



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Ganadería de precisión en vacuno de carne
Precision livestock farming in beef cattle

Autor/es

Cristian Alzate Henao

Director/es

Virginia Celia Resconi Briggiler
José Alfonso Abecia Martínez

Facultad de Veterinaria
2020

ÍNDICE

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	3
4. MATERIAL Y MÉTODOS	4
4.1 Estrategia de búsqueda	4
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	6
5.1 Identificación electrónica	6
5.2 Reproducción	8
5.3 Peso automático	11
5.4 Medidas corporales	12
5.5 Rastreo del animal	13
5.6 Vallado virtual	14
5.7 Monitorización de la salud	15
5.8 Bienestar animal	20
5.9 Alimentación	24
5.10 Rumia	27
5.11 Medio ambiente	29
5.12 Granjas inteligentes	31
6. CONCLUSIONES	34
7. CONCLUSIONS	34
8. VALORACIÓN PERSONAL	35
9. BIBLIOGRAFÍA	35

1. RESUMEN

La ganadería de precisión es el conjunto de herramientas que permiten la automatización de las labores de granja y brindan información útil para la toma de decisiones orientadas a la eficiencia productiva del ganado. Esta revisión sistemática identificó las diferentes herramientas de ganadería de precisión probadas en vacuno de carne. Se utilizaron palabras claves que permitieran abarcar las diferentes herramientas existentes en las bases de datos en inglés de *Web of Science (WoS)* y *ProQuest (PQ)*, utilizándose el gestor bibliográfico *EndNote online*. De los registros encontrados, se hizo una selección de trabajos relevantes en base al título y el resumen y se accedió posteriormente al trabajo completo de aquellos pre-seleccionados a través del acceso desde la biblioteca de la Universidad de Zaragoza o de búsquedas directas en Google. Finalmente, las 97 publicaciones que se encontraron se clasificaron según la utilidad que ofrecen las herramientas al ganadero en: identificación electrónica, reproducción, peso automático, medidas corporales, rastreo del animal, vallado virtual, monitorización de la salud, bienestar animal, alimentación, rumia, medio ambiente y granjas inteligentes. Según los resultados se pudo concluir que la ganadería de precisión ayuda al ganadero a resolver problemas particulares o más globales de la producción de carne. Sin embargo, es necesario el desarrollo de más estudios para ampliar la información enfocada en ganado vacuno de carne, y desarrollar más herramientas de precisión a nivel comercial o mejorar las existentes, para incentivar la implementación de tecnología en la granja ganadera y que le ayude a producir de manera más sostenible.

2. ABSTRACT

Precision livestock farming is the set of tools that allow the automation of farm duties and provide useful information to make decisions aimed at the productive efficiency of livestock. This systematic review identified the different precision livestock farming tools tested in beef cattle. The keywords were used to cover the different existing tools in the Web of Science (WoS) and ProQuest (PQ) databases in English. The records found were filtered in a first stage before being sent to the EndNote online bibliographic manager, in order to discard studies that did not correspond to the study objective and reduce the considerable amount of initial records. Subsequently, the relevant works were selected and those that allowed access from the University of Zaragoza or direct searches on Google were located, being able to classify the 97 most relevant records of this review. According to the results, it was concluded that precision farming helps the farmer to solve particular or more global problems of meat production. However, it is necessary to develop more studies to expand the information focused on beef cattle, and develop more precision tools at the commercial level to encourage the implementation of technology in the cattle farm.

3. INTRODUCCIÓN, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Para satisfacer la demanda mundial, la producción de alimentos debería ir incrementándose en los años venideros debido al aumento de la población (Harrison 2002). Y el sector ganadero, no es ajeno a esta problemática, por lo tanto, se debe producir más carne, y a su vez enfrentar otros desafíos globales, tales como la seguridad alimentaria, la conservación de los recursos naturales y del medioambiente y el bienestar animal. Los ganaderos, a su vez, se enfrentan a otro tipo de retos particulares, ya que su trabajo puede resultar tedioso, hay un bajo reemplazo generacional, los costes de producción son elevados, se manejan cada vez más animales por granja, etc.

A través del uso de la tecnología, la ganadería de precisión, ofrece herramientas para enfrentar varias de estas cuestiones, ya que permite la automatización de ciertas tareas y brinda información individual, continua y precisa, lo que facilita la toma de decisiones orientadas hacia una producción más sostenible y eficiente, teniendo en cuenta el bienestar animal y por qué no, el del propio ganadero (Callejo Ramos 2014).

A partir del año 1990 la instalación de herramientas de ganadería de precisión en las explotaciones intensivas de vacuno lechero, granjas de cerdo y naves de pollo fue creciente (Frost et al. 1997) y las múltiples investigaciones han permitido mejorar notablemente los parámetros productivos (Feuchter and del Noroeste 2018). En el ganado vacuno y ovino la implementación de estas herramientas es menor, pero se están comenzando a utilizar poco a poco y muchas innovaciones están en fase de desarrollo para adaptarse a las dificultades de su aplicación en sistemas más extensivos y poco rentables.

Algunas herramientas desarrolladas a nivel de investigación o disponibles comercialmente en otras producciones podrían ser de interés para la ganadería de carne, aunque este trabajo tuvo como objetivo identificar a través de una revisión bibliográfica sistemática, herramientas de ganadería de precisión que han sido directamente probadas en vacuno de carne explícitamente. También se pretende analizar su implementación en los sistemas de producción ganaderos y cómo influyen en la solución de problemas particulares o más globales del sector. Este trabajo de investigación forma parte del proyecto Europeo: BovINE (Beef Innovation Network Europe), financiado por la Unión Europea (call H2020-RUR-2019-1, Proyecto 862590), con el fin de mostrar a los ganaderos las herramientas que están disponibles o que podrían estarlo pronto y que pueden tener interés para su explotación.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

Para el proceso de investigación bibliográfica se utilizó un método sistemático, incluyendo artículos científicos y otros trabajos en literatura gris, conocida también como no convencional o informal que incluye artículos periodísticos, congresos, tesis, informes técnicos, memorias, boletines, catálogos de productos, etc. Los registros fueron obtenidos de dos bases de datos en inglés y posteriormente toda la información encontrada se organizó con el gestor bibliográfico EndNote online, el cual permitió seleccionar y clasificar los documentos más relevantes en el tema de estudio, por último se extrajo la información útil de los documentos para responder a los objetivos de estudio.

4.1 Estrategia de búsqueda

En primer lugar, se utilizaron las bases de datos en inglés de *Web of Science (WoS)* y *ProQuest (PQ)*, siendo ambas búsquedas limitadas a trabajos en inglés y publicados a partir del año 2010 hasta la fecha en que se realizaron las búsquedas, respectivamente.

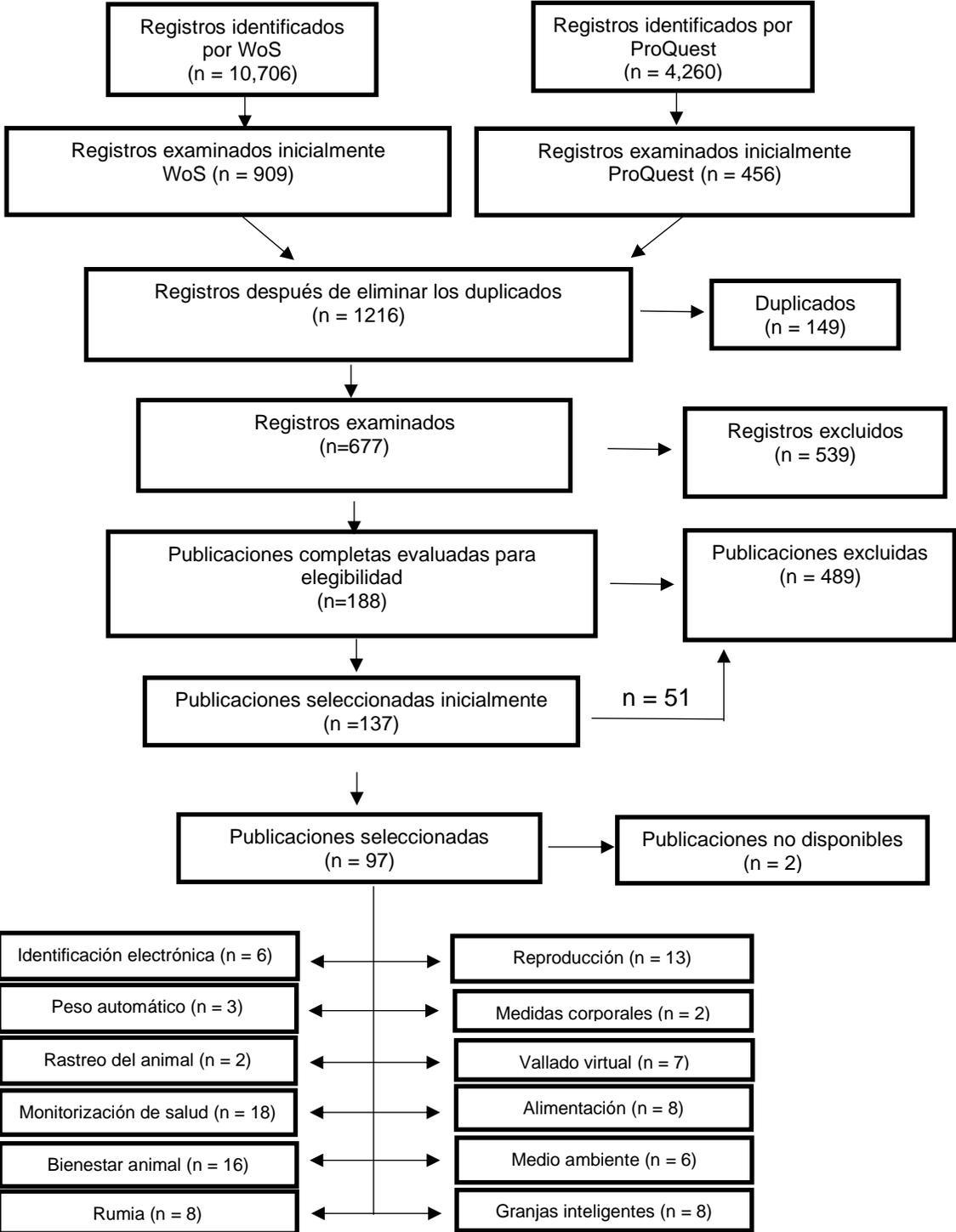
Se obtuvieron 14.966 registros iniciales (10.706 WoS, 4.260 PQ), a través del uso de las siguientes palabras claves:

- WoS: *Topic: (automat* or precision or smart) AND Topic: (farm* or livestock or beef or cattle or bovine)*. Fecha de búsqueda: 04/04/2020
- PQ: *Mainsubject: (automat* or precision or smart) AND Mainsubject: (farm* or livestock or beef or cattle or bovine or cow or calves)*. Fecha de búsqueda: 18/04/2020

La terminología utilizada fue de carácter general para no dirigir la búsqueda hacia una metodología concreta ya que se desconocían en un principio todas las herramientas existentes, razón por la cual se encontraron un número considerable de registros, que implicó un posterior esfuerzo para la selección de los trabajos relevantes.

El primer filtro se hizo basado en el título principal de cada uno de los trabajos encontrados, descartando aquellos trabajos que no respondían al objeto de estudio. En esta fase inicial, dado que no se conocía el número de trabajos relevantes que se podían encontrar se incluyeron, además de los trabajos de ganadería de precisión con ganado de carne, se incluyeron trabajos de ganadería de leche, cerdos y ovinos que pudieran ser aplicables al bovino de carne, pero se excluyeron herramientas desarrolladas para aves. Este proceso llevó a una reducción a 909 registros en WoS y 456 en PQ (Figura 1).

Figura 1 Esquema de los pasos en la selección de los trabajos en la revisión sistemática



Posteriormente las dos búsquedas fueron enviadas y unidas en el gestor bibliográfico gratuito *EndNote* online. Se eliminaron los trabajos duplicados y se hizo la posterior selección de los trabajos relevantes leyendo el resumen. Luego se localizaron aquellos trabajos que fue posible el acceso desde la Universidad de Zaragoza, o en búsquedas directas en google y se leyeron los trabajos enteros disponibles, y de esta manera se identificar y clasificaron los registros más relevantes para esta revisión.

Los 97 trabajos seleccionados, fueron clasificados en los siguientes temas: identificación electrónica (6), reproducción (13), peso automático (3), medidas corporales (2), rastreo del animal (2), vallado virtual (7), monitorización de la salud (18), bienestar animal (16), alimentación (8), rumia (8), medio ambiente (6) y granjas inteligentes (8).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los trabajos clasificados por tema donde se extrae información relevante referida a la metodología empleado y posibilidades de uso en ganadería de carne de vacuno.

