

Trabajo final para aspirar al título de Medicina Veterinaria y Zootecnia

**Metodologías de Ganadería de Precisión y su Aplicación en Colombia,
Revisión Sistemática**

**Methodology of Precision Livestock Farming and his Application in
Colombia, Systemic Review**

Luis Felipe Castro Marín

Director y Asesor:

Juan Fernando Chica Builes

Docente UTP

Universidad Tecnológica de Pereira

Facultad Ciencias de la Salud

Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Pereira

2020

Metodologías de Ganadería de Precisión y su Aplicación en Colombia, Revisión Sistemática

Methodology of Precision Livestock Farming and his Application in Colombia, Systemic Review

Luis Felipe Castro Marín¹Estudiante de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Tecnológica de Pereira. Correo:
pipecastrmvz93@utp.edu.co

Juan Fernando Chica Builes²Profesor Asesor, Programa de Medicina
Veterinaria y Zootecnia. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad
Tecnológica de Pereira.

Resumen

Introducción: La Ganadería de Precisión está relacionada con la implementación de tecnologías de medición en línea, comunicaciones y la implantación de buenas prácticas empresariales relacionadas con la gestión y análisis de información (Data Mining); tiene como fin esencial maximizar los ingresos, velar por la conservación, el bienestar y la salud del campo y los animales, esto se consigue garantizando un proceso de producción estable y continuo a partir de la implementación de sistemas de telemetría que permiten conocer oportunamente si algún animal podría entrar en estado no productivo. Estas tecnologías, se presentan como una oportunidad para optimizar los recursos y la producción en Colombia pero son escasamente utilizadas; esto está relacionado con los altos costos de dichas tecnologías, que generalmente son puestas en funcionamiento por empresas de origen europeo o de Norte América. No obstante, aparecen tecnologías como el Internet de las Cosas (IOT por sus siglas en Ingles) como una gran oportunidad para que se pueda masificar el acceso a la ganadería de precisión en Colombia. A partir de la recopilación de artículos científicos, en el presente trabajo se busca contribuir al conocimiento de las tecnologías disponibles para hacer Ganadería de Precisión. **Objetivo:** Hacer una recopilación documental (Estado del Arte) relacionada con las tecnologías y metodologías disponibles en el mercado que permitan la implementación de la Ganadería de Precisión. **Metodología:** Para desarrollar la recopilación de artículos científicos se partió de una búsqueda a

través de diferentes bases de datos indexadas como: Scopus, ScienceDirect, Springer Link; y seguidamente se expresa lo más relevante de cada uno de manera sucinta. **Conclusión:** Las metodologías para hacer Ganadería de Precisión resultan ser excelentes y óptimas para alcanzar resultados económicos y operativos importantes, puesto que permiten hacer seguimiento en tiempo real, regulan de manera oportuna los procesos, y procuran el bienestar de los animales y el campo. Sin embargo, en Colombia, son pocas las fincas y/o producciones que tienen la capacidad económica y el conocimiento para implementar estas tecnologías; y los desarrollos comerciales locales basados sobre tecnología del IOT prometen ser una solución al problema, pero estas se encuentran aún en etapa de prototipo funcional.

Palabras claves: Ganadería de precisión, tecnología, salud animal, bienestar animal.

Abstract

Introduction: The precision livestock farming is related with the implementation of online measurement technologies, communications and the implantation of good business practices related to the management and analysis of information (Data Mining); it's essential purpose maximize revenue, ensure conservation, the welfare and health of the countryside and animals, this is achieved by guaranteeing a stable and continuous production process from the implementation of telemetry systems that allow to know opportunely if any animal could enter a non-productive state. These technologies they present themselves as an opportunity to optimize resources and production in Colombia but they are scarcely used; this is related to the high costs of these technologies, which are generally put into operation by companies of European or North American origin. However, technologies like the Internet of Things appear (IOT for its acronym in English) as a great opportunity so that it can be massified the access to Precision Livestock Farming in Colombia. From the collection of scientific articles, in the present project seeks to contribute to knowledge of the available technologies to do Precision Livestock Farming. **Objective:** Make a documentary compilation (State of Art) related to the technologies and methodologies available in the market that allow the implementation of the Precision Livestock Farming. **Methodology:** To develop the collection of scientific articles it was based on a search through from different databases indexed as: Scopus, Science Direct, Springer link; and then the most relevant of each are expressed succinctly. **Conclusions:** The

methodologies of precision livestock farming they are excellent and optimal to achieve important economic and operational results, since they allow tracking in real time, regulate the processes in a timely manner, and seek the welfare of animals and the countryside. But nevertheless, in Colombia, there are few farms and/or productionsthat have the economic capacityand the knowledge to implement these technologies; and commercial developments based on IOT technologythey promise to be a solution to the problem, but these are still in functional prototype stage.

Keywords: Precision livestock farming, technologies, animal health, animal welfare.

Introducción

La base de la ganadería de precisión es el manejo de la mayor información detallada que nos pueda ofrecer nuestra producción, como pilar importante de la salud y bienestar de los animales y el humano. Esta información se logra obtener con las nuevas tecnologías, más que todo, en tecnologías de comunicación inmediata mediante sistemas de Telemetría, por lo que los recursos son dirigidos a los destinos deseados y tienen un control más preciso de la producción. El propósito principal de este artículo, es dar a conocer las principales tecnologías existentes para las producciones agropecuarias y de esta manera propiciar el uso de las tecnologías en suelos Colombianos. Para dar cumplimiento a lo anterior, se obtiene un gran número de investigaciones y publicaciones científicas, en donde se profundizan sobre las nuevas tecnologías de comunicación y su uso, mayoritariamente, en ganado bovino y praderas inteligentes, para lo que llegamos a indagar sobre cuáles son de verdad efectivos o no efectivos, cuáles son accesibles económicamente y cuáles se pueden adquirir y usar en los suelos y en los animales del agro colombiano.

Actualmente la ganadería de precisión tiene distribución a nivel mundial, y el mercado ofrece gran variedad de tecnologías, pero la principal diferencia radica en aquellas tecnologías que están soportadas sobre sistemas de comunicación tradicional (radio frecuencia (RF), RF-ID principalmente), y aquellas que están soportadas sobre IOT. Esta tecnología ofrece una gran optimización para los sistemas de producción agropecuaria; por eso, es importante generar conocimiento de estas tecnologías, para poder ver su funcionamiento y su efectividad en la toma de decisiones en nuestra práctica diaria. Con este artículo, se realizó una revisión sistémica, que busca la recolección de artículos científicos disponibles a nivel mundial acerca de las tecnologías utilizadas en la ganadería de precisión, sus formas efectivas de uso, la prevención de enfermedades en nuestros animales y praderas, y aumentar la eficiencia de nuestras producciones para alcanzar mayor rentabilidad. Así como, dar a conocer las tecnologías para crear un punto de partida para la investigación de estas en los suelos colombianos. De igual forma, identificar las tecnologías que tienen mayor efectividad sobre la producción, rentabilidad y/o sustentabilidad. Se resalta que para cada proceso de producción, es importante llevar registro estricto, dado que este conlleva a aplicar soluciones más rápidas y de mayor rendimiento para nuestra producción, así como, con base a dichos registros, se puedan establecer acciones de prevención para evitar volver a caer en los problemas anteriormente solucionados.

Materiales y métodos

Esta investigación se realizó en el municipio de Pereira que está ubicado en el departamento de Risaralda. De esta manera, se llevó a cabo en la Universidad Tecnológica de Pereira de la cual usamos sus bases de datos suscritos virtuales, tales como Scopus, ScienceDirect, Springer Link. Esta información será planteada en este documento para compartir y generar conocimiento en nuestros granjeros. Así, más adelante llevar a cabo cada metodología o tecnología de la ganadería de precisión.

Resultados y discusión

Características y requerimientos sobre la ganadería de precisión

La ganadería de precisión

En la cotidianidad, los avances tecnológicos han potencializado la creación de herramientas con mayor precisión, mayor potencia y cada vez son más asequibles para el uso en el agro; es así como la ganadería de precisión tiene como tarea el crear un sistema de gestiones que tengan como fundamento el monitoreo y el control automático constante de la producción y la reproducción, la salud y el bienestar de los animales, y la incidencia y afectaciones en los temas ambientales relacionados a la producción ganadera(1).Parte de lo que hace distinto a la ganadería de precisión de otras técnicas modernas, es la inclusión de animales vivos en el sistema aplicativo(2).Desarrolla entonces sistemas de control, que son generalmente llevados a cabo a partir de modelos de ciclos cerrados, el cual, cumple con el fin de proporcionar una automatización de la gestión (3). Es así que, en la actualidad,el agricultor puede hacer uso de todas esas tecnologías modernas para delimitar y medir los distintos parámetros de sus tierras, la ventilación, los suministros de alimentos, al igual que asegurar el rendimiento de su principal participante en el proceso de producción, el animal(1). Es por ello entonces, que la lectura de las acciones emprendidas por los animales en todo momento son las señales más importantes del proceso y deben ser medidas continua y directamente; las señales pueden ser de comportamiento fisiológicos y de producción (2).

Ese seguimiento consiste en un monitoreo, en el cual se basa la ganadería de precisión que debe ser continuo, directo y acompañado por la observación para permitirle a los agricultores poder localizar y controlar el buen estado de sus

animales. Los monitores incluyen, algunas veces, “cámaras, micrófonos, sensores (como acelerómetros 3D incluidos, giroscopios, sensores de temperatura, sensores de conductividad de la piel y sensores de glucosa), herramientas de comunicación inalámbrica, conexiones a internet y almacenamiento en la nube”(1), con el fin de facilitar las tareas del agricultor. La tecnología moderna, hace que sea posible colocar cámaras, micrófonos y sensores suficientemente cerca como para que puedan reemplazar los ojos y los oídos del agricultor en el monitoreo de animales a un nivel individual. El monitoreo y la observación son importantes ya que, el animal, al tener buena salud y desenvolverse en un ambiente óptimo, puede brindar mejor garantía en la calidad de los productos en un momento determinado (1).

Otros de los requerimientos de la ganadería de precisión, es la importancia del uso de técnicas para la alimentación, en la cual, esta debe suministrar la cantidad de alimento adecuado, en la que se encuentre una composición conveniente para que pueda ser recibida de la forma más adecuada para cada animal de la manada. Para llegar a brindar el nivel correcto de suministro en la granja, se hace necesario diseñar y elaborar un sistema de alimentación capaz de distribuir, a tiempo real, la alimentación en cuanto a la composición y cantidad requerida para los animales (4). El procedimiento de implantación del sistema se puede manifestar como un proceso complicado, dado que este demanda calcular en un plazo corto, los requerimientos de los nutrientes de los animales, a partir del filtrado y corrección de los datos obtenidos por sensores. Lo complicado del sistema está en que, el dispositivo preciso, alimenta tan solo un número limitado de animales, así que, se hace necesario que el tiempo del alimentador cuente con una disposición del cien por ciento(5).

También, la ganadería de precisión, al ser un sistema integral, dentro de sus procesos de observación y monitoreo tiene presente el comportamiento del animal, algunas enfermedades o aspectos que puedan ser contaminantes y, por lo general, tiene en cuenta cualquier proceso que forme parte de la ganadería, sistemas extensivos e intensivos de la ganadería, lo cual resulta importante tener en cuenta para el manejo de las granjas. Sin embargo, se limita o restringe en considerar los productos vendibles como la carne, la leche o huevos. De igual forma, la ganadería de precisión puede referirse a un animal individual, un edificio, una pluma, el lecho de los animales, una manada al aire libre o cualquiera que sea el caso; suele ser útil con individuos no identificados, sin embargo, la exactitud de su gestión será más efectiva si se diligencia o identifica electrónicamente una escala. Por lo tanto, cuanto más fina sea la escala a la que la ganadería de precisión sea aplicada, mayor será el rendimiento y la puntualidad.

