alimentarse y rumiar. Con las herramientas apropiadas se puede obtener una fiabilidad de entre el 80 y el 90%. Este tipo de tecnología resulta en una considerable inversión, pero al final se convierte en una fuente de beneficios (Saint-Dizier y Chastan-Maillard, 2012).

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es proponer un protocolo óptimo de alimentación para la recría de terneras. Para ello, se han estudiado las respuestas fisiológicas de las terneras de recría ante diferentes estrategias alimentarias.

Para alcanzar este objetivo general se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar el efecto que tiene suministrar dos o tres tomas de leche en el incremento de peso de los animales hasta el destete.
- Evaluar si existen cambios en el comportamiento de los animales en función del número de tomas de leche.
- Establecer un modelo conductual de los animales durante el periodo de lactación.
- Evaluar la utilidad de la ganadería de precisión como herramienta para determinar variaciones en el comportamiento animal en las terneras de recría.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Planteamiento metodológico general

Con el fin de analizar el efecto del número de tomas sobre el comportamiento y desarrollo de los animales, se establecieron dos estrategias alimentarias. Por un lado, a 16 terneras se les suministró mediante biberón dos tomas diarias de tres litros cada una (2T). La primera toma se les suministraba a las 8 de la mañana y la segunda toma a las 17 horas. Por otro lado, 10 terneras fueron alimentadas con tres tomas diarias de dos litros cada una (3T). Este grupo recibía una toma a las 8 de la mañana, la siguiente a las 12 del medio día y otra a las 17 horas. Por lo tanto, ambos grupos recibieron en total 6 litros de leche al día.

3.2. Material animal y alojamientos

El presente estudio se ha desarrollado en el Centro de Recría Cowvet en Titaguas (Valencia), sobre 26 terneras de la raza Holstein. Dichos animales se introdujeron en la explotación entre el 8 de octubre de 2020 y el 3 de diciembre de 2020 con edades comprendidas entre los 3 y los 32 días y un peso medio (\pm sd) de $37,177 \pm 5,039$ kg. A su llegada a la explotación, el personal técnico realizó un examen del estado sanitario general de los animales. Seguidamente, se procedió a realizar el pesaje de las terneras, a la implantación del sensor de movimiento y a la asignación aleatoria entre los dos grupos experimentales.

Los animales fueron alojados individualmente la primera semana tras su llegada a la explotación con el fin de cumplir la cuarentena preceptiva. El alojamiento en el que se encontraban se trata de un alojamiento modelo SL Calf Hutch Rancher System AGRI-2016RF de 201 cm de longitud por 113 cm de ancho y 127 cm de alto como medidas interiores y con acceso a un parque exterior de $1,5\text{m}^2$ (Figura 1).



Figura 1. Alojamiento individual.

Posteriormente, se alojaron en parejas en función del tipo de tratamiento que se le suministró uniendo dos parques contiguos, resultando en un espacio de parque de $5,25\text{m}^2$ (Figura 2).



Figura 2. Alojamiento en parejas.

Durante todo el periodo hasta el destete, los animales fueron alimentados con lactoreemplazante, a concentración de 140 gramos por cada litro de agua. Además, contaban con pienso de arranque y agua a libre disposición desde el primer día.

Los animales se destetaron con una edad media (\pm sd) de $55,12 \pm 9,3$ días y un peso medio (\pm sd) de $66,804 \pm 6,833$ kg. Al realizar el destetado de los animales se procedió a la retirada de los sensores (Figura 3).



Figura 3. Ternera destetada sin sensor.

3.3. Sensores de movimiento

En el momento en que los animales llegaban a la explotación y tras su examen sanitario y pesado, se les implantó un sensor de movimiento que detectaría los diferentes comportamientos de los animales y transmitiría en tiempo real dicha la información a un ordenador o dispositivo electrónico. Dicho sensor fue suministrado por la empresa Allflex, Livestock Intelligence y se encuentra en el mercado como eSense Flex Tag, formando parte de la colección SenseHub. Son elementos de fácil implantación y se sitúan en la parte media de la oreja (Figura 4).



Figura 4. Sensor y ternera con sensor implantado.

Los sensores recogen información las 24 horas del día y clasifican los movimientos de las terneras en diferentes comportamientos. Dicha información permite que el ganadero conozca el momento más indicado para realizar la inseminación y el nivel de bienestar de los animales. Además, con estos sensores resulta más sencillo detectar posibles enfermedades de forma temprana y establecer estrategias de alimentación más adecuadas. Los tipos de comportamientos registrados fueron los siguientes:

- **Actividad baja**, es aquella en la cual el animal está descansando, ya sea de pie o acostado. La posición del cuello y la cabeza no influye en su detección, pero si es preciso para calificarlo como descanso que se encuentren estacionarios, exceptuando movimientos ocasionales debidos a un cambio de posición.
- **Actividad media**, se trata de situaciones en las cuales el animal deambula con un ritmo irregular o está de pie, mientras realiza comportamientos como olfatear, buscar alimento, rascarse o interactuar con otro animal. Este grado de clasificación, también engloba los momentos en los cuales el animal no está realizando ninguna otra acción de las que el dispositivo es capaz de detectar.
- **Actividad alta**, aquellos comportamientos que consumen mucha energía del animal, como puede ser moverse a un ritmo más elevado, saltar o dar patadas.
- **Acicalamiento (movimiento oral no nutritivo)**, estos comportamientos son detectados cuando el hocico del animal está orientado hacia sí mismo, un objeto u otro animal y a la vez, está realizando movimientos repetidos hacia delante y atrás o arriba y abajo. Se diferencia de otros comportamientos porque no solo realiza movimiento con la mandíbula, sino que el movimiento implica la cabeza y/o cuello.
- **Rumia**, se trata de movimientos rítmicos circulares o de lado a lado de la mandíbula y que no están asociados al momento de alimentación.
- **Comiendo**, movimiento del hocico y la lengua para manipular el alimento, normalmente viene seguido de una masticación visible. Este comportamiento puede realizarse de parado o desplazándose de un lugar a otro.
- **Mamando**, se considera este comportamiento cuando los animales tienen el hocico orientado hacia el frente, donde se encuentra el biberón. Ocasionalmente realizan movimientos de la cabeza hacia arriba y abajo, puede tener breves interrupciones.