5.1 Identificación electrónica

La identificación animal se ha vuelto imprescindible en el desarrollo de la ganadería de precisión. El seguimiento individual del ganado proporciona información rápida y precisa permitiendo determinar la propiedad legal de los animales, facilitar la trazabilidad del producto que llega al consumidor, implementar vigilancia y control de enfermedades y mejorar prácticas de gestión productiva y bienestar animal (Ruhil et al. 2013), entre otros usos, algunos de las cuales se detallarán a continuación en este trabajo. En la búsqueda de las bases de datos en inglés se encontraron 11 publicaciones en la cuales se abordaron: 1) las herramientas de identificación electrónica, como la de identificación con radiofrecuencia (RFID: *Radio Frequency Identification*); y 2) el reconocimiento individual a través de parámetros biométricos o morfológicos con el análisis de imágenes y el uso de algoritmos. L

La identificación por radiofrecuencia fue el tema de tres de los trabajos encontrados en esta revisión bibliográfica, siendo dos trabajos experimentales y una revisión sistemática. La identificación por radio frecuencia es una tecnología utilizada para la captura automática de datos e identificar electrónicamente objetos, animales e incluso hasta personas. Esta tecnología funciona mediante el uso de dispositivos llamados etiquetas (tags). Las etiquetas se pueden utilizar ya sea en placas de identificación para las orejas como en otros formatos como en bolo de ingestión del animal y subcutáneo (Tapia et al. 2007). La

radiofrecuencia permite una individualización a través de un número único o ID number (Garfinkel and Rosenberg 2005). El uso de esta herramienta ha mejorado el seguimiento y la automatización para el ganadero, aunque se plantea, la dificultad que puede tener esta implementación en ganaderos que sólo disponen de uno o dos animales.

En los países de la Unión Europea, la identificación por RFID es ya un método oficial desde Julio de 2019. La eficiencia para gestionar la trazabilidad de la cadena de suministro de carne es un aspecto importante que se ha mejorado a través de la identificación electrónica en la ganadería. Aunque ya se han previsto soluciones de identificación por radiofrecuencia, la integración de un sistema de trazabilidad RFID a nivel de granja debe llevarse a cabo cuidadosamente, teniendo en cuenta diferentes aspectos como tipo de granja, infraestructura, número y especie animal. El chip puede perderse, la lectura puede ser errónea cuando muchos animales concurren cerca del lector y debe asegurarse un sistema seguro. Un estudio evaluó el rendimiento de un sistema de identificación RFID para la gestión de la trazabilidad con captura automática de datos de los animales, siendo probados en contexto de experimentación, explotación comercial y matadero en Italia, donde se obtuvieron resultados alentadores que implica una red de colaboración para compartir plataformas entre los distintos eslabones de la cadena cárnica, con los permisos de acceso adecuados (Barge et al. 2013).

En el estado de Katsina (Nigeria), se estudió una estrategia para contener el robo de ganado adaptando la identificación por radiofrecuencia como una solución a este problema (Ibrahim et al. 2016). La producción ganadera es una actividad económica importante en la región, siendo el sustento de muchas familias. El aumento del robo de ganado ha sido determinante para optar por esta solución tecnológica, permitiendo rastrear el movimiento del ganado y garantizando la identificación precisa y oportuna del ganado robado (Ibrahim et al. 2016).

Los sistemas de reconocimiento basados en biometría se han utilizado ampliamente para la identificación humana, incluyendo huellas dactilares, reconocimiento de cara e iris debido a que presentan un patrón único. Recientemente, la biometría también se ha estudiado para la identificación animal, incluyendo el ganado vacuno, identificándose tres publicaciones en esta revisión sistemática en vacuno de carne. Los métodos más populares para la identificación individual del ganado como las caravanas de plástico colocadas en las orejas pueden dar lugar a duplicaciones, mientras que los microchips toman tiempo para que un experto lo coloque en el ganado y se puede herir al animal o a la persona que coloca. En un estudio se utilizó igualmente la impresión del hocico para la identificación automática del ganado utilizando un

procesado de imágenes más complejo, el cual presentó una precisión sin errores para la clasificación, según los autores (Kusakunniran et al. 2018).

Otro modelo evaluado fue un algoritmo con imágenes faciales en China (Cai, Li and Lee 2013). La base de datos del algoritmo se realizó de forma independiente en varias imágenes (de 6 a 9) de la cara de 30 bovinos, sin especificarse el tipo de ganado utilizado (lechero o de carne). Se mostró un gran desempeño en eficiencia y precisión, aunque se recomienda utilizar bases de datos más amplias y otros algoritmos adicionales para mejorar las tasas de reconocimiento y permitir mejorar la automatización del sistema (Cai et al. 2013).

La identificación animal basada en patrones biométricos únicos también se evaluó utilizando el reconocimiento del iris, que implica como aspecto crítico, una correcta segmentación que difícilmente se puede llevar a cabo con imágenes tomadas en escenarios reales y con cámaras comunes de luz visible por el alto nivel de ruido generado (Larregui, Cazzato and Castro 2019). En este estudio se utilizaron 80 imágenes de 11 vacas Aberdeen-Angus en Argentina, alcanzando una alta fiabilidad. Si bien los autores señalan que se deben realizar más trabajos para comprobar el modelo en otras razas.

En un estudio australiano publicado recientemente, se propuso la utilización de secuencias de imágenes para identificar ganado vacuno aprovechando las ventajas de dos métodos existentes: CNN, *Convolutional Neural Network* y LSTM, *Long Short-Term Memory*, utilizándose un total de 516 videos de 41 animales (Qiao et al. 2019b). El modelo logró una precisión de hasta 91%, variable según la longitud del video y el número de algoritmos utilizados. Para un futuro, los investigadores trabajarán para mejorar aún más el modelo en situaciones de campo y pretenden obtener otras medidas de interés adicionales, como el peso vivo y la condición corporal (Qiao et al. 2019b).

5.2 Reproducción

La mejora del rendimiento reproductivo tiene crucial importancia en la economía de las explotaciones con vacas nodrizas y se podría conseguir con el uso de la ganadería de precisión, reduciendo mano de obra o facilitando ciertas tareas de gran importancia. En la búsqueda de las dos bases de datos utilizadas se encontraron 12 trabajos, en los cuales se destacan la detección del estro y de parto, a través del pesaje, sensores, cámaras de detección de movimiento y evaluación de la temperatura.

Saint-Dizier y Chastant-Maillard (2018) en su revisión bibliográfica destacan las principales razones para invertir en dispositivos tecnológicos y optimizar el rendimiento reproductivo del rebaño; uno de sus objetivos fue debatir cuestiones económicas actuales relacionadas con los dispositivos conectados para la gestión de la reproducción del ganado bovino. Los autores señalan que, en un futuro próximo, los dispositivos conectados pueden permitir una monitorización precisa de los caracteres reproductivos y de salud de los animales y podrían ayudar a mejorar el bienestar animal y la percepción pública de la producción animal. En esta revisión se pone de manifiesto además la mayor proporción de trabajos citados de ganado lechero, y sólo un trabajo se referencia en ganado vacuno posterior a 2010.

La confirmación y predicción del parto son esenciales, ya que permiten una evaluación y asistencia eficiente al nacimiento del ternero. El registro del nacimiento de los terneros para hallar la tasa reproductiva de las hembras a menudo no es fácil. En Australia se probó una tecnología automatizada de pesaje de animales (*Walk-over-Weighing: WOW*) ubicada en la entrada del punto de bebida de agua, para estimar la fecha de parto de las vacas con pruebas de gestación confirmadas. Una vez nacidos los terneros, se analizaron los perfiles de peso y se obtuvo un 59% de predicción correcta de la fecha de parto, demostrando que el pesaje de animales se podría utilizar para estimar la fecha de parto en rebaños de carne de vacuno extensivos, aunque se propone que las mejoras en la predicción de la fecha de parto podrían aumentarse a través de cambios de ingeniería diseñados para ralentizar el movimiento de las vacas sobre la unidad de pesaje (Aldridge et al. 2017). Igualmente, en otro estudio hecho en Australia, se utilizó la misma tecnología *WOW* en la zona de bebida de agua para registrar automáticamente los pesos de los animales, donde el algoritmo personalizado fue capaz de detectar automáticamente la fecha de parto dentro de los 10 días del período de parto observado para el 63% de las vacas. Se concluyó que este sistema ofrece la oportunidad de aumentar el registro de los días del parto, valor fenotípico de gran importancia para la selección genética de los animales, que no es posible/fiable en condiciones de pastoreo extensivo en explotaciones de grandes extensiones (Menziez et al. 2018).

La medición del índice de la temperatura intravaginal (IVT) también fue evaluada para predecir el parto en vacas y adaptarlo como un método automático. Se utilizó el dispositivo comercial *Medria Vel'Phone*[®] con un sensor que mide el IVT cada 12 horas y se comparó el IVT con la caída de temperatura para predecir el parto dentro de las 24 h. El estudio demostró la utilidad del dispositivo disponible comercialmente para predecir el parto y se concluyó que el IVT tuvo un mejor resultado comparado con la caída de la temperatura para predecir el parto dentro de 24 h (Ricci et al. 2018). Se comenta además, que predecir

el parto en granjas con vacas con problemas de distocia, como la raza italiana Piamontesa de doble musculatura puede mejorar la asistencia al parto y evitar problemas.

Actualmente muchas de las producciones ganaderas han reemplazado la monta natural por inseminación artificial, por lo tanto, la detección del celo en el ganado tiene una importancia fundamental, ya que si no se logra hacer de manera efectiva puede convertirse en un factor limitante. La detección convencional del celo depende de la inspección ocular de los animales por parte de mano de obra cualificada y esta práctica es costosa y relativamente ineficaz. Un estudio evaluó una sonda intravaginal remota, capaz de automatizar el proceso de detección de celo en ganado vacuno, basado en mediciones de conductividad y temperatura, así como la detección de movimiento. Se pudo demostrar la capacidad de la sonda para detectar de forma remota el celo en granja con un medio ambiente en condiciones normales; además, debido a su enfoque multiparámetro, puede dar alerta temprana, proporciona una alta precisión temporal y también es resistente a falsos positivos (Andersson et al. 2015).

Un estudio tuvo como objetivo evaluar la eficacia de la técnica de detección de celos basada en mediciones continuas de temperatura vaginal (VT) y conductividad (VC) con aprendizaje automático supervisado. Se utilizó un sensor vaginal portátil para medir ambos parámetros y se pudo concluir que la técnica tiene un gran potencial para la detección de celos, eficiente y preciso en el ganado (Higaki et al. 2019). Otro estudio evaluó la temperatura de la superficie ventral de la base de la cola (ST): se utilizó un sensor remoto para monitorizar la detección del celo en el ganado vacuno y para excluir el ritmo circadiano y los efectos estacionales. Los cambios de ST se expresaron como temperaturas residuales (RT). Se pudo concluir que el ST de la base ventral de la cola podría ser monitorizado a lo largo del ciclo estral y podría detectar un cambio sustancial alrededor del momento de la expresión del celo; además, el cálculo y el análisis del RT podrían ser útiles para la detección automática de celos (Miura et al. 2017).

Las técnicas de imágenes y cámaras de video también se han evaluado para detectar automáticamente el celo mediante la verificación de la monta en ganado autóctono coreano. Se utilizaron cámaras de video de vista lateral para detectar anomalías espaciales y temporales, posteriormente se extrajo la información del movimiento para seleccionar un posible movimiento de monta y no monta. Del experimento se pudo concluir que el método propuesto podría detectar la monta considerando la dirección, magnitud e historial del movimiento de monta, incluso en el caso de una interferencia por una valla (Chung et al. 2015). Otra técnica evaluada para la detección automática del comportamiento de celo del ganado fue mediante el uso de un sensor de rango láser y tecnología de procesamiento de imágenes. La

experimentación se llevó a cabo en el campo de Sumiyoshi, Universidad de Miyazaki (Japón). Los resultados fueron: cero celos no detectados, 3 falsos positivos y un porcentaje de detección del 85%, dentro de los 17 animales evaluados. Además, se logró realizar el emparejamiento de imágenes en movimiento, que es un problema habitual, y se pudo establecer que los falsos positivos fueron la causa de error, por lo que se mejoró cambiando el entorno y por lo tanto, el método se mostró eficaz (Mizobuchi et al. 2018).

Se investigaron los cambios en los patrones de los tiempos de conducta de reposo y de pie del ganado durante el celo, además se evaluó el potencial de detección automatizada usando un barómetro y un acelerómetro unidos mediante un collar, como método práctico para detectar ligeros cambios de actitud. Se encontró que el tiempo de espera diario total pronosticado con este método está altamente correlacionado con los datos medidos observados, lo que indica la precisión del dispositivo en la medición diaria del comportamiento animal, detectando un aumento general en el tiempo de actividad diaria durante los días del estro (Nabenishii et al. 2019). En otro estudio, se utilizaron datos sonoros de vacas coreanas; el método propuesto fue extraer los coeficientes para la representación del sonido. Los resultados experimentales mostraron que el método propuesto se puede utilizar para detectar el celo en el ganado de manera económica con dispositivos de bajo presupuesto y con una precisión de más del 94%, ya sea como una solución independiente o para complementar métodos conocidos (Chung et al. 2013).

La tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) ha aumentado la precisión de la gestión ganadera; por ejemplo, los lectores de crotales incorporados en los sistemas de pesajes han permitido la recopilación automatizada de datos secuenciales diarios. Por último, un estudio utilizó datos de identificación RFID y el sistema de pesaje automático mencionado WOW para obtener datos temporales cada vez que los animales van a beber agua, que permitieron evaluar la proximidad de vacas y toros, lo cual predijo el estro con una sensibilidad del 65% sin utilizar otro dispositivo. Esto representaría una ventaja adicional que se puede obtener con el pesaje automático de animales en una explotación y los autores proponen utilizar este sistemas para evaluar otros caracteres reproductivos de interés (Corbet et al. 2018).

