

“TICs y Ganadería: Manejo Electrónico de Ganado”

Juan Ignacio Huircan¹, Jaime Bustos¹, Carlos Muñoz¹
Gabriel Vivallo², Victoria Barriga², Gustavo Donoso², Marcelo Toneatti²

¹Universidad de La Frontera, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración,

²Universidad Católica de Temuco,

E-mail: jhuircan@ufro.cl, gvivallo@uct.cl

Este trabajo presenta el estado del arte y una plataforma TIC para el rastreo remoto de ganado en ambiente de pastoreo, en el contexto del Proyecto FONDEF “Manejo Electrónico de Ganado” en ejecución por parte de la Universidad de La Frontera y la Universidad Católica de Temuco. Esta plataforma apunta a monitorear variables biológicas y de localización de bovinos en pradera, variables que permiten la determinación de enfermedades (cojera, mastitis, etc.), celo y robo. La plataforma considera los siguientes elementos para realizar el monitoreo: dispositivos fijos instalados dentro del perímetro que define el predio, dispositivos móviles instalados en la oreja del animal, un dispositivo administrador por predio el cual se encarga de adquirir, registrar, calcular y transmitir alámbrica y/o inalámbricamente a través de un protocolo propietario variables de temperatura y localización espacial de cada animal en el predio a intervalos de tiempo fijos y configurables. La información es recepcionada, almacenada y puesta en la red como sitio web por un sistema de procesamiento, análisis y representación de la información, compuesto por: un computador que analiza y representa la información en tiempo real e histórica en forma gráfica para el apoyo al diagnóstico de condiciones atípicas en patrones normales de temperatura y movimiento de los animales. La información puede ser visualizada a través de dispositivos con capacidad de navegación en internet. La plataforma desarrollada incluye una red de sensores de primer nivel (red predial) que captura información biológica de los animales y la transmite inalámbricamente a balizas ubicadas en el predio. Esta información es transmitida a un nodo coordinador que junto con almacenar la información, calcula la posición aproximada del individuo dentro del predio.

Existen elementos claramente diferenciadores de la plataforma desarrollada, con respecto al estado-del-arte en la materia, donde se utilizan tecnologías tipo Zigbee con características de funcionalidad diferentes. Estas características diferenciadoras en nuestro proyecto incluyen: localización de seres vivos (posición) móviles, en espacios abiertos (exteriores) sin GPS, cubriendo grandes distancias (cientos de metros o kilómetros), captura de señales biológicas (temperatura) por un medio no invasivo (exterior), bajo consumo energético en los emisores (transmisor en los seres vivos) ya que hacen un mínimo de cálculos y despiertan de su hibernación en forma periódica. El desarrollo se encuentra en proceso de patentamiento y refinamiento técnico-operativo para su comercialización futura.

Palabras Clave: *TIC's en ganadería, Red inalámbrica de sensores, Monitoreo Inalámbrico Remoto.*

1. Introducción

En Chile, se dispone de 4,1 millones de cabezas de ganado bovino y 42% es de propiedad de la pequeña agricultura. Del total se sacrifica poco menos de 1 millón de cabezas por año, lo que produce cerca de 220.000 ton de carne en varas. Las exportaciones se aproximan a las 2000 ton. En el país existen 25.000 productores pecuarios y en el año 2005 se debe inscribir a 3.000 productores bajo sistema de producción PABCO. Según [1] un estudio de Sofofa, Amcham, CORFO y Mckinsey & Company, se constató que

el rubro carne ha sido el único entre los sectores de Chile cuya producción ha decrecido en los últimos 10 años (-14,1%), lo cual se atribuye al incremento de las importaciones de carne bovina del Mercosur, a la baja estabilidad en los precios internos y a la poca estructuración de la cadena de valor. En términos productivos, de los 25.000 predios, una ínfima cantidad está bajo sistemas de producción PABCO. En ese cuadro, las regiones de La Araucanía y Los Lagos presentan el 50% de los inventarios bovinos nacionales.

Chile ha firmado tratados con grandes bloques altamente consumidores de carne: USA, UE y CHINA. Presenta ventajas comparativas para los países asiáticos y competitivos dado que Chile es el país de más alto nivel sanitario de América Latina y es un país considerado serio, transparente y responsable en los negocios, además de la imagen de economía exportadora que sustenta. Esto favorece las exportaciones de carne chilena a mercados de productos agrícolas de calidad: USA, UE, Japón y ahora China.

Los productores, los predios y los planteles de carne y leche

Los productores de ganado de carne presentan problemas de inversiones para adecuar y homogenizar los sistemas productivos a las demandas PABCO (praderas, cercos perimetrales, cercos interiores, corrales, mangas, bodegas y galpones), falta de razas especializadas en carne, y problemas de manejo sanitario, alimentario, reproductivo y general, que el proyecto enfrentará en tiempo real. También existen tiempos prolongados para alcanzar pesos de mercado por razones de manejo y costumbre.

En los pequeños agricultores la falta de infraestructura productiva se debe a la no disponibilidad de recursos financieros, porque los financiamientos de INDAP son insuficientes. Tanto empresarios como pequeños agricultores no presentaban instalaciones para PABCO-carne, por ejemplo la manga requerida por éste.

Las razas más utilizadas en la ganadería chilena son razas de doble propósito overo negro, overo colorados y en leche Holsteins. Son pocos los rebaños especializados en carne (tales como las razas Hereford y Angus), las razas europeas y francesas recién se están reintroduciendo, especialmente el normando. Hasta hace pocos años se pagaba por tamaño de los animales y el tema de calidad es relativamente nuevo.

La Red de la Carne de INDAP Araucanía cuenta con más de 460 asociados, y también existe como red en la Región de Los Lagos y en la Región del Bío Bío. La Red de la Carne Araucanía levanto en el seminario Universidad Empresa 2005 realizado en la Universidad Católica de Temuco los siguientes problemas: Ganado de genética inadecuada para carne, infraestructura deficiente y escasa, praderas de mala calidad, inexistencia de registros, baja asociatividad, baja productividad de la mano de obra, débil gestión empresarial y comercial, escasa asistencia técnica en la producción de la carne, insignificante uso de las Tecnologías de Información (TIC) y una escasa accesibilidad a internet.

Según una investigación sobre una muestra de 86 predios representativos de empresarios y agricultura familiar campesina bajo sistema de producción PABCO, ningún predio cumple totalmente con los requisitos exigidos. Aún cuando algunos empresarios están mas cerca de la norma. El tema del bienestar animal es un concepto extraño en las

costumbres ganaderas chilenas. Los aspectos de trazabilidad fueron en general incumplidos y esto tiene que ver con falta de cultura de registros, falta de capacitación adecuada y continua y, en los pequeños agricultores, analfabetismo por desuso.