Requerimientos

Es importante tener presente que la ganadería de precisión tiene una serie de requerimientos que deben ser tenidos en cuenta en todo momento del proceso productivo. Este requiere de la localización y detección de todas las respuestas que se presenten tanto del ambiente, el animal, la alimentación, como de otros aspectos, teniendo en consideración la frecuencia y la escala a la que hace referencia la respuesta. También, requiere de un modelo con bases numéricas, el cual cumple con la tarea de predecir las acciones, las respuestas o las variaciones; estas son importantes ejecutarlas teniendo en cuenta una línea de tiempo real. Necesita, por otro lado, de un valor objetivo para cada resultado del proceso productivo y estimar un patrón de comportamiento. Por último, la ganadería de precisión necesita de predictivos, ya sea en la alimentación o en el medio ambiente(3), dado que es recomendable llevar a cabo un control predictivo; este, si bien no dirige una estrategia para controlar, si permite el desarrollo de métodos de control para retroalimentar continuamente la salida del proceso, hacer un uso abierto de un modelo activo para predecir una réplica e implementar ese modelo para calcular el índice de control disminuyendo una función específica(6–8).

Predicción y simulación en la ganadería de precisión

De acuerdo a que la alimentación es lo que más gasto genera en el proceso de producción (9), el conocimiento sobre el secado voluntario de la vaca lechera individual, la ingesta de materia, podría apoyar el diseño de una nutrición más eficiente a nivel grupal, añadiéndole las predicciones más cercanas acerca de las vacas (10). La elaboración de un diseño de sistema centrado sobre cada individuo, requiere que la dieta del animal se dé por medio de una computadora que brinde una auto alimentación, sea de forma independiente(11) o construido en un lugar diseñado para un ordeño robotizado(12–14). A pesar de ello, el monitoreo individual del consumo de alimento del animal, en la actualidad, solo es posible bajo condiciones investigativas (15–25). Es por ello, que se han elaborado tantos modelos de nutrición para predecir la ingesta de alimento, pero hasta los modelos más destacados solo han podido representar menos del setenta por ciento de la variación en la ingesta (26,27).Un modelo de ingesta de materia individual requiere de un nivel de mayor complejidad (28).

El centrar la atención en el apoyo a la predicción de la ingesta de alimento, tiende a considerar los cambios en el comportamiento de alimentación que pueden indicar parto por aproximación o puede indicar enfermedad (29). En un estudio realizado quedó al descubierto que las vacas con cetosis y cojera muestran una disminución del consumo de alimento (30) y afirmaron que las

vacas con metritis clínica pasan menos en el banco de alimentos que aquellos sin metritis clínica. El identificar a tiempo los animales enfermos, podría reducir la duración de la enfermedad, aumentaría la eficiencia del tratamiento y la mejora del animal(29).Entonces, puede suponerse que el bajo costo de sensores de comportamiento de alimentación, podrá estar muy prontamente disponibles en el mercado para el uso de muchas granjas. Estos sensores de comportamiento de alimentación, es decir, del tiempo que se pasa en el carril de alimentación, la duración de cada comida y la frecuencia de la comida en el día y en la noche, está en actual desarrollo por parte de algunas compañías de sensores(28).

Sin embargo, el comportamiento de alimentación no es el único factor que determina el consumo de alimento. En la tabla 1 se explica una gran variedad de gama de predictores que pueden gradualmente afectar el consumo voluntario de alimento de los animales (31).Factores individuales del animal suelen ser la producción de leche, la raza, la genética, la edad, la gestación, la alimentación previa, la condición corporal, el peso, la velocidad con que se come, la actividad del rumen, el estado de la salud, etc. También se encuentra como factor la calidad de la comida como factores dietéticos, composición de la dieta, composición química, digestibilidad, perfiles de degradación, formas físicas, conservación, contenido de materia seca, calidad de fermentación, palatabilidad, sales minerales, agentes alcalinos, aditivos alimentarios. Pero también, otros factores son las prácticas de vivienda y gestión: la duración del acceso a alimentación, la frecuencia de alimentación, puestos vinculados, vivienda suelta o establo abierto, espacio por animal para acostarse, espacio en el corral, longitud de carril de alimentación por animal, fotoperiodo, temperatura y humedad (28). Es por eso que debe existir un número relacionado de unidades de sensores al número total de animales, puesto que al mismo tiempo requieren controladores, ejecutores y sistemas de gestión y control con capacidad eficaz de procesamiento de datos. Las dificultades, que pueden ser atribuidas al diseño y a la ejecución del sistema, van desde el tiempo, la rigurosidad y los costos, hasta la complejidad de evaluar la efectividad y confiabilidad del método(5).

Tabla 1. Factores que determinan el consumo de alimento

Factores para determinar el consumo de alimento		
Individuales	Dietarios	Vivienda y Gestión
Producción de leche	Composición de dieta	Duración acceso alimentación
Raza	Composición química	Frecuencia alimentación
Genética	Digestibilidad	Puestos vinculados
Edad	Perfiles de degradación	Establo abierto

Gestación	Formas físicas	Vivienda suelta
Alimentación previa	Conservación	Espacio por animal
Condición corporal	Contenido materia seca	(descanso)
Peso	Calidad fermentación	Espacio de corral
Velocidad al comer	Palatabilidad	Longitud carril alimentación
Actividad del rumen	Agentes alcalinos	por animal
Estado de salud		Fotoperiodo
		Humedad
		Temperatura

Estos, se presentan entonces como los desafíos a los que se enfrenta la implementación de estos sistemas que son de complejidad, confiabilidad, eficiencia y que genera un costo del diseño, que requieren de la elaboración de prototipos de sistema virtuales de alimentación y de precisión, que permitan verificar de manera rápida el costo y puedan proporcionar adecuaciones inmediatas. Esto da paso también a la creación de algunas alternativas de diseño que puedan llevar a un rendimiento más avanzado. El proceso de simulación propone hacerle frente a estos desafíos, a partir de la creación de prototipos virtuales de los modelos sobre los componentes físicos y reales de la granja, la evaluación de este se obtiene a partir de la capacidad del entorno de simulación para cambiar las condiciones de trabajo del sistema, controlar el rendimiento y prever los posibles pasos débiles del sistema final. La realización de varios procesos de experimentación, muestran que el enfoque es capaz de simular el desarrollo de la técnica de alimentación de precisión real y el evaluar el comportamiento, rendimiento y puntos máximos de uso al momento en que es expuesto a un contexto diferente de trabajo. El resultado de las simulaciones han ayudado a verificar las ventajas que existen al explorar alternativas en el diseño para lograr un sistema más completo, con mayor rendimiento y mayor control. La simulación es una herramienta eficiente que ayuda en el diseño, la validación y la prueba de los sistemas de alimentación de precisión (5).

Viabilidad

Por otro lado, la viabilidad de la ganadería de precisión es evaluada y llevada a cabo por prototipos y pruebas antes de la implementación, un ejemplo de cómo son instalados los sistemas puede ser el estudio realizado en una finca lechera abierta al comercio en el que contaban con 252 vacas suecas Holstein, las cuales fueron divididas en cuatro categorías de rendimiento. Estas fueron ordeñadas en cuatro AMS contando con la preselección utilizando un sistema de tráfico que prioriza la leche; contó con dos áreas de espera, una común de 6,18 metros y otra área iluminada por lámparas fluorescentes de 180lxpor 24 horas al día. A su vez contó con una grabación de video con cámaras con

amplios ángulos y colocadas a 3,6 metros de altura para lograr que la visión sea en general óptima sobre el área de estudio (32). Como se explica en el ejemplo, se hizo ubicación de varias cámaras, pues, es importante considerar que tener el proceso configurado con una sola cámara puede tener algunas interrupciones, es así que allí se decide hacer uso de tres cámaras, esto para que sea más confiable y sea de mejor uso para el observador en el que puedan identificar con mayor facilidad los objetos, las fusiones y las sincronizaciones de las imágenes. En este estudio, todas las imágenes de video se registraron en un cuadro de 800- 600 píxeles, a color y a una velocidad de alrededor de dieciséis cuadros por segundo para garantizar el equilibrio del video y su calidad; de esta forma se grabaron 288 horas de video. Las cámaras tenían un modelo de cámara especial y clásica, con la capacidad de distorsión de lente que reconstruye la vista de la escena (33). Teniendo en cuenta esto, se conservó el desarrollo de los datos de manera secuencial de acuerdo a los comportamientos, lo que resultó siendo representativo de cada periodo de grabación y de la variabilidad de los comportamientos de manera aleatoria. Es así que la secuencia aleatoria de los cuadros de videos, fueron recogiendo eventos importantes en número y la persona encargada confirmó las interacciones de las secuencias del video (32).

La observación de las imágenes mostraba una secuencia para analizar, por lo tanto, se utilizó la segmentación de manera manual. Para ello, se utilizó una herramienta interactiva propuesta por Gulshan(34). Esta, utilizaba un enfoque vanguardista que tenía como base el mejoramiento geodésico con una convexidad de estrella; este, identifica las interacciones sociales a partir de las formas geométricas que se encuentran segmentadas en las imágenes y que pueden fusionar para identificar las vacas por medio de los observadores. Esa identificación se da a partir de algoritmos y, sobre todo, por la función del observador, del que se puede guiar a partir de siete categorías y que se asignan manualmente a cada animal que se ve en la imagen. Las imágenes son almacenadas en archivos que resultan ser nombrados de forma coincidente con el código de la imagen, número de la cámara, la fecha y la hora. Basándose en el etograma, son identificadas las interacciones, que son adaptadas por Rousing y Wemelsfelder(35) en cinco situaciones en concreto: golpear la cabeza, presionar la cabeza, olfatear el cuerpo, empujarlo y no tener interacción. A partir de ello, en los cuadros se puede ordenar las vacas de acuerdo a la interacción potencial, esto en tanto que cada par de vacas fue estudiado por el detector de interacción y todo resultaba ser una probabilidad. Cada uno de los detectores brindaban la confiabilidad de la interacción y ello se realizaba cuando el resultado estaba cerca de 1, cuando el resultado se acercaba a 0 y cuando se ubicaba incierto a 0.5. Este nuevo enfoque de detección de interacción en vacas fue propuesto y ensayado en el estudio de

prueba, de lo cual resulto una precisión de casi el ochenta y cinco por ciento, en cuanto al primer paso de desarrollo y esto comparado con los resultados de un observador experimental. Lo que queda de ello es avanzar y mejorar los procesos en algoritmos, aumentar más la predicción y detección y así garantizar el rendimiento del sistema para que este resultare siendo un sistema complementario y crucial en los proceso de interacciones sociales del animal(32).

Existe una frecuente acción por parte de los agricultores y es, que parte de sus ganancias son invertidas en tecnología, típicamente en maquinaria, en lugar de software o sensores. Otro factor que resulta ser limitante en la implementación de las tecnologías de la ganadería de precisión, es la desorganización en la relación de los investigadores, desarrolladores y los proveedores de la tecnología. Esta situación resulta difícil, pero si es posible y se logra en los sistemas integrados óptimos (36).

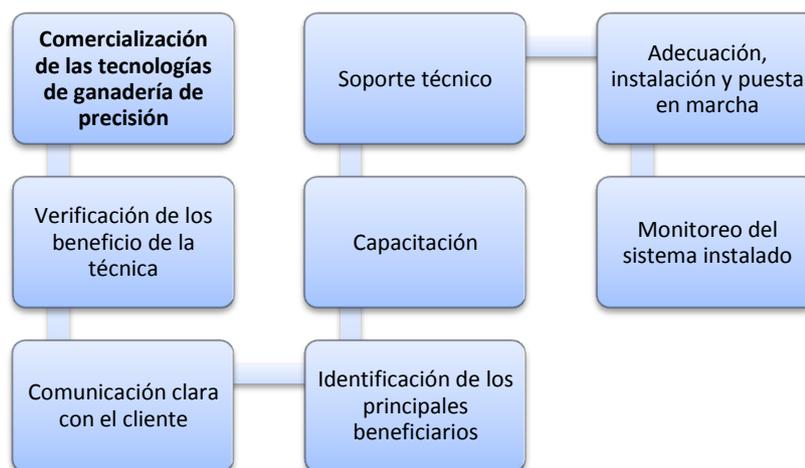
También, hay un factor que es importante nombrar y que juega un papel relevante en la carencia o falta de implementación de las técnicas de la ganadería de precisión, y es la ausencia de datos claros de los costos y beneficios en la técnica y que implica complejidad en la consideración de la compra de los agricultores al momento de tomar decisiones. Si se demostrara con mayor claridad y verificaran las características de lo económico, el bienestar y los beneficios ambientales de las tecnologías, estos serían esenciales en el proceso de comercialización. Esto debe ser considerado con importancia, si tenemos en cuenta que la industria alimenticia, en general, tiene características conservadoras y con muy buenas razones. Al igual, es importante considerar que esta es de las industrias con mayor ejecución a nivel mundial y todo en sus procesos y tratamientos son estrictamente delicados. Por eso, como se menciona con anterioridad, hay que considerar que para aumentar la comercialización de la técnica, se debe pensar como agricultor que, al aventurarse con hacer cambios en su producción, debe juzgar, con anterioridad, la aplicabilidad de una tecnología en particular y evaluar los posibles beneficios (36).