Estos sensores también pueden medir comportamientos como el jadeo de los animales derivados del estrés por calor, al detectarlos con facilidad el ganadero puede aplicar medidas de mitigación.

Dada la variabilidad en la edad de los animales entre los grupos experimentales y el reducido tamaño de muestra, para mitigar el efecto de los datos anómalos, se decidió utilizar los datos proporcionados por los sensores entre los días 6 y 51 de vida de los animales.

3.4. Análisis estadístico

Con los datos obtenidos a través de los sensores se realizaron diversos análisis estadísticos mediante el programa informático Statgraphics XVIII.

En primer lugar, para evaluar el desarrollo de los animales en los dos grupos experimentales se realizó un análisis de la varianza mediante un ANOVA simple de un factor. De este modo se determinó el efecto del tratamiento sobre la ganancia de peso diaria de los animales. En el modelo de ANOVA cada observación Y_i puede expresarse como:

$$Y_i = \mu + T_i + \varepsilon_i$$

Dónde:

Y_i = ganancia de peso media diaria durante el periodo experimental (gramos/día)

μ = media general

T_i = tratamiento experimental

ε_i = error del modelo

Las ganancias de peso fueron calculadas como la diferencia entre el peso de salida y el de entrada de cada animal dividido entre la diferencia de edad de salida y entrada de dicho animal:

$$\text{Ganancia individual} = (P_f - P_i) / (\text{Edad}_f - \text{Edad}_i)$$

Posteriormente, con el fin de identificar diferencias entre los tratamientos en el desarrollo de los diferentes comportamientos en el tiempo, se realizó un modelo lineal generalizado. Se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + D_j + T \cdot D_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = comportamiento evaluado (actividad baja, actividad media, actividad alta, acicalamiento, rumia, comiendo y mamando) en minutos al día

μ = media general

T_i = tratamiento

D_j = día

$T \cdot D_{ij}$ = interacción tratamiento · día

ε_{ij} = error residual

Finalmente, con el fin de identificar la relación entre el desarrollo de las actividades y la edad de los animales, se han realizado análisis de regresión lineal para los valores de actividad alta, actividad baja, actividad media, acicalamiento y tiempo comiendo en función de la edad del animal y la cantidad de tomas. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x + \varepsilon$$

Dónde:

y = comportamiento evaluado (actividad baja, actividad media, actividad alta, acicalamiento y tiempo comiendo) en minutos al día

x = edad del animal (días)

β_0 y β_1 = parámetros del modelo

ε = error del modelo

En el caso de tiempo rumiando o mamando se han realizado análisis de regresión polinomial, cúbica y cuadrática respectivamente utilizando las siguientes ecuaciones:

Regresión cuadrática $y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x + \beta_2 \cdot x^2 + \varepsilon$

Regresión cúbica $y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x + \beta_2 \cdot x^2 + \beta_3 \cdot x^3 + \varepsilon$

Dónde:

y = comportamiento evaluado (rumiando y comiendo) en minutos al día

x = edad del animal (días)

β_0 , β_1 , β_2 y β_3 = parámetros del modelo

ε = error del modelo

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados productivos

La Figura 5 muestra los valores medios de ganancia media diaria y su error estándar para los dos tratamientos.

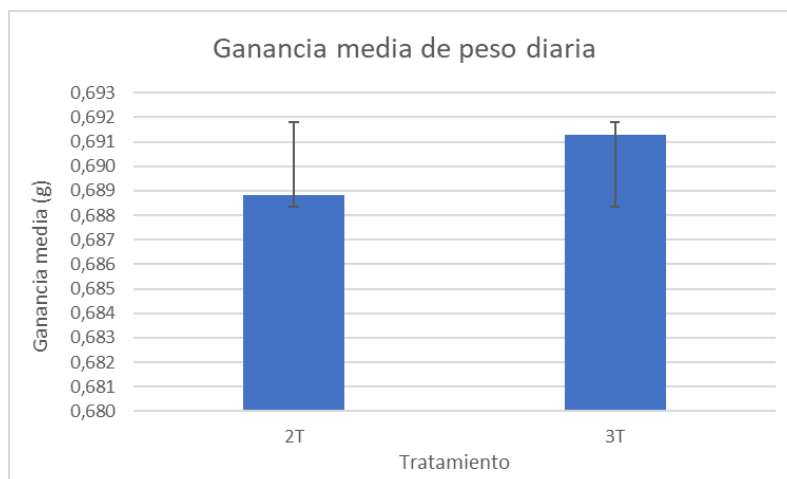


Figura 5. Gráfico de la ganancia media de peso (g/día) con su desviación estándar (2T= dos tomas de leche diarias, 3T= tres tomas de leche diarias).

De acuerdo con el análisis estadístico realizado, los resultados obtenidos indican que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos variables ($P > 0,05$). De acuerdo con estos resultados, para el desarrollo del animal es indiferente aplicar uno u otro tratamiento.

4.2. Efecto del tratamiento y la edad sobre el comportamiento

Conforme a los resultados obtenidos del análisis estadístico de modelos lineales generales se observó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre un tratamiento u otro ($P > 0,05$).

Respecto al efecto de la edad, tras realizar las regresiones que mejor se ajustan a cada modelo, se obtuvo los resultados recogidos en la Tabla 1 y en los cuales se puede ver la ecuación de la ecuación de regresión que siguen las muestras y el valor de del coeficiente de determinación (R^2).