Situación de la Trazabilidad

La identificación del ganado es el primer paso en un sistema del trazabilidad para la carne, productos de carne y lechería. En un mercado de comercio internacional donde los sistemas agrícolas y consumidores son susceptibles a las enfermedades del ganado, como el mal de las vacas locas, el sistema del trazabilidad juega un rol importante en la seguridad del mercado de la carne y la leche. A continuación se revisa la situación a nivel mundial.

Unión Europea (UE). La Unión Europea (UE) ha adoptado un sistema obligatorio de registro, siendo la más antigua y desarrollada a la fecha [2]. La UE ha substituido la reglamentación anterior (820/1994) que había normado el sistema europeo de trazabilidad con la nueva (1760/2000) que establece el etiquetado obligatorio de la carne, incluyendo la identificación del ganado (EAN), reglamentada por la normativa (EC) N° 1825/2000. Los países europeos se han adherido al sistema EAN-UCC [3] para la trazabilidad del ganado y de la carne. La base principal del esquema se basa en uso del código de barras UCC-EAN-128. Los nuevos requerimientos serán asimismo exigidos a la carne importada de terceros países.

Estados Unidos (EE.UU.). La identificación del ganado bovino en EE.UU. data desde finales del siglo XIX, consistiendo en el uso de marcas a fuego [4]. Tanto este método como las señales consistentes en cortes en las orejas aplicados al ganado actualmente están decreciendo debido a las preocupaciones actuales relacionados al trato humanitario a los animales y al deterioro que ocasionan al valor del producto. El *Animal and Plant Health Inspection Service* (APHIS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) introdujo regulaciones estatutarias para el rastreo de animales enfermos durante rupturas epidémicas y programas de erradicación, resultando en el empleo de otros elementos de identidad, tales como, etiquetas en las orejas (*TAG's*), etiquetas colocadas en la cola, tatuajes y marcas faciales, desde los inicios de 1960. Actualmente el empleo de métodos de identificación electrónica, tales como códigos de barras y de la identificación por radio frecuencia (RFID) están demostrando su utilidad como instrumentos de manejo de hatos ganaderos. El reglamento obligatorio fue promulgado el 30 de septiembre de 2004. La nueva legislación abarca, además de la carne bovina, de cerdo, oveja, mariscos, frutas, hortalizas y el maní. A todo lo largo

de la cadena vertical se requiere establecer un sendero auditable para asegurar la integridad del sistema de trazabilidad. La implementación de un Sistema Nacional de Identificación Animal representa entonces un cambio radical en el rol del estado y de las políticas públicas con respecto a las definiciones que tradicionalmente habían orientado la acción del gobierno de los EE.UU. Este cambio en el enfoque del gobierno está asociado al episodio de la vaca loca encontrada en el estado de Washington a fines de 2003. Las dificultades que se experimentaron para determinar el origen de ese animal fueron determinantes del cambio radical en la definición de las políticas gubernamentales en este tema y de la aprobación del Sistema Nacional de Identificación Animal para todas las especies, que se comienza a aplicar de manera gradual en el 2004.

Australia. La base del sistema de identificación es tradicionalmente un dispositivo RFID, bajo el programa NLIS (National Livestock Identification Scheme), de rápida adopción lo que ha permitido el uso de 6 millones de dispositivos RFID a la fecha. El programa ha sido aplicado por un plazo de 4 años dependiendo de las legislaturas estatales, donde Victoria fue la primera en establecerla en forma obligatoria. New South Wales, Australia del Oeste y del Sur iniciaron su implementación en julio de 2005 [60]. El programa creado por NLIS permite hacer un seguimiento en forma individual de los animales desde su nacimiento hasta su faenamiento para cumplir exigencias de seguridad alimentaria e integridad del producto. Además, el principal motivo detrás de la rápida adopción del sistema ha sido satisfacer los requisitos exigidos por la UE para acceder a mercados de alta calidad. La tecnología RFID aplicada debió ser aprobada por NLIS, la cual acepta equipamiento acorde con los estándares ISO 11784 y 11785. La tecnología especificada es de baja frecuencia (134.2 KHz.), adecuada a la identificación animal, dado que los transponders no sufren por absorción de señales por tejidos o humedad (aplicados como implantes, bolos ruminales) en bovinos y ovinos, TAG's en las orejas en bovinos, ovinos, caprinos y porcinos, funcionando satisfactoriamente.

Canadá. En julio de 2002 Canadá implementó un sistema obligatorio de identificación del ganado a fin de fortalecer las demandas de exportación de carne bovina, y asimismo para resolver problemas sanitarios luego de la epidemia de fiebre aftosa en Gran Bretaña. En mayo de 2003 Canadá reportó el descubrimiento de un caso de encefalopatía espongiforme bovina (EEB) en uno de sus bovinos de carne, ocasionando el cierre inmediato de las exportaciones a los EE.UU., reanudándose en agosto del mismo año en forma restringida a carne deshuesada de animales menores a 30 meses. Este sistema no impidió la aparición del episodio de EEB pero

demonstró una gran utilidad para resolver rápidamente el problema, al permitir una rápida detección al rastrear hasta la fuente. También se considera que se reduce considerablemente el costo total de rastrear la fuente de la enfermedad o del problema de seguridad del alimento al reducir el número de animales que deben ser analizados. En el sistema Canadiense existe un único número de identificación del animal, el que lo acompaña desde el nacimiento hasta el faenamiento. La industria de la carne mantiene un banco de datos centralizado. Para enero 1 de 2005, los TAG's con RFID reemplazaron los TAG's en base a códigos de barras legibles con escáner manuales. Se estima que los nuevos costarán menos de US\$ 2 por cabeza [5].

Japón. La DIETA, parlamento nacional del Japón, aprobó en junio de 2003 una legislación que establece un sistema obligatorio de trazabilidad para el ganado bovino doméstico, en reacción a la detección del mal de la "vaca loca" EEB (BSE) en 2001. La Ley establece un sistema de trazabilidad "del campo al plato" basado en la identificación individual del ganado por medio de un número de identidad único de 10 dígitos asignado a cada animal en su nacimiento. El sistema se apoya en el uso de TAG's auriculares implementados poco tiempo antes de la aparición de la enfermedad. La norma se aplica asimismo a animales vivos importados [6] [7]. En julio de 2003, la DIETA inició el análisis de la posibilidad de aplicar requisitos de trazabilidad para la carne importada. En la propuesta los países serían clasificados de acuerdo a si implementan o no un sistema de trazabilidad. Para los países que las posean, los requisitos serán los mismos que para la carne producida domésticamente en el Japón. Para los demás países, la legislación obligaría a etiquetarla con el texto siguiente "Esta carne es de un país que no posee sistema de trazabilidad". Esta medida entró en aplicación total desde 1 de diciembre de 2004. Se prevee revisar legislativamente la norma a los tres años de implementada.