Comercialización

Existen algunos principios o consideraciones lo en cuanto a la comercialización de las tecnologías de la ganadería de precisión, en donde por un lado, existe la necesidad de incluir una verificación de sus beneficios de la técnica, también, tener una comunicación clara sobre esos beneficios verificados para los clientes, al igual que la identificación de los principales beneficiarios, como considerar al operador y el propietario; por otro lado, requiere la suministración

de una capacitación acorde, un soporte técnico y finalmente, adecuar una especificación concreta, instalar, poner en marcha y monitorear el sistema instalado como se muestra en la tabla 2. Infortunadamente, todos los avances llevados a cabo sobre la ganadería de precisión han sido principalmente organizados por entes académicos en la actualidad. Es por ello, que resulta deseable aumentar el interés de las empresas adecuadas para la prestación de servicios a los agricultores, la colaboración entre las pequeñas empresas especializadas y las grandes generalistas. Es importante la cooperación entre empresas puesto que debe existir una transferencia de tecnologías de la ganadería de precisión, lo cual es un paso importante hacia el desarrollo de herramientas y productos comerciales de la ganadería de precisión que son demandados por los clientes y son vendidos con confianza (36).

Tabla 2. Diagrama de flujo de comercialización de las técnicas de ganadería de precisión



Sin embargo, existen algunos otros problemas para lograr la comercialización y es, principalmente, la carencia de una oferta de servicios firme para los agricultores. Aparte de ello, resulta necesario erigir un sector de servicio en el que se pueda proteger los componentes de las tecnologías, interpretar datos recibidos por sensores, emprender asesoramientos adecuados a los agricultores de manera constante e introducir a los usuarios en todos los avances tecnológicos. Tan sólo algunas empresas reconocidas como grandes han tomado la ganadería de precisión como su principio para guiarse. De este sector de servicio, se necesitaría implementar un negocio utilizando modelos que logren reducir los altos costos de la inversión inicial.

Sistemas de comunicación en la ganadería de precisión

Como es sabido, los desarrollos recientes de las tecnologías de comunicaciones por medio de tecnologías como los móviles, el internet y las telecomunicaciones han ofrecido enormes beneficios y actualizaciones en diseño, aplicación y valoraciones de la ganadería de precisión. Si bien las aplicaciones en granjas independientes suelen ser deseables para ciertos clientes, son muy significativas las ventajas en la centralización de la recopilación de los datos, el procesamiento, la gestión y el desarrollo del informe. Por nombrar un ejemplo, los datos recopilados por los sensores dentro de las granjas son llevados o enviados a un sector de control para lograr el procesamiento y el almacenamiento de esa información. Esto, resulta siendo una gran optimización del tiempo para los agricultores y gracias a eso puede llevar a cabo tareas más productivas relacionadas con la granja y los animales. La centralización de los procesamientos se deben proporcionar a los administradores, es decir, los datos pertinentes a las necesidades usuales, con la elaboración detallada de sus informes y la toma de decisiones productivas. En síntesis, las ventajas que puede ofrecer los sistemas de ganadería de precisión se relaciona con el ideal de cada agricultor, que es el de minimizar la gestión de trabajo(36). Al incluir en sus procesos, por ejemplo, el uso de tecnología robótica para la parte encargada de los lácteos, también para la medición de todo el consumo de agua, la contabilidad de los huevos, el debido seguimiento de pesaje de las aves, mayor manejo y control del ambiente en el que se encuentran las aves en los corrales, al igual que la computarización de los sistemas de alimentación, los controles climáticos y detección de enfermedades, entre algunas otras variables, la convierte en un conjunto de técnicas importantes para agilizar los procedimientos (36,37).

También, en la ganadera de precisión, dentro de sus procesos ha de existir la rastreabilidad para desarrollar un manejo del ganado de manera que limite sus movimientos y tenga una regulación de las enfermedades de estos. Los mecanismos electrónicos innovadores para la rastreabilidad, los cuales se integran en la ganadería de precisión, muchas veces contienen dispositivos de geolocalización, que, generalmente, son colocados en los animales como fuente de transporte, y de allí, dicha información recibida por un usuario aparte, entran al grupo de tecnologías básicas necesarias para desarrollar un sistema de geolocalización animal. Ese sistema de geolocalización lleva grandes desafíos que deben ser asumidos con responsabilidad para dar uso óptimo dentro de las granjas o áreas en el que sea aplicado (38). Un ejemplo de la rastreabilidad son los sistemas de geolocalización en animales en agriculturas extensivas en pastos de montaña, donde median dos procesos claves para la ganadería de precisión: los dispositivos de geolocalización y la interfaz de usuario de visualización. En este ejemplo se ejecutó la plataforma “e-Pasto”(39), en este sistema, los dispositivos de geolocalización se colocan en

un collar que es transportado por los animales, donde la posición es determinada por una interfaz GNSS Y posteriormente recopilada en una base central a través de una red inalámbrica de largo alcance con baja potencia, desarrollado por SIGFOX. La interfaz que se utiliza, muestra a los agricultores las posiciones de los animales con datos estadísticos, así como las distancias diarias cubiertas por cada animal, al igual que, informa cuando el animal se sale de su zona autorizada anunciando a través de una especie de alarma al agricultor y accediendo a través de la computadora o dispositivos portátiles inteligentes (38).

Uno de los principales problemas de estas tecnologías al momento de ser utilizadas es la autonomía de la energía de esos dispositivos integrados, que son principalmente simulados por los sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS), y que tienen una estricta necesidad de poder. Existen varias formas de dar solución al problema(40,41), como lograr el aumento de la capacidad de la batería , las tecnologías de recolección de energía que aún no están muy avanzadas o la aplicación de una estrategia para trabajar en ciclo la medición de las posiciones geo-localizadoras. Este método mencionado, lleva a que sea obligatorio el objetivo de resarcir la seguridad, la mayor autonomía, como la maximización del número de posiciones recolectadas. Por lo tanto, el principal factor limitante de la introducción de esta solución de los dispositivos tecnológicos son los inconvenientes en relación a la reducción de puntos de posiciones recopiladas y donde la precisión se vería restringida (38).

Por otro lado, frente a lo que respecta a las redes inalámbricas de comunicación, se plantean unas soluciones basadas en las tecnologías ya existentes inalámbricas, como lo son el WiFi, GSM o ZigBee(42). A pesar de ello, hay situaciones como la de los pastizales ubicados en la alta montaña, en los cuales, no está dentro de las posibilidades el garantizar una cobertura adecuada en la utilización de estas tecnologías; sumándole a esta situación, el usuario se puede encontrar frente al tema del alto consumo de energía, esto limita en mayor magnitud la autonomía energética de los dispositivos de geolocalización(38). Si bien es un sistema de comercialización complicada debido al costo, el funcionamiento correcto de la plataforma ha sido llevada a pruebas en distintos países y por alrededor de varios años. Una de las principales mejoras que ha obtenido es la autonomía en la energía de los dispositivos integrados eléctricos, con largo alcance y baja potencia. Como se mencionaba anteriormente, sobre la ejecución por ciclos que genera un no muy eficaz proceso en el uso del sistema, aunque puede resultar buena para reducir el consumo de la energía de los dispositivos de geolocalización, esto reduciría a su vez, el interés en adquirir este tipo de sistemas, dado que al ser de esta manera no es posible la recopilación de datos para la geolocalización en varias mediciones de posición programada; además, la ejecución por ciclo requiere de

una obtención constante de la posición, lo cual no resulta óptimo para la medición de datos de geolocalización energéticamente adecuada, sobre todo en las noches, cuando los animales generalmente se quedan en el mismo lugar. Sigue siendo entonces un reto para los especialistas e investigadores en encontrar soluciones para garantizar la eficiencia de la geolocalización por dispositivos electrónicos(38).

Adaptabilidad y adopción

En cuanto a una buena y eficaz producción, la lluvia es un factor que resulta limitante y contra producente en el proceso. El bienestar del animal es muy importante en lo que tiene que ver con las ganancias o pérdidas económicas del granjero; síntomas como estrés térmico, en muchas ocasiones puede generar una reducción del estado corporal, morbilidad y mortalidad. Ya hace algunos años atrás, el control ambiental de los sistemas de alojamiento de los animales en encierro, es típicamente una producción de calor determinado y a unas ciertas temperaturas. Este es un método que puede resultar no efectivo en relación con la verdadera temperatura necesitada por el animal, teniendo en cuenta que la productividad del animal se puede ver interrumpida por situaciones de humedad, radiación, estado fisiológico y por las interacciones sociales. Al igual que los avances en la genética, la nutrición y algunas prácticas de manejo, pueden responder como cambios visibles en la sensibilidad al calor y algunas otras. Es por ello que se hace necesario que la ganadería de precisión, haciendo uso de sensores, cámaras, detectores y demás, desarrollen un monitoreo constante de las condiciones ambientales, fisiológicas y todos aquellos cambios comportamentales, siendo utilizadas a su vez como mecanismo de interpretación de la ganadería. En las instalaciones ganaderas, resulta ser buena idea incluir modelos bioenergéticas para la producción de calor y humedad, prever el estrés térmico a partir de técnicas y herramientas y finalmente hacer lectura del comportamiento animal para hallar respuestas y lograr mejoras en las condiciones del animal(43).

Desde otro lado, al momento en que las nuevas tecnologías son implementadas por los agricultores, se le ha atribuido como la puesta en marcha de la difusión(44) que se ve influido por el procedimiento de adopción como lo son la educación, posición de activos y riesgos a asumir, y que de manera abierta se ha denominado como 'capacidad de absorción' para las nuevas tecnologías(45). A pesar de ello, se ha discutido que en ocasiones las tecnologías incluidas no son lo suficientemente adecuadas al contexto y a la lógica de quienes deben ser los encargados de implementarlas(44,46). Es entonces que se vuelve racional la decisión de no adoptar la tecnología cuando

esta se muestra como no compatible con el uso agrícola y las aspiraciones del agricultor. Tener siempre en consideración las ventajas relativas que pueden brindar las tecnologías de uso nuevo, del cual puede generar un impacto en la adopción y el riesgo en cuanto a la situación de vuelta de la inversión o el costo de la falla(47–49), del conocimiento creado y los procesos alrededor de la práctica presente, de las cuales se puede formar un tipo de bloqueo en donde la innovación reciente debe brindar una ventaja que supere el umbral antes de que genere cambios que se mantengan(50). Para alcanzar un mayor éxito en la adopción, deben ser considerados todas las preferencias y condiciones de los diversos grupos que adoptan(46,51). Es por ello que, los estudios han resaltado la acogida y los sistemas de aprendizajes como un punto central para la efectividad de la adopción(52–55).

