

Prototipo de sistema de vigilancia de ganado usando red de supervisión inalámbrica para prevención de abigeato

Prototype for a livestock surveillance system using wireless supervision network to prevent cattle theft

Protótipo de sistema de vigilância de gado utilizando a rede de monitoramento sem fio para prevenção de abigeato

Para citar este artículo / To reference this article
/ Para citar este artigo: Ruge Ruge, I., Jimenez Lopez, F. y Hernandez Gomez, O. (2016). Prototipo de sistema de vigilancia de ganado usando red de supervisión inalámbrica para prevención de abigeato. *Ingenio Magno*, 7(2), 87-101.

Ilber Adonayt Ruge-Ruge

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Electrónica, Grupo de Investigación I²E.
ilber.ruge@uptc.edu.co

Fabian Rolando Jimenez-Lopez

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Electrónica, Grupo de Investigación I²E.
fabian.jimenez02@uptc.edu.co

Oscar Mauricio Hernandez-Gomez

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Electrónica, Grupo de Investigación I²E.
oscarmauricio.hernandez@uptc.edu.co

Fecha de Recepción: 13 de Junio de 2016

Fecha de Aceptación: 6 de Julio de 2016

Resumen

El presente artículo muestra el desarrollo de un prototipo para el monitoreo de ganado usando una red de supervisión inalámbrica con propósitos de prevención de abigeato. El sistema de monitoreo está compuesto por un nodo de supervisión y un nodo administrador. El módulo supervisor envía un dato de identificación único al nodo administrador mediante comunicación de radiofrecuencia (RF), en intervalos de cinco minutos. El nodo administrador se compone de otro módulo de RF receptor, un procesador digital y un módulo de comunicación SMS/GPRS (*send message short/general packet radio service*) para envío de mensaje de texto a teléfono móvil celular y así advertir al usuario de un posible robo. El prototipo desarrollado se validó para un rango experimental de 100 m de distancia entre emisores/receptor y para un número limitado de 10 unidades. El sistema es escalable para cubrir mayor cantidad de semovientes y mayor distancia de vigilancia, y puede llegar a cubrir una distancia de hasta 1,4 km.

Palabras clave: microcontrolador, radiofrecuencia, comunicación GPRS, monitoreo de ganado, red de supervisión inalámbrica.

Abstract

This article shows the development of a prototype for the monitoring of livestock using a wireless supervision network with the goal of preventing cattle theft. The monitoring system consists of two nodes: the supervision node and the administrator node. The supervisor unit sends a unique identification code to the administrator node via RF radio frequency communication at time intervals of 5 minutes. The administrator node is composed of another RF receiver module, a digital processor and an SMS/GPRS (Send Message Short/General Packet Radio Service) communication module in order to send a text message to a cellphone and warn the user of possible theft. The developed prototype was validated for an experimental range of 100m of distance between transmitters/receiver and for a limited number of 10 units. The system is scalable in order to cover a greater number of livestock and at a greater surveillance distance, able to cover up to a distance of 1.4km.

Keywords: micro-controller, radio frequency, GPRS communication, livestock monitoring, wireless supervision network.

Resumo

O presente artigo apresenta o desenvolvimento de um protótipo para o monitoramento de gado usando uma rede de monitoramento sem fio com fins de prevenção de abigeato. O sistema de monitoramento é composto de dois nós: o nó de supervisão e nó administrador. O módulo supervisor envia um dado de identificação único para o nó administrador mediante comunicação de rádio frequência (RF) em intervalos de tempo de cinco minutos. O nó administrador é composto de outro módulo receptor RF, um processador digital e um módulo de comunicação de SMS/GPRS (Send Message Short/General Packet Radio Service) para o envio de uma mensagem de texto para um telefone móvel celular e assim avisar o usuário de possível roubo. O protótipo desenvolvido foi validado para um intervalo experimental de 100m de distância entre o emissor/destinatário e para um número limitado de 10 unidades. O sistema é escalável para atender maior quantidade de gado e maior alcance de vigilância, podendo chegar a cobrir uma distância de até 1.4 km.