5.3 Peso automático

El pesaje periódico de los animales es un dato altamente valioso, pero trabajoso de obtener para los ganaderos; sin embargo, sólo se identificaron 3 trabajos con la metodología sistemática utilizada. Estas innovaciones fueron testadas en Brasil (Cominotte et al. 2020, Sainz 2019) y Japón (Tamari et al. 2018). Dos de ellas implicaron la estimación del peso por análisis de imágenes 3D utilizando varias cámaras RGB (Tamari et al., 2018) o una cámara Kinect® (Cominotte et al., 2020), donde ambos sistemas mostraron potencial pero deben seguir perfeccionándose para estar disponibles a nivel comercial. El sistema descrito en Sainz, sí que está disponible comercialmente, como así otros sistemas que no fueron mencionados en esta revisión. Los sistemas con balanza de pesaje automático, consisten en plataformas donde animales identificados electrónicamente caminan o permanecen quietos (bebiendo, comiendo) y un lector reconoce al animal y se registra su peso, que se procesa por algoritmos y la información se transfiere al ganadero, que puede acceder a la información en cualquier lugar. También se puede disponer del dato de la frecuencia de visita al bebedero, por ejemplo. Estas informaciones ayudan a mejorar el manejo nutricional, la detección de animales enfermos o desaparecidos y la definición del momento óptimo de sacrificio, entre otros muchos usos potenciales, algunos ya mencionados en este trabajo, como el sistema WOW como herramientas de reproducción.

5.4 Medidas corporales

Las dimensiones corporales y la estimación de la condición corporal del ganado son descriptores de gran utilidad para mejorar la productividad y la calidad del producto, dado que dan información útil para el manejo reproductivo, nutricional, la mejora genética, el estado de salud de los animales o la decisión del momento óptimo de sacrificio. Se han desarrollado herramientas tecnológicas que permiten hacer estas valoraciones de manera objetiva lo que puede facilitar la calidad de los datos obtenidos, una mayor frecuencia de medición y un ahorro de tiempo y esfuerzo. Cuando se reemplazan valoraciones que implican el contacto directo con el animal, se evitan además situaciones de estrés en los animales y posibles agresiones a los operarios. En la búsqueda sistemática realizada se encontraron 2 trabajos específicos para ganado vacuno de carne, que se refieren a estimación de medidas corporales a través del procesamiento automático de imágenes.

Uno de los estudios evaluó el uso de un sensor LiDAR (*Light Detection and Ranging*) para calcular cinco medidas en el animal: altura de la cruz, profundidad del pecho, altura dorsal, longitud del cuerpo y altura de la grupa en ganado chino Qinchuan y su posterior procesamiento automático (Huang et al. 2018). El método fue validado con la toma de datos manuales, proponiéndose apto para la valoración de animales

adultos con una precisión de ± 2 mm. Sin embargo, es necesario incrementar las bases de datos con diferentes dimensiones corporales y corregir errores que se producen por el movimiento de los animales (Huang et al. 2018).

El otro artículo se basa en la estimación de la altura de la cadera en el ganado bovino, que junto con la edad, permite evaluar el *frame score* o escala de tamaño del animal, ampliamente utilizado en Australia en las especificaciones de mercado (Wilkins et al. 2015). El sistema demuestra capacidad para ser utilizado en explotaciones comerciales, y se propone avanzar en la metodología para la obtención de otros datos útiles como el estado de engrasamiento (Wilkins et al. 2015).

5.5 Rastreo del animal

Poder geolocalizar y saber hasta con qué tipo de pastos se está alimentando el ganado, son algunas de las ventajas que brindan las tecnologías de tracking en la ganadería. En las bases de datos en inglés se encontraron 2 estudios en los que se evaluó la herramienta GPS (*Global Positioning System*), y la capacidad de localizar y manipular la distribución espacial del pastoreo e incluso identificar factores que afectan el comportamiento del ganado, y que producen bajos rendimientos de producción.

En un estudio se investigó la selección de la dieta del ganado de carne en pastizales seminaturales, utilizando el sistema de posicionamiento global (GPS) para rastrear las rutas de alimentación, dicho proceso se hizo en conjunto con un sistema automático para registrar el comportamiento de búsqueda de alimento de los animales en pastoreo y medir la estructura de la vegetación en un lugar determinado (altura de los pastos y grupos funcionales de las plantas). El estudio demostró que el rastreo por GPS de las rutas de alimentación del ganado podría combinarse con el mapeo de la vegetación y las mediciones automáticas del comportamiento de pastoreo para investigar la preferencia de dieta en pastizales complejos y heterogéneos (Orr et al. 2012).

Otra herramienta evaluada fueron los vehículos aéreos no tripulados (UAV), los cuales han tenido un interés creciente por parte de los investigadores como herramienta de conectividad en áreas complicadas. Un estudio tuvo como objetivo encontrar el despliegue óptimo de los UAV para obtener un funcionamiento eficaz y minimizar la distancia media entre los UAV y los animales. En el desarrollo de la evaluación, se supuso que el número de UAV son suficientes para cubrir todo el pasto y que los animales están equipados con collares GPS, por lo tanto, la movilidad de cada animal objetivo no puede ser ignorada. Se pudo demostrar que el método utilizado puede producir un promedio más bajo entre la

distancia UAV-animal en comparación con el logaritmo estándar de agrupación utilizado (K-means) sin considerar la movilidad del ganado en potrero (Li and Xing 2019).

5.6 Vallado virtual

El manejo de ganado en extensivo puede ser un desafío en áreas protegidas donde no se permite el uso de barreras físicas y donde pueden existir áreas restringidas para el ganado. La utilización de barreras físicas es difícil, muy costosa o incluso imposible en ciertas áreas muy extensas o de difícil acceso, donde además, no suele haber un estrecho control sobre los animales. Por lo tanto, delimitar la zona de pastoreo de manera virtual representa una alternativa de manejo muy atractiva. En la búsqueda bibliográfica realizada se encontraron 7 publicaciones donde se aborda el vallado virtual, que consiste en la utilización de collares con tecnología GPS y con un sistema que avisa al animal a través del audio que está entrando en una zona no permitida y si continúa esa dirección “incorrecta” recibe un estímulo eléctrico negativo. Los límites se establecen desde el ordenador, tablet o móvil del ganadero, que le permite además, monitorizar la localización de sus animales y dirigir sus movimientos.

En una prueba inicial de desarrollo de esta metodología, realizado en Australia, se evaluó la capacidad de disuadir el ganado de sobre pastorear entornos sensibles a través del uso de los mencionados estímulos (auditivos y eléctricos) en collares, pero aplicados de manera discontinua, con el fin de superar limitaciones de suministro de energía, consiguiéndose un 97% de restricción del uso de la zona protegida con un 25 % de reducción del tiempo de uso de energía (Ruiz-Mirazo, Bishop-Hurley and Swain 2011). Pero esto no podría usarse en caso de necesidad de total exclusión de los animales en un área determinada. En otro estudio utilizando sensores de localización y modelos matemáticos más eficientes, consiguieron un ahorro energético y una mayor precisión en la localización de los animales para el vallado virtual (Jurdak et al. 2010).

El vallado virtual logró comercializarse y el sistema eShepherd™ (Agersens Pty Ltd, Australia) se evaluó con 12 novillas Angus sin experiencia previa para determinar su capacidad de disuadir que se dirigieran hacia un alimento apetecible ubicado en una zona restringida y sobre el cual días previos tenían acceso libre (Campbell et al. 2018b). El vallado virtual resultó exitoso en la mayoría de los animales y tras seis interacciones con ambas señales (audio + impulso eléctrico), 50% de los animales fueron capaces de respetar la barrera sólo con el audio (Campbell et al. 2018b). Se observaron diferencias individuales en el proceso de aprendizaje y en las respuestas de comportamiento a los estímulos negativos. Este estudio

evaluó en un escenario individual, lo cual no es lo habitual en una situación comercial donde los animales están en grupo y donde “todos” los animales deberían respetar el vallado para que el mismo sea efectivo. Una preocupación de la tecnología con vallado virtual era que el animal podría asociar la señal acústica a una localización concreta, de modo que aunque se elimine la barrera virtual, el animal “tema” dirigirse a una zona que previamente fue restringida. Pero otro estudio de los autores ya mencionados, mostró que animales en grupo son capaces de aprender rápido a responder sólo a la señal auditiva y no asociarla a un aspecto visual (Campbell et al. 2017). Lo mismo se comprobó en un estudio publicado con posterioridad donde los animales tenían un acceso restringido o no para beber agua de un río en Australia, en el que se observó que sólo un 25% de los animales necesitaban el estímulo eléctrico para “obedecer” pero el resto aprendió a responder sólo con el audio (Campbell et al. 2018a).

El bienestar animal es otra consideración de gran importancia para que los sistemas de cercas virtuales se apliquen a nivel comercial. Por tal motivo se comparó una cerca virtual eShepherd™ con una cerca eléctrica convencional sobre concentraciones de cortisol en muestras fecales, el tiempo de reposo con el acelerómetro IceQube R® (IceRobotics, Reino Unido) en la pierna delantera y el peso de los animales, como indicadores de estrés animal. Los resultados muestran mínimas diferencias estadísticamente significativas a favor del vallado convencional, pero comparando los resultados con estudios previos esas diferencias no se cree que planteen un problema de bienestar animal y se recomienda realizar más estudios (Campbell et al. 2019). Sí que se plantea, que según el temperamento de algunos animales o razas, podría verse más comprometido el bienestar animal, tema que deber estudiarse con más profundidad en el futuro.

En Australia también, recientemente (año 2017) se lanzó a nivel comercial el sistema eShepherd combinado con el software MaiaGrazing que proporciona datos meteorológicos, de crecimiento de pastos, entre otros, para complementar el manejo del ganado en pastoreo (Fawcett 2017).

5.7 Monitorización de la salud

La medición automática de los parámetros fisiológicos y el comportamiento animal permiten evaluar el estado de salud del ganado en tiempo real, por lo tanto, estas herramientas son importantes tanto para el ganadero como para el veterinario, permitiendo detectar tempranamente el desarrollo de infecciones, disminuyendo el uso de medicamentos y reduciendo las pérdidas económicas. En la búsqueda de las bases de datos en inglés se encontraron 18 registros, los cuales evaluaron herramientas como la termografía e imágenes infrarrojas asociadas a detección de ectoparásitos, estimación de enfermedades respiratorias y

toma de temperatura corporal, parámetro evaluado en algunas investigaciones a través de sensores con radiofrecuencia. En otros registros encontrados, se evaluaron sistemas de monitorización inteligente de la salud animal, a través de herramientas de internet como aplicaciones móviles y dispositivos de control remoto.

La temperatura corporal se ha utilizado para examinar el ciclo sexual, el estado de gestación, el proceso del parto y la aparición de enfermedades; sin embargo, la medición manual resulta ser poco práctica y muchas veces costosa, la termografía e imágenes infrarrojas son herramientas que permiten automatizar la medición de la temperatura corporal a través de cámaras que captan el calor infrarrojo en diferentes puntos del animal. Un estudio desarrolló un sistema de Medición Automática para la Temperatura de Superficie del Ganado (AMSCST), compuesto por sensores de registro automatizado para realizar la medición de la temperatura superficial del animal en el metatarso del miembro trasero. El dispositivo está diseñado con una carcasa especial que se adapta a la anatomía del tren posterior. Los resultados demuestran cierta viabilidad de la tecnología automatizada para predecir con precisión la temperatura corporal del ganado (Kou et al. 2017).

Otro estudio evaluó un método automatizado para localizar el ojo y tomar la temperatura en esta región, ya que varios estudios señalan que el ojo es la mejor región para medir la temperatura corporal. Los resultados experimentales demostraron que el algoritmo propuesto tiene buena funcionalidad para localizar el ojo del ganado y medir su temperatura corporal (Jaddoa et al. 2017). Los autores Giro et al. (2019) evaluaron técnicas para monitorizar la temperatura corporal del ganado vacuno en pastoreo, tomando temperaturas en la base de la oreja mediante un transpondedor que contenía un microchip implantable (Lifechip®), y del globo ocular a través de termografía infrarroja. Así, se pudo demostrar que el microchip para la medición de la temperatura subcutánea representa un método práctico, pero aún con capacidad limitada para determinar la temperatura corporal, mientras que la técnica con termografía infrarroja en el globo ocular, demostró ser más seguro, no invasivo y con precisión para la inferencia de la temperatura corporal.

Los autores Nogami et al. (2013) utilizaron nodos de sensores inalámbricos compactos adaptados a las colas de los terneros para la detección temprana de enfermedades respiratorias. En otro estudio se evaluó un método para predecir la temperatura corporal en terneros a través de una tabla de control de suma acumulada y detectar con anterioridad casos de BRD. Los datos se tomaron con sensores en forma de bolos introducidos en el rumen que miden la temperatura retículo-ruminal (ReRu) y validados con registros de temperatura rectal tomados manualmente. Los resultados demostraron gran potencial para

la detección temprana de respuestas febriles relacionadas con la BRD en terneros jóvenes (Voss et al. 2016). Sin embargo, autores como Godyn et al. (2019) puntualizaron en una revisión bibliográfica que a pesar del aumento de las investigaciones relacionadas con la automatización en la toma de temperatura corporal, existe la necesidad de sistematizar y estandarizar conceptos, ya que varios de estos estudios han tenido gran variabilidad en el objetivo investigar, en las condiciones ambientales y en la medición en el momento de la experimentación. Por lo tanto, los resultados obtenidos por los diferentes autores a menudo pueden no ser comparables.