Esa comprensión de los procesos de innovación en las tecnologías en la agricultura de precisión, acompaña el desarrollo y la divulgación de dichas tecnologías, han conceptualizado el cumplimiento de varias funciones(56,57). Empezar una evaluación sobre la funcionalidad de los procesos innovadores, pueden contribuir en la identificación del rendimiento del proceso al igual que detecta los aspectos del nivel sub-óptimo. Al momento en que todo opera de forma óptima, los sistemas de innovación se potencian por medio del aprendizaje, crean conocimiento y adaptación(57). Para ello, se nombran dos ejemplos, por un lado el primer caso de estudio se focaliza en la ejecución de un sistema de precisión en innovación láctea en Australia, donde la leche de precisión, contiene tecnologías con el fin de monitorear los animales individuales o los recursos de la granja, como por ejemplo los medidores de leche en línea, sensores automáticos de mastitis y de actividad. En esos datos se insertaron 25 entrevistas de los agricultores sobre la adopción de lácteos de precisión(58,59), 18 entrevistas de agricultores durante la ejecución del proyecto 'pastos de espacio'(60), al igual que talleres con todo el equipo: agricultores, investigadores y proveedores comerciales de las tecnologías lácteas de precisión(61). Un segundo ejemplo es el caso de estudio centrado en la ejecución de un proceso automático de sistema de innovación de ordeño en el noroeste de Europa (Holanda, Dinamarca, Alemania, Reino Unido e Irlanda). Los datos que se obtuvieron en este estudio incluían 80 respuestas de una encuesta en línea de los investigadores, proveedores de servicio y de tecnología. Fueron 10 entrevistas semiestructuradas implementadas a miembros importantes de la red de práctica de los sistemas automáticos de innovación de ordeño, representando a investigadores, proveedores de la tecnología y consultores. Los estudios que fueron publicados se relacionaban con el desarrollo del ordeño automático en Europa, al igual que se revisó y mencionó en el análisis de estudio(55,62–65).

En cada uno de los casos de estudio, todas las entrevistas realizadas fueron registradas y transcritas, para posteriormente realizar un análisis de datos cualitativos a partir de un software. El análisis se dio por temas(66), en donde se agrupaban los datos por temas que los relacionara al desarrollo y uso de tecnologías. Esas notas del taller, y los resultados de cada encuesta, fueron también foco de análisis. Ya en el momento de adentrarse y analizar la información, todas las características relevantes de cada momento temporal del proceso fueron extraídas y puestas en discusión con relación a los procesos de innovación de las funcionalidades. Las funciones fueron descritas utilizando una línea temporal de la historia de la innovación del proceso, y cada una de ellas funcionó como punto clave en el proceso de identificar contribuciones del sistema de precisión. Dichos ejemplos de caso proporcionan evoluciones de los procesos de innovación agrícolas(55).

En los ejemplos mencionados, se hizo una grabación de las entrevistas, donde son separadas por secciones que están relacionadas con el desarrollo y el uso de tecnologías, las notas y los resultados de las encuestas también se tuvieron en cuenta para ser usados en el análisis. Al momento de examinar los datos, las características importantes sobre la línea de tiempo fueron usadas y se discutieron en relación de las funciones del sistema de innovación(55).

Estudios y ejemplos

Existen algunas limitaciones relacionadas con el uso de las metodologías en el estudio actual de las ganaderías de precisión, en el cual, debido a los procesos multifacéticos y cambiantes de la innovación, no todas las acciones relacionadas con los procesos innovadores han sido recolectados. Un ejemplo de ello podría ser las acciones de procedimientos tecnológicos llevados a cabo por las empresas que son, erróneamente, no usualmente publicadas y, es constante que no se promulguen debido a las preocupaciones de la propiedad. Sin embargo, ha aumentado el método de análisis de la innovación de manera relacional gracias a la información de estudios sí publicados, que permiten la identificación de acciones cruciales que enaltecen los roles y dinámicas de los diversos tipos de empresas(55).

Todos esos ejemplos que se han venido mencionando resultarían de las investigaciones, estudios y aplicaciones de prototipos para hacer de cada proceso más óptimo y preciso.

Bovinos

- *Ejemplos de tecnologías en producción:*

Monitoreo de movimiento de mandíbula en vacas para conocer la eficiencia de pastoreo

El ejemplo a continuación tienen como función el dar a conocer la eficiencia y el comportamiento del pastoreo de las vacas, para lo cual se requiere de un monitoreo individual y que tiene como base tres lineamientos que incluyen la localización del animal, el análisis de la postura y los movimientos, tales como el caminar y los movimientos de la mandíbula, estos pueden definir el comportamiento de pastoreo en vacas a partir también de tres diferentes clases de biosensores que pueden ser empleados para identificar tales movimientos (67,68).

-*Sensores mecánicos o de presión:* de acuerdo a la Institución de Investigación de Pastos y Medio Ambiente de Okehampton(UK) (69), una banda nasal ha sido interpretada a partir de una interfaz electrónico que se encuentra conectado a un computador, el cual se encarga de realizar la grabación, el análisis y el almacenamiento de los datos a 20Hz (70). Los movimientos de la mandíbula en el computador, se reconocen como un pico de presión que es transmitido por medio de la acción del cabestro y la presión ejercida en el tubo. Dentro de las características del software, se puede apreciar la diferencia entre las mordidas y las masticadas (70).

Este dispositivo, llamado TheIGER BehaviorRecorder, es también implementado para calcular la ingesta de alimento con una precisión razonable, a partir del cálculo entre el número de masticadas y el tiempo de alimentación (71). El sensor de presión de la banda nasal puede reportar comportamientos de alimentación y rumia, también por medio de este se pueden registrar los movimientos y almacenar en el software los datos recolectados (72). Los errores que pueden existir en la información, surgen a partir las diferentes presiones sobre el cabestro de los animales lo cual puede emitir valores diferentes en los resultados de presión. De igual manera, los errores pueden partir del cabestro, el cual puede interferir en la señal de la onda, ya sea sí se encuentra demasiado apretado o demasiado suelto.

-*Sensores a través de detección acústica:* Por medio de la detección acústica se ha identificado una alta precisión en las mordeduras y la masticación, lo que puede ser utilizado para calcular la ingesta de alimentos del animal (73). El análisis de los datos acústicos pueden partir del uso de micrófonos para grabar el sonido de los animales al pastorear, los cuales se diferencian en tres movimientos de la mandíbula: masticar, morder y masticar-morder (74), y de acuerdo a estos, se puede utilizar los datos para clasificar el comportamiento al

rumir (75). Estos datos son importantes y útiles a la hora de controlar el bienestar de los animales.

A partir de la ubicación del micrófono y la clasificación del sistema acústico puede dividirse el proceso de la detección acústica. En algunos sistemas, la detección de los movimientos de la mandíbula se realizan a partir de grabaciones de 10 minutos de sesión de pastoreo, utilizando una cámara lo cual delega una precisión del 94%, haciendo de este un sistema simple (67,75). Por otra parte, Clapham y sus colegas, han propuesto sistemas con características de algoritmos automáticos para el masticado-mordedura, son registrados en tiempo real del pastoreo de los animales. Para esto, implementa un micrófono direccional con amplia frecuencia que se posiciona hacia el interior de la frente del animal, y es gracias a esto y al análisis de la señal y el algoritmo que puede detectar los movimientos con una precisión del 94% (76).

Oestrus: detector de monta Stevenson

Otro ejemplo que podríamos nombrar, es el *Oestrus: detector de monta Stevenson* (77), es un dispositivo que brinda la posibilidad de una información a partir de la presión, radio telemétrico, y es colocado en una grupa diseñada de manera que se active a partir del peso del animal de monta. Se llevaron varios ejemplos de implementación para un estudio y a lo que se pudo llegar a partir de este, es que no son capaces de proporcionar una detección de la ovulación completamente confiable. Si lo que se requiere es un porcentaje cercano al cien por ciento, es decir, un número mínimo de falsos positivos, a partir de la sensibilidad asociada los estudios realizados, se detectó que es generalmente menor al setenta por ciento, está por debajo del rendimiento ideal. Por una parte está que la actividad no es un indicador confiable de la ovulación y por otro, que no es un método confiable en su totalidad para registrar la relevancia de la actividad. Esto fue a su vez re comprobado a partir del estudio que llevaron a cabo Van Vliet y Van Eerdenburg en 1996 (78,79).

Oestrus con collares

Se encontró también el caso de la *detección del Oestrus con collares*, que tienen la funcionalidad de detectar el celo y se han llevado al uso desde principios de 1980. En un principio, las versiones salientes implementaban una serie de interruptores simples que tenían algunas inclinaciones de mercurio o bolas rodantes que facilitara el conteo de los movimientos de las cabezas. Estos se caracterizaron por ser muy costosos hasta que para la década de 1990 surgieron los circuitos integrados con acelerómetros triaxiales. Desde su llegada, los acelerómetros triaxiales han sido económicos, cuentan con chips digitales para el procesamiento de la señal brindando que el collar demuestre ser una herramienta que no solo puede detectar el estro sino también aquellos

comportamientos como la ubicación, cojera, permitiendo a su vez la recopilación de datos de audio y actividades de alimentación. Estos se han utilizado de manera abierta y cada vez, aunque lentamente, están surgiendo con la intención contribuir a la construcción de un sistema de gestión integral. Un estudio por TheVoronin en el 2011 (80) desarrollo un método y dispositivo que podía detectar el celo en los animales a partir de la acción de cronometrar por largo tiempo el movimiento de los animales y relacionándolo con el identificar cuando estos son realizados, pero no se relaciona con los periodos de comida de los animales. También, Kamphuis en el 2012 (81) a partir de su investigación realizada, llegaron a resultados similares implementando la comparación con la progesterona y el análisis de la leche como el estándar más relevante(79).

Oestro de temperatura de la leche

Por su lado, el *Oestro de temperatura de la leche*, a partir de la temperatura corporal se puede detectar que una vaca se encuentra en celo, este podría ser un método no invasivo, que parte de medir la temperatura de la leche de la pieza de la garra o tubo corto de leche del sistema de ordeño. Desarrollaron dos experimentos con vacas que se encontraban pastando durante el día y eran alojados por la noche. El estro se mantuvo relacionado con un riesgo significativo de aumento en la temperatura de la leche en comparación con el promedio de temperatura de cinco días anteriores. Esto dio como resultado una detección de la sensibilidad del estro del setenta y cuatro por ciento con una tasa del ocho por ciento, esto utilizando la progesterona de la leche como referencia de la técnica. McArthur(82) también llevó a cabo estudios para examinar la fiabilidad del método, realizó mediciones de experimentación con condiciones que eran controladas y en condiciones comerciales. La temperatura de la leche del estudio aumentó alrededor de los 0,4 grados centígrados el día que el comportamiento de celo fue detectado. A su vez McArthur(82) ha realizado estudios a partir de la medición de la temperatura vaginal y también se demostró el aumento de la temperatura asociado a la situación de celo a partir de sólo nueve horas aproximadamente. A lo que llegaron fue, que la medición tan breve de este periodo contribuye a la incertidumbre de la detección del celo; este método que se basa en la medición dos veces al día de la temperatura no brinda confiabilidad(79).

HerdNavigator™ para el monitoreo de la ovulación

Esta tecnología posee buenas tasas en la detección de celo, sin embargo, este es un muy costoso. Jónsson et al. 2011 con la intencionalidad de potenciar la fiabilidad de la detección por medio de sensores de bajo costo, dieron a conocer la combinación entre la información de los sensores de recuento de

pasos y de la inclinación de las piernas. Para ello construyeron un algoritmo de detección de cambios que analiza los datos a tiempo real, lo que ha mostrado un aumento en las alertas exitosas, disminuyó de gran manera los falsos positivos y agregó un balance de mentira para el animal de manera individual. Lo que conllevó a un nuevo esquema de detección de cambios, procedente de lo observado en la división del recuento de pasos y el balance de mentira. Es así como la duración del celo y los intervalos de celo, surgen de las pruebas de detección e hipótesis que fueron basados en la optimización de la proporción de la probabilidad generalizada combinada con la ventana de probabilidad de tiempo. Dichos lineamientos específicos de las vacas, y las estadísticas de las pruebas, resultaron en línea a partir de los datos de los comportamientos individuales, por lo que la sensibilidad se mostró con un porcentaje del 88.9 con una tasa de error del 5,9 %, siendo este un resultado satisfactorio dado que se utilizó la información de un sensor económico (83).