Palavras Chave: microcontrolador, rádio frequência, comunicação GPRS, monitoramento de gado, red de supervisão sem fio.

1. Introducción

El abigeato es un delito punible y estipulado en muchos códigos legales de la mayoría de los países ganaderos; consiste en el robo o hurto de ganado o animales domésticos, principalmente caballos y vacas, aunque también se da en ovinos.

Según el Observatorio de Derechos Humanos y el Derecho Internacional Humanitario de la Fundación Colombia Ganadera (Fundagán) y la Dirección de Carabineros y Seguridad Rural, en 2014 se registraron 164 casos de abigeato, los cuales dejaron pérdidas por más de 15.000 millones de pesos. En lo corrido del año ya son más de 2000 millones (Hernández, 2015). La inseguridad en los predios ganaderos de Colombia cada día aumenta más. Departamentos como Huila, La Guajira, Atlántico y Boyacá denuncian constantemente casos de abigeato y hurto de enseres en los hatos bovinos (CONtexto Ganadero, 2014).

En Boyacá existe más de un millón de ejemplares vacunos (sin contar la población vacuna del norte del departamento) repartidos en 65 predios. La actividad ganadera se desarrolla en minifundios con entre 1 y 11 vacas. En las fincas donde hay entre 10 y 20 ejemplares se generan uno o dos empleos directos (El Tiempo, 2000).

Desde esta consideración, y dada la situación actual de seguridad regional, se plantea el uso de tecnologías correctas que pueden lograr que la sociedad haga más con lo mismo y, a la vez, propiciar un mayor acceso a bienes y servicios a las personas con menores ingresos.

Trabajos recientes muestran el uso de redes de sensores inalámbricos para optimizar la utilización de pastos, el monitoreo de cambio de temperatura y la localización

de animales. La utilización de nodos de sensores inalámbricos móviles permite recolectar datos para estudios de comportamiento de los animales y poder ayudar a prevenir el robo de ganado, así como la pérdida innecesaria debido a las tensiones ambientales (Guo, Corke y Poulton, 2006).

En este artículo se expone el diseño de un sistema de monitoreo de ganado a bajo costo usando red de supervisión inalámbrica. Por tratarse de un prototipo experimental, se estableció un rango de monitoreo de 100 m de cobertura, una cantidad de diez dispositivos de monitoreo móvil y un sistema de transmisión de alarma mediante servicio general de paquetes vía radio GPRS, por cuanto el lugar donde se realizarán las pruebas de validación cuenta con cobertura de servicio de telefonía móvil celular.

El prototipo de sistema de monitoreo de ganado está diseñado de tal forma que pueda ser escalado para ampliar el rango de cobertura y sea adaptable a una cantidad mayor de semovientes por monitorear.

2. Trabajos relacionados

Las redes de sensores inalámbricos son una tecnología emergente que genera un gran interés científico, debido a la posibilidad de obtener más cantidad de datos de un fenómeno físico en tiempo real. La Organización para la Investigación Científica e Industrial de la Mancomunidad Australiana (CSIRO) es pionera en el uso de nodos de sensores inalámbricos para monitorear el comportamiento de rebaños de ganado, sus interacciones sociales y los patrones de pastoreo (Kibambe, Rimer y Paul, 2014).

Guo, Corke y Poulton (2006) explican el uso de una red de sensores inalámbrica para monitorear y controlar

el ganado de manera automática. Los investigadores construyeron sensores capaces de recopilar información como la ubicación de cada animal, la velocidad, la temperatura, los valores de aceleración y la intensidad del campo magnético. Los autores concluyen que es difícil lograr el monitoreo del ganado de manera práctica y confiable con las tecnologías convencionales actuales, debido a desafíos tales como las grandes áreas de pastoreo, los largos periodos de muestreo de datos y los constantes cambios en el entorno físico.