Tabla 1. Resultados del análisis de regresión para los comportamientos estudiados

Ecuación	R^2
$Comiendo (min/día) = 1,0604 \times Edad (días) - 8,5675$	0,20
$Actividad alta (min/día) = 0,5209 \times Edad (días) + 17,724$	0,03
$Actividad media (min/día) = 1,316 \times Edad (días) + 225,8$	0,05
$Actividad baja (min/día) = -11,399 \times Edad (días) + 1105,2$	0,48
$Acicalamiento (min/día) = 2,5119 \times Edad (días) + 43,835$	0,18
$Rumiando (min/día)$ $= -0,0102 \times Edad (días)^3 + 0,8817 \times Edad (días)^2$ $- 14,978 \times Edad (días) + 70,71$	0,69
$Mamando (min/día) = -0,0124 \times Edad (días)^2 + 0,7742 \times Edad (días) + 6,6457$	0,02

Todos los modelos de regresión resultaron estadísticamente significativos ($P < 0,05$) a pesar de que los coeficientes de correlación fueron muy bajos en aquellos casos con escasa evolución temporal de las actividades o debido a la gran variabilidad observada entre los animales.

La Figura 6 muestra la evolución del tiempo dedicado a realizar actividades de alta intensidad por parte de los animales en función de su edad, representando todos los datos individuales y la recta de regresión obtenida.

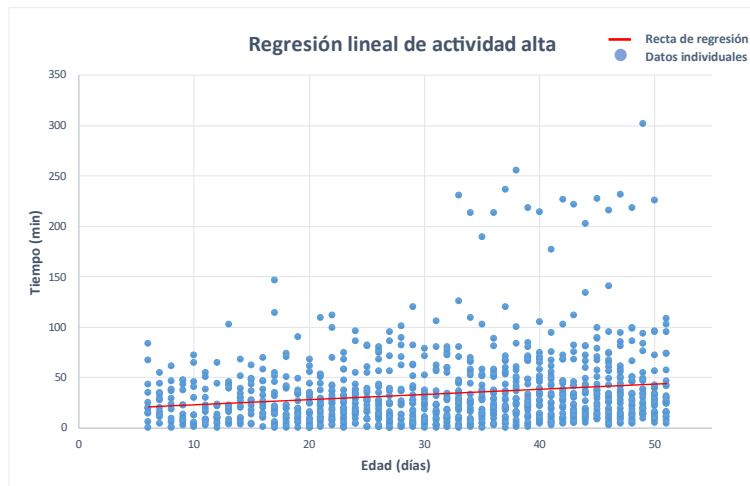


Figura 6. Regresión lineal del tiempo de actividad alta con ambos tratamientos.

Se puede observar que se trata de un comportamiento muy estable y similar entre los individuos a pesar de observarse una ligera evolución en el tiempo a medida que avanza su edad. Los datos más elevados que se observan a partir del día 30 se corresponden con un animal que se introdujo al experimento con 32 días de edad, registrando todos los días una elevada cantidad de tiempo en realizar esta acción.

Siguiendo con los comportamientos de actividad física, la Figura 7 muestra la evolución del tiempo que han invertido los animales del estudio en realizar acciones de intensidad media en función de su edad. En ella se representan todos los datos del estudio junto a la recta de regresión del modelo.

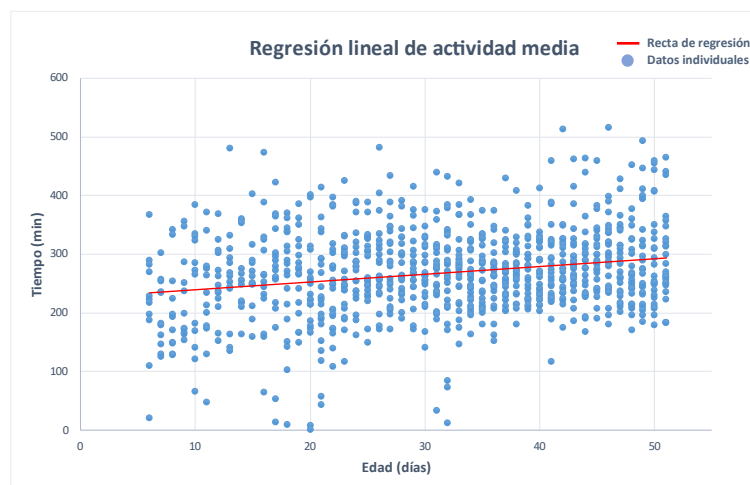


Figura 7. Regresión lineal del tiempo de actividad media con ambos tratamientos.

De igual manera que en el caso anterior, se aprecia una evolución creciente muy suave con el paso de los días, normalmente los animales tienden a utilizar entre 100 y 450 minutos diarios a realizar dicha acción.

En el caso de la Figura 8, se muestran los datos provenientes de todos los individuos del estudio para la actividad baja o tiempo de descanso en función de la edad y la recta de regresión.

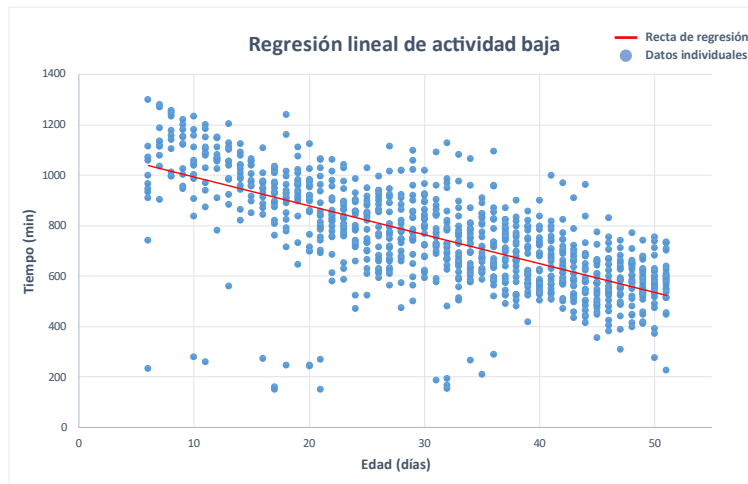


Figura 8. Regresión lineal del tiempo de actividad baja con ambos tratamientos.