- *Ejemplos de tecnologías para clínica*

Biosensores para el análisis de la respiración

Por mucho tiempo, ha sido de gran interés de los investigadores estudiar los diagnósticos de las enfermedades a través del análisis de los compuestos orgánicos volátiles, dado que estos posibilitan una metodología no invasiva. Dentro de los compuestos orgánicos volátiles se encuentra la sangre, la respiración, heces, piel, orina y fluidos vaginales de los animales al igual que los humanos (84,85). En el aliento, existen metabólicos que tiene gases como el hidrogeno y metano y compuestos orgánicos volátiles, que pueden intervenir como biomarcadores en los organismos animales (86).

Para el diagnóstico de enfermedades respiratorias en el ganado, se han explorado y desarrollado distintos análisis de los compuestos orgánicos volátiles (84), brucelosis (87), tuberculosis bovina (88), enfermedad de Johne(89), cetoacidosis(90), y enfermedad normal fisiológica del rumen. Como ejemplo de esto, se realizó una identificación que resulto rápido y no invasiva en la que se detectó fiebre aftosa en las muestras de aire que fueron captadas con un dispositivo de prototipo que poseía unas partículas electrostáticas capturando la muestra en una cámara de microde 10-15 μ L(91).

Peces

Biosensor implantado in vivo para analizar el estrés en los peces

En cuanto a la salud de los peces, esta se ve afectada por distintas variaciones ambientales, así también, como por las condiciones de los peces de granja, que pueden tener factores de estrés que proviene a la contaminación del agua y los cambios climáticos; también la densidad de la población y el intercambio

de agua, puede generar estrés en los peces. Para ello Wu et al. ha desarrollado un biosensor implantable el cual puede detectar la composición del líquido intersticial escleral del globo ocular del animal, este líquido funciona bien con sus concentraciones en la sangre. A partir de esto, se monitorea el estrés producido gracias a los cambios en los compuestos químicos del agua, el oxígeno disuelto, el pH y la toxicidad de los metales, lo que generaba cambios en el comportamiento como de ataque e irritación visual (92). Otros investigadores han situado su interés por desarrollar sistemas de biosensores inalámbricos que ejecuten monitorios continuos a partir de biomarcadores de estrés L-ácido láctico en peces utilizando también el de fluido de la esclerótica intersticial del globo ocular que es implementado en el sensor. Esto permite entonces una monitorización inalámbrica del animal en el nado libre (93).

Aves

Virus de la influenza aviar

Respecto a las aves, estas tienen como principal causa de mortalidad la infección por el virus de la influenza aviar, por lo que los métodos de detección rápida de dicha influenza repercute de gran manera en los factores clínicos, económicos y epidemiológicos. En búsqueda de tecnologías que contribuyan a este problema, Diouani et al. y Wang et al, han dado a conocer la construcción de biosensores de electrodo de oro miniaturizado que son implementados por las espectroscopias de impedancia para detectar el H7N1; para este caso, el biosensor detecta los anticuerpos H7N1 inmovilizados en el electrodo de oro biofuncionalizado, estos pueden ser medido con un bajo límite de detección (94,95).

Por su parte, Xu et al. han elaborado distintos ensayos biosensores interferométricos que permitan la detección directa de las cepas H7 (dos cepas) y H8 (una cepa) de la infección aviar, por medio de una guía de ondas ópticas planas logran la captura del virus completo. El procedimiento como tal, se basa en el índice de cambios refractivos que son generados en el momento en el que se juntan las partículas del virus con los anticuerpos únicos específicos del antígeno sobre la superficie de la guía las ondas (96). De igual manera, se dice que existen biosensores que tienen como base en sus procedimientos las transferencias de energía a través de resonancias luminiscentes, para así lograr la detección ultrasensible de la cepa H7 (97), de transistores de película fina de óxido de indio y estaño, en un sustrato de vidrio para la detección inmunológica de anticuerpos contra el H5N1 (98).

Siguiendo por la línea de los ejemplos sobre las tecnologías de la ganadería de precisión, se tiene el caso de la implementación en diez granjas de cerdos de engorde y cinco granjas de pollos de engorde. Para hacer la selección de las

granjas, se tuvo en cuenta un formulario que evaluaba la capacidad de la granja frente a diferentes temas, y cada uno era calificado como 'disponible: 1, un poco disponible: 0,5, no disponible: 0' y de esta manera se eligió las diez granjas de cerdo y cinco granjas de pollos con los puntajes más altos. Tras la evaluación, se logró determinar que cada granja estaba equipada con algún conjunto de técnica de sensores de ganadería de precisión y algunas unidades de control. Los datos de las unidades de control del clima, las unidades de control para la extracción y distribución de los alimentos y el sistema para la unidad biométrica de peso, ya estaban instaladas en la granja antes de los experimentos. Sistemas como el basado en cámaras para monitorear los movimientos de los animales, sistemas basados en micrófonos para monitorear los sonidos producidos por los animales y una computadora local con el software correspondiente a cada procedimiento para acceder y controlar cada unidad en la granja, fueron los implantados para el estudio. Estos, se utilizaban para el muestreo y la recolección automática de los datos, adecuándolos en intervalos de tiempo específico; cada dato contó con derivados de los diferentes sensores, los cuales se ejecutan en un formato característico para la frecuencia del muestreo de cada sensor. Los datos que de este resultaron, fueron almacenados cada 15 minutos; los datos de sonido se almacenaron cada cinco minutos; la capacidad del almacenamiento de datos tenía un factor limitante en cuanto a la transferencia de energía para la recopilación de datos(99).

Para la herramienta de visualización, los datos resultantes de los diferentes sensores eran procesados, unidos y les era agregado un valor por para cada uno. Para alcanzar una mayor comodidad en su uso, las variables podían ser agrupadas en tres características principales: producción, clima y comportamiento. En cuanto a la mayoría de las granjas de aves de corral, los resultados de las evaluaciones simplificadas sobre el bienestar, también se podían visualizar, pues los datos eran agregados a diario y cada noche se calculaban en el computador local, los cuales eran agregados de manera automática y cargados a un servidor de datos en línea. Todo este registro de los eventos de lo que iba sucediendo en el comportamiento de las granjas equipadas con los sensores de tecnología de ganadería de precisión, fue creado para apoyar el servidor de datos en línea para el mantenimiento de los registros. Cada suceso que se registraba, se señalaba con marca de tiempo y se vinculaba a algún punto específico, ya si, el agricultor o investigador que ingresaban los registros, lo deseaban. Esta herramienta de visualización estaba basada en una web de diseño general para las granjas pero su contenido era específico de acuerdo a las tecnologías de ganadería de precisión disponibles a nivel individual de cada granja; al finalizar cada jornada diaria, los datos eran actualizados automáticamente en la herramienta de visualización. Gracias a un

código de inicio de sesión que poseía cada agricultor, podían ser verificados, tener una vista más detallada y todo por su fácil acceso. También, podía observarse en diferentes graficas el dato proveniente de las diferentes variables desarrolladas en cada granja. Con la herramienta y cuando desease, el agricultor podría ingresar notas de cuaderno como bitácora en cada punto o datos específico con el fin de explicar las desviaciones, tendencias u observación desde su casa(99).

En la actualidad, existen varios proyectos, uno de ellos es el denominado BrightAnimal el cual ha elaborado una búsqueda sobre hallar evidencia de tecnologías de la ganadería de precisión en vacas lecheras, cerdos, gallinas ponedoras y peces de acuicultura, los cuales son utilizados de manera comercial en diferentes países como Noruega, Reino Unido, Australia, Vietnam, entre otros. De manera general, hubo algunas limitaciones para encontrar las evidencias de productos comerciales de ganadería de precisión implantados en granjas. En Estonia por ejemplo, a los agricultores les gustan las tecnologías amigables para usarlas en cuanto a la reducción de dependencia de los trabajadores difíciles de conseguir, al igual que costosos, y lograr la comodidad en el manejo del agro. A pesar de ello, en Estonia, los usos de esas tecnologías son limitados y aspectos relacionados con el bienestar del animal o con la productividad, no son controlados de forma automatizada constantemente (36). La trascendencia en los estudios de la ganadería de precisión se ha elevado cada vez más, es así como en la actualidad ya se habla de los robots de ordeño que han revolucionado la industria láctea con agricultores alcanzando niveles altos de obtención e implementación de robots de mayor rendimiento. Hoy en día existe interés, y cada vez mayor, por la integración de robots en los productos lácteos a base de sistemas de pastos a gran escala. A modo de recopilación histórica, tenemos que la primera vaca ordeñada más o menos sin participación humana tradicional fue en 1986 con un robot caja de ordeño en la granja experimental de Waiboerhoeve, Lelystad, Países Bajos por GascoigneMelotte, siguiendo la Patente de Estados Unidos 4010714A(100). Un sistema de la empresa Prolion participó como granja experimental IMAG-DLO Duiven, Países Bajos, en 1990 y en una lechería comercial en 1992. Más institutos y empresas se convirtieron en activos en el desarrollo de sistemas de ordeño robótico en la década de los noventa según lo describen Kuipers y Rossing. Y a partir de ese momento hasta el año 2011, los sistemas automáticos de ordeño se han ido instalando en más de diez mil granjas en todo el mundo (101). Las instalaciones llevadas a cabo son en mayoría, predominantemente para sistemas interiores en donde las vacas se encuentran generalmente alojadas en graneros y tienen una ración mixta y parcial en el callejo de la alimentación. A medida que existen numerosas instalaciones de sistemas automáticos de ordeño en sistemas de lechería

interiores, hay un interés creciente con respecto al integrar el sistema de ordeño automático en los sistemas basados en pasturas. Ketelaar-de Lauwere(102) fue pionero en el concepto de sistema de ordeño automático basado en pasturas como un sistema híbrido de "pastoreo en viviendas" en los Países Bajos (Duiven, provincia de Gelderland)(103), seguido por Australia(104), Nueva Zelanda y más recientemente pastoreo parcial en América y en Irlanda. La evolución de este interés y de la difusión a nivel global de los sistemas de ordeño automático basada en pastos, es probable que se siga acelerando debido a la habilidad de dar seguimiento a los principios establecidos en la gestión de pastoreo llevados a cabo en los sistemas convencionales y el logro de altos niveles de utilización de pastos(105).

La parte de la ubicación geográfica o del régimen alimenticio que se utilice, el robot de ordeño representa un gran capital de inversión para los agricultores y la implementación de esta inversión a través del tiempo completo, es requisito para lograr el rendimiento aceptable del activo(106,107). Dada la necesidad del tiempo del sistema, que se acople con las fallas de ordeño, periodos de no asistencia y mantenimiento técnico, los niveles de uso del robot pueden llegar entre veinte y veintidós horas al día como máximo(108,109). A partir de la revisión realizada por Lyons(109), el manejo de frecuencia de ordeño proporciona una comprensión sobre factores como la edad y la experiencia de la vaca, las condiciones del medio ambiente y algunas estrategias de manejo que impactan la frecuencia de ordeño, a pesar de ellos, la dinámica de implementación del robot de ordeño por veinticuatro horas, aún se desconoce. Para ello es importante, entonces, los posteriores estudios que surjan para explorar más a fondo las oportunidades de uso que tienen estos robots(105).

Sistemas y sensores

Existen mecanismos o herramientas que facilitan la continua viabilidad del desarrollo tecnológico, los cuales pueden ser sensores de detección inteligentes, cámaras y micrófonos, con los cuales se puede llevar a cabo el monitoreo a tiempo real y control de la producción, el bienestar, la salud y el ambiente en el que convive el animal. Sin embargo, solo los sistemas de manejo de granjeros son los que pueden llevar a determinar el estrés térmico, las infecciones o problemas en el aire y el dar las soluciones inmediatas. Dentro de la ganadería de precisión, estos mecanismos son considerados como interconectados de todos los sistemas, de los cuales se incluye el crecimiento y comportamiento animal, hasta el ambiente físico que incluye su microambiente térmico y la emisión de gases(1,43,110–112).