Por su parte, Wark y Swain (2009) utilizan cercas virtuales que bordean una zona ambientalmente sensible para evitar que el ganado salga del espacio delimitado. De igual manera, Watanabe, Sakurai y Kitasaki (2008) presentan un método novedoso para la detección de estrés y la predicción de tiempo de parto en ganado lechero, mediante el uso de una red de sensores de aceleración inalámbricos. Aunque dicho sistema es interesante, la distancia de transmisión de los datos entre emisor/receptor es corta; no obstante, el diseño de la red de sensores presenta conceptos interesantes para adoptar.

Otra aplicación importante de las redes de sensores inalámbricos es la agricultura de precisión. López *et al.* (2009) describen una red de sensores inalámbrica implementada en una empresa hortícola ecológica, orientada a la medición de las variables de humedad del suelo, humedad del agua y humedad del ambiente. La aplicación hace supervisión en tiempo real y opera desde una estación central ubicada a 8,7 km de la finca monitoreada.

Por otro lado, Simbeye, Zhao y Yang (2014) describen el desarrollo de módulos inalámbricos de corto alcance y a bajo costo mediante tecnología Zigbee y tecnología de instrumentación virtual para monitoreo y control en acuicultura. La red de sensores inteligentes está conformada para el monitoreo de parámetros

ambientales, como el oxígeno disuelto, la temperatura del agua, el pH y el nivel de agua.

La transmisión de la información está coordinada por un *gateway* que adquiere y envía los comandos a una computadora ubicada a 2000 m. La distancia de transmisión de datos es un factor que permite que este tipo de aplicaciones se convierta en un modelo a seguir en el desarrollo del sistema inalámbrico de monitoreo para ganado.

De los artículos consultados, el de Kibambe, Rimer y Paul (2014) es el más cercano a los propósitos de la investigación que se desea realizar. El objetivo de su trabajo es el modelamiento del comportamiento típico de una vaca para determinar anomalías en su comportamiento que puedan indicar la presencia de ladrones. Un nodo de sensores inalámbricos fue diseñado para determinar la posición y la velocidad de la vaca. Los datos son aplicados a un proceso de Markov en tiempo continuo (CTMP), para obtener el patrón de movimiento y determinar la probabilidad de que la vaca esté dentro de un perímetro de seguridad. Los datos son recolectados mediante sistema de posicionamiento global (GPS), lo cual permite distancias de monitoreo grandes.

3. Descripción del sistema de monitoreo desarrollado

El sistema de monitoreo se compone de dos módulos básicos: red de sensores inalámbricos y módulo coordinador. La figura 1 muestra el esquema general del sistema de monitoreo.

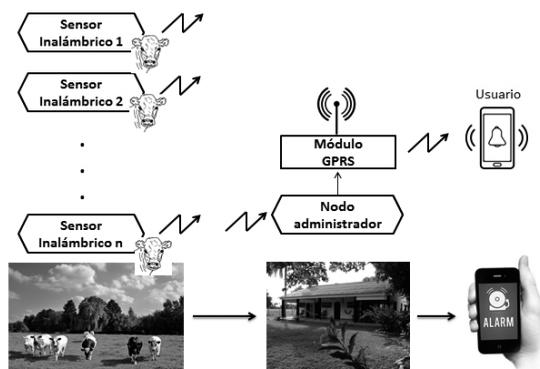


Figura 1. Esquema del sistema de monitoreo inalámbrico

A. Diseño de la red de supervisión inalámbrica

Cada módulo de la red de monitoreo inalámbrica se compone de dos etapas: módulo de comunicación (transmisión) y módulo de procesamiento. Por tratarse de un prototipo de sistema de monitoreo, se consideró diseñar un total de 10 módulos con características que se puedan escalar a una cantidad final de 100 o más dispositivos. Para el diseño de la red de supervisión inalámbrica se consideraron varios factores, como bajo costo, tamaño de dispositivo reducido y protocolo de comunicación.

La tabla 1 muestra una relación de módulos de comunicación inalámbrica de corto alcance, sus características de funcionamiento y el costo comercial. La identificación de los módulos de comunicación inalámbrica se realizó de acuerdo con algunas aplicaciones, como las presentadas por Jianze, Junlong y Yongcun (2010) y Nadimi, Jorgensen y Blanes (2012), que escogieron la tecnología de comunicación ZigBee para el diseño de los nodos de comunicación inalámbrica de sus respectivos sistemas de supervisión.