Mercosur Ampliado. Todos los países del Mercosur ampliado están transitando por un proceso de transformación de sus sistemas de identificación del ganado, en gran medida como consecuencia de las exigencias que va marcando la Unión Europea en su carácter de principal importador de carne de la región [8] [9] [10]. Frente a las inseguridades que ofrecía este sistema desde el punto de vista de los controles sanitarios, y a partir de las condiciones requeridas por la Unión Europea, los países desarrollaron sistemas específicos para cumplir con esas condiciones. Es así que, en casi todos los casos se desarrollaron sistemas diferenciados de identificación y trazabilidad exclusivamente para exportar a la UE. Esos sistemas están basados en la identificación grupal y en la exigencia de la identificación individual a partir de un determinado período anterior al envío a la faena. En los

últimos años, y particularmente a partir de los rebrotes de aftosa que se produjeron en la región y de los casos de vaca loca que se produjeron en Europa, la Unión Europea incrementó sus exigencias de trazabilidad. Si bien la confiabilidad de los sistemas es diferente en cada país, en general todos fueron objeto de observaciones importantes por parte de la UE. Esto ha producido una nueva necesidad de mejorar y adaptar los sistemas de trazabilidad en varios aspectos. Como rasgo distintivo de esta nueva etapa de transformaciones se destaca el énfasis en la identificación individual de los animales. Con menor o mayor grado de concreción todos los países del Mercosur ampliado han manifestado su disposición a implementar sistemas basados en la identificación individual. Se puede decir que los sistemas de trazabilidad de los países del Mercosur están en proceso de transición [8] [9] [10]. En el caso de Paraguay se ha adoptado muy recientemente una Ley que obliga a la trazabilidad individual para el ganado de exportación, pero todavía no ha comenzado su implementación [8]. En el caso de Brasil, se ha aprobado una Ley que impone la identificación individual obligatoria para el año 2007 y se ha empezado a instrumentar un nuevo sistema sobre esa base. En el caso de Uruguay se ha comenzado la implementación de un sistema mejorado de trazabilidad grupal obligatoria y se ha puesto en marcha un sistema voluntario de identificación individual [9].

Chile. El 13 de septiembre de 2004, el Ministerio de Agricultura, a través del SAG, emitió la Resolución N° 3321 que crea el Programa Oficial de Trazabilidad Sanitaria de Bovinos. Esta resolución incorpora un Manual de Procedimientos e Instructivo Técnico y Pauta de Evaluación, los cuales indican en detalle la forma de funcionamiento del Programa [1]. El sistema se puso en marcha el 1 de noviembre de 2004 para la XI Región, como plan piloto, y para el resto del país comenzó el 1 de enero de 2005. La identificación individual se realiza mediante TAG auriculares conocidos como crotales. El uso de TAG's electrónicos con radiofrecuencia (RFID) aun es opcional y su uso fue recién aprobado en junio de 2005, Resolución N° 3321.

También se puede visualizar, que si bien los objetivos son similares para todos los países, en cada uno se están desarrollando sistemas propios sobre bases relativamente diferentes y no necesariamente compatibles entre sí. Las principales diferencias se refieren a las variables siguientes:

- Amplitud, cobertura y mecanismos de registros de propietarios o rodeos o predios
- Dispositivos utilizados para la identificación de animales
- Códigos utilizados para la identificación de propietarios y de animales

- Sistemas y tipo de información almacenada en las Bases de datos
- Sistemas de comunicación, registro y control de movimiento
- Forma de articulación con sistemas sanitarios y mecanismos de incorporación de la información sanitaria en los sistemas de trazabilidad
- Bases institucionales y legales de los sistemas de trazabilidad.

En Chile no hay sistemas de gestión integrada para el manejo automatizado de la información de identificación y monitoreo a tiempo real de ganado bovino mediante *transponder* activos, sensores y tecnologías de comunicación RFID. Tampoco hay sistemas de cercos virtuales para el control de seguridad contra el abigeato.

En las próximas secciones se realiza una revisión del estado del arte sobre los tres aspectos mencionados anteriormente.

2. Tecnologías electrónicas asociadas al manejo electrónico de ganado

A continuación se describen las principales tecnologías asociadas al manejo electrónico de ganado: identificación electrónica, cercos virtuales y sistemas de posicionamiento global y monitoreo.

2.1 Identificación electrónica

Existe un avance importante en el uso de tecnologías electrónicas y de la información en el campo industrial, agroindustrial y comercial del país, tanto para controlar, monitorear y automatizar procesos y calidad de procesos, como en el control de insumos, inventarios y usos de tecnologías que ha tenido por objeto la mejora de la calidad de los proyectos y servicios. Sin embargo, en el campo de la producción primaria agropecuaria el uso es limitado y no sistémico. En el país, la aplicación de tecnologías electrónicas y de la información para monitorear ganado es casi inexistente, salvo en algunos planteles lecheros en que se monitorea en la sala de ordeña la producción y la alimentación. A nivel de la agricultura familiar campesina, el uso de la electrónica e informática son escasísimas. Esto se grafica en las grandes exposiciones de la SOFO y la SAGO, que tienen los mayores planteles bovinos del país, y en que las empresas expositoras de dispositivos electrónicos eran no más de dos por exposición, en noviembre 2005. Por otra parte, los productos ofrecidos no permiten el monitoreo a distancia ni la posibilidad de proactividad en áreas como talajeo, enfermedad, celos o abigeato.

Los animales pueden ser identificados en forma individual mediante el uso de un TAG de identificación basado en tecnología de identificación de radio frecuencia (RFID). Este dispositivo posee un único código almacenado en el TAG

[11] [12] [13] [14] pudiendo ser de tipo pasivo o activo. El *tag* pasivo no posee fuente de poder propia. Es activado mediante un dispositivo de lectura, el cual transmite un campo magnético de radio frecuencia. Este campo es recibido por el *TAG* (*transponder*), y permite la transmisión de un código pre-programado. Este código, recibido por el lector, es único y puede ser utilizado para identificar al animal que posea dicho *transponder*. Debido a su pequeño tamaño, de forma cilíndrica y la no necesidad de tener contacto visible entre el *transponder* y el lector, el puede ser insertado en forma subcutánea en el animal [15]. El *transponder* también puede ser incorporado en forma externa (en forma de arete o collar) o en forma de bolo ruminal.

El departamento de agricultura de los EE.UU. ha destinado US\$ 11,6 millones para proyectos relacionados al monitoreo y seguimiento de ganado bovino en un esfuerzo de minimizar el riesgo de terrorismo agropecuario, enfermedad de la vacas locas, y otras enfermedades. De esos fondos, US\$ 800.000 se destinarán al estado de Kansas, donde especialistas en monitoreo animal y productores de dispositivos electrónicos implementarán un sistema de monitoreo combinando RFID, GPS y tecnología celular. Como medio de identificación en los animales se utiliza *transponders* RFID acoplado con GPS, los que entregarán información enviada por medio de comunicación celular a una central de información a cargo de las autoridades de salud del estado de Kansas [16].