También es importante conocer que las producciones de ganadería intensivas, requieren de una elaboración de sistema que controle el medio ambiente del

entorno para que esto pueda maximizar el bienestar del animal, mejorando a su vez, la productividad y la prolongación de la vida. Se puede llevar a cabo la modificación ambiental, a partir, generalmente, de la ventilación, la cual puede ser mecánica o natural, haciendo uso de equipo de calor o acondicionadores de frío, al igual que herramientas enfriadoras. Independiente de como sean las condiciones, deben mejorar de acuerdo al clima local, la facilidad del diseño, población animal y la producción. A partir de varios sistemas medidores de calor, se evalúa la carga de calor y la pérdida en la ganadería. El desarrollo de modelos ganaderos bioenergéticos se han conducido a partir de las medidas de transferencia de calor entre el animal y su ambiente, esta producción de calor puede ser dividido matemáticamente en tres categorías: empírico, mecánico y dinámico según la base de datos(2,43,113).

De los primeros intentos por llevar a cabo ganados bioenergéticos y con efectos ambientales, fueron implementados por la universidad de Missouri(114–117). En donde se tuvo en cuenta la necesidad de calor por razas del ganado, teniendo en cuenta las condiciones del ambiente en el que viven y el alimento; para esto los encargados de diseño evaluaron toda las estructuras para predecir la baja producción por alteraciones en la temperatura(118,119). Se llevó entonces a cabo estudios para detectar la sensibilidad al calor y la humedad del animal y del lugar. El aumento en el aire de manera veloz sobre el animal y la producción, fueron ilustrados para ganado, cerdo y pollos(120–122). Esto en cuestión ya universitaria e investigativa, pero a su vez, los modelos empíricos han aportado de gran manera a los avances y mejoras para el rendimiento animal y sirvió de base para el desarrollo posterior de más modelos(123). Los modelos mecánicos en función de respuestas físicas y comportamentales de los animales en su ambiente, tiene como bases las leyes físicas y químicas; ofreciendo así un medio de predicción mediante la interacción, ya sea, de nutrientes, medioambiente y genética. Se ha desarrollado también ciertos enfoques para las bases de datos, el dinamismo reconoce que cuestiones de producción de calor, la tasa de ventilación, el clima y entre otros, cambian rápidamente con el tiempo(124), por lo tanto, este enfoque lleva a que se cumpla que las respuestas de los animales sea constantemente leídas, controladas y requieren de un modelo matemático para la predicción con precisión. Los modelos dinámicos que utilizan datos, también se necesita de algunas técnicas que utilicen los números para identificar, se base en una estructura de medición de toda la línea de proceso, lo que finalmente termina siendo reconocido como un modelo adaptativo que hace frente al tiempo de los procesos biológicos variables de la ganadería(43,125).

Como factor principal del diseño de los sistemas de soporte de decisiones, es necesario que las interfaces de la entrada permitan el registro de la información sobre los propietarios del ganado y sobre el ganado que se posee. La siguiente

sería la interfaz de los datos sobre el celo del ganado, estas serían entonces entradas registradas a partir de la observación. Teniendo en cuenta que la simulación de la época del celo resulta ser un patrón del celo del ganado individual, esta entrada resulta vital en el sistema de apoyo de decisiones. Como segunda consideración, entra el generador de simulaciones. A partir de los datos del celo del ganado individual, se simula un ciclo de estro predicho, este puede ser individual o de varios bovinos a la vez. Con base en los datos del estro del ganado individual, se simula el ciclo del estro predicho. La simulación se puede ejecutar para ganado individual o varios bovinos a la vez. Teniendo en cuenta que el ganado postparto y las novillas demuestran un patrón distinto del ciclo de celo, la predicción sobre ellos debe ser distinguida o vista por separado en la simulación. Cada uno de los resultados de la situación brindará la predicción sobre los próximos celos estimados. El inseminador podría entonces utilizar el informe botado por la simulación para prepararse para la realización de la inseminación. Ya para la tercera sección se encuentran generados los informes. Aparte de generar los horarios de la inseminación, los datos almacenados por el ejercicio de observación del celo del ganado se tendrían en cuenta para otros fines, como podría ser, a partir de otros datos ingresados, hacer el monitoreo del embarazo del ganado, la programación de partos y el monitoreo de los postpartos(126).

Ahora bien, teniendo en cuenta que el detectar la época de celo del ganado hembra se ha convertido en una situación desafiante, los sistemas de apoyo a la decisión propuestos, posiblemente incrementen la tasa de éxito de la inseminación artificial en la ganadería tradicional. Esa predicción del celo probablemente aumentaría la precisión de la inseminación artificial. Desarrollando entonces, un programa de ovulación sugerido por el sistema de ayuda para la persona encargada de la inseminación, le aportaría en cuanto a su preparación antes de llevar a cabo el proceso. Si bien las personas encargadas de la observación del ganado podrían brindar información importante sobre la situación de celo de los animales, utilizando los cronogramas, podría ayudar a anticipar esta situación(126). A su vez, la ganadería de precisión se apoya del desarrollo de una serie de sistemas guiados para facilitar cada proceso de la producción, en particular, uno será el de brindar soporte a las decisiones del cual se crea un diseño. Este también debe permitir el ingreso de todos aquellos detalles que están relacionados con la época de celo de los animales para así tener en cuenta las particularidades del ganado(126).

Llevando esta propuesta a un nivel más alto, los sistemas de apoyo a la decisión podrían articularse a los sistemas de gestión agrícola que superviven de manera integral todos los aspectos de la ganadería(127). Si bien, por un lado la ganadería de precisión es considerada como costosa para los

agricultores de tercer mundo, por los dispositivos de la tecnología requeridos, la agricultura de precisión con bases en la comunidad(128), mitiga el costo de los impactos comparables. La implementación de los dispositivos sensoriales automatizados podrían reducirse empleando mecanismos de medición implementados por el hombre u observadores capacitados. Dada la necesidad de imitar los ciclos de celos, el sistema tiene la necesidad de una recopilación de mayor cantidad frente a los ciclos de celos. De acuerdo a cuanto más datos sobre el ciclo se registren, aun mayor será la precisión de la simulación. Esta resultaría entonces la primera limitación del sistema de apoyo de a la decisión seguida por la incapacidad de los sistemas en predecir la irregularidad de los ciclos de celo a causa de factores externos al ganado como el estrés, la dieta, entre otros. Este sistema asume entonces que el ganado en estudio permanece con unos aspectos físicos permanentes y constantes(126).

Finalmente, es relevante saber la importancia del mundo de la ganadería, sobre todo, si tenemos en cuenta algunos de los estudios realizados por la división popular de las naciones unidas (UNPD), en el cual mencionan que para el 2050 esperan que a población crezca cerca de 9 millones, por lo tanto, deberá a su vez aumenta la presión en la ganadería para dar respuesta a la demanda de productos de los animales; la organización de comida y agricultura de las naciones unidas (FAO) proyectan un incremento de consumo de carne y leche aproximadamente del 50%(129). La ganadería estará pasando por una fuerte intensificación, que repercutirá en grandes fincas, debido al decrecimiento de estas (130). Añadido a eso, los consumidores demandan que los animales crezcan de una manera quizás un poco más humana, con bienestar y salud, lo cual se convierte en una presión adicional a la ganadería. El asegurarse del cuidado y la atención, es pagado a los animales de manera como un negocio viable económicamente hablando, ya que se ha vuelto una necesidad en las ganaderías modernas y no es visto tan solo como un simple monitoreo ambiental, sino que es a su vez, de la salud y el comportamiento del animal (131,132). Junto a ello, y por mucho tiempo, se ha venido intentando desbloquear los beneficios económicos que tiene la trazabilidad y que puede ser direccionado hacia las empresas ganaderas. En cuanto a esto, existen algunas razones o motivos por los cuales la incorporación de la trazabilidad y la ganadería de precisión no han tenido más progreso, dentro de ellos se incluye la compleja disponibilidad de ejecutar y acceder a los sistemas de identificación automatizados, las excesivas preocupaciones relacionadas con la información recolecta de la granja, inconsistencia en ofertas de los productos de trazabilidad y un desmesurado enfoque en la codificación particular de las tecnologías, como lo son a numeración simple, la identificación por radiofrecuencia, código de barras. (36)

Conclusiones

Las metodologías de ganadería de precisión resultan ser excelentes, óptimas, eficientes y eficaces para el manejo del agro y alcanzar resultados importantes, puesto que, estas tecnologías, permiten medir, dar seguimiento, guiar, brindar observación constante y regular muchos de los procesos que conllevan los tratos hacia los animales y hace el campo. Si bien estas tecnologías de ganadería de precisión procuran el bienestar y la optimización de los recursos para mejorar las ganancias de los granjeros y dueños, propenden una reducción de gastos al momento de la producción y la prevención de factores que la retrasen, es sabido que estas tecnologías son de difícil obtención en Colombia, dado que son pocas las fincas o producciones que tienen la capacidad económica de traer y adoptar estas tecnologías. Es por ello que, hay que tener en cuenta, que muchas de estas tecnologías, sino la mayoría, deben ser importadas de otros países, pues, son tecnologías de difícil acceso en Colombia, como pueden ser, algunas cámaras especiales, micrófonos, sensores, medidores o sistemas operativos, etcétera, que se caracterizan por tener, también, altos costos. De igual forma, como se pudo notar en el desarrollo de este trabajo, las tecnologías de ganadería de precisión requieren de una serie de pruebas, experimentos y prototipos, los cuales son ayuda para garantizar la eficiencia de estas, pero, al poner la mirada en el contexto colombiano, es evidente el poco avance científico y las pocas investigaciones sobre el sector del agro, lo cual retrasa mucho más al país en relación a los avances y competencias extranjeras.

Recomendaciones

Como recomendación inicial, quisiéramos impulsar la iniciativa para el desarrollo de dispositivos, algoritmos, software, etc. de ganadería de precisión, y así lograr con esto un mayor aprendizaje de estas tecnologías y poder poner en práctica en nuestras granjas.

Al reconocer que en Colombia no se tiene en cuenta de manera integral el bienestar del animal y del campo, resulta importante que se implementen estas tecnologías de ganadería de precisión, esto con el fin de tener nuestros animales y nuestro campo sanos con el fin de ser un generador de ganancias y con ello también incrementar la industria, potencializar las relaciones extranjeras y ganar mayores reconocimiento en este sector.

Dada la importancia de reducir y prevenir errores y daños en los procesos de producción, resulta importante el uso de estas tecnologías como herramientas de detección, observación y actuación de inmediata, con lo que se beneficiaría el tiempo, los recursos, el no contagio de enfermedades y los gastos de producción.

Bibliografía

1. Berckmans D. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Rev sci tech Off int Epiz.* 2014;33(1):189–96.
2. Wathes CM, Kristensen HH, Aerts JM, Berckmans D. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? *Comput Electron Agric.* 2008;64(1):2–10.
3. Wathes C. PRECISION LIVESTOCK FARMING FOR ANIMAL HEALTH, WELFARE AND PRODUCTION. *Production.* 2007;397–404.
4. Pomar C, Hauschild L, Zhang G, Pomar J, Lovatto PA. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. 2009;3598.
5. Pomar J, López V, Pomar C. Agent-based simulation framework for virtual prototyping of advanced livestock precision feeding systems. *Comput Electron Agric [Internet].* 2011;78(1):88–97. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2011.06.004>
6. Clarke DW. Application of Generalized Predictive Control to Industrial Processes. 1988;(April):49–55.
7. Soeterboek. *Predictive Control. A Unified Approach.* 1992.
8. Camacho, E.F., Bordons C. *Model Predictive Control.* 1999.
9. Buza MH, Holden LA, White RA, Ishler VA. Evaluating the effect of ration composition on income over feed cost and milk yield. *J Dairy Sci [Internet].* 2014;97(5):3073–80. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7622>
10. Maltz E, Barbosa LF, Bueno P, Scagion L, Kaniyamattam K, Greco LF, et al. Effect of feeding according to energy balance on performance , nutrient excretion , and feeding behavior of early lactation dairy cows. *J Dairy Sci [Internet].* 2013;96(8):5249–66. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-6549>
11. Livshin N, Maltz E, Edan Y. Regularity of Dairy Cow Feeding Behavior with Computer-Controlled Feeders. :296–304.
12. Halachmi I, Edan Y, Moallem U, Maltz E. Predicting Feed Intake of the Individual Dairy Cow. *J Dairy Sci [Internet].* 2004;87(7):2254–67. Available from: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70046-6](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70046-6)
13. Halachmi I, O S, Miron J. Science : Comparing two concentrate allowances in an automatic milking system Comparing two concentrate allowances in an automatic milking system. 2005;(March 2007):339–43.
14. Madsen J, Weisbjerg MR, Hvelplund T. Concentrate composition for