De igual manera, Kwong y Tsung (2012) muestran un estudio de las consideraciones prácticas para desarrollar

redes de sensores inalámbricas para monitorear ganado. Según los resultados obtenidos, la tecnología de radiofrecuencia (RF) es la más adecuada. A partir de esta consideración, y teniendo en cuenta el bajo costo de adquisición y los parámetros de funcionamiento de esta tecnología (ver tabla 1), el módulo HC-11 fue seleccionado para el desarrollo del sistema de comunicación inalámbrico.

Tabla 1. Tecnología para red inalámbrica de monitoreo

Tecnología	Características	Precio
XBee	· Velocidad de transmisión (<i>data rate</i>): 1200 bps a 1 Mbps	US \$38
	· Alcance en línea de vista (<i>outdoor range</i>): 120 m	
	· Potencia de transmisión: 1,25 mW	
	· Interface I/O: UART, ADC, Digital I/O	
	· Banda de frecuencia de operación: 2,4 GHz	
ZigBee	CC2530 Wireless Zigbee Module	US \$9
	· Velocidad de transmisión (<i>data rate</i>): 250 kbps	
	· Alcance en línea de vista (<i>outdoor range</i>): 230 m	
	· Potencia de transmisión: 1,25mW	
	· Interface I/O: UART, ADC, Digital I/O	
MRF24J40MA RF Transceiver Microchip	· Banda de frecuencia de operación: 2,4 GHz	US \$11
	· Velocidad de transmisión (<i>data rate</i>): 250k bps	
	· Alcance en línea de vista (<i>outdoor range</i>): 140 m	
	· Potencia de transmisión: 1,25mW	
	· Interface I/O: SPI, Digital I/O	

Tecnología	Características	Precio
RF	Wireless Module HC-11	
	· Velocidad de transmisión (<i>data rate</i>): 1.2 kbps	
	· Alcance en línea de vista (<i>outdoor range</i>): 200 m	
	· Potencia de transmisión: 12 dBm	US \$5
	· Interface I/O: SPI, RS232.	
	· Banda de frecuencia de operación: 433 MHz a 868 MHz	
RF	SV611 Wireless RF	
	· Velocidad de transmisión (<i>data rate</i>): 1,2 kbps	
	· Alcance en línea de vista (<i>outdoor range</i>): 1400 m	
	· Potencia de transmisión: 100 mW	US \$20
	· Interface I/O: SPI, TTL, RS232, RS485	
	· Banda de frecuencia de operación: 433 MHz a 915 MHz	
RF	Module DRF1278DM	
	· Velocidad de transmisión (<i>data rate</i>): 1,2 kbps	
	· Alcance en línea de vista (<i>outdoor range</i>): entre 3000 m y 4000 m	
	· Potencia de transmisión: 20 dBm	US \$21
	· Interface I/O: UART	
	· Banda de frecuencia de operación: 433 MHz	

Este módulo inalámbrico de comunicación por puerto serial es una tecnología de transmisión de datos multicanal de nueva generación. Es también un módulo transceptor de bajo costo que opera en la banda de frecuencia comprendida entre 433,4 Mhz y 473,0 MHz. Además, se pueden establecer múltiples canales de

transmisión; la potencia máxima de transmisión es de 100 mW (20 dBm), en tanto la sensibilidad de recepción es de 117 dBm, en velocidad de transmisión de 5000 bps. La distancia de comunicación en espacio abierto puede alcanzar hasta los 100 m (aunque también existe la versión para que alcance hasta de 1000 m).

Este módulo usa una interface de comunicación UART *half duplex*, lo que hace fácil la transmisión inalámbrica de datos (Cytron Technologies, 2016). La figura 2 muestra el aspecto físico del módulo RF descrito.