El Ministerio de Agricultura de Canadá, anunció el desembolso de US\$ 1,8 millones de parte del gobierno de Canadá para financiar el programa de Identificación de Radio Frecuencia de Canadá (CRFID). Este programa mejorará el sistema de monitoreo y trazabilidad del ganado bovino mas allá de las granjas usando tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID). El objetivo de este programa es asegurar la calidad, seguridad y eficiencia en la gestión del sector ganadero para fortalecer las ventajas competitivas de Canadá en la producción de productos de alta calidad. Mediante el fortalecimiento de su sistema de monitoreo y trazabilidad, Canadá ha mostrado a los consumidores canadienses y al mercado mundial su compromiso de asegurar la salud del ganado canadiense y la seguridad de su producción ganadera [17].

En enero de 2004, la secretaria de agricultura de los EE.UU., anunció la creación de un sistema automatizado de identificación y seguimiento de animales de granjas para mejorar la habilidad del gobierno en responder las emergencias, tal como el caso de la enfermedad de las vacas locas en el estado de Washington [18]. Un grupo de productores de ganado y empresas procesadoras de carne, con la ayuda del USDA, han desarrollado un plan que permita el uso de *transponders* de RFID para registrar y monitorear vacas, cerdos, ovejas y otros animales. La propuesta,

conocido como plan de identificación animal de los EE.UU. (USAIP), también incluyó una central de base de datos que permita almacenar la información generada por los *TAG's* RFID de cerca de 200 millones de cabezas de ganado en los EE.UU, con un costo estimado de 600 millones de dólares [18].

La UE, a través de Resolución CE N°820/97, requirió que todo el proceso de producción de la carne sea sometido a un programa de identificación y registro que permita la recopilación de toda la información relacionada al animal, desde su nacimiento hasta el consumo final del producto. Esta resolución afectó a los productores Europeos e industrias, así como también sus suministros. Debido a este requerimiento, se están desarrollando sistemas que permitan obtener identificación individual confiable de los animales y la posibilidad de obtenerlo a tiempo real [19].

Desde comienzos de los 90s, la producción de carne brasileña, que estuvo tímidamente tratando de mejorar la eficiencia de producción, intensificó sus esfuerzos como resultado de presiones impuestas por la globalización de la economía. La exposición de los mercados de muchos países a esta competitividad globalizada observada en los últimos años, crearon la necesidad de tener una producción eficiente y sistemas de identificación y registro confiables [20].

Los *TAG* electrónicos utilizados en proyectos pilotos en EMBRAPA-Brasil son activados a distancia mediante un transmisor-receptor que utiliza un pulso-eco de aproximadamente 132 KHz. Como resultado de dichos proyectos se llegó a la conclusión de que los *TAG's* deben ser cubiertos con una sustancia biocompatible con el animal y que no deje residuos en la carne, cuando estos dispositivos son incrustados en el animal. También debe ser resistente al impacto o presión experimentados durante el manejo de ganado. Deben ser lo suficientemente potentes para ser leídos hasta al menos una distancia de 1,5 metros y con un animal corriendo a una velocidad de 40 km/h. Debe ser fácil de implantar y ser colocado en un lugar del cuerpo del animal desde donde no migre, permitiendo una lectura confiable [21]. En Chile aun no es obligatorio el uso de *TAG's* electrónicos. Su uso recién fue autorizado por el SAG en octubre de 2005, como medio de identificación individual (Resolución N° 3321).

2.2 Monitoreo Electrónico mediante tecnología RFID

La identificación mediante radio frecuencia juega un rol clave en los sistemas de monitoreo electrónico, los que están inherentemente relacionados con los sistemas de monitoreo electrónico [22]. La integración de sensores en animales abre las posibilidades para la automatización de tareas sofisticadas, tales como el monitoreo de la salud y el estado de reproducción [13]. Algunos ejemplos son: *transponders* equipados con un sensor de temperatura [23] [22] o en

combinación con sensor de actividad [24]. La precisión de estos sensores de temperatura es de aproximadamente de 0,2°C. También se han desarrollado sensores basados en transductores, monitoreo de temperatura del cuerpo, señal de ECG y el pH [25]. Éstos han sido utilizados para monitorear estrés durante el transporte de cerdos. La mayoría de estas iniciativas aun están en fase experimental. Los sensores son tanto la fortaleza como la debilidad del concepto de monitoreo. Los aspectos típicos de eficiencia son la selectividad, precisión, resolución y estabilidad. En particular, los sensores con bio-interfase selectiva pueden causar problemas de estabilidad [26] [22]. Un ejemplo de esta clase de biosensores es la interfase con la enzima glucosa-oxidasa para la detección de glucosa. Se han logrado mejoras con las técnicas de inmovilización [26] [22] debido a que los circuitos de estos sensores requieren un suministro de energía más o menos continuo, para lo cual se ha tenido que incorporar pequeñas baterías en los transponders. A pesar de la aplicación de electrónica de muy baja energía [27], el tiempo de vida de dichos dispositivos es limitado. Una mejora para poder extender el tiempo de vida de los sensores es la energía dual, esto es, el uso de una batería interna para las medidas y almacenamiento de datos junto con una fuente de energía externa para la transmisión de los datos hacia los dispositivos de lectura. Esta mejora fue desarrollada en el marco del proyecto ÉCLAIR-AMIES de la UE [22]. Un concepto alternativo es el uso de una fuente de energía radiante externa tanto para la interrogación y la (semi) permanente activación de los circuitos del sensor, permitiendo un uso ilimitado del sensor-transponder [28]. Los productores ganaderos podrán obtener mas ganancias con un sistema de monitoreo e identificación que sólo con uno de identificación [22]. Una de las primeras aplicaciones de un sistema de monitoreo electrónico fue la medida de la actividad física de proceso de ordeñado de las vacas, para detectar problemas de celo [29]. Para lo cual se colocó un podómetro fijado en un cabestro alrededor de la cabeza de la vaca, el que permitió la identificación del número junto con el nivel de actividad mediante la interrogación (lectura) del dispositivo en la zona de ordeño. Además de la medida de la actividad, también producción de leche, temperatura de la leche, conductividad eléctrica de la leche y la frecuencia de latido del corazón han sido medidos para mejorar la detección de celo [30]. Del mismo modo, se han desarrollado sistemas automáticos para el monitoreo de la mastitis, basado en los cambios en la impedancia eléctrica, producción y temperatura de la leche [31] [29].