En el periodo *antemorten* en la industria de la carne, la temperatura corporal de los animales tiene gran importancia, ya que se podrían identificar puntos clave que afectan a la calidad del producto y por ende, evitar consecuencias económicas negativas. Un estudio probó la eficacia de la termografía para identificar animales vivos en riesgo de producir problemas en la calidad de la carne de vacuno, especialmente carnes DFD (*Dark, Firm and Dry*). El método fue evaluado en un matadero comercial y los resultados del estudio demostraron que el sistema de detección térmica automatizado, impulsado por RFID y funcionalidad a través de la red, es veloz y tiene capacidad de detectar animales que presentan altas temperaturas con condiciones para generar carnes DFD. Además, el método permite tratar los animales identificados con temperatura alta antes del proceso de sacrificio, pudiendo reducir en un 50% las carnes DFD y evitando pérdidas económicas (Schaefer et al. 2018).

La termografía e imágenes infrarrojas de baja resolución igualmente fueron evaluadas como un método automático para el recuento de garrapatas, con un algoritmo fácil de implementar y computacionalmente ligero, basado en las transformaciones del color y en operaciones matemáticas simples. Las imágenes fueron tomadas del cuello y de la parte trasera del animal como referencia de una mayor incidencia para el recuento de garrapatas y se demostró que el algoritmo era muy efectivo para la identificación de garrapatas visibles, aunque en muchas imágenes no fue posible la identificación debido al contraste o al pelaje del animal, por lo que hasta ahora se puede lograr solo estimaciones de la cantidad de garrapatas (Barbedo et al. 2017). La tasa de respiración (RR) es utilizada para evaluar el estado de salud y bienestar del animal, razón por la cual se evaluó el uso de termografía infrarroja para medir de forma no invasiva la RR en terneros, basándose en fluctuaciones térmicas alrededor de las fosas nasales durante la inhalación y exhalación. Los resultados del método estaban altamente correlacionados, lo que indica su viabilidad para registrar la tasa de respiración y permitir el futuro desarrollo del algoritmo y promover la automatización e integración con sistemas de monitorización (Lowe et al. 2019).

El uso de la termografía junto con identificación por radiofrecuencia (RFID), es de gran utilidad para detectar enfermedades respiratorias en bovinos (BRD) (Schaefer et al. 2012). Estas herramientas ayudan a los ganaderos y veterinarios en la identificación y gestión de la BRD en grandes poblaciones de ganado bovino. Los sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID) permiten recopilar periódicamente el estado de salud animal, son considerados sistemas integrados que ofrecen ventajas duales de menores costos de mano de obra debido a la automatización y beneficios mejorados, debido a la optimización de la productividad animal, la salud y el bienestar. Sin embargo, los sistemas basados en RFID podrían no ser económicamente viables para los pequeños ganaderos, a menos que haya una ventaja de valor considerable. Por lo tanto, se evaluó un sistema integrado con un sensor de temperatura asociado a un crotal RFID adaptado al oído del animal. Los datos se transmiten a una caja que contiene un circuito LED como indicador visual. El servidor central ofrece cuadros de mando sobre el estado de la salud del ganado, el seguimiento médico y las intervenciones de emergencia. Este sistema permite el seguimiento de su estado de salud para evitar pérdidas y contagios en el ganado, dándole valor de peso a este sistema para ser usado por pequeños ganaderos (Bouazza et al. 2017).

En la era de la inteligencia artificial y la automatización en el campo del ganado, los sensores juegan un papel importante. El sensor electroquímico es un tipo de sensor fiable, que puede ser una enorme promesa en el aumento de la productividad animal en el mundo en desarrollo, permitiendo el diagnóstico temprano y preciso de patógenos y del estado metabólico del ganado. Se han desarrollado incluso biosensores electroquímicos basados en biomarcadores específicos de enfermedades (Gattani et al. 2019). Los sensores en forma de bolo ruminal fueron evaluados en varias investigaciones relacionados con sistemas de radiofrecuencia; además de ser utilizados para la medición de la temperatura corporal, también tienen relevancia en la medición del pH ruminal y en el diagnóstico de acidosis metabólica (Dogan and Yavuz 2018). En un estudio se evaluó un sistema integrado con un sensor de rumen para detectar la temperatura y el pH ruminal, equipado con un microprocesador y un sensor de temperatura de alta precisión. Los datos transmitidos se muestran y almacenan en tiempo real a través del ordenador y del teléfono móvil, demostrando que el rendimiento de transmisión de señales de todo el sistema de monitorización es bueno y que el sensor de rumen tiene una alta estabilidad, confiabilidad y repetibilidad, aunque se espera que a largo plazo pueda ser utilizado de manera remota (Tao et al. 2019).

Un sistema de registro automatizado en comedero fue evaluado a través de sensores RFID, equipados en la oreja del animal para registrar el comportamiento alimentario y detectar enfermedades respiratorias. Los resultados del estudio demuestran una gran viabilidad en la detección temprana de enfermedades

respiratorias, aunque se concluye que los beneficios económicos netos son bajos en comparación a la monitorización y registro manual. Por lo tanto, se deben reducir los costos operacionales para justificar la implementación y uso de los sistemas automatizados (Wolfger et al. 2015a).

Un ensayo empírico propuso un método de sensores equipados en ganado para la detección inferencial de enfermedades infecciosas con hasta siete días de anterioridad, con el fin de evitar su propagación y aumentos en la morbilidad y mortalidad del rebaño. El sistema de vigilancia inteligente controla de forma automática y continúa cada animal, demostrando su viabilidad con una sensibilidad del 80.8 % y especificidad del 80%. Además se planea fusionar el clasificador basado en temperatura con datos de los sensores de alimentación y riego integrados en la plataforma, con el fin de mejorar aún más la sensibilidad y especificidad del método (Yazdanbakhsh, Zhou and Dick 2017).

Las cojeras son un problema importante en los animales de granja, con graves repercusiones en el bienestar animal y con grandes costes de tratamiento. Shrestha et al. (2018) puntualizaron que los métodos automáticos que utilizan sensores adecuados mejorarían la eficiencia y la fiabilidad en el diagnóstico de cojeras, proponiendo el uso de un radar MicroDoppler para la identificación automática y sin contacto de la cojera, obteniendo resultados en pruebas de concepto prometedores, con una precisión de clasificación superior al 85 % para las vacas lecheras, alrededor del 92 % para los caballos y cerca del 99 % para las ovejas.

La relación entre los sensores, internet y las aplicaciones móviles tienen como objetivo hacer que la infraestructura de la ganadería sea cada vez más inteligente para rastrear las actividades fisiológicas y biológicas de los animales. Se propuso un sistema para detectar, notificar y manejar enfermedades en etapas tempranas, anomalías, condiciones de emergencia, tiempo de parto y enfermedades, utilizando *Internet of Things* (IoT). El sistema está dotado con GPS para mejorar el seguimiento o ubicación del ganado y un despliegue de sensores en dispositivos portátiles como sensores de temperatura, micrófono y acelerómetro. Además, cuenta con ventilación inteligente que mejora el ambiente para el ganado, sistema de riego inteligente que asegura la disponibilidad de agua en cualquier momento y un sistema de detección de humo que brinda seguridad tanto al ganado como a la finca ganadera. La ventilación y la iluminación inteligentes ahorran electricidad, y por ende, reducen significativamente los costos de producción. Cada animal está dotado de un dispositivo portátil y todas las lecturas generadas por los sensores se reenvían a la nube *thingspeak* para permitir el acceso remoto en tiempo real. Todos los datos junto con la hora y la fecha se pueden extraer para su posterior análisis obteniendo como resultados una

mejora en el estado de salud animal y una disminución de costos en la inspección de la salud del ganado, garantizando consistencia y fiabilidad (Gokul, Tadepalli and Lee 2017).

5.8 Bienestar animal

El bienestar animal se conoce como la calidad de vida de un animal; este concepto ha sido implementado por la Unión Europea a través del proyecto *Welfare Quality*[®], donde se desarrollaron metodologías para la calificación del bienestar animal en granjas. Las alteraciones en la función corporal de los animales se pueden medir para determinar fallos en el bienestar animal, ya que esto repercute directamente en el estado de salud del animal. Algunos indicadores de bienestar animal positivo incluyen ausencia de enfermedad, productividad, buen crecimiento y longevidad (Barrell 2019).

La ganadería de precisión ofrece un sistema de gestión y seguimiento que se centra en mejorar la vida de los animales advirtiéndoles cuándo surgen problemas para que se tomen acciones inmediatas (Berckmans 2014). En la búsqueda de las bases de datos en inglés se encontraron 16 registros, en los cuales se evaluaron sistemas de vigilancia animal conformados por herramientas como acelerómetros, dispositivos GPS y detectores de sonidos.

Generalmente la evaluación del bienestar se realiza de manera grupal en las granjas, sin embargo, Winckler (2019) plantea las medidas a nivel de grupo pueden ser sesgadas y los individuos más afectados pueden no ser identificados.

Rushen et al. (2012) puntualizan que en la evaluación del bienestar de los animales, las medidas de comportamiento deben ser válidas, confiables y factibles; este último requisito significa que la grabación del comportamiento sea de bajo costo, no consuma demasiado tiempo y no interfiriera con los animales o las rutinas de la granja. Los mismos autores concluyeron que la medición automática tiene el potencial de cumplir con todos los criterios anteriormente nombrados.

Se ha demostrado que las vocalizaciones del ganado contienen información relacionada con el bienestar y el comportamiento de los animales. Actualmente, existen pocos ejemplos de algoritmos automatizados de clasificación de la vocalización ganadera, aunque estos sistemas tienen un gran potencial para su uso en la ganadería de precisión. Se evaluó un algoritmo para clasificar la vocalización de ganado con función multipropósito, con datos de audios de grabaciones continuas, separados por especies de bovino, ovino y canino en tres granjas diferentes con el fin de probar su naturaleza multipropósito. Se logró una alta precisión para todos los conjuntos de datos (bovino: 95,78%, ovejas: 99,29%, caninos: 99,67%) y los resultados indican el desarrollo de un algoritmo de clasificación de vocalización de ganado de alta

precisión, que constituye la base para un sistema automatizado de detección de vocalización de ganado (Bishop et al. 2019).

McLoughlin et al. (2019), a través de una revisión bibliográfica, señalan que uno de los problemas más urgentes que enfrenta el uso de la monitorización acústica para el bienestar animal es la falta de una base de datos de código abierto. Si se desarrollara una base de datos de este tipo, sería posible implementar muchos de los métodos que se están experimentando actualmente. Existe la necesidad de relacionar las bases de datos con las cuestiones fundamentales del bienestar animal como las Cinco Libertades, el entorno en el que viven los animales y la calidad de vida que experimenta el animal. Los bovinos son animales gregarios, que pueden experimentar cambios fisiológicos naturales como un aumento de la frecuencia cardíaca, cortisol en saliva, tasas de micción y defecación, y aumento de las respuestas vocales entre muchos otros. Todas estas variables dependen de los diferentes contextos diarios que vive el animal dentro de un marco de normalidad, los cuales deben ser detectados a la hora de tomar las grabaciones de audio y crear las diferentes bases de datos, para de esta manera desarrollar sistemas automatizados integrados de monitorización vocal que garanticen los más altos niveles de bienestar animal.

Describir las acciones de la vida diaria del ganado también resulta una información valiosa e importante para evaluar el bienestar animal. Un estudio que evaluó una base de datos para describir las acciones más normales existentes en la vida diaria del ganado a partir de videos y rastreadores, demostró que el método de reconocimiento de acción resulta favorable en la detección de las acciones del ganado, y el conjunto de datos propuesto básicamente satisface las evaluaciones de acción para los granjeros, calificándolo como un método automático y científico viable para diseñar un esquema y promover la calidad y productividad del ganado (Liang et al. 2018).

Uno de los enfoques de desarrollo en las diferentes herramientas tecnológicas de la ganadería de precisión está basado en la visión por ordenador para obtener información individual sobre la salud y bienestar del ganado. La segmentación de las imágenes son un requisito previo y paso importante hacia la obtención de información en tiempo real del animal. Un estudio arrojó resultados experimentales con un rendimiento de segmentación de ganado bastante deseable por los altos niveles de precisión de píxeles, lo que permite una mejor extracción de contorno de las imágenes trabajadas, incluso con mejor comportamiento que los métodos de segmentación de instancias *SharpMask* y *DeepMask* de última generación actualmente presentes en el mercado (Qiao, Sukkarieh and Truman 2019a).

La monitorización automática para evaluar el bienestar animal tiene gran relevancia dentro de los diferentes registros encontrados en esta búsqueda, ya que es el primer paso para crear las bases de datos y poder desarrollar los sistemas de precisión completos. La evaluación de un sistema inteligente de monitorización automática para el estudio del bienestar animal priorizó los bajos costos en su desarrollo para utilización de pequeños ganaderos. Esta tecnología está compuesta por un sistema de código abierto y procesamiento de datos en un servidor, el cual utiliza *Raspberry Pis* como dispositivos perimetrales para monitorear los animales y el entorno de la granja, posteriormente los datos son enviados a un controlador de la granja local. El software propuesto crea conceptualmente una capa de computación y está conectado con sistemas de almacenamiento en la nube y una aplicación móvil. El estudio demostró que el sistema de computación y detección abierto de bajo costo puede monitorear eficazmente múltiples parámetros relacionados con el bienestar animal (Caria et al. 2017).