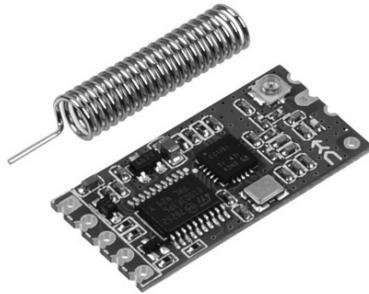


Figura 2. Módulo HC-11 RF Transceiver (UART), 100 m

El módulo procesador está conformado por un microcontrolador PIC12F683 de 8 bits, de la empresa Microchip® (Microchip, 2007). Este se caracteriza por su reducido tamaño de encapsulado de 8 pines y el bajo consumo de energía: 50 nA en modo *stand by* y 220 μ A en operación a 4MHz. Tiene también oscilador de precisión interno de 8 MHz hasta 125 kHz y modo *power saving sleep*. Este último aspecto es una característica especial de su tecnología de fabricación nanoWatt.

Este microcontrolador garantiza un tamaño reducido en el módulo de comunicación, además de un ciclo amplio de capacidad en la batería de alimentación, el cual se conformó por una celda de ion de litio a 3,7 v y 5800 mAh.

La figura 3 muestra la interconexión del módulo HC-11 y el microcontrolador PIC12F683, cuyas dimensiones en protoboard son de 5,5 x 7,0 cm. Sin embargo, se espera disminuir significativamente estas dimensiones cuando se realice el circuito impreso final del dispositivo móvil de supervisión.

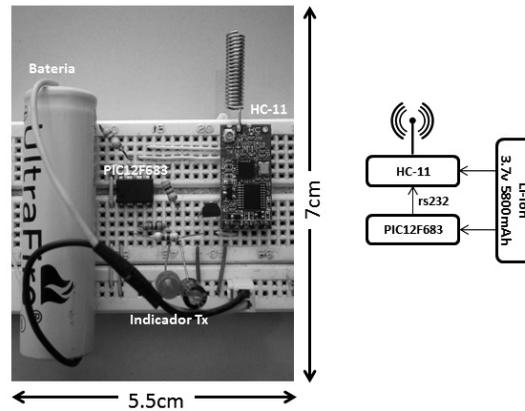


Figura 3. Prototipo de módulo de supervisión inalámbrica

B. Diseño del nodo supervisor

El nodo coordinador tiene la responsabilidad de recibir los datos enviados por cada módulo de supervisión inalámbrica, correspondiente a los números de identificación asignados a cada animal. En caso de detectar la no presencia de algún semoviente, el nodo envía una señal de alerta al teléfono móvil del usuario registrado en el sistema. El nodo está comprendido por cuatro módulos básicos: módulo de comunicación (recepción), módulo procesador, módulo calendario y módulo de comunicación con teléfono móvil.

El módulo de comunicación inalámbrica escogido para este nodo es el mismo módulo HC-11 usado en cada módulo de supervisión inalámbrica. Este módulo de comunicación (recepción) es conectado mediante protocolo de comunicación RS-232 al procesador, conformado por un Arduino Nano. Esta *board* está basada en un microcontrolador ATmega328, que cuenta con 14 pines I/O, voltaje de operación a 5 V, memoria Flash de 32 kB, EEPROM de 1 kB y frecuencia de operación de 16 MHz.

El Arduino Nano provee una comunicación serial UART TTL, que es disponible en los pines Rx y Tx.

Por otro lado, contiene el FTDI FT232RL *on-board*, cuyo *driver* incluido genera un COMPort Virtual por *software* en el computador y facilita la comunicación mediante USB (Arduino, 2016). El algoritmo programado en el microcontrolador está basado en atención a interrupción por comunicación serial, lo que garantiza la oportuna recepción del dato enviado por cada uno de los módulos de supervisión inalámbrica instalados en cada semoviente.

El módulo Tiny RTC I2C es usado para el módulo calendario y está basado en el IC DS1307, que consiste en un reloj de tiempo real de baja potencia e incorpora un reloj/calendario con codificación de binario/decimal. La transferencia de los datos se hace de forma serial mediante *2-wire* de manera bidireccional. El DS1307 provee la información de segundos, minutos, horas, día, mes y año, y opera con formato 24 horas o con formato a.m./p.m. (Dallas Semiconductor, 2016).