En la literatura se han reportado muchos algoritmos de detección que han sido desarrollados y evaluados con distintos grados de éxito [30] [32]. De Mol ha desarrollado un sistema de monitoreo muy comprensivo tanto para la detección de celo y mastitis. El modelo está basado en un

análisis multivariado en series temporales combinado con técnicas de filtro de Kalman. También se han evaluado métodos alternativos con el uso de lógica difusa y redes neuronales [32] [28]. Ambos métodos probaron ser apropiados para lidiar con información incierta o subjetiva. Nagle y su grupo [33] diseñaron un sistema remoto para el monitoreo de salud para el ganado, para lo cual incorporó varios sensores, incluyendo unidades GPS, medidores de pulso, sensores de temperatura, una faja electrónica, un transductor de respiración y un transductor de temperatura ambiental. El sistema se comunica de manera inalámbrica con una estación base vía telemetría Bluetooth. Taylor y Mayers [34] reportaron un estudio a nivel experimental sobre un sistema inteligente de manejo animal. Cada animal es provisto con un sensor inalámbrico y un dispositivo que puede proporcionar mediciones precisas de localización y del estado de salud del animal. Brown-Brandl et al. [35] probó un sistema telemétrico de rango corto para medir la temperatura corporal en aves y ganado. Los transmisores de temperatura fueron implantados en el cuerpo de los animales.

En Chile tampoco hay estudios sobre el uso de transponders electrónicos activos para el monitoreo de variables de estado del ganado dado que el uso de transponders pasivos recién fue autorizado por el SAG en octubre de 2005.

2.3 Cercos Virtuales

Para el control de la posición de un animal, existen dos metodologías fundamentalmente diferentes: un agente físico como por ejemplo un pastor de ovejas o robot, y un dispositivo de estimulación llevado por el animal. En la primera categoría está el trabajo pionero de [36] quien demostró que un robot móvil era capaz de reunir una bandada de patos a una localización deseada. En la segunda categoría hay un número importante de productos comerciales utilizados en forma de un simple collar que es capaz de aplicar una descarga eléctrica cuando el animal se aproxima a un perímetro cercado con alambre. Para la agricultura de gran escala, los costos de instalación pueden llegar a ser prohibitivos, razón por la cual muchos de estos proyectos aun están en fase experimental.

La aplicación de collares inteligentes para el control de ganado es discutida con mayor detalle por [37]. En 1990 realizaron experimentos que consistieron en mantener el ganado fuera de una región en particular mediante estimulación eléctrica y auditiva. Ellos notaron que el ganado pronto aprendía a relacionar por asociación que debían mantenerse fuera del área, aunque algunas veces el ganado se comportaba de manera equivocada.

La idea de usar GPS para crear cercos virtuales fue propuesta por Marsh (1999). La tecnología del GPS es ampliamente utilizado para el monitoreo de la localización de animales salvajes, especialmente aquellos en vías de extinción.

Anderson [41] [42] y Comis [43] realizaron trabajos sobre la base de Marsh [44] para incluir estimulación bilateral, diferentes estimulaciones auditivas para cada oído, de tal forma que el animal pueda ser controlado mejor. Butler et al. [45] desarrollaron un algoritmo de cerco virtual móvil para reunir vacas. Cada animal dentro del cerco esta provisto de un collar inteligente consistente en un GPS, PDA, red inalámbrica y un amplificador de sonido. Mediante el GPS se logra ubicar la posición del animal con respecto a los bordes del cerco. Cuando el animal se aproxima al perímetro, se le aplica un estímulo auditivo cuyo efecto es hacer que el animal se aleje. Este estudio se realizó con un total de 8 vacas equipadas con collares inteligentes. También está en fase experimental.

2.4 Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y el Monitoreo

Durante los últimos 20 años, se han desarrollado varios dispositivos de localización y velocidad de desplazamiento del animal que permiten registrar en forma automática dicha información [46] [47]. Desde mediados de los 90s, el uso de la tecnología de sistemas de posicionamiento global (GPS) se ha incrementado rápidamente frente a los métodos estándar. Los dispositivos GPS, colocados en forma de collar, han sido utilizados para estudiar el hábitat y rutas de desplazamiento de ciertas especies salvajes como el caribú [48] y el alce [49], camellos [50] y elefantes [51]. La tecnología del GPS también es usado para estudiar las áreas de pastoreo de las ovejas [52], y seguimiento de su desplazamiento [53] y uso de praderas del ganado [54] [55] [53]. Los dispositivos GPS entregan coordenadas de latitud, longitud y elevación desde la triangulación de señales de radio transmitidas por satélites geostacionarios. Una descripción más detallada acerca del uso de esta tecnología en animales son reportados por varios autores [57] [49] [58] [59].

Se han realizado varios estudios sobre la actividad y comportamiento animal utilizando GPS y sensores que registran la posición de la cabeza [22] [38], movimiento de mandíbulas [39], posición vertical del cuerpo [39] y movimiento del cuerpo [40]. La información recolectada con estos sensores sirvió para interpretar si el animal estaba activo, reposando, caminando, alimentándose o inactivo. Desde que el GPS proporciona información de cambios de localización en el tiempo, la distancia recorrida por el animal y su velocidad, se puede calcular la actividad del animal para intervalos definidos de tiempo. La distancia recorrida y la velocidad deberían ser cero para animales en reposo, y alta para animales cambiando de localización. En tal sentido la información otorgada por el GPS puede ser utilizado como criterio de discriminación entre animales en actividad (movimiento) en las praderas de pastoreo.

A pesar que la tecnología existe, se han realizado pocos esfuerzos encaminados a evaluar el comportamiento del animal y patrones de uso de praderas, control perimetral a través de cercos virtuales, producción animal, etc., entre otros aspectos relevantes en la toma de decisiones para mejorar la productividad. Además, se debe considerar que el costo individual de cada unidad GPS aun se hace prohibitivo para ser utilizado en forma masiva en la producción de ganado bovino.

En Chile, a través del proyecto Fondef D03I1151 (Desarrollo e introducción de un sistema interactivo georeferenciado para apoyar en línea las decisiones de la producción bovina en la X Región) se utilizaron la tecnología de GPS. Este proyecto consistió en generar un paquete de servicios de apoyo a la toma de decisiones asociados a la producción bovina, de consulta en línea e implementados en base a una plataforma georreferenciada a través de una plataforma web orientada a productores de carne y leche bovina, asesores técnicos, organizaciones gremiales y empresas lácteas y cárneas. Este proyecto se centra fundamentalmente a satisfacer los requerimientos de los usuarios afiliados en la gestión de fertilización, certificación de predios para leche de calidad, gestión en el cálculo y balanceo de dietas y gestión de la producción. No abordan el tema del monitoreo e identificación del ganado en los predios. Tampoco abordan el tema de los cercos virtuales con fines de seguridad para minimizar los problemas del abigeato.

A nivel de la cadena industrial se usan códigos de barra o chips pasivos que permiten trazar la carne desde el matadero al supermercado con bastante certeza. Para la cadena comercial agroindustrial la aplicación del sistema PABCO a nivel de planteles es indispensable como garantía de la calidad. Pero debido a que la mayoría de los planteles bovinos no llevan al día los registros que permitan realizar la trazabilidad, esto ha resultado muy difícil.