Automatic Milking Systems — Effect on milking frequency. *Livest Sci* [Internet]. 2010;127(1):45–50. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2009.08.005>

15. Halachmi I, Edan Y, Maltz E, Peiper UM. A real-time control system for individual dairy cow food intake. 1998;20:131–44.
16. Schwartzkopf-GensweinHuisma KS, Huisma C, Mcallister TA. Validation of a radio frequency identification system for monitoring the feeding patterns of feedlot cattle q. 1999;60:27–31.
17. Nørgaard P, Hvelplund T, Foulum DJF. Kvægets ernæring og fysiologi. 1. Næringsstofomsætning og fodervurdering. Tjele: Danmarks JordbrugsForskning, Forskningscenter Foulum; 2003. 642 sider, illustreret. (DJF rapport. Husdyrbrug / Danmarks Jordbrugsforskning, nr. 53, december 2003 CN - 63.625).
18. Grant RJ, Albright JL. Effect of Animal Grouping on Feeding Behavior and Intake of Dairy Cattle 1. *J Dairy Sci* [Internet]. 2001;84:E156–63. Available from: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70210-X](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70210-X)
19. Devries TJ, Keyserlingk MAG Von, Weary DM, Beauchemin KA. Technical Note : Validation of a System for Monitoring Feeding Behavior of Dairy Cows. *J Dairy Sci* [Internet]. 2003;86(11):3571–4. Available from: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73962-9](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73962-9)
20. Bach A, Iglesias C, Busto I. Technical Note : A Computerized System for Monitoring Feeding Behavior and Individual Feed Intake of Dairy Cattle. *J Dairy Sci* [Internet]. 2004;87(12):4207–9. Available from: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73565-1](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73565-1)
21. Ferris CP, Keady TWJ, Gordon FJ, Kilpatrick DJ. Comparison of a Calan gate and a conventional feed barrier system for dairy cows : feed intake and cow behaviour. 2006;149–56.
22. Wang Z, Nkrumah JD, Li C, Basarab JA, Goonewardene LA, Okine EK, et al. Test duration for growth , feed intake , and feed efficiency in beef cattle using the GrowSafe System 1. 2018;(April):2289–98.
23. Chapinal N, Veira DM, Weary DM, Keyserlingk MAG Von. Technical Note : Validation of a System for Monitoring Individual Feeding and Drinking Behavior and Intake in Group-Housed Cattle. *J Dairy Sci* [Internet]. 2007;90(12):5732–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2007-0331>
24. Mendes ED., Cartens GE, Friend TH. Validation of a system for monitoring feeding behavior in beef cattle ^ . 2007;2904–11.
25. Krawczel PD, Klaiber LM, Thibeau SS, Dann HM. Technical note : Data loggers are a valid method for assessing the feeding behavior of dairy cows using the Calan Broadbent Feeding System. *J Dairy Sci* [Internet].

2012;95(8):4452–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-4999>

26. Shelley AN. MONITORING DAIRY COW FEED INTAKE USING MACHINE VISION. 2013;
27. Vandehaar MJ. Efficiency of Nutrient Use and Relationship to Profitability on Dairy Farms. *J Dairy Sci* [Internet]. 2010;81(1):272–82. Available from: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75576-6](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75576-6)
28. Halachmi I, Ben Meir Y, Miron J, Maltz E. Feeding behavior improves prediction of dairy cow voluntary feed intake but cannot serve as the sole indicator. *Animal*. 2016;10(9):1501–6.
29. Gonzales LA. Changes in Feeding Behavior as Possible Indicators for the Automatic Monitoring of Health Disorders in Dairy Cows. 2008;1017–28.
30. Urton G, Keyserlingk MAG Von, Weary DM. Feeding Behavior Identifies Dairy Cows at Risk for Metritis. 2005;2843–9.
31. Ingvarstsen KL. LIVESTOCK PRODUCTION SCIENCE Models of voluntary food intake in cattle. 1994;39:19–38.
32. Guzhva O, Ardö H, Herlin A, Nilsson M, Åström K, Bergsten C. Feasibility study for the implementation of an automatic system for the detection of social interactions in the waiting area of automatic milking stations by using a video surveillance system. *Comput Electron Agric* [Internet]. 2016;127:506–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.010>
33. Horn BKP. Tsai ' s camera calibration method revisited. 2000;i.
34. Gulshan V, Rother C, Criminisi A, Blake A, Zisserman A. Geodesic Star Convexity for Interactive Image Segmentation. 2010;3129–36.
35. Rousing T, Wemelsfelder F. Qualitative assessment of social behaviour of dairy cows housed in loose housing systems. 2006;101:40–53.
36. Banhazi TM, Lehr H, Black JL, Crabtree H, Schofield P, Tschärke M, et al. Precision Livestock Farming: An international review of scientific and commercial aspects[dagger]. *Int J Agric Biol Eng* [Internet]. 2012;5(3):1–9. Available from: https://ucd.idm.oclc.org/login?url=https://search.proquest.com/docview/1373220115?accountid=14507%0Ahttp://jq6am9xs3s.search.serialssolutions.com?ctx_ver=Z39.88-2004&ctx_enc=info:ofi/enc:UTF-8&rft_id=info:sid/ProQ%3AAgriculturejournals&rft_val_fmt=info:of
37. Guarino M, Jans P, Costa A, Aerts J, Berckmans D. Field test of algorithm for automatic cough detection in pig houses. 2007;2:22–8.
38. Terrasson G, Llaría A, Marra A, Voaden S. Accelerometer based solution for precision livestock farming: Geolocation enhancement and animal

activity identification. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2016;138(1).

39. Llaría A, Terrasson G, Arregui H, Hacala A. Geolocation and monitoring platform for extensive farming in mountain pastures. 2015;2420–5.
40. Ruiz-mirazo J, Bishop-hurley GJ, Swain DL. Automated Animal Control : Can Discontinuous Monitoring and Aversive Stimulation Modify Cattle Grazing Behavior ? Rangel Ecol Manag [Internet]. 2011;64(3):240–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.2111/REM-D-10-00087.1>
41. Dopico NI, Gonz C, Zazo S, Jim J. Cattle-Powered Nodes Experience in a Heterogeneous Network for Localization of Herds. :1–8.
42. Raychaudhuri BD, Mandayam NB. Frontiers of Wireless and Mobile Communications. 2012;100(4).
43. Laberge B, Rousseau AN. Rethinking environment control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming. Biosyst Eng. 2017;155:96–123.
44. Rogers EM, Everett M. DIFFUSION OF INNOVATIONS.
45. Micheels ET, Nolan JF. Examining the effects of absorptive capacity and social capital on the adoption of agricultural innovations : A Canadian Prairie case study. AGSY [Internet]. 2016;145:127–38. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.03.010>
46. Leeuwis C, Ban A Van Den. Communication for Rural Innovation.
47. Marra M, Pannell DJ, Abadi A. The economics of risk , uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies : where are we on the learning curve ? 2003;75:215–34.
48. Pannell DJA, Marshall GRB, Barr NC, Curtis AD, Vanclay FE, Wilkinson RC. Understanding and promoting adoption of conservation practices by rural landholders. 2006;1407–24.
49. Hay R, Pearce P. Technology adoption by rural women in Queensland , Australia : Women driving technology from the homestead for the paddock. J Rural Stud [Internet]. 2014;36:318–27. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrurstud.2014.10.002>
50. Dodgson M, Hughes A, Foster J. Systems thinking , market failure , and the development of innovation policy : The case of Australia . 2010;(403):1–44.
51. Jansen J, Steuten CDM, Renes RJ, Aarts N, Lam TJGM. Debunking the myth of the hard-to-reach farmer : Effective communication on udder health. J Dairy Sci [Internet]. 2010;93(3):1296–306. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2794>
52. Douthwaite B, Keatinge JDH, Park JR. Why promising technologies fail :

the neglected role of user innovation during adoption &. 2001;30:819–36.

53. Millar J, Connell AEJ. Strategies for scaling out impacts from agricultural systems change : the case of forages and livestock production in Laos. 2010;213–25.
54. Schut M, Klerkx L, Rodenburg J, Kayeke J, Hinnou LC, Raboanarielina CM, et al. RAAIS : Rapid Appraisal of Agricultural Innovation Systems (Part I). A diagnostic tool for integrated analysis of complex problems and innovation capacity. *Agric Syst* [Internet]. 2015;132:1–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2014.08.009>
55. Eastwood C, Klerkx L, Nettle R. Dynamics and distribution of public and private research and extension roles for technological innovation and diffusion: Case studies of the implementation and adaptation of precision farming technologies. *J Rural Stud* [Internet]. 2017;49:1–12. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.11.008>
56. Bergek A, Jacobsson S, Carlsson B, Lindmark S, Rickne A. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems : A scheme of analysis. 2008;37:407–29.
57. Hekkert MP, Suurs RAA, Negro SO, Kuhlmann S, Smits REHM. Functions of innovation systems : A new approach for analysing technological change. 2007;74:413–32.
58. Eastwood CR. Innovative precision dairy systems : A case study of farmer learning and technology co-development. 2008;(October).
59. Eastwood CR, Chapman DF, Paine MS. Networks of practice for co-construction of agricultural decision support systems : Case studies of precision dairy farms in Australia. *Agric Syst* [Internet]. 2012;108:10–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2011.12.005>
60. Eastwood C, Kenny S. Art or science ? Heuristic versus data driven grazing management on dairy farms. 2009;5(1):95–102.
61. Eastwood CR, Jago JG, Edwards P. Getting the most out of advanced farm management technologies : Roles of technology suppliers and dairy industry organisations in supporting precision dairy farmers Getting the most out of advanced farm management technologies : roles of technology suppli. 2015;(July).
62. Driessen C, Heutinck LFM. Cows desiring to be milked ? Milking robots and the co-evolution of ethics and technology on Dutch dairy farms. 2014;
63. Holloway L, Bear C, Wilkinson K. Robotic milking technologies and renegotiating situated ethical relationships on UK dairy farms. 2014;199:185–99.
64. Schewe RL, Stuart D. Diversity in agricultural technology adoption : How

are automatic milking systems used and to what end ? 2014;

65. Hansen BG. Robotic milking-farmer experiences and adoption rate in Jæren , Norway. *J Rural Stud* [Internet]. 2015;41:109–17. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.08.004>
66. Bryman A. *Social Research Methods*. 2001;
67. Lalaina A, Andriamandroso H, Bindelle J. A review on the use of sensors to monitor cattle jaw movements and behavior when grazing. 2016;20(1):273–86.
68. Nadin LB, Sánchez F, Gibb MJ, Kuhn J, Azevedo G, Faccio PC De, et al. Comparison of methods to quantify the number of bites in calves grazing winter oats with different sward heights. *Appl Anim Behav Sci* [Internet]. 2012;139(1–2):50–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2012.03.001>
69. Rutter SM, Champion RA, Penning PD. An automatic system to record foraging behaviour in free-ranging ruminants. 1997;54(1983):185–95.
70. Rutter SM. Graze : A program to analyze recordings of the jaw movements of ruminants. 2000;32(1):86–92.
71. Pahl C, Hartung E, Grothmann A, Haeussermann A. Suitability of feeding and chewing time for estimation of feed intake in dairy cows. 2017;(2016):1507–12.
72. Braun U, Trösch L, Nydegger F, Hässig M. Evaluation of eating and rumination behaviour in cows using a noseband pressure sensor
Evaluation of eating and rumination behaviour in cows using a noseband pressure sensor. 2013;
73. Laca EA, Wallisdevries MF. Acoustic measurement of intake and grazing behaviour of cattle. 2000;97–104.
74. David E, Mark S. Classifying cattle jaw movements : Comparing IGER Behaviour Recorder and acoustic techniques. 2006;98:11–27.
75. Navon S, Mizrach A, Hetzroni A, David E. Special Issue : Sensing in Agriculture Automatic recognition of jaw movements in free-ranging cattle , goats and sheep , using acoustic monitoring 5. *Biosyst Eng* [Internet]. 2012;114(4):474–83. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.005>
76. Clapham WM, Fedders JM, Beeman K, Neel JPS. Acoustic monitoring system to quantify ingestive behavior of free-grazing cattle. *Comput Electron Agric* [Internet]. 2011;76(1):96–104. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2011.01.009>
77. Stevenson J, W Smith M, Jaeger JR, R Corah L, G LeFever D. Detection of Estrus by Visual Observation and Radiotelemetry in Peripubertal,

Estrus-Synchronized Beef Heifers. Vol. 74, Journal of animal science. 1996. 729–735 p.