En dicha figura se observa con claridad que los animales cada vez invierten menor cantidad de tiempo para descansar. Ruckerbusch (1975) observó que durante los tres primeros meses, las terneras invierten una gran cantidad de tiempo al día en descansar, de igual manera se puede apreciar en el presente estudio, en el cual durante el primer mes de vida invierten más del 50% del día en realizar este comportamiento y a partir del segundo mes se observa una menor cantidad de tiempo. En línea con lo observado en este trabajo, De Vries et al. (2005) indicaron que independientemente de las tomas diarias proporcionadas no se obtuvo ningún efecto sobre el tiempo que utilizaron para hacer reposo. Esta reducción del tiempo empleado en descansar, podría deberse a que las terneras cada vez invierten más tiempo en realizar otras actividades.

A continuación, se presenta la Figura 9, en ella pueden apreciarse la recta de regresión y los datos individuales del tiempo destinado a comer alimentos sólidos en función de la edad.

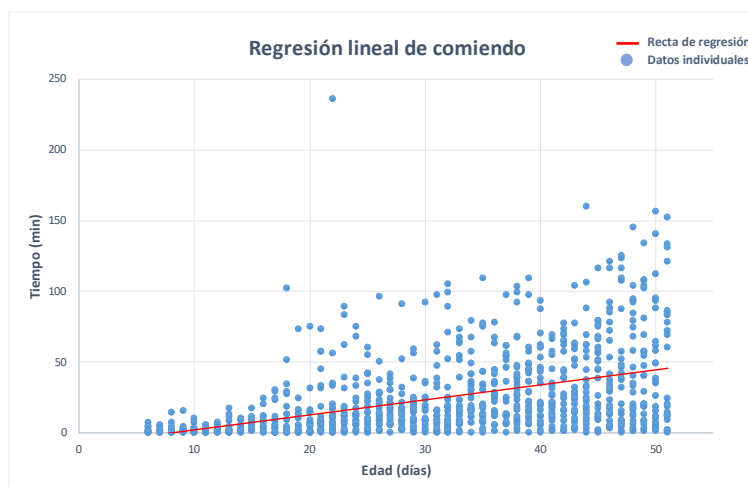


Figura 9. Regresión lineal del tiempo comiendo con ambos tratamientos.

Como se aprecia, el consumo de sólidos es cada vez más notable en función de la edad de los animales. Esto es debido a que la ternera, a medida que va creciendo, va aumentando su peso corporal y cada vez necesita más alimento para poder cubrir todas sus necesidades (Heinrichs y Rubio, 2014), además de acercarse el momento del destete.

La Figura 10 muestra la recta de la regresión cuadrática resultante de los datos pertenecientes al tiempo diario invertido por los animales en mamar del biberón y los datos individuales de la muestra para este comportamiento.

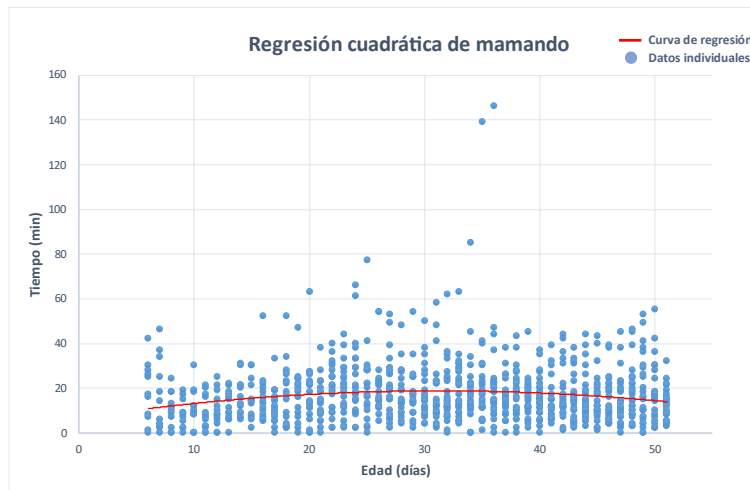


Figura 10. Regresión cuadrática del tiempo mamando con ambos tratamientos.

Tal y como se puede observar en la figura, la evolución del tiempo dedicado a mamar es poco pronunciada. A pesar de encontrar una relación cuadrática significativa, se puede observar como la variabilidad entre animales es mayor que la variación temporal. Es conocido que la cantidad de tiempo que pasan los terneros mamando depende de la cantidad de leche suministrada (Jung y Lidfords, 2001), la cual a lo largo del día fue la misma para ambos tratamientos y no varió durante el desarrollo de la prueba.

Otro comportamiento que sí presenta una evolución notable con el tiempo es la rumia. En la Figura 11 se reflejan los tiempos empleados en rumiar en función de la edad de los animales y la curva de regresión.