Los sistemas de acompañamiento electrónico no son utilizados por los productores de carne, sin embargo pueden contribuir a mejorar y ordenar la producción bovina. Sobre todo para apoyar el manejo animal en tiempo real bajo normas de calidad, además de ser un fuerte apoyo a la trazabilidad.

El sistema descrito en este trabajo apunta a resolver el problema de la trazabilidad a través de, un sistema automatizado de identificación y registro conectado a un centro de gestión de apoyo a la gestión local de la producción y comercialización. Las tecnologías de identificación electrónica de animales permitirán identificar y rastrear a cada animal de manera individual desde su nacimiento hasta el matadero, de manera más eficaz y precisa que el sistema tradicional de identificación con *TAG's* o crotales numerados basados en identificación visual. Un sistema de identificación electrónico tiene el potencial para ofrecer un sistema de

identificación automatizado fiable para todos los ambientes. Además, minimizará los errores asociados a la identificación manual y facilitará el cumplimiento de las exigencias del registro PABCO.

El segundo aspecto planteado en el sistema, es el monitoreo de animales a través de la integración de sensores de variables de estado (temperatura, estado de celo, movimiento, etc.) a los transponders electrónicos activos. Esta solución apunta a mejorar la gestión de producción en los planteles bovinos.

El tercer aspecto planteado, es el cerco virtual o perro electrónico (e-dog) con el fin de minimizar y controlar el problema del abigeato cada vez más recurrente en los planteles bovinos. La solución de este problema parte por identificar de manera electrónica e individual al ganado bovino con la ayuda de transponders activos (TAG's colocados en los animales). Luego el desarrollo de sistemas de monitoreo para vigilar que los animales estén dentro de un perímetro virtual preestablecido. Como se detalla más adelante, se han desarrollado muchas soluciones tecnológicas para el monitoreo a tiempo real de animales salvajes pero para el monitoreo de ganado aún están en fase experimental.

3. El Sistema Propuesto

Se ha identificado que existe necesidad en el rubro agrícola ganadero por soluciones electrónicas y tecnología de la información que provean:

- Identificación electrónica del predio
- Identificación electrónica del ganado
- Manejo sanitario mediante detección de síntomas
- Detección de celos en vaquillas y vacas
- Control y focalización del rebaño en tiempo real
- Automatización de registros y de la trazabilidad
- Control espacial del predio
- Gestión tecnológica interactiva regional a través de unidad estratégica tecnológica de negocios.

La solución del problema consiste en automatizar la identificación y registro de información tanto de variables productivas como sanitarias a través de un sistema integrado y el control electrónico del abigeato a través de los siguientes productos:

- Identificación y monitoreo de los animales en tiempo real para obtener información de variables productivas y de salud mediante transponders activos y sensores.
- Una Red Predial de Monitoreo RFID (red de primer nivel) que conecta las antenas con los animales.
- Una Red Predial de Comunicación (WiFi) para unir las redes de campo RFID, que conecta las antenas con los nodos de información (red de segundo nivel).
- Unidad de gestión local predial para la toma de decisiones bajo el concepto de campero electrónico (e-camp).

- Control del abigeato mediante cercos virtuales (e-dog).
- Centro de apoyo a la gestión regional de la producción y comercialización (UENET).

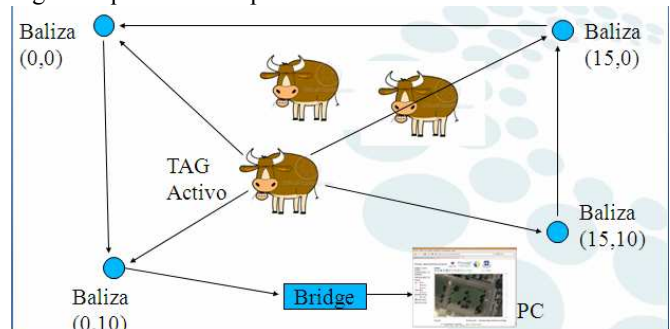
En Chile no existen aplicaciones de monitoreo y seguimiento individual a distancia de ganado de bovino. El seguimiento individual mediante transponders (TAG's electrónicos) y sistemas integrados de información sólo se realiza en EE.UU., Canadá y Europa. El monitoreo a través de transponder activos y sensores solo existen a nivel experimental en EE.UU. y Europa.

En Chile tampoco existen unidades de gestión predial electrónica y proactiva, unidades de gestión electrónica regional y sistemas de detección y control del abigeato.

La solución va destinada a un mercado potencial de 25.000 productores en Chile con 4 millones de cabezas de ganado bovino y 1 y medio millón de productores en América latina con 350 millones de cabezas de ganado bovino, a través de empresas tecnológicas proveedoras de servicios. En Chile existen solo en la Araucanía 5 empresas con capacidad para intermediar el servicio.

El proyecto FONDEF D05110298 ha desarrollado el “**Campero Electrónico (e-camp)**”, que será un operador de tecnologías electrónicas. Los sistemas PABCO y BPA, BPG, HACCP no permiten el “Perro Arreador” para detectar ganado, localizarlo, mantenerlo en perímetros y alertar al dueño acerca de la presencia de personas ajenas al predio. El proyecto ha desarrollado el “**Perro Electrónico (e-dog)**” a través de **cercos virtuales** que son sistemas de detección y alerta en los perímetros con animales, para prevenir el abigeato. La figura 1 ilustra una red de monitoreo predial como la implementada en este trabajo.

Fig 1. Esquema de red predial de monitoreo



El desarrollo e incorporación de aplicaciones basadas en dispositivos electrónicos y tecnologías de información y comunicación a nivel de predios y planteles PABCO, implementados mediante tecnología inalámbrica permiten la adquisición de información del animal. Dicha información,

que comprende la identificación, localización, medición de variables de interés productivo y sanitario del animal tales como: temperatura y posición (trayectoria) conducirán a una mayor eficiencia productiva y económica de los procesos de producción de la ganadería de carne y leche, que actualmente a nivel del país son muy bajas. De acuerdo al estudio realizado por SOFOFA (2004), en la producción primaria el valor agregado por empleado es de sólo 13%, a pesar que respecto de EE. UU. los empleados chilenos trabajan en promedio 14 horas más.

Esto ha implicado concebir un sistema de lógica M2M (Machine-to-Machine), representando al animal como una máquina, la cual se comunica con una red de celdas que permiten su localización, además de almacenar los registros de datos adquiridos, los cuales son vertidos sobre una red de comunicación de segundo nivel, facilitando su administración, análisis y distribución.

Se transforma *el plantel bovino actual tradicional*, en un *plantel electrónico (e-cattle, electronic-cattle)*, cuya información fluirá en forma inalámbrica hasta una red de gestión de datos.

Conclusiones

A partir del análisis del estado del arte se concluye que existe una necesidad de desarrollar plataformas basadas en tecnología electrónica, telecomunicaciones e informática, que apunten a apoyar la gestión del aseguramiento de la calidad, y a potenciar la optimización del uso de recursos productivos de la empresa ganadera y el control en tiempo real de las existencias animales y sus principales parámetros de desempeño.