Un sistema electrónico denominado *Growsafe* basado en radiofrecuencia fue evaluado para medir los rasgos de comportamiento de alimentación en el ganado vacuno. Para el estudio se utilizaron 10 animales con los cuales se grabaron datos y videos del comportamiento de alimentación a través del sistema *GrowSafe*. El sistema demostró ser capaz de predecir los datos de la cantidad de visitas al comedero y eventos de ingesta (frecuencia y duración) cuando se utilizó un ajuste de parámetros de 100 s, comprobando su eficacia para analizar los datos del comportamiento de alimentación (Mendes et al. 2011).

Dos estudios realizados, tuvieron como objetivo común validar la exactitud de un sistema compuesto (AMD, Etiquetas HR-LDn, SCR) de monitorización automatizado, para diferentes eventos de comportamiento del ganado como reposo lateral, actividad media, actividad alta, rumia, pastoreo, trayecto y jadeo. El método de validación empleado en los estudios fue visual con un registro instantáneo del comportamiento del animal. Además, se determinó el comportamiento más frecuente observado en un intervalo de cinco minutos. Se pudo concluir que el método utilizado mostro una alta precisión para medir la rumia y el pastoreo, pero se mostró deficiente para medir el descanso y los trayectos del animal, razón por la cual se recomienda mejorar los algoritmos empleados para determinar con precisión los dos ultimo parámetros (Merenda et al. 2019).

El uso de sensores automatizados que registran el comportamiento de la alimentación y la locomoción en el ganado, permiten una evaluación profunda del bienestar animal y se vuelven cada vez más importante dentro de la ganadería de precisión. Un estudio tuvo como objetivo determinar la capacidad de un sistema

dotado con un acelerómetro, en conjunto con *halters* y podómetros para registrar la alimentación, rumia, ingesta de agua, trayecto del animal, posicionamiento de pie y descanso. Se pudo concluir que el uso de sensores es un método prometedor para predecir estas actividades en ganado vacuno en pastoreo, aunque es necesario realizar más investigaciones para mejorar la precisión de todas las actividades de comportamiento evaluadas y en un futuro poder usarlas como indicadores de salud (Poulopoulou, Lambertz and Gauly 2019).

Los sensores de movimiento bidimensionales utilizan acelerómetros electrónicos para registrar la actividad del ganado al estar acostado, parado y caminando; la recopilación de estos datos podría ser útil para la gestión y toma de decisiones en la ganadería. Un estudio evaluó sensores de movimiento para monitorizar y cuantificar el comportamiento del ganado Angoni en Zambia. El estudio se llevó a cabo con veinte animales dotados cada uno con un sensor en un miembro anterior para registrar continuamente los movimientos del animal. Los resultados del estudio validan el método de sensores de movimiento para describir y comparar adecuadamente el comportamiento del ganado (Lubaba et al. 2015).

Un sensor de movimiento denominado *Smartbow*, adaptado al oído del animal con un acelerómetro 3D es utilizado para el seguimiento de la actividad del ganado. El dispositivo tiene una funcionalidad importante para comprender el esquema de nutrición, bienestar animal y adoptar estrategias de gestión para la cría animal. Un estudio propuso una técnica de transformación de datos del acelerómetro basada en la rotación del ángulo Euler y la proyección de la señal, el objetivo era aumentar la precisión del reconocimiento para los estados o acciones débilmente identificados, teniendo como resultado una mejora en la precisión de las clasificaciones sin transformación de datos (Sturm et al. 2018).

Otro estudio evaluó la capacidad de un método para clasificar la conducta no supervisada de los datos electrónicos de ganado en pastoreo, obtenidos por medio de un acelerómetro de tres ejes y un sensor en movimiento, equipado en un collar GPS. El estudio se llevó a cabo con tres poblaciones y se evaluaron acciones del animal como forrajeo, rumia, trayectos realizados, tiempo de descanso y otros comportamientos activos. El algoritmo clasificó correctamente los diferentes conjuntos de datos, demostrando ser un método viable para la clasificación no supervisada de datos, lo cual permitiría el desarrollo de un seguimiento automático en tiempo real que podría beneficiar la ganadería, para mejorar la gestión del animal (Gonzalez et al. 2015). Se evaluó otro sistema de monitorización en tiempo real de carácter comercial en forma de collar y compuesto por nodos que emplean GPS y acelerómetro, también utiliza puertas de enlace, servidores y está basado en Lora WAN. Se pudo mostrar en los resultados

experimentales que el esquema tiene las características de larga distancia de comunicación, bajo consumo de energía, redes convenientes y un buen rendimiento en tiempo real, además tiene una amplia gama de perspectivas de aplicación (Li et al. 2018).

5.9 Alimentación

Los sistemas de alimentación automatizados son una de las tecnologías mejoradas utilizadas en la gestión de la alimentación del ganado. El proceso generalmente se realiza mediante robots mecanizados y otras maquinarias avanzadas que ayudan a alimentar los animales y ayudan a reducir el tiempo y el costo de realizar una variedad de tareas en la ganadería. En la búsqueda de las bases de datos en inglés se encontraron 8 registros, en los cuales se evaluaron sistemas compuestos de alimentación automática y en algunos de ellos en relación con básculas de pesaje e identificación por radiofrecuencia.

Un artículo describió una solución inteligente, estable y de bajo costo para detectar el desperdicio de piensos en los sistemas de alimentación del ganado. Esta tecnología se compone de cámaras, dispositivos RFID, unidades de transporte y detectores de temperatura y humedad. Una vez el sistema detecta un evento de desperdicio en la alimentación del ganado, es mostrado por medio de una pantalla con captura de imágenes a través de una señal verde que indica cuándo el alimento está fuera del perímetro del alimentador. Posteriormente el sistema toma decisiones y envía instrucciones a los dispositivos de alimentación, El vehículo de limpieza de pienso tiene la doble función de empujar el pienso a los animales cuando se están alimentando o limpiar el comedero una vez han terminado la ración (Hu et al. 2014)

Uno de los impedimentos de los sistemas de alimentación automática para los pequeños ganaderos es el costo que esto conlleva, pero gracias a la evolución de dispositivos IoT es posible reducir el costo para implementar diferentes sistemas utilizados en la ganadería de precisión, integrando nuevas funciones e interacciones a través de la interconexión de dispositivos con soluciones en la nube. Un estudio presentó un sistema que permite monitorizar la cantidad y calidad de los alimentos y el agua en un silo; además, tiene la funcionalidad de estimar la temperatura y la humedad del recinto ganadero. El hardware funciona por medio de un sistema multiagente encargado de los procesos de gestión de datos; además, gestiona la cantidad de agua y alimentos suministrados en cada alimentador. Los resultados del estudio demuestran la eficacia del sistema para proporcionar la cantidad ideal y controlar la calidad del concentrado y del agua, reduciendo el número de cólicos por sobrealimentación y reduciendo considerablemente el tiempo que el ganadero debe dedicar a la granja (Gonzalez-Briones et al. 2020).

El objetivo de otro estudio fue validar un sistema electrónico de seguimiento del comportamiento individual de alimentación y bebida en ganado joven. Los animales fueron equipados con un crotal en la oreja que contiene un transpondedor pasivo único, con libre acceso a comederos electrónicos de agua y alimentación. El sistema documentó la frecuencia y la duración de la visita de los animales, así como las tomas de piensos y agua, registrando el crotal de identificación del animal, el número del comedero, los tiempos iniciales y finales de las visitas y la diferencia de peso de alimentación/agua al inicio y al final de cada visita al comedero. Se pudo concluir que el sistema integrado es una herramienta útil para controlar el comportamiento de alimentación y bebida, así como la ingesta de agua y piensos en ganado joven alojado en grupos (Oliveira et al. 2018).

Wijayanto et al. (2019), en el evento AIP Conference Proceedings, presentaron el hardware basado en Raspberry Pi 3 (SIKAPAT), capaz de calcular la mejor composición de 3 ingredientes principales en el proceso de engorde de ganado. El estudio expuesto tiene como objetivo desarrollar y diseñar sistemas de automatización de hardware de concentrados como pienso en el engorde de ganado en zonas rurales utilizando IoT en sinergia con SIKAPAT. Los autores concluyeron que el sistema de automatización de mezcla para alimentación del ganado se fabricó con éxito y disminuyó los costos de producción. Además el hardware tuvo éxito cuando funciona con IoT, generando la posibilidad de acceder desde dispositivos que no sean Raspberry pi 3, aunque se puntualizó que es necesario investigar sobre el control del hardware utilizando dispositivos móviles como alternativa.

En otro estudio se evaluó la relación de basculas de pesaje automatizadas y alimentadores electrónicos con el objetivo de medir su capacidad para capturar la variabilidad individual de la ingesta de suplementos *ad libitum*, comportamiento de alimentación y peso vivo en el pastoreo de ganado vacuno. Se pudo identificar una gran variabilidad individual en la ingesta de suplementos. Los resultados indican que es posible predecir la ingesta de los suplementos *ad libitum* utilizando el número de visitas al alimentador electrónico junto con la duración de cada visita hecha por el animal. Además, si se tiene la capacidad de monitorizar el peso vivo y el comportamiento de alimentación de animales individuales en un grupo, podría permitir la alimentación individualizada automática del ganado de pastoreo (cantidad y tipo de suplemento) y el manejo de animales de bajo rendimiento en condiciones de pastoreo (Imaz, Garcia and Gonzalez 2020).

Se desarrolló un sistema informático compuesto por una estación que registra las visitas del ganado en pastoreo y un software denominado NutriComBov, cuya función es importar y gestionar los datos de

registros de animales, suplementos, recursos humanos y la estructura física de la propiedad, para de esta manera obtener información relevante sobre la suplementación del ganado y apoyar a la toma de decisiones de la producción ganadera. Los resultados del estudio realizado fueron satisfactorios, aunque es necesario desarrollar mejoras e incluir futuros sensores para mejorar la eficacia del software NutriComBov. Así mismo, es necesario el desarrollo de un algoritmo para poder incorporar mejores rutas de suministro y tener la capacidad de relacionar las visitas de los animales al comedero con otras variables ambientales y fisiológicas del animal (Luiz et al. 2018).

Igualmente, en un artículo publicado por la Universidad de Oxford se desarrolló un sistema automatizado para medir la ingesta individual de suplementos animales, comportamiento y permitir el control de la ingesta de animales en pastoreo. El sistema llamado SmartFeed fue desarrollado por la compañía C-lock Inc y Rapid City y fue diseñado utilizando un contenedor de alimentación de acero inoxidable, un lector RFID y una antena, aunque en el futuro se planea adaptar una puerta de bloqueo para controlar el acceso de ciertos animales. El sistema SmartFeed tiene el potencial de medir y eventualmente controlar la ingesta individual de suplementos animales en experimentos de pastoreo. Estas capacidades pueden mejorar la flexibilidad de diseño y el poder estadístico de los experimentos, y pueden tener aplicación en la gestión nutricional del ganado (Reuter, Zimmerman and Billars 2016).

En un estudio se desarrolló una instrumentación para medir el consumo individual de alimento y la motilidad del estómago del ganado vacuno. Se crearon algoritmos de análisis de datos para caracterizar el comportamiento de alimentación y las contracciones retículo ruminales. El código de programación desarrollado en MATLAB permitió importar los datos de peso, filtrar el peso para reducir el ruido, detectar comidas evaluando la diferencia entre mediciones consecutivas y exportar la hora de inicio de la comida, la duración y el tamaño de cada comida. La presión ruminal se visualizó en tiempo real utilizando el software de computadora LabChart y se preparó un script en MATLAB para filtrar los datos de presión, detectándose las contracciones mediante la función de Findpeaks. Se obtuvieron resultados diarios promedio para el comportamiento de alimentación y la motilidad ruminal que estaban dentro del rango de otros estudios publicados con una baja tasa de error y valores biológicamente aceptables, la instrumentación y los datos del algoritmo de análisis demostraron ser un medio apropiado para caracterizar el comportamiento de alimentación y la motilidad ruminal. Estos sistemas y algoritmos podrían tener aplicaciones importantes para futuras investigaciones de la fisiología y el comportamiento de los rumiantes (Egert-McLean et al. 2019).

5.10 Rumia

El tiempo de rumia es uno de los marcadores relevantes para la evaluación del estado de salud y bienestar del ganado y con herramientas de la ganadería de precisión se puede monitorear individualmente, teniendo la oportunidad de una gestión temprana del ganado. En la búsqueda de las bases de datos en inglés se encontraron 8 registros en los cuales se evaluaron tecnologías de precisión, entre ellas un acelerómetro adaptado y algunos sistemas de radiofrecuencia y collares de monitorización del tiempo de rumia.

Calcular la ingesta de forraje del ganado en pastoreo resulta ser un proceso engorroso y con altos costes, razón por la cual se han desarrollado alternativas como la grabación acústica de los movimientos de la mandíbula, la cual muestra un gran potencial para registrar automáticamente el proceso de rumia del ganado en pastoreo. Un estudio evaluó un sistema de registro y análisis acústico que detecta, clasifica y cuantifica automáticamente eventos de ingestión del ganado. El sistema estaba compuesto por un micrófono acústico de frecuencia amplia cerca de la boca del animal y se valoraron parámetros como duración, amplitud, espectro y energía, que junto con una clasificación adicional de los eventos se convierten en entradas para un modelo automático de ingesta de forraje. Se pudo concluir que el sistema de análisis acústico permite identificar eventos de ingestión de forma precisa y automática durante períodos de tiempo prolongados (Clapham et al. 2011).