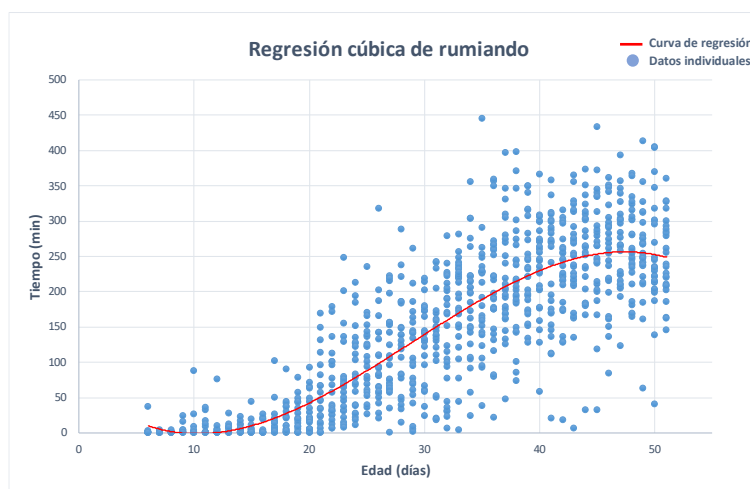


Figura 11. Regresión cúbica del tiempo rumiando con ambos tratamientos.

Al inicio del ciclo los animales apenas invierten una hora del día para realizar la rumia ya que el sistema digestivo de las terneras todavía no se ha desarrollado completamente (Hofmann y Schnorr, 1982). Como muestra la figura, a pesar de la falta de desarrollo, las terneras tienen pequeños indicios de rumia con apenas 10 días de edad.

El estudio realizado por Swanson y Harris (1958) obtuvo resultados similares a los nuestros, entre los 5 y 7 días de edad detectaron que el 50% de los animales tenían indicios de rumia temprana y cuando alcanzaron los 21 – 28 días de edad (3 – 4 semanas) casi todos los animales del estudio habían iniciado la rumia. De igual manera se observa en nuestro estudio, donde se aprecia que a dicha edad crece significativamente el tiempo invertido en rumiar, siendo aproximadamente de 5 horas al día.

Finalmente, antes del destete, se aprecia un ligero descenso en la cantidad de tiempo rumiando. Este efecto puede deberse a la alta digestibilidad del pienso estándar y a que las terneras aún no disponen de forraje para estimular el proceso de rumia. Como indicaron Khan *et al.* (2011) una posibilidad sería suministrar heno picado a una edad temprana ya que como consecuencia produce un aumento en la cantidad total de alimento sólido ingerido. Por lo tanto, aplicando esta dieta y controlando no excederse en la cantidad de leche suministrada, los animales obtendrían mejor desarrollo ruminal en menor tiempo (Grijalva y Aldean, 1992).

Si se analizan las figuras 9 y 11 conjuntamente, se puede apreciar la observación que hicieron Baldwin *et al.* (2004) de que con una dieta complementada con sólidos se incrementa el desarrollo del rumen. En nuestro estudio se observa que a partir de los 20 días la rumia aumenta y el consumo de sólidos también, por lo que podría afirmar que hay una posible relación entre ambas acciones.

Un comportamiento propio de las terneras es realizar su propio acicalamiento, en la Figura 12 se presentan los datos individuales del tiempo que han empleado los animales en acciones bucales no nutritivas y la recta de regresión del análisis realizado.

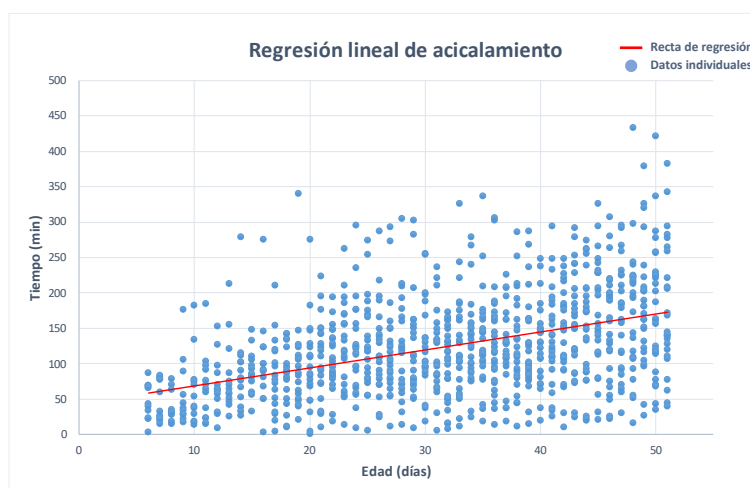


Figura 12. Regresión lineal del tiempo acicalándose con ambos tratamientos.

Al igual que otros comportamientos, el tiempo empleado para acicalarse va aumentando progresivamente con la edad de las terneras, en este caso se aprecia como al principio todos los animales destinan aproximadamente el mismo tiempo en realizar la acción y con el paso de los días se observa mayor variabilidad de datos.

El tiempo que emplean las terneras para acicalarse puede variar en función del entorno, por ejemplo, por factores externos como es el tipo de cama (Panivivat et al., 2004) o por factores internos, como una posible enfermedad (Borderas et al., 2008). Lo que sugiere una posible relación con el bienestar y la comodidad del animal.

Este incremento en el acicalamiento que se ha obtenido es similar al que observaron Horvath y Miller-Cishon (2019) donde durante el periodo de lactación las terneras tendían a realizar cada vez más esta acción y que tras el destete descendía la cantidad de tiempo invertida para el aseo.

5. LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y PROPUESTAS DE MEJORA

En el presente estudio se han observado ciertas limitaciones, identificando así mismo algunas acciones para la mejora del proceso de evaluación en el futuro.

En primer lugar, dado el funcionamiento de la explotación comercial, no se pudieron introducir en la explotación a todos los animales a la vez y con homogeneidad en su edad y tamaño, sino que han entrado con diferentes edades, pesos y días de llegada, lo cual ocasiona variabilidad en las condiciones. Esta limitación se podría superar estableciendo un grupo experimental más amplio en condiciones controladas, lo que requeriría contar con un rebaño de origen muy grande y sincronizado.