Se han desarrollado iniciativas para identificar electrónicamente a los animales, generar cercos virtuales y establecer sistemas de posicionamiento global y monitoreo, pero hasta el momento no existen alternativas viables de ser aplicadas masivamente para lograr conjuntamente estos tres tipos de tareas. Es por esto que la propuesta desarrollada en este artículo permite no solo generar una aplicación novedosa para localizar animales vivos y hacer seguimiento de recorridos realizados por estos dentro del predio, sino que también permite usar tecnología de información y comunicaciones basadas en la integración de transponders RFID activos y sensores.

De esta manera, con un sistema de generación automatizada de datos con información de donde se criaron los animales y el monitoreo histórico de variables biológicas como la temperatura, se espera disminuir los tiempos necesarios para llenar formularios y minimizar los errores asociados a la identificación manual, y con la información generada, se espera facilitar el acceso a mercados internacionales de la carne para los productores ganaderos.

Bibliografía

- [1] SAG, 2005. Programa Oficial de Trazabilidad Sanitaria. Instructivo Técnico Nro 1 Exigencias técnicas para los Dispositivos de Identificación Individual Oficial utilizados para ganado bovino.
- [2] EU, 2000. Commission Regulation (EC) N° 1825/2000. Rules for the application of Regulation (EC) N° 1760/2000, on labeling of beef and beef products. Official Journal of the European Communities. Accedido en Internet.
- [3] EAN-UCC International, 2001. Traceability of Beef. Application of EAN-UCC Standards in implementing Regulation (EC) 1760/2000. 3d. Rev. Ed. Accedido en: www.ean-int.org
- [4] APHIS-USDA, 2004. Animal Identification. Veterinary Services. NCAHP Home Page. Accedido en: www.aphis.usda.gov/pubs/pubabe.html
- [5] Wired news, 2003. Mad Cow Spurs Livestock Tracking. Accedido en: <http://www.wired.com/news/medtech/0,1286,61770,00.htm>
- [6] USDA, 2003. Battaglia, R. & K. Obara. Japan, Livestock and Products, Japan Mandates Traceability for Beef 2003. USDA Foreign Agricultural Service. GAIN Report.
- [7] Clemens, R. 2003. Meat Traceability in Japan. Center for Agricultural and Rural Development (CARD)/Center for agricultural and Rural Development, Agricultural Marketing Resource Center. Iowa State University. Accedido en: www.card.iastate.edu
- [8] Pedretti, R. 2004. Trazabilidad de la Carne Bovina en Paraguay,. Proyecto de Cooperación Técnica FAO/TCP/2910, Apoyo a la Integración Agropecuaria en el MERCOSUR ampliado.
- [9] Cayota, S. 2004. Perfeccionamiento de la trazabilidad y la identificación individual del ganado bovino en Uruguay. Proyecto de Cooperación Técnica FAO/TCP/2910, Apoyo a la integración agropecuaria en el MERCOSUR ampliado.
- [10] Aráoz, L.F. 2004. Trazabilidad de la Carne Bovina en la Argentina,. Proyecto de Cooperación Técnica FAO/TCP/2910, Apoyo a la Integración Agropecuaria en el MERCOSUR ampliado.
- [11] Hanton, J.P., 1974. Electronic identification of livestock. IFAC Symposium on Automatic Control for Agriculture, Saskatoon, Canada.
- [12] Kuip, A., 1987. Animal identification. Proceedings of the Symposium Automation in Dairying, Wageningen, The Netherlands, pp. 12–17.
- [13] Hurst, G.C., Hammond, K., McIntosh, A.I., Yerbury, M.J., Davies, L.W., Davies, J.W., Webb, R.F., Cooper D.N., 1983. Overcoming the problems of identifying and recording livestock under extensive management.

- Proceedings of the Symposium Automation in Dairying, Wageningen, The Netherlands, pp. 27–32.
- [14] Merks, J.W.M., Lambooi, E., 1990. Injectable identification systems in pig production. *Pig News Inform.* 11, 35–36.
- [15] Lambooi, E., 1991. Automatic electronic identification systems for farm animals. EUR Report 13198.
- [16] Hegeman, R., 2005. Animal ID program combines GPS, cell tech, RFID, USA Today, enero 2. Accedido en: http://www.usatoday.com/tech/news/surveillance/2005-02-01-cowtracks_x.htm?csp=34
- [17] Harris, C., 2005. Canada Moves Forward With Cattle Tracking System, Meet Industry Internet News Service. <http://www.spcnetwork.com/mii/2005/050604.htm>
- [18] Brewin, B., 2004. Agriculture Secretary Backs National Livestock ID System RFID, *Computerworld*, Jan 5.
- [19] IDEA (Identification Electronique des Animaux), Stratégie pour l'identification électronique des animaux à grande échelle. C.C.R Ispra - DG VI/G4. 2000.
- [20] Cardoso E.E. & Lima E.C.N.Z. 2002. Reuniões técnicas sobre couros e peles. Documento 127. Embrapa Gado de Corte. 114p
- [21] Pires, P.P., 2000. A tecnologia passa a porteira da fazenda, chega no pasto ou no curral e identifica o gado no computador. *Gado de Corte Informa*, Campo Grande-MS, v.13,n.03,p.1-2.
- [22] Geers, R., Puers, B., Goedseels, V., Wouters, P., 1997. Electronic Identification, Monitoring and Tracking of Animals. CAB International, Wallingford.
- [23] Nelson, R.E., 1988. Electronic identification of livestock in the United States. Presented to the Nacional Work planning Meeting on Electronic Identification of Beef and Dairy Cattle, Ottawa, 1988.
- [24] Artmann, R., 1993. Requirements for control systems in automated dairy farm. Proceedings XXV CIOSTA-CIGR V Congress, Wageningen, 10–13 May 1993, pp. 295–306.
- [25] Villé, H., Janssens, S., Jourquin, J., 1993. Monitoring physiological parameters. *Animal Monitoring and Identification: The European System Amies*, Valle de Santarém, Portugal, 1993, pp. 63–79.
- [26] Puers, R., 1993. Electronic monitoring by microsensors. *Animal Monitoring and Identification: The European System Amies*, Valle de Santarém, Portugal, 1993, pp. 11–21.
- [27] Eichinger, G., Stemrau, G., 1993. Application of small lithium batteries in injectable transponders. *Animal Monitoring and Identification: The European System Amies*, Valle de Santarém, Portugal, 1993, pp. 31–35.
- [28] Eradus, W.J., Scholten, H., Udink ten Cate, A.J., 1998. Oestrus detection in dairy cattle using a fuzzy inference system. Pre-prints of the 1st IFAC Workshop on Control Applications and Ergonomics in Agriculture, Athens, Greece, 15–17 June 1998, pp. 183–186.
- [29] Rossing, W., Ipema, A.H., Maatje, K., 1983. Actrons for measuring activity of dairy cows. Proceedings of the Symposium Automation in Dairying, Wageningen, 20–22 April 1983, pp. 127–134.
- [30] Schlüsen, D., Schön H., Roth, H., 1987. Automatic detection of oestrus in dairy cows. Proceedings of the Third Symposium on Automation in Dairying, Wageningen, 1987, pp. 166–175.
- [31] Maatje, K., Hogewerf, P.H., Rossing, W., van Zonneveld, R.T., 1992. Measuring quarter milk electrical conductivity, milk yield and milk temperature for detection of mastitis. Proceedings of the International Symposium on Prospects for Automatic Milking, Wageningen, 23–25. EAAP Publication No. 65, pp. 119–133.
- [32] Eradus, W.J., te Braake, H.A.B., 1994. Oestrus detection in dairy cattle with neural networks. Proceedings of the AIFA Conference (Artificial Intelligence for Agriculture and Food), Nimes, 27–29, pp. 265–273.
- [33] Nagle, L., Schmitz, R., Warren, S., Hildreth, T.S., Erickson, H., Andresen, D., 2003. Wearable sensor system for wireless state-of-health determination in cattle. In: Proceedings of the 25th IEEE EMBS Conference, Cancun, Mexico, Sept. 17–21.
- [34] Taylor, K., Mayer, K., 2004. TinyDB by remote. In: Presentation in Australian Mote Users' Workshop, Sydney, Australia, February 27.
- [35] Brown-Brandl, T.M., Yanagi, T., Xin, H., Gates, R.S., Bucklin, R., Ross, G., 2001. Telemetry system for measuring core body temperature in livestock and poultry. ASAE Paper No.: 01-4032. The American Society of Agriculture Engineers, St. Joseph, Michigan, USA.
- [36] Vaughan, R., N. Sumpter, A. Frost, y S. Cameron, 1998. Robot sheepdog project achieves automatic flock control," Proc. Fifth International Conference on the Simulation of Adaptive Behaviour..
- [37] Tiedemann, A.R., T.M. Quigley, L.D. White, W.S. Lauritzen, J.W. Thomas, y M.K. McInnis, 1999. Electronic (fenceless) control of livestock, Tech. Rep. PNW-RP-510, United States Department of Agriculture, Forest Service.
- [38] Ganskopp, D., 2001. Manipulating cattle distribution with salt and water in large aridland pastures: a GPS/GIS assessment. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 73, 251–262.
- [39] Rutter, S.M., Beresford, N.A., Roberts, C., 1997a. Use of GPS to identify the grazing areas of hill sheep. *Comput. Electron. Agric.* 17, 177–188.
- [40] Relyea, R.A., Demarais, S., 1994. Activity of desert mule deer during the breeding season. *J. Mammal.* 75, 940–949.
- [41] Anderson, D.M. y C.S. Hale, 2001. Animal control system using global positioning and instrumental animal conditioning, Tech. Rep. US Patent 6,232,880, USDA.