Por último, el módulo de comunicación con teléfono móvil se pensó inicialmente mediante el uso de un módem GSM SIM900A, pero infortunadamente este dispositivo es *dual band* y opera solamente en las bandas de 900 MHz y 1800 MHz (en Colombia las bandas habilitadas son de 800 MHz y 1900 MHz). Los módems GSM adecuados para la aplicación son el SIM900 o el SIM800L, los cuales son *quad band* y sus bandas de operación son de 850, 900, 1800 y 1900 MHz. Mientras se adquiere el módem correcto, se optó por usar temporalmente un módulo conversor de serial a Bluetooth HC-04. Esta conexión es equivalente a una conexión serial RS-232 mediante las líneas Rx y Tx. De esta manera, puede existir una comunicación serial virtual entre un microcontrolador y un teléfono celular inteligente (Guangzhou HC, 2016). La figura 4 muestra el prototipo del nodo coordinador compuesto por los dispositivos descritos.

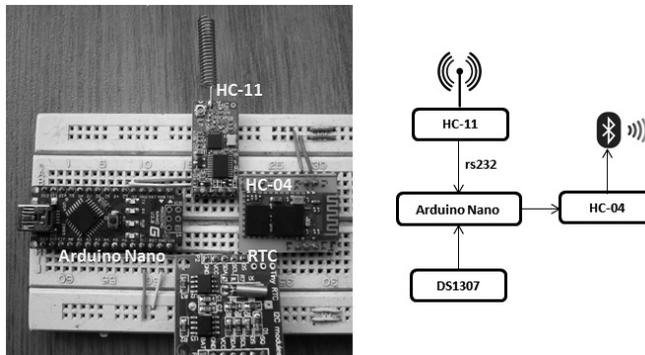


Figura 4. Prototipo de nodo coordinador

4. Resultados

El módulo de comunicación (transmisión) está conformado por dos estados funcionales: reposo (*stand by*) y transmisión de dato. La transmisión del dato de identificación de la vaca se estableció cada 5 minutos, tiempo que se considera adecuado para la generación del reporte de estado del hato de ganado. Para el cálculo de consumo promedio de energía se adoptó el método utilizado por López *et al.* (2009), que permite determinar

la capacidad de la batería y, por tanto, la autonomía del dispositivo supervisor inalámbrico. La tabla 2 muestra los tiempos y el consumo de energía en cada uno de estos estados.

Tabla 2. Consumo y autonomía del dispositivo inalámbrico

Corriente en reposo (mA)	Corriente en modo Tx (mA)	Promedio de consumo (mA)	Batería (mAh)	Autonomía (Días)
0,5	18,6	0,562	5800	430

Las ecuaciones [1], [2] y [3] muestran el resultado del consumo promedio del dispositivo inalámbrico.

$$\bar{I}_{total} = \bar{I}_{reposo} + \bar{I}_{Tx} \quad [1]$$

Donde:

$$\bar{I}_{reposo} = 0.5mA \quad [2]$$

$$\bar{I}_{Tx} = \frac{18.6mA * 1.0s}{300s} = 0.062 mA \quad [3]$$

La ecuación [2] indica el consumo de corriente del dispositivo inalámbrico cuando está en modo de reposo (*sleep mode*). La ecuación [3] expresa el consumo promedio en el modo de transmisión de dato, el cual realiza dicha comunicación durante 1 s cada 5 min. El consumo promedio de corriente según [1] es de 0,562 mA, lo que da un cálculo aproximado de autonomía de 430 días para la batería de Ion-Li de 5800 mAh, lo cual es suficiente para garantizar el buen funcionamiento del dispositivo inalámbrico.

En el nodo supervisor, para el módulo de comunicación con teléfono móvil se dispone de un teléfono celular Sony Ericsson Xperia X10 para enviar el mensaje de alarma al usuario. Este *smartphone* opera con sistema operativo Android OS 1.6, en tanto la aplicación de comunicación con el módulo coordinador se realizó en Google AppInventor v