Por otro lado, los grupos de estudio no cuentan con el mismo número de animales, en dos tomas contamos con 16 animales y en tres tomas con 10, esto perjudica en la homogeneidad de las poblaciones. Si a ello le añadimos que tan solo se cuenta con un total de 26 animales, resulta en que el tamaño de muestra para el estudio es reducido dada la variabilidad observada entre animales. De este modo, sería recomendable contar con un tamaño de muestra mayor para poder detectar diferencias entre tratamientos, si las hubiera.

Por otro lado, se ha contado con la validación interna de los sensores por parte de la empresa suministradora, que se realizó sobre animales alojados individualmente. El alojamiento en parejas podría interferir en la precisión del sistema. Por ello se consideraría recomendable realizar un estudio en el cual se observe a los animales determinadas horas del día, durante varios días, para así utilizar esta información y verificar la veracidad del dispositivo en las condiciones del estudio.

Finalmente, hay que destacar la baja cantidad de estudios previos sobre el uso de ganadería de precisión durante el proceso de recría de terneras, con lo que resulta complejo validar la información obtenida. Esta limitación debe considerarse, a su vez, como una fortaleza del estudio que resulta pionero en el ámbito.

6. CONCLUSIONES

La principal conclusión que se puede extraer del presente estudio es que la pauta de alimentación de los animales (dos o tres tomas de leche al día) no tuvo un efecto sobre los parámetros productivos ni sobre el comportamiento de los animales.

Por otro lado, se puede afirmar que la mayor parte de comportamientos realizados por los animales están muy relacionado con la edad de estos. Se ha podido establecer un modelo de la evolución de los comportamientos de las terneras durante el periodo de lactación. Se observa como el tiempo de descanso se va reduciendo a medida que aumenta la edad mientras que las actividades relacionadas con la alimentación sólida (comer y rumiar) y el acalamiento van ganando protagonismo con la edad. Finalmente, se observa que actividades de alta y media intensidad, así como el tiempo mamando permanece razonablemente estable a lo largo del ciclo.

Establecer las pautas de estos comportamientos puede ser favorecedor para el ganadero, pues al conocer los comportamientos habituales, resulta más sencillo reconocer los comportamientos que no son propios en este periodo y de esta forma conocer el estado de los animales y su nivel de bienestar.

En consonancia con lo anterior, podemos afirmar que el uso de los dispositivos propios de la ganadería de precisión utilizados en el estudio son de gran valor para la gestión de la explotación. Resultan fáciles de implantar y relativamente económicos si se tiene en cuenta el beneficio futuro al realizar una correcta gestión de los animales.

Finalmente, en vista de los resultados como técnico experto no se podría hacer una recomendación de un tratamiento u otro si se planteara la situación ya que ambos tratamientos han tenido resultados similares y ninguno ha sido más beneficioso que el otro.

7. BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, A. D., LUIS, J. & CASTILLO, R. (2015). Consideraciones en la recría de novillas lecheras (y II). *Albéitar: publicación veterinaria independiente*, (189), 24-26.

APPLEBY, M. C., WEARY, D. M. & CHUA, B. (2001). Performance and feeding behaviour of calves on ad libitum milk from artificial teats. *Applied Animal Behaviour Science*, 74(3), 191-201.

BALDWIN, R. L., MCLEOD, K. R., KLOTZ, J. L. & HEITMANN, R. N. (2004). Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre-and postweaning ruminant. *Journal of dairy science*, 87, E55-E65.

BEAUCHEMIN, K. A. (1991). Ingestion and mastication of feed by dairy cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 7(2), 439-463.

BERCKMANS, D. (2006). Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming. *Livestock production and society*, 287, 27-30.

BERCKMANS, D. & GUARINO, M. (2017). From the Editors: Precision livestock farming for the global livestock sector.

BLÄTTLER, U., HAMMON, H. M., MOREL, C., PHILIPONA, C., RAUPRICH, A., ROMÉ, V., ... & BLUM, J. W. (2001). Feeding colostrum, its composition and feeding duration variably modify proliferation and morphology of the intestine and digestive enzyme activities of neonatal calves. *The Journal of nutrition*, 131(4), 1256-1263.

BORDERAS, T. F., DE PASSILLÉ, A. M. & RUSHEN, J. (2008). Behavior of dairy calves after a low dose of bacterial endotoxin. *Journal of animal science*, 86(11), 2920-2927.

BROWNLEE, A. (1954). Play in domestic cattle in Britain: an analysis of its nature. *British Veterinary Journal*, 110(2), 48-68.

CLAUSS, M. & HUMMEL, J. (2017). Physiological adaptations of ruminants and their potential relevance for production systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(7), 606-613.

COSTA, J. H., CANTOR, M. C. & NEAVE, H. W. (2021). Symposium review: Precision technologies for dairy calves and management applications. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 1203-1219.

DANNENMANN, K., BUCHENAUER, D. & FLIEGNER, H. (1985). The behaviour of calves under four levels of lighting. *Applied Animal Behaviour Science*, 13(3), 243-258.

DE PASSILLÉ, A. M., RUSHEN, J. & MARTIN, F. (1995). Interpreting the behaviour of calves in an open-field test: a factor analysis. *Applied Animal Behaviour Science*, 45(3-4), 201-213.

DE VRIES, T. J., VON KEYSERLINGK, M. A. G. & BEAUCHEMIN, K. A. (2005). Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 88(10), 3553-3562.

DE WILT, J. G. (1985). Behaviour and welfare of veal calves in relation to husbandry systems (Doctoral dissertation, De Wilt).

DOLECHECK, K. A., SILVIA, W. J., HEERSCHER JR, G., CHANG, Y. M., RAY, D. L., STONE, A. E., ... & BEWLEY, J. M. (2015). Behavioral and physiological changes around estrus events identified using multiple automated monitoring technologies. *Journal of dairy science*, 98(12), 8723-8731.