- [42] Anderson, D.M., C.S. Hale, R. Libeau, and B. Nolen, 2003. Managing stocking density in real-time, in Proc VII International Rangelands Conf., N. Allsop, A.R. Palmer, S.J. Milton, K.P. Kirkman, G.L.H. Kerley, C.R. Hurt, and C.J. Brown, Eds., Durham, South Africa, pp. 840–843.
- [43] Comis, Don, 2000. The cyber cow whisperer and his virtual fence, *Agricultural Research*, Nov.
- [44] Marsh, R.E., 1999. Fenceless animal control system using gps location information,” Tech. Rep. US Patent 5,868,100, Agritech Electronics.
- [45] Butler, Z., Corke, P., Peterson, R., Rus, D., 2004. Virtual fences for controlling cows. In: Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation, New Orleans, LA, USA, April 26–May 1, pp. 4429–4436.
- [46] Gordon, I.J., 1995. Animal-based techniques for grazing ecology research. *Small Rumin. Res.* 16, 203–214.
- [47] Frost, A.R., Schofield, C.P., Beulah, S.A., Mottram, T.T., Lines, J.A., Wathes, C.M., 1997. A review of livestock monitoring and the needs for integrated systems. *Comput. Electron. Agric.* 17, 139–159.
- [48] Bradshaw, C.J.A., Hebert, D.M., Rippin, A.B., Boutin, S., 1995. Winter peatland habitat selection by woodland caribou in northeastern Alberta. *Can. J. Zool.* 73, 1567–1574.
- [49] Rempel, R.S., Rodgers, A.R., 1997. Effects of differential correction on accuracy of a GPS in animal location system. *J. Wildl. Manage.* 61, 525–530.
- [50] Grigg, G.C., Pople, A.R., Beard, L.A., 1995. Movements of feral camels in central Australia determined by satellite telemetry. *J. Arid Environ.* 31, 459–469.
- [51] Stuewe, M., Abdul, J.B., Nor, B.M., Wemmer, C.M., 1998. Tracking the movements of translocated elephants in Malaysia using satellite telemetry. *Oryx* 32, 68–74.
- [52] Rutter, S.M., Beresford, N.A., Roberts, C., 1997a. Use of GPS to identify the grazing areas of hill sheep. *Comput. Electron. Agric.* 17, 177–188.
- [53] Ganskopp, D., 2001. Manipulating cattle distribution with salt and water in large aridland pastures: a GPS/GIS assessment. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 73, 251–262.
- [54] Turner, L.W., Udal, M.C., Larson, B.T., Shearer, S.A., 2000. Monitoring cattle behaviour and pasture use with GPS and GIS. *Can. J. Anim. Sci.* 80, 405–413.
- [55] Bailey, D.W., 2001. Evaluating new approaches to improve livestock grazing distribution using GPS and GIS technology. In: Proceedings of the First National Conference on Grazing Lands, Las Vegas, NV, December 5–8, 2000, pp. 91–99.
- [56] Ganskopp, D., Cruz, R., Johnson, D.E., 2000. Least-effort pathways? A GIS analysis of livestock trails in rugged terrain. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 68, 79–190.
- [57] Moen, R., Pastor, J., Cohen, Y., 1997. Accuracy of GPS telemetry collar locations with differential correction. *J. Wildl. Manage.* 61, 530–539.
- [58] Rutter, S.M., Beresford, N.A., Roberts, C., 1997a. Use of GPS to identify the grazing areas of hill sheep. *Comput. Electron. Agric.* 17, 177–188.
- [59] Turner, L.W., Udal, M.C., Larson, B.T., Shearer, S.A., 2000. Monitoring cattle behaviour and pasture use with GPS and GIS. *Can. J. Anim. Sci.* 80, 405–413.
- [60] Idetechex, 2005. RFID Tagging of Cattle by Law in Australia, Accedido en: <http://www.idtechex.com/products/en/articles/00000201.asp>, Nov. 2005.