Se definió un sistema de monitorización acústico con un sensor de aceleración de un solo eje, para determinar un sitio efectivo para la conexión del sensor (cuerno, frente o puente nasal) y adicionalmente se evaluar la clasificación automática de las conductas de masticación en la ingesta y rumia utilizando un método de coincidencia de patrones. Se pudo demostrar que el método de coincidencia de patrones clasifica con éxito la masticación de la ingesta y rumia del ganado, además el sensor de aceleración de un solo eje fue útil para el monitorización acústico en todos los sitios de conexión del sensor (Tani et al. 2013).

Un estudio presentó un algoritmo para la identificación del movimiento de la mandíbula, el cual está diseñado con el fin de ser lo más general posible, no requiere calibración e identifica los movimientos de la mandíbula de acuerdo con características claves que se definen en términos relativos. El rendimiento del software del algoritmo se probó en tres estudios de campo con tres especies diferentes, pudiéndose comparar su salida con la generada por la secuencia auditiva. El ganado bovino se evaluó en pastoreo con forrajes verdes en un ambiente de bajo ruido, equipado con un micrófono Lavalier colocado en la frente del animal. El sistema logro una identificación correcta del 94% (eventos auditivos coincidentes con

eventos del software) y una tasa de falsos positivos (eventos de software no emparejados de manera similar con eventos auditivos) del 7%, lo que indica una posible tasa de error muy baja del software si se pueden evitar ruidos extraños intensos (Navon et al. 2013).

Otro estudio evaluó la capacidad de los collares de registro automático para gestionar de manera confiable los patrones de actividad y rumia del ganado. Se utilizó un sistema automático conocido comercialmente como Hr-Tag (SCR Engineers Ltd, Israel), el cual fue experimentado en tres escenarios diferentes con variabilidad de dietas, entorno y estado de salud de los animales utilizados. Se pudo demostrar que el dispositivo evaluado puede monitorear de manera confiable diferentes comportamientos de rumia y actividad del ganado de carne en diversas condiciones de manejo y estado de salud (Giaretta et al. 2019). En otro estudio se evaluó el potencial del sistema Hr-Tag para describir la variación en el comportamiento de la actividad de rumia en terneros en fase de predestete. El dispositivo fue equipado en el lado izquierdo del cuello del animal registrando continuamente el tiempo de rumia del ternero, obteniendo como resultado un comportamiento ruminal diario distinto similar al observado en el ganado adulto con rumen desarrollado. Los datos del estudio apoyan el uso del sistema Hr-Tag para estudiar el comportamiento de la actividad de rumia en la fase previa al destete de los terneros (Lopreiato et al. 2018).

El mismo sistema Hr-Tag fue validado para estimar el tiempo de rumia en terneros cebu en la fase de destete, adicionalmente se evaluó la capacidad del sistema para identificar diferencias en los patrones de rumia diaria durante el mismo periodo de destete. Se pudo concluir que el sistema Hr-Tag sobreestima el tiempo de rumia en los becerros destetados, principalmente al registrar periodos de rumia inexistente. Sin embargo, el sistema Hr-Tag registró valores de rumia correlacionados con observaciones visuales y detectó diferencias en la actividad de rumia entre períodos de destete (Rodrigues et al. 2019).

En otros dos estudios se utilizó igualmente el sistema Hr-Tag con el fin de evaluar la capacidad del sistema de monitorización inalámbrico para registrar la rumia en ganado de carne. El sistema opera en base a la acústica de la rumia y se especifica por parte del autor haber sido utilizado anteriormente para monitorear la rumia en ganado lechero tanto joven como adulto siendo este dato una base comparativa para el estudio. Se pudo concluir que las diferencias físicas y dietéticas entre el ganado lechero y el ganado de carne pueden haber generado inexactitud del sistema Hi-Tag cuando se usa en ganado de carne alimentado con dietas típicas de preparación y finalización, además se recomienda realizar futuras investigaciones para mejorar la precisión de este sistema de monitorización automatizado de rumia antes

de que pueda usarse de manera confiable con el ganado de carne (Goldhawk, Schwartzkopf-Genswein and Beauchemin 2013).

Un acelerómetro adaptado a la oreja del ganado bovino fue evaluado en otro estudio, el dispositivo comercialmente conocido como SensOor cuantificó el comportamiento y estimulación de la ingesta y rumia respectivamente a través de un algoritmo propio. Se utilizó un software patentado por el fabricante para determinar el tiempo empleado por el animal para la rumia, alimentación, estado activo y descanso, asimismo se utilizó la observación visual directa para validar el acelerómetro pudiendo concluir que el acelerómetro es un sistema de monitorización prometedor para el comportamiento alimentario (Wolfger et al. 2015b).

5.11 Medio ambiente

La ganadería de precisión puede proporcionar herramientas útiles para que la producción sea más sostenible desde el punto de vista económico, social y medioambiental (Tullo, Finzi and Guarino 2019). En este apartado se pretendía identificar herramientas tecnológicas diseñadas explícitamente para valorar y gestionar la contaminación ambiental producida por los animales de manera individual en explotaciones de carne de vacuno. En la búsqueda de las bases de datos se encontraron 6 publicaciones, una de ellas es una revisión general y las otras cinco se refieren al uso de una herramienta comercial (*GreenFeed*) que permite evaluar las emisiones de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) que producen los animales en granja.

En base a la revisión de la bibliografía, los autores Tullo, Finzi y Guarino (2019) analizaron el impacto ambiental de las prácticas ganaderas actuales y las ventajas que ofrece la ganadería de precisión como una estrategia potencial para mitigar los riesgos de esos impactos. Se encontraron pocos estudios con información sobre la eficacia de la ganadería de precisión en la reducción del impacto ambiental, de modo que se debe avanzar en este sentido a nivel de investigación, como por ejemplo para evaluar las consecuencias objetivas sobre el aire, el agua y el suelo. Sin embargo, la literatura muestra la potencialidad de estas herramientas, ya que su introducción en las granjas puede conducir a una reducción de los gases de efecto invernadero, emisión de amoníaco, control de nitratos y antibióticos en cuerpos de agua, fósforo y metales pesados en el suelo, muchas veces a través de una manera indirecta al optimizar la productividad. En el caso concreto del vacuno de carne, esta revisión muestra sólo dos trabajos sobre un total de 42 en otras especies. Estos se refieren a la reducción en el uso de medicamento

a través del diagnóstico de enfermedades respiratorias en terneros (Vandermeulen et al. 2016) y del control de parásitos (Vercruyssen et al. 2018). En el presente trabajo fin de grado, ya se han mostrado otros ejemplos de herramientas de ganadería de precisión que también podrían tener como fin alternativo un menor impacto ambiental.

Actualmente se dispone de métodos alternativos para monitorizar aspectos medioambientales, como el sistema *GreenFeed Emission Monitoring*, fabricado por la empresa C-Lock Inc. En Estados Unidos, que permite medir el CH₄ y CO₂ gaseoso liberado por el animal de manera robusta y precisa en condiciones comerciales, comparables con el sistema de referencia mencionado (Alemu et al. 2017). En otro estudio se utilizó el sistema *GreenFeed* con el fin de proporcionar información para optimizar los procedimientos para estimar la tasa de emisión diaria de metano y la producción diaria de dióxido de carbono a partir de múltiples registros de CH₄ y CO₂ a corto plazo. Se concluyó que, se requiere un mínimo de 30 registros, siendo cada uno obtenido de una visita al sistema de registro al menos 3 min de duración (Arthur et al. 2017).

El sistema *GreenFeed* fue objeto de estudio en otra publicación, para determinar la repetibilidad de las emisiones de CH₄ y CO₂ procedentes del ganado vacuno, teniendo en cuenta la frecuencia del muestreo y los periodos de medición. Se pudo determinar que se necesita un promedio de 7 a 14 días con un mínimo de 20 muestras para producir datos repetibles y fiables, los cuales se correlacionaron con la ingesta estandarizada de materia seca de cada animal (Manafiazar, Zimmerman and Basarab 2017). En otro estudio se evaluaron dos tipos de alimentos para alentar al ganado a visitar los sistemas *GreenFeed* y poder contribuir a las mediciones precisas de emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera. El heno fue comparado con un suplemento proteico, generando el primero, un aumento del número de visitas y tiempo de permanencia del ganado en el sistema: 738 versus 352 segundos (Mombach et al. 2018).

Por último, en la publicación de Gunter y Beck (2018) se muestra cómo se adaptó el mencionado equipo *GreenFeed* en un sistema extensivo al aire libre, razón por la cual se desarrolló un sistema automatizado de cuantificación de gases de circuito abierto denominado GQS, compuesto por una cámara adaptada a un sitio determinado junto con un cebo que permite la visita ocasional del ganado. El sistema GQS captura la nube de aliento del animal para medir las concentraciones de CH₄, CO₂ y O₂, posteriormente son cargados en un servidor donde se procesan mediante algoritmos para determinar los flujos diarios totales. Las estimaciones de emisiones generadas por GQS están afectadas por varios factores como la tasa de

visitas del animal, la duración del periodo de muestreo y el flujo del aire a través del sistema, adicionalmente hay que tener en cuenta la ubicación del sistema y el entrenamiento del animal para hacer uso del sistema. El GQS es una herramienta útil para investigar la nutrición y las emisiones del ganado en pastoreo, aunque es necesario obtener los datos adecuadamente para tener fiabilidad en la investigación (Gunter and Beck 2018).

5.12 Granjas inteligentes

El uso de la información y la tecnología en la ganadería de precisión para mejorar la salud, el bienestar y la eficiencia de las granjas es un área en desarrollo con gran interés comercial, razón que ha permitido la elaboración de estudios e investigaciones constantemente con el fin de mejorar las diferentes herramientas de precisión y sacar al mercado tecnologías cada vez más eficientes que garantizan la productividad, con menos carga física y ahorro de tiempo. En la búsqueda de las bases de datos en inglés se encontraron 7 registros, en los que se evaluaron sistemas integrados, fabricados con diferentes herramientas tecnológicas y modelos de automatización para la implementación de granjas inteligentes, capaces de modificar parámetros del ambiente y monitorear en tiempo real el estado de salud del ganado, promoviendo el desarrollo de sistemas sostenibles con altos índices de producción.

La industria ganadera coreana está desarrollando herramientas tecnológicas que permiten aumentar la productividad y calidad de los productos, y de esta manera resolver dificultades que se están experimentando, como el aumento de los costos en producción y la competencia de precios resultante de los acuerdos del libre comercio. Por lo tanto, se desarrolló una aplicación móvil inteligente que puede monitorizar en tiempo real, sea cual sea el lugar donde se desenvuelva el ganado, lo que permite generar información precisa sobre la explotación ganadera. La aplicación móvil tiene la capacidad de aumentar la eficiencia productiva del rebaño, proporcionando comodidad al ganadero y creando un entorno de cría óptimo para el animal (Hwang, Jeong and Yoe 2012).

La eficiencia de la ganadería también se ve afectada por el clima, el cual puede generar estrés en el animal y desencadenar bajos rendimientos productivos y un aumento de la morbilidad y mortalidad del rebaño; por lo tanto, las pérdidas económicas y los problemas de bienestar animal saldrían a relucir. La ganadería de precisión a través del uso de herramientas tecnológicas permite el seguimiento automático de las variables fisiológicas y de comportamiento, esta estrategia permite evaluar de forma continua el rendimiento y el bienestar del ganado en relación al ambiente en que se desempeña (Fournel, Rousseau and Laberge 2017). Los autores Lee, Hwang y Yoe (2011) aportan información acerca de un sistema de

precisión adaptado en un establo, basado en datos de imágenes térmicas y sensores, que permiten reconocer la condición del ganado y los cambios en el medio ambiente, además tiene la capacidad de controlar automáticamente el entorno y diagnosticar anticipadamente enfermedades a partir de los datos recopilados en tiempo real.

Un artículo describe el desarrollo de una red de sensores a pequeña escala que mide los parámetros vitales del ganado y parámetros ambientales del entorno. El sistema utiliza tecnología LoRa LPWAN, la cual ha demostrado ser eficiente y ventajosa debido a su transmisión resistente, amplia cobertura y batería de larga duración, cumpliendo con las necesidades que demandan las zonas rurales donde se establecen las diferentes ganaderías (Germani et al. 2019). Otro artículo describe un sistema de control remoto para el entorno ganadero, el cual está compuesto por dos microcontroladores y cuenta con tecnología de transmisión inalámbrica GPRS, lo que permite su funcionamiento a través de tabletas y aplicaciones móviles. A través del dispositivo móvil, se puede controlar los ventiladores, calentadores, lámparas, motores, bombas y electroválvulas de uso ganadero, y de esta manera facilitar la labor del productor y mejorar el desarrollo de la cría animal (Zhang et al. 2017).

El centro de investigación ganadera del NDRI en India, presento un sistema de gestión ganadera denominado Moosense, el cual está basado en una red de sensores inalámbricos donde cada grupo tiene un conjunto de sistemas especializados instalados en el suelo o equipados sobre el animal, los cuales cumplen con la tarea de seguir en tiempo real los diferentes parámetros del entorno y salud animal. El sistema mejora el confort de los animales mediante un control climático preciso, además tiene la capacidad de detectar enfermedades y se están cuantificando los beneficios obtenidos en los procesos de parto y lactancia (Sarangi et al. 2014).