DRACKLEY, J. K. (2008). Calf nutrition from birth to breeding. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 24(1), 55-86.

DUTHIE, C. A., BOWEN, J. M., BELL, D. J., MILLER, G. A., MASON, C. & HASKELL, M. J. (2021). Feeding behaviour and activity as early indicators of disease in pre-weaned dairy calves. *Animal*, 15(3), 100150.

DUVE, L. R. & JENSEN, M. B. (2011). The level of social contact affects social behaviour in pre-weaned dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 135(1-2), 34-43.

ELIZONDO-SALAZAR, J. A., HEINRICH, A. J. & GELSINGER, S. L. (2007). Pasteurization of non-saleable milk. *The Pennsylvania State University. Fact Sheet DAS*, 07-121.

FERNÁNDEZ, M. (2011). Cría y recría de terneras (I). *MG Mundo ganadero*, 22(243), 38-42.

FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, E., MARTÍNEZ HERNÁNDEZ, J. A., MARTÍNEZ SUÁREZ, V., MORENO VILLARES, J. M., COLLADO YURRITA, L. R., HERNÁNDEZ CABRIA, M. & MORÁN REY, F. J. (2015). Documento de Consenso: importancia nutricional y metabólica de la leche. *Nutrición Hospitalaria*, 31(1), 92-101.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO. (2021). *FAOSTAT Database*. Rome, Italy: FAO.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO. (2018). *World Livestock: Transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals*. Rome. 222 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

GODDEN, S. (2008). Colostrum management for dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 24(1), 19-39.

GÓRKA, P., KOWALSKI, Z. M., PIETRZAK, P., KOTUNIA, A., JAGUSIAK, W. & ZABIELSKI, R. (2011). Is rumen development in newborn calves affected by different liquid feeds and small intestine development?. *Journal of dairy science*, 94(6), 3002-3013.

GRICE, K. D., GLOSSON, K. M. & DRACKLEY, J. K. (2020). Effects of feeding frequency and protein source in milk replacer for Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 103(11), 10048-10059.

GRIJALVA, J. & ALDEAN, L. (1992). Crianza de terneras de leche.

HALACHMI, I. & GUARINO, M. (2016). Precision livestock farming: a 'per animal' approach using advanced monitoring technologies. *Animal*, 10(9), 1482-1483.

HART, B. L. (1988). Biological basis of the behavior of sick animals. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 12(2), 123-137.

HEINRICH, A. J., & HEINRICH, B. S. (2011). A prospective study of calf factors affecting first-lactation and lifetime milk production and age of cows when removed from the herd. *Journal of dairy science*, 94(1), 336-341.

HEINRICH, J. & RUBIO, T. G. (2014). Alimentación de precisión en terneras. *Editmarker web. Recuperado*, 23.

HOFMANN, R. R., & SCHNORR, B. (1982). Functional morphology of ruminant stomach.

HORVATH, K. C. & MILLER-CUSHON, E. K. (2019). Characterizing grooming behavior patterns and the influence of brush access on the behavior of group-housed dairy calves. *Journal of dairy science*, 102(4), 3421-3430.

ISHIHARA, N., CHU, D. C., AKACHI, S. & JUNEJA, L. R. (2001). Improvement of intestinal microflora balance and prevention of digestive and respiratory organ diseases in calves by green tea extracts. *Livestock Production Science*, 68(2-3), 217-229.

- JASPER, J. & WEARY, D. M. (2002). Effects of ad libitum milk intake on dairy calves. *Journal of dairy science*, 85(11), 3054-3058.
- JENSEN, M. B., VESTERGAARD, K. S., KROHN, C. C. & MUNKSGAARD, L. (1997). Effect of single versus group housing and space allowance on responses of calves during open-field tests. *Applied Animal Behaviour Science*, 54(2-3), 109-121.
- JENSEN, M. B. & LARSEN, L. E. (2014). Effects of level of social contact on dairy calf behavior and health. *Journal of Dairy Science*, 97(8), 5035-5044.
- JUNG, J. & LIDFORS, L. (2001). Effects of amount of milk, milk flow and access to a rubber teat on cross-sucking and non-nutritive sucking in dairy calves. *Applied animal behaviour science*, 72(3), 201-213.
- KARGAR, S., BAHADORI-MOGHADDAM, M., GHOREISHI, S. M., AKHLAGHI, A., KANANI, M., PAZOKI, A. & GHAFFARI, M. H. (2021). Extended transition milk feeding for 3 weeks improves growth performance and reduces the susceptibility to diarrhea in newborn female Holstein calves. *Animal*, 15(3), 100151.
- KARGAR, S., ROSHAN, M., GHOREISHI, S. M., AKHLAGHI, A., KANANI, M., SHAMS-ABADI, A. A. & GHAFFARI, M. H. (2020). Extended colostrum feeding for 2 weeks improves growth performance and reduces the susceptibility to diarrhea and pneumonia in neonatal Holstein dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 103(9), 8130-8142.
- KHAN, M. A., WEARY, D. M. & VON KEYSERLINGK, M. A. G. (2011). Hay intake improves performance and rumen development of calves fed higher quantities of milk. *Journal of dairy science*, 94(7), 3547-3553.
- KNAUER, W. A., GODDEN, S. M. & MCDONALD, N. (2016). Preliminary evaluation of an automated indwelling rumen temperature bolus measurement system to detect pyrexia in preweaned dairy calves. *Journal of dairy science*, 99(12), 9925-9930.
- KNAUER, W. A., GODDEN, S. M., DIETRICH, A. & JAMES, R. E. (2017). The association between daily average feeding behaviors and morbidity in automatically fed group-housed preweaned dairy calves. *Journal of dairy science*, 100(7), 5642-5652.
- LEE, Y., BOK, J. D., LEE, H. J., LEE, H. G., KIM, D., LEE, I., ... & CHOI, Y. J. (2016). Body temperature monitoring using subcutaneously implanted thermo-loggers from holstein steers. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 29(2), 299.
- LI, R. W., SPARKS, M. E. & CONNOR, E. E. (2011). Dynamics of the rumen microbiota. Metagenomics and its applications in agriculture, biomedicine and environmental studies. *New York: Nova Science Publishers*, 135-64.
- LOPREIATO, V., MINUTI, A., CAPPELLI, F. P., VAILATI-RIBONI, M., BRITTI, D., TREVISI, E. & MORITTU, V. M. (2018). Daily rumination pattern recorded by an automatic rumination-monitoring system in pre-weaned calves fed whole bulk milk and ad libitum calf starter. *Livestock Science*, 212, 127-130.
- MARTINS, B. M., MENDES, A. L. C., SILVA, L. F., MOREIRA, T. R., COSTA, J. H. C., ROTTA, P. P., ... & MARCONDES, M. I. (2020). Estimating body weight, body condition score, and type traits in dairy cows using three dimensional cameras and manual body measurements. *Livestock Science*, 236, 104054.
- MCCORKELL, R., WYNNE-EDWARDS, K., WINDEYER, C. & SCHAEFER, A. (2014). Limited efficacy of Fever Tag[®] temperature sensing ear tags in calves with naturally occurring bovine respiratory