78. Vliet JH Van, Eerdenburg FJCM Van. Sexual activities and oestrus detection in lactating Holstein cows. 1996;50:57–69.
79. Mottram T. Animal board invited review: Precision livestock farming for dairy cows with a focus on oestrus detection. *Animal*. 2016;10(10):1575–84.
80. Voronin V. METHOD AND DEVICE FOR DETECTING ESTRUS. 2011;2(12).
81. Kamphuis C, Delarue B, Burke CR, Jago J. Field evaluation of 2 collar-mounted activity meters for detecting cows in estrus on a large pasture-grazed dairy farm. *J Dairy Sci* [Internet]. 2012;95(6):3045–56. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-4934>
82. McArthur AJ. Milk Temperature and Detection of Oestrus in Dairy Cattle. 1992;29–46.
83. Jónsson R, Blanke M, Poulsen NK, Caponetti F, Højsgaard S. Oestrus detection in dairy cows from activity and lying data using on-line individual models. 2011;76:6–15.
84. Burciaga-robles LO, Ben P, Step DL, Krehbiel CR, Mcmillen GL, Richards CJ, et al. Evaluation of breath biomarkers and serum haptoglobin concentration for diagnosis of bovine respiratory disease in heifers newly arrived at a feedlot. 2009;70(10):1291–8.
85. Garner CE, Smith S, Bardhan PK, Ratcliffe NM, Probert CSJ. SHORT COMMUNICATION A pilot study of faecal volatile organic compounds in faeces from cholera patients in Bangladesh to determine their utility in disease diagnosis. 2009;44:1171–3.
86. Leopold JH, Hooijdonk RTM Van, Sterk PJ, Abu-hanna A, Schultz MJ, Bos LDJ. Glucose prediction by analysis of exhaled metabolites – a systematic review. 2014;
87. Knobloch H, Köhler H, Commander N, Reinhold P, Chambers M. Volatile Organic Compound (VOC) Analysis For Disease Detection : Proof Of Principle For Field Studies Detecting Paratuberculosis And Brucellosis. 2009;195–8.
88. Fend R, Geddes R, Lesellier S, Vordermeier H, Corner LAL, Gormley E, et al. Use of an Electronic Nose To Diagnose *Mycobacterium bovis* Infection in Badgers and Cattle. 2005;43(4):1745–51.
89. Kumanan V, Nugen SR, Baeumner AJ, Chang Y. Veterinary Science A biosensor assay for the detection of *Mycobacterium avium* subsp . paratuberculosis in fecal samples. 2009;10:35–42.

90. Mottram TT, Dobbelaar P, Schukken YH, Hobbs PJ, Bartlett PN. An experiment to determine the feasibility of automatically detecting hyperketonaemia in dairy cows. 1999;61:7–11.
91. Siig L, Brehm KE, Skov J, Harlow KW, Christensen J, Haas B. Detection of foot-and-mouth disease virus in the breath of infected cattle using a hand-held device to collect aerosols. *J Virol Methods* [Internet]. 2011;177(1):44–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jviromet.2011.06.011>
92. Wu H, Aoki A, Arimoto T, Nakano T, Ohnuki H, Murata M, et al. Biosensors and Bioelectronics Fish stress become visible : A new attempt to use biosensor for real-time monitoring fish stress. *Biosens Bioelectron* [Internet]. 2015;67:503–10. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bios.2014.09.015>
93. Hibi K. Wireless Biosensor System for Real-Time L-Lactic Acid Monitoring in Fish. 2012;6269–81.
94. Diouani MF, Helali S, Hafaid I, Hassen WM, Snoussi MA, Ghram A. Miniaturized biosensor for avian influenza virus detection. 2008;28:580–3.
95. Wang R, Wang Y, Lassiter K, Li Y, Hargis B, Tung S, et al. Interdigitated array microelectrode based impedance immunosensor for detection of avian influenza virus H5N1. 2009;79:159–64.
96. Xu J, Suarez D, Gottfried DS. Detection of avian influenza virus using an interferometric biosensor. 2007;1193–9.
97. Ye WW, Tsang M, Liu X, Yang M, Hao J. Upconversion Luminescence Resonance Energy Transfer (LRET) -Based Biosensor for Rapid and Ultrasensitive Detection of Avian Infl uenza Virus H7 Subtype. 2014;1–8.
98. Guo D, Zhuo M, Zhang X, Xu C, Jiang J, Gao F, et al. *Analytica Chimica Acta* Indium-tin-oxide thin film transistor biosensors for label-free detection of avian influenza virus H5N1. *Anal Chim Acta* [Internet]. 2013;773:83–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2013.02.019>
99. Van Hertem T, Rooijackers L, Berckmans D, Peña Fernández A, Norton T, Berckmans D, et al. Appropriate data visualisation is key to Precision Livestock Farming acceptance. *Comput Electron Agric* [Internet]. 2017;138:1–10. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.003>
100. Notsuki I. SYSTEM FOR MANAGING MILKING-COWS IN STANCHON STOOL. 1977;(54).
101. Koning CJAMK De. AUTOMATIC MILKING – COMMON PRACTICE ON DAIRY FARMS. 2010;

102. Ketelaar-de Lauwere C., Ipema A., van Ouwerkerk EN., Hendriks MMW., Metz JH., Noordhuizen JPT., et al. Voluntary automatic milking in combination with grazing of dairy cows. *Appl Anim Behav Sci.* 2002;64(2):91–109.
103. Katelaar-de Lauwere C. Cow behaviour and managerial aspects of fully automatic milking in loose housing systems.
104. Greenall RK, Warren E, Warren M. Integrating automatic milking installations (AMIs) into grazing systems-Lessons from Australia. *Automatic Milking-A Better Understanding.* 2004. 273–279 p.
105. John AJ, Clark CEF, Freeman MJ, Kerrisk KL, Garcia SC, Halachmi I. Review: Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution. *Animal.* 2016;10(9):1484–92.
106. Wade KM, Van Asseldonk MAPM, Berentsen PBM, Ouweltjes W, Hogeveen H. Economic efficiency of automatic milking systems with specific emphasis on increases in milk production. *Autom Milking—A Better Underst.* 2004;62–7.
107. Jago J, Newman M, Davis K, Woolford M. An Economic Evaluation of Automatic Milking. 2005;66:19–22.
108. Halachmi I. Designing the Automatic Milking Farm in a Hot Climate. *J Dairy Sci* [Internet]. 2004;87(3):764–75. Available from: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73220-8](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73220-8)
109. Lyons N, Kerrisk K, Garcia S. Milking frequency management in pasture-based automatic milking systems: A review. Vol. 159, *Livestock Science.* 2013.
110. Banhazi TM, Lehr H, Black JL, Crabtree H, Schofield P, Tscharke M, et al. Precision Livestock Farming : An international review of scientific and commercial aspects †. 2012;5(3):1–9.
111. Bos B, Henten EJ Van. Precision Livestock farming : creating order beyond control. 2007;(January).
112. Lehr H. Recent Advances in Precision Livestock Farming. 1(2).
113. Aerts J-M, Wathes C, Berckmans D. Dynamic Data-based Modelling of Heat Production and Growth of Broiler Chickens: Development of an Integrated Management System. Vol. 84, *Biosystems Engineering.* 2003. 257–266 p.
114. Brody S. Bioenergetics and growth; with special reference to the efficiency complex in domestic animals. *Bioenergetics and growth; with special reference to the efficiency complex in domestic animals.* Oxford, England: Reinhold; 1945. xii, 1023–xii, 1023.
115. Hahn L. Predicted versus Measured Production Differences Using

Summer Air Conditioning for Lactating Dairy Cows. *J Dairy Sci* [Internet]. 1968;52(6):800–2. Available from: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(69\)86652-X](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(69)86652-X)

116. G. Yeck and R. E. Stewart R. A Ten-Year Summary of the Psychroenergetic Laboratory Dairy Cattle Research at the University of Missouri. Vol. 2, Transactions of the ASAE. 1959. 71–77 p.
117. Yeck RG, Shanklin MD, Stewart RE. Design conditions for air conditioning and ventilating dairy-cattle structures. Vol. 3, Transactions of the ASAE. 1960. 57–58 p.
118. Bond TE, Heitman H, Kelly CF. Effects of Increased Air Velocities on Heat and Moisture Loss and Growth of Swine. Vol. 8, Transactions of the ASAE. 1965. 167–174 p.
119. BOND TE, KELLY CF, HEITMAN Jr. H. Heat and moisture loss from swine. *Agric Engng.* 1952;33:148–52; 154.
120. Deaton JW, Reece FN, Bouchillon
file:///G:/Users/Acer/Desktop/Monografia GDPYR environment control strategy of/citas/citations-20190507T224933. ris. W. Heat and Moisture Production of Broilers: 2. Winter Conditions1. *Poult Sci* [Internet]. 1969 Sep 1;48(5):1579–82. Available from: <https://doi.org/10.3382/ps.0481579>
121. D. Longhouse A. Design of Poultry Laying-House Ventilation and Insulation Requirements Based on Calorimetric Data and Psychrometric Relationships. Vol. 10, Transactions of the ASAE. 1967. 512–514 p.
122. Longhouse AD, Ota H, Emerson RE, Heishman JO. Heat and Moisture Design Data for Broiler Houses. Vol. 11, Transactions of the ASAE. 1968. 694–700 p.
123. C. Bridges T, Gates R. Modeling of Animal Bioenergetics for Environmental Management Applications. In 2009. p. 151–79.
124. Banhazi T, Aarnink A, Thuy H, Pedersen S, Hartung J, Payne H, et al. Review of the Consequences and Control of High Air Temperatures in Intensive Livestock Buildings. Vol. 7, *Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering* 7 (2009) 1. 2009.
125. Aerts J-M, Berckmans D, Saevels P, Decuypere E, Buyse J. Modelling the static and dynamic responses of total heat production of broiler chickens to step changes in air temperature and light intensity. *Br Poult Sci* [Internet]. 2000 Dec 1;41(5):651–9. Available from: <https://doi.org/10.1080/713654981>
126. Budiyanto C. Decision Support Systems Development for an Artificial Insemination Project in Community Based Precision Livestock Farming Decision Support Systems Development for an Artificial Insemination Project in Community Based Precision Livestock Farming. 2017;8–15.

127. Nikkilä R, Seilonen I, Koskinen K. Software architecture for farm management information systems in precision agriculture. *Comput Electron Agric.* 2010;70(2):328–36.
128. Shibusawa S. Paradigm of value-driven and community-based precision farming. *Int J Agric Resour Gov Ecol* [Internet]. 2004 Jan 1;3(3/4):299–309. Available from:
<https://eurekamag.com/research/004/261/004261313.php>
129. Thornton PK. Livestock production : recent trends , future prospects. 2010;2853–67.
130. Pedersen S. Climatization of animal houses: a biographical review of three decades of research. 2005 Jan 1;83 pp.-83 pp. Available from:
<https://eurekamag.com/research/013/233/013233932.php>
131. Banhazi TM, Black JL. Precision Livestock Farming: A Suite of Electronic Systems to Ensure the Application of Best Practice Management on Livestock Farms. *Aust J Multi-Disciplinary Eng* [Internet]. 2009 Jan 1;7(1):1–14. Available from:
<https://doi.org/10.1080/14488388.2009.11464794>
132. Vranken E, Berckmans D. Towards the development of a practical visualisation tool for farmers and other stakeholders. 2015;(September).