Se evaluó un sistema completo basado en IoT en la nube capaz de monitorizar y registrar la sanidad animal mediante sensores IoT dotados en un collar portátil, además identifica el ganado y los propietarios mediante una crotal y tarjeta inteligente, respectivamente, y tiene la opción de visualización y procesamiento de las actividades en el móvil. El dispositivo de monitorización se utiliza para detectar parámetros fisiológicos, gestos físicos como sentarse, pararse y parámetros ambientales como la temperatura del aire y la humedad relativa. Por otra parte, el sistema de gestión de la red de información de la cría de animales basado en la web permite una mejor interacción entre el hospital veterinario, el médico veterinario, el propietario, el agricultor y la gestión de la cría de animales. El dispositivo de monitorización montado en el cuello demostró su efectividad para identificar de forma única al animal, detectar valores y predecir el estado de salud de los animales mediante el uso de la plataforma de análisis

IoT en la nube, con un porcentaje de precisión del 90% y posicionándose como un buen sistema en el entorno ganadero, añadiéndole la facilidad de uso desde cualquier lugar con aplicaciones móviles y capaz de proporcionar información digitalizada que podría ser de gran ayuda para los gobiernos y entidades oficiales en la toma de decisiones sobre políticas y asignaciones de fondos (Saravanan and Saraniya 2018).

6. CONCLUSIONES

Los resultados de esta revisión sistemática han mostrado que se han desarrollado estudios en el tema de interés, pero aún falta experimentar y desarrollar herramientas enfocadas directamente en ganado vacuno de carne. También se debería avanzar hacia la creación de una base de datos robusta para uso del sector ganadero de carne.

Para la implementación de las herramientas de precisión en ganadería de carne, es necesario un desarrollo más amplio de las diferentes tecnologías a nivel comercial, y de esta manera lograr que sean más asequibles, principalmente a los pequeños productores ganaderos.

La ganadería de precisión es una alternativa viable para mejorar la productividad, promover bienestar animal y conservar el medio ambiente. Además, facilita las labores del ganadero disminuyendo esfuerzo físico y tiempo de trabajo.

7. CONCLUSIONS

The results of this systematic review have shown that studies have been developed on the subject of interest, but there is still a need to experiment and develop tools focused directly on beef cattle, and in this way create a robust database for the beef cattle sector.

For the implementation of precision livestock farming tools in beef cattle, a broader development of the different technologies at a commercial level is necessary, and in this way make them more affordable, mainly to small livestock producers.

Precision farming is a viable alternative to improve productivity, promote animal welfare and conserve the environment. In addition, it facilitated the farmers duty, reducing physical effort and work time.

8. VALORACIÓN PERSONAL

La realización de esta revisión sistemática me permitió analizar con amplitud los diferentes retos que tenemos los profesionales veterinarios para garantizar la seguridad alimentaria y poder generar soluciones que promuevan la productividad de los diferentes alimentos de origen animal. Además, el desarrollo de este proyecto me brinda la oportunidad de mejorar, relacionar y afianzar mis conocimientos en metodología de investigación, y de esta manera formarme como un profesional integro con capacidad crítica e investigativa para mi desempeño como futuro Veterinario.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Aldridge, M. N., S. J. Lee, J. D. Taylor, G. I. Popplewell, F. R. Job & W. S. Pitchford (2017) The use of walk over weigh to predict calving date in extensively managed beef herds. *Animal Production Science*, 57, 583-591.
- Alemu, A. W., D. Vyas, G. Manafiazar, J. A. Basarab & K. A. Beauchemin (2017) Enteric methane emissions from low- and high-residual feed intake beef heifers measured using GreenFeed and respiration chamber techniques. *Journal of Animal Science*, 95, 3727-3737.
- Andersson, L. M., H. Okada, Y. Zhang, T. Itoh, R. Miura, K. Yoshioka & Ieee. 2015. Wearable Wireless Sensor for Estrus Detection in Cows by Conductivity and Temperature Measurements. In *2015 Ieee Sensors*, 225-228.
- Arthur, P. F., I. M. Barchia, C. Weber, T. Bird-Gardiner, K. A. Donoghue, R. M. Herd & R. S. Hegarty (2017) Optimizing test procedures for estimating daily methane and carbon dioxide emissions in cattle using short-term breath measures. *Journal of Animal Science*, 95, 645-656.
- Barbedo, J. G. A., C. C. G. Gomes, F. F. Cardoso, R. Domingues, J. V. Ramos & C. M. McManus (2017) The use of infrared images to detect ticks in cattle and proposal of an algorithm for quantifying the infestation. *Veterinary Parasitology*, 235, 106-112.
- Barge, P., P. Gay, V. Merlino & C. Tortia (2013) Radio frequency identification technologies for livestock management and meat supply chain traceability. *Canadian Journal of Animal Science*, 93, 23-33.
- Barrell, G. K. (2019) An Appraisal of Methods for Measuring Welfare of Grazing Ruminants. *Frontiers in Veterinary Science*, 6.
- Berckmans, D. (2014) Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Revue Scientifique Et Technique-Office International Des Epizooties*, 33, 189-196.
- Bishop, J. C., G. Falzon, M. Trotter, P. Kwan & P. D. Meek (2019) Livestock vocalisation classification in farm soundscapes. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 531.
- Bouazza, H., O. Zerzouri, M. Bouya, A. Charoub, A. Hadjoudja & Ieee. 2017. A Novel RFID System for Monitoring Livestock Health State. In *2017 International Conference on Engineering and Technology*. New York: Ieee.
- Cai, C., J. Q. Li & Ieee. 2013. Cattle Face Recognition Using Local Binary Pattern Descriptor. In *2013 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference*.
- Callejo Ramos, A. (2014) Ganadería de precisión. *Mundo Ganadero*, 261, 28-33.
- Campbell, D. L. M., W. J. Farrer, S. J. Haynes, J. M. Lea & C. Lee (2018a) Temporary Exclusion of Cattle from a Riparian Zone Using Virtual Fencing Technology. *Animals*, 9.

- Campbell, D. L. M., J. M. Lea, W. J. Farrer, S. J. Haynes & C. Lee (2017) Tech-Savvy Beef Cattle? How Heifers Respond to Moving Virtual Fence Lines. *Animals*, 7.
- Campbell, D. L. M., J. M. Lea, S. J. Haynes, W. J. Farrer, C. J. Leigh-Lancaster & C. Lee (2018b) Virtual fencing of cattle using an automated collar in a feed attractant trial. *Applied Animal Behaviour Science*, 200, 71-77.
- Campbell, D. L. M., J. M. Lea, H. Keshavarzi & C. Lee (2019) Virtual Fencing Is Comparable to Electric Tape Fencing for Cattle Behavior and Welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 6.
- Caria, M., J. Schudrowitz, A. Jukan & N. Kemper. 2017. Smart Farm Computing Systems for Animal Welfare Monitoring. In *2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics*, 152-157. New York: Ieee.
- Chung, Y., D. Choi, H. Choi, D. Park, H. H. Chang & S. Kim (2015) Automated Detection of Cattle Mounting using Side-View Camera. *Ksii Transactions on Internet and Information Systems*, 9, 3151-3168.
- Chung, Y., J. Lee, S. Oh, D. Park, H. H. Chang & S. Kim (2013) Automatic Detection of Cow's Oestrus in Audio Surveillance System. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26, 1030-1037.
- Clapham, W. M., J. M. Fedders, K. Beeman & J. P. S. Neel (2011) Acoustic monitoring system to quantify ingestive behavior of free-grazing cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, 76, 96-104.
- Cominotte, A., A. F. A. Fernandes, J. R. R. Dorea, G. J. M. Rosa, M. M. Ladeira, E. van Cleef, G. L. Pereira, W. A. Baldassini & O. R. M. Neto (2020) Automated computer vision system to predict body weight and average daily gain in beef cattle during growing and finishing phases. *Livestock Science*, 232, 1-10.
- Corbet, N. J., K. P. Patison, D. J. Menzies & L. Swain (2018) Using temporal associations to determine postpartum oestrus in tropical beef cows. *Animal Production Science*, 58, 1465-1469.
- Dogan, H. & M. Yavuz (2018) A NEW WIRELESS BOLUS SENSOR WITH ACTIVE RFID TAG TO MEASURE RUMEN pH. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 1031-1037.
- Egert-McLean, A. M., M. P. Sama, J. L. Klotz, K. R. McLeod, N. B. Kristensen & D. L. Harmon (2019) Automated system for characterizing short-term feeding behavior and real-time forestomach motility in cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, 167, 105037.
- Author. 2017. Move livestock with one finger. *The Weekly Times* 11/22/2017 Nov 22.
- Feuchter, F. R. & C. R. U. del Noroeste (2018) I. LA GANADERÍA DEL FUTURO. Del pasado al presente. *Feagas*, 77-88.
- Fournel, S. b., A. N. Rousseau & B. Laberge (2017) Rethinking environment control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming. *Biosystems engineering*, 155, 96-123.
- Frost, A., C. Schofield, S. Beulah, T. Mottram, J. Lines & C. Wathes (1997) A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. *Computers and electronics in agriculture*, 17, 139-159.
- Garfinkel, S. & B. Rosenberg. 2005. *RFID: Applications, Security, and Privacy*, Addison-Wesley Professional. Indiana.
- Gattani, A., A. Agrawal, M. H. Khan, P. Singh & S. V. Singh (2019) Recent progress in electrochemical biosensors as point of care diagnostics in livestock health. *Analytical biochemistry*, 579, 25-34.
- Germani, L., V. Mecarelli, G. Baruffa, L. Rugini & F. Frescura (2019) An IoT Architecture for Continuous Livestock Monitoring Using LoRa LPWAN. *Electronics*, 8.
- Giaretta, E., A. L. Mordenti, G. Canestrari, A. Palmonari & A. Formigoni (2019) Automatically monitoring of dietary effects on rumination and activity of finishing heifers. *Animal Production Science*, 59, 1931-1940.
- Giro, A., A. C. D. Bernardi, W. Barioni, A. P. Lemes, D. Botta, N. Romanello, A. D. Barreto & A. R. Garcia (2019) Application of microchip and infrared thermography for monitoring body temperature of beef cattle kept on pasture. *Journal of Thermal Biology*, 84, 121-128.

- Godyn, D., P. Herbut & S. Angrecka (2019) Measurements of peripheral and deep body temperature in cattle - A review. *Journal of Thermal Biology*, 79, 42-49.
- Gokul, V., S. Tadepalli & Ieee. 2017. Implementation of Smart Infrastructure and Non-Invasive Wearable for Real Time Tracking and Early Identification of Diseases in Cattle Farming using IoT. In *2017 International Conference on I-Smac*, 469-476. New York: Ieee.
- Goldhawk, C., K. Schwartzkopf-Genswein & K. A. Beauchemin (2013) Technical Note: Validation of rumination collars for beef cattle. *Journal of Animal Science*, 91, 2858-2862.
- Gonzalez, L. A., G. J. Bishop-Hurley, R. N. Handcock & C. Crossman (2015) Behavioral classification of data from collars containing motion sensors in grazing cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, 110, 91-102.
- Gonzalez-Briones, A., R. Casado-Vara, S. Marquez, J. Prieto & J. M. Corchado. 2020. Intelligent Livestock Feeding System by Means of Silos with IoT Technology. In *Distributed Computing and Artificial Intelligence*, 38-48.
- Gunter, S. A. & M. R. Beck (2018) Measuring the respiratory gas exchange by grazing cattle using an automated, open-circuit gas quantification system. *Translational Animal Science*, 2, 11-18.
- Harrison, P. 2002. *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Informe resumido*. FAO.
- Higaki, S., R. Miura, T. Suda, L. M. Andersson, H. Okada, Y. Zhang, T. Itoh, F. Miwakeichi & K. Yoshioka (2019) Estrous detection by continuous measurements of vaginal temperature and conductivity with supervised machine learning in cattle. *Theriogenology*, 123, 90-99.
- Hu, B., Q. C. Tian, Z. Z. Chen, G. Xiong, X. Wang, Q. Wang & Ieee. 2014. *Intelligent Farming Control System based on Computer Vision*.
- Huang, L., S. Li, A. Zhu, X. Fan, C. Zhang & H. Wang (2018) Non-Contact Body Measurement for Qinchuan Cattle with LiDAR Sensor. *Sensors*, 18.
- Hwang, J., H. Jeong & H. Yoe. 2012. Design and Implementation of Smart Phone Application for Effective Livestock Farm Management. In *Green and Smart Technology with Sensor Applications*, 285-290.
- Ibrahim, S. S., A. Ibrahim, A. N. Allah & L. A. Saulawa (2016) Building of a community cattle ranch and radio frequency identification (RFID) technology as alternative methods of curtailing cattle rustling in Katsina State. *Pastoralism-Research Policy and Practice*, 6.
- Imaz, J. A., S. Garcia & L. A. Gonzalez (2020) Application of In-Paddock Technologies to Monitor Individual Self-Fed Supplement Intake and Liveweight in Beef Cattle. *Animals*, 10.
- Jaddoa, M. A., A. Al-Jumaily, L. Gonzalez & H. Cuthbertson. 2017. Automatic Eyes Localization in Thermal Images for Temperature Measurement in Cattle. In *2017 12th International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering*. New York: Ieee.
- Jurdak, R., P. Corke, D. Dharman, G. Salagnac, C. Crossman, P. Valencia, G. B. Hurley & M. Assoc Comp. 2010. Poster Abstract: Energy-efficient Localization for Virtual Fencing. In *Proceedings of the 9th Acm/Ieee International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, 388-389.
- Kou, H. X., Y. Q. Zhao, K. Ren, X. L. Chen, Y. Q. Lu & D. Wang (2017) Automated measurement of cattle surface temperature and its correlation with rectal temperature. *Plos One*, 12.
- Kusakunniran, W., A. Wiratsudakul, U. Chuachan, S. Kanchanapreechakorn, T. Imaromkul & Ieee. 2018. Automatic Cattle Identification based on Fusion of Texture Features Extracted from Muzzle Images. In *2018 Ieee International Conference on Industrial Technology*, 1484-1489.
- Larregui, J. I., D. Cazzato & S. M. Castro (2019) An image processing pipeline to segment iris for unconstrained cow identification system. *Open Computer Science*, 9, 145-159.
- Lee, J. W., J. H. Hwang & H. Yoe. 2011. Design of Cattle Barn Management System Based on Thermal Imaging Data. In *Future Generation Information Technology*, 156-160.
- Li, Q., Z. H. Liu, J. S. Xiao & Ieee. 2018. A Data Collection Collar for Vital Signs of Cows on the Grassland Based on LoRa. In *2018 Ieee 15th International Conference on E-Business Engineering*, 213-217.