disease or induced bovine viral diarrhoea virus infection. *The Canadian Veterinary Journal*, 55(7), 688.

MOGENSEN, L., KROHN, C. C., SØRENSEN, J. T., HINDHEDE, J. & NIELSEN, L. H. (1997). Association between resting behaviour and live weight gain in dairy heifers housed in pens with different space allowance and floor type. *Applied Animal Behaviour Science*, 55(1-2), 11-19.

MORAN, J. (2002). *Calf rearing: a practical guide*. Landlinks Press.

PANIVIVAT, R., KEGLEY, E. B., PENNINGTON, J. A., KELLOGG, D. W. & KRUMPELMAN, S. L. (2004). Growth performance and health of dairy calves bedded with different types of materials. *Journal of dairy science*, 87(11), 3736-3745.

POCHÓN, D. O. (2016). Surco reticular de los rumiantes. *Revista Veterinaria*, 12(1 y 2), 34-44.

REINHARDT, V. (1980). Erläuterung der Fachausdrücke. In *Untersuchung zum Sozialverhalten des Rindes* (pp. 78-79). Birkhäuser, Basel.

REINHARDT, V., MUTISO, F. M. & REINHARDT, A. (1978). Social behaviour and social relationships between female and male prepubertal bovine calves (*Bos indicus*). *Applied Animal Ethology*, 4(1), 43-54.

RELLING, A. E. & MATTIOLI, G. A. (2003). *Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes*. Editorial Edulp. Argentina: UNLP, 23-55.

RUCKERBUSCH, Y. (1975). The hypnogram as an index of adaptation of farm animals to changes in their environment. *Applied Animal Ethology*, 2(1), 3-18.

SAINT-DIZIER, M. & CHASTANT-MAILLARD, S. (2012). Towards an automated detection of oestrus in dairy cattle. *Reproduction in domestic animals*, 47(6), 1056-1061.

SCHAEFER, A. L., COOK, N. J., CHURCH, J. S., BASARAB, J., PERRY, B., MILLER, C. & TONG, A. K. W. (2007). The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. *Research in Veterinary Science*, 83(3), 376-384.

SCHÄFF, C. T., ROHRBECK, D., STEINHOFF-WAGNER, J., KANITZ, E., SAUERWEIN, H., BRUCKMAIER, R. M. & HAMMON, H. M. (2014). Effects of colostrum versus formula feeding on hepatic glucocorticoid and α 1- and β 2-adrenergic receptors in neonatal calves and their effect on glucose and lipid metabolism. *Journal of dairy science*, 97(10), 6344-6357.

SPOLIANSKY, R., EDAN, Y., PARMET, Y. & HALACHMI, I. (2016). Development of automatic body condition scoring using a low-cost 3-dimensional Kinect camera. *Journal of dairy science*, 99(9), 7714-7725.

STANGAFERRO, M. L., WIJMA, R., CAIXETA, L. S., AL-ABRI, M. A. & GIORDANO, J. O. (2016). Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part I. Metabolic and digestive disorders. *Journal of Dairy Science*, 99(9), 7395-7410.

SWANSON, E. W. & HARRIS JR, J. D. (1958). Development of rumination in the young calf. *Journal of Dairy Science*, 41(12), 1768-1776.

TEJERO, C. (2017). los primeros meses de la ternera, claves para una mejor recría. *Revista Frisona Española*, 37(222), 98-102.

VIEIRA, A. D. P., DE PASSILLÉ, A. M. & WEARY, D. M. (2012a). Effects of the early social environment on behavioral responses of dairy calves to novel events. *Journal of dairy science*, 95(9), 5149-5155.

VIEIRA, A. D. P., GUESDON, V., DE PASSILLE, A. M., VON KEYSERLINGK, M. A. G. & WEARY, D. M. (2008). Behavioural indicators of hunger in dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 109(2-4), 180-189.

VIEIRA, A. D. P., VON KEYSERLINGK, M. A. G. & WEARY, D. M. (2010). Effects of pair versus single housing on performance and behavior of dairy calves before and after weaning from milk. *Journal of dairy science*, 93(7), 3079-3085.

VIEIRA, A. D. P., VON KEYSERLINGK, M. A. G. & WEARY, D. M. (2012b). Presence of an older weaned companion influences feeding behavior and improves performance of dairy calves before and after weaning from milk. *Journal of dairy science*, 95(6), 3218-3224.

WATTIAUX, M. A. (2006). Crianza de terneras—del nacimiento al destete 28) importancia de alimentar con calostro.