- Li, X. H. & L. Xing (2019) Use of Unmanned Aerial Vehicles for Livestock Monitoring based on Streaming K-Means Clustering. *Ifac Papersonline*, 52, 324-329.
- Liang, Y., F. Y. Xue, X. M. Chen, Z. X. Wu & X. J. Chen. 2018. A Benchmark for Action Recognition of Large Animals. In *2018 7th International Conference on Digital Home*, 64-71.
- Lopreiato, V., A. Minuti, F. P. Cappelli, M. Vailati-Riboni, D. Britti, E. Trevisi & V. M. Morittu (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.
- Lowe, G., M. Sutherland, J. Waas, A. Schaefer, N. Cox & M. Stewart (2019) Infrared Thermography-A Non-Invasive Method of Measuring Respiration Rate in Calves. *Animals*, 9.
- Lubaba, C. H., A. Hidano, S. C. Welburn, C. W. Revie & M. C. Eisler (2015) Movement Behaviour of Traditionally Managed Cattle in the Eastern Province of Zambia Captured Using Two-Dimensional Motion Sensors. *Plos One*, 10.
- Luiz, O. J., V. A. D. Weber, M. I. Cagnin, S. R. de Medeiros, R. D. Gomes, L. C. de Souza & D. M. B. Paiva (2018) Computational System to Support Bovine Nutritional Behavior. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems*, 9, 22-37.
- Manafiazar, G., S. Zimmerman & J. A. Basarab (2017) Repeatability and variability of short-term spot measurement of methane and carbon dioxide emissions from beef cattle using GreenFeed emissions monitoring system. *Canadian Journal of Animal Science*, 97, 118-126.
- McLoughlin, M. P., R. Stewart & A. G. McElligott (2019) Automated bioacoustics: methods in ecology and conservation and their potential for animal welfare monitoring. *Journal of the Royal Society Interface*, 16.
- Mendes, E. D. M., G. E. Carstens, L. O. Tedeschi, W. E. Pinchak & T. H. Friend (2011) Validation of a system for monitoring feeding behavior in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 89, 2904-2910.
- Menzies, D., K. P. Patison, N. J. Corbet & D. L. Swain (2018) Using Walk-over-Weighing technology for parturition date determination in beef cattle. *Animal Production Science*, 58, 1743-1750.
- Merenda, V. R., O. Marques, E. K. Miller-Cushon, N. DiLorenzo, J. Laporta & R. C. Chebel (2019) Technical note: validation of a system for monitoring individual behavior in beef heifers. *Journal of Animal Science*, 97, 4732-4736.
- Miura, R., K. Yoshioka, T. Miyamoto, H. Nogami, H. Okada & T. Itoh (2017) Estrous detection by monitoring ventral tail base surface temperature using a wearable wireless sensor in cattle. *Animal Reproduction Science*, 180, 50-57.
- Mizobuchi, T., T. T. Zin, I. Kobayashi, H. Hama & Ieee. 2018. A Study on Detection and Tracking of Estrous Behaviors for Cattle Using Laser Range Sensor and Video Camera. In *2018 Ieee 7th Global Conference on Consumer Electronics*, 777-778.
- Mombach, M. A., P. de Carvalho, L. D. Cabral, R. D. R. Rodrigues, R. C. Torres, D. H. Pereira & B. C. E. Pedreira (2018) Attractants for automated emission measurement (Greenfeed (R)) in pasture-based systems. *Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science*, 47.
- Nabenishii, H., S. Kawakami, S. Shim, K. Takeshita, A. Yamazaki & K. Suzuki (2019) Automated detection of estrous behavior in tie-stall housing using a barometer and accelerometer. *Journal of Reproduction and Development*, 65, 91-95.
- Navon, S., A. Mizrach, A. Hetzroni & E. D. Ungar (2013) Automatic recognition of jaw movements in free-ranging cattle, goats and sheep, using acoustic monitoring. *Biosystems Engineering*, 114, 474-483.
- Nogami, H., H. Okada, T. Miyamoto, R. Maeda & T. Itoh (2013) Wearable and Compact Wireless Sensor Nodes for Measuring the Temperature of the Base of a Calf's Tail. *Sensors and Materials*, 25, 577-582.
- Oliveira, B. R., M. N. Ribas, F. S. Machado, J. A. M. Lima, L. F. L. Cavalcanti, M. L. Chizzotti & S. G. Coelho (2018) Validation of a system for monitoring individual feeding and drinking behaviour and intake in young cattle. *Animal*, 12, 634-639.

- Orr, R. J., K. N. Tozer, B. A. Griffith, R. A. Champion, J. E. Cook & S. M. Rutter (2012) Foraging paths through vegetation patches for beef cattle in semi-natural pastures. *Applied Animal Behaviour Science*, 141, 1-8.
- Poulopoulou, I., C. Lambertz & M. Gauly (2019) Are automated sensors a reliable tool to estimate behavioural activities in grazing beef cattle? *Applied animal behaviour science*, 216, 1-5.
- Qiao, Y., S. Sukkarieh & M. Truman (2019a) Cattle segmentation and contour extraction based on Mask R-CNN for precision livestock farming. *Computers and electronics in agriculture*, 165.
- Qiao, Y. L., D. Su, H. Kong, S. Sukkarieh, S. Lomax & C. Clark (2019b) Individual Cattle Identification Using a Deep Learning Based Framework. *Ifac Papersonline*, 52, 318-323.
- Reuter, R., S. Zimmerman & M. Billars (2016) Development of an automated system for measuring supplement intake of grazing animals. *Journal of Animal Science*, 94, 291.
- Ricci, A., A. Bertero, B. Iotti, K. F. Reed, L. Vincenti, O. B. Pascottini & V. Racioppi (2018) Assessment of the temperature cut-off point by a commercial intravaginal device to predict parturition in Piedmontese beef cows. *Theriogenology*, 113, 27-33.
- Rodrigues, J. P. P., L. G. R. Pereira, H. D. D. Neto, M. C. Lombardi, C. F. D. Lage, S. G. Coelho, J. P. Sacramento, F. S. Machado, T. R. Tomich, R. M. Mauricio & M. M. Campos (2019) Technical note: Evaluation of an automatic system for monitoring rumination time in weaning calves. *Livestock Science*, 219, 86-90.
- Ruhil, A. P., T. K. Mohanty, S. V. N. Rao, S. S. Lathwal & V. V. Subramanian (2013) Radio-frequency identification: A cost effective tool to improve livestock sector. *Indian Journal of Animal Sciences*, 83, 871-879.
- Ruiz-Mirazo, J., G. J. Bishop-Hurley & D. L. Swain (2011) Automated Animal Control: Can Discontinuous Monitoring and Aversive Stimulation Modify Cattle Grazing Behavior? *Rangeland Ecology & Management*, 64, 240-248.
- Rushen, J., N. Chapinal & A. M. De Passillé (2012) Automated monitoring of behavioural-based animal welfare indicators. *Animal welfare*, 21, 339-350.
- Saint-Dizier, M. & S. Chastant-Maillard (2018) Potential of connected devices to optimize cattle reproduction. *Theriogenology*, 112, 53-62.
- Sainz, R. (2019) Precision of gain estimates for beef cattle with an automated weighing system. *Journal of Animal Science*, 97, 31-31.
- Sarangi, S., A. Bisht, V. Rao, S. Kar, T. K. Mohanty, A. P. Ruhil & Ieee. 2014. Development of a Wireless Sensor Network for Animal Management: Experiences with Moosense. In *2014 Ieee International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems*.
- Saravanan, K. & S. Saraniya (2018) Cloud IOT based novel livestock monitoring and identification system using UID. *Sensor Review*, 38, 21-33.
- Schaefer, A., D. Genho, R. Clisdell, H. von Gaza, G. DesRoches, L. Hiemer, G. Pelech, B. Grumpelt & R. Patterson (2018) The automated and real time use of infrared thermography in the detection and correction of DFD and fevers in cattle. *Journal of Animal Science*, 96, 275-275.
- Schaefer, A. L., N. J. Cook, C. Bench, J. B. Chabot, J. Colyn, T. Liu, E. K. Okine, M. Stewart & J. R. Webster (2012) The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. *Research in Veterinary Science*, 93, 928-35.
- Shrestha, A., C. Loukas, J. Le Kernec, F. Fioranell, V. Busin, N. Jonsson, G. King, M. Tomlinson, L. Viora & L. Voute (2018) Animal Lameness Detection With Radar Sensing. *Ieee Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15, 1189-1193.
- Sturm, V., J. Mayer, D. Efrosinin, L. Roland, M. Iwersen, M. Drillich & W. Auer. 2018. Automatic Recognition of a Weakly Identified Animal Activity State Based on Data Transformation of 3D Acceleration Sensor. In *Distributed Computer and Communication Networks*, 547-560.

- Tamari, H., S. Nakamura, S. Takano & Y. Okada. 2018. 3D Model Generation of Black Cattle Using Multiple RGB Cameras for Their BCS. In *Advances in Network-Based Information Systems, Nbis-2017*, 812-821. Cham: Springer International Publishing Ag.
- Tani, Y., Y. Yokota, M. Yayota & S. Ohtani (2013) Automatic recognition and classification of cattle chewing activity by an acoustic monitoring method with a single-axis acceleration sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 92, 54-65.
- Tao, Y. H., S. Ye, L. Z. Jiao, H. W. Tian & D. M. Dong. 2019. Design of Bovine Rumen Acid Monitoring Sensor and System. In *Proceedings of 2019 IEEE 8th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference*, 926-930.
- Tapia, D. I., J. R. Cueli, Ó. García, J. M. Corchado, J. Bajo & A. Saavedra (2007) Identificación por radiofrecuencia: fundamentos y aplicaciones. *Proceedings de las primeras Jornadas Científicas sobre RFID. Ciudad Real, Spain*, 1-5.
- Tullo, E., A. Finzi & M. Guarino (2019) Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of the Total Environment*, 650, 2751-2760.
- Vandermeulen, J., C. Bahr, D. Johnston, B. Earley, E. Tullo, I. Fontana, M. Guarino, V. Exadaktylos & D. Berckmans (2016) Early recognition of bovine respiratory disease in calves using automated continuous monitoring of cough sounds. *Computers and Electronics in Agriculture*, 129, 15-26.
- Vercruyse, J., J. Charlier, J. Van Dijk, E. R. Morgan, T. Geary, G. von Samson-Himmelstjerna & E. Claerebout (2018) Control of helminth ruminant infections by 2030. *Parasitology*, 145, 1655-64.
- Voss, B., H. J. Laue, M. Hoedemaker & S. Wiedemann (2016) Field-trial evaluation of an automatic temperature measurement device placed in the reticulo-rumen of pre-weaned male calves. *Livestock Science*, 189, 78-81.
- Wijayanto, B., S. P. Rahayu & D. Iskandar. 2019. Cattle Feed Concentrate Automatization System Based on Internet of Things. In *1st International Conference on Material Science and Engineering for Sustainable Rural Development*.
- Wilkins, J. F., W. A. McKiernan, B. J. Walmsley & M. J. McPhee (2015) Automated data capture using laser technology to enhance live cattle assessment and description. *Australian Farm Business Management Journal*, 12, 70-77.
- Winckler, C. (2019) Assessing animal welfare at the farm level: do we care sufficiently about the individual? *Animal Welfare*, 28, 77-82.
- Wolfger, B., B. J. Manns, H. W. Barkema, K. S. Schwartzkopf-Genswein, C. Dorin & K. Orsel (2015a) Evaluating the cost implications of a radio frequency identification feeding system for early detection of bovine respiratory disease in feedlot cattle. *Preventive Veterinary Medicine*, 118, 285-292.
- Wolfger, B., E. Timsit, E. A. Pajor, N. Cook, H. W. Barkema & K. Orsel (2015b) Technical note: Accuracy of an ear tag-attached accelerometer to monitor rumination and feeding behavior in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 93, 3164-3168.
- Yazdanbakhsh, O., Y. Zhou & S. Dick (2017) An intelligent system for livestock disease surveillance. *Information Sciences*, 378, 26-47.
- Zhang, J. H., F. T. Kong, Z. F. Zhai, S. Q. Han, J. Zhang & J. Z. Wu. 2017. Development of Wireless Remote Control Electric Devices for Livestock Farming Environment. In *Proceedings of the 2017 International Conference on Electronic Industry and Automation*, 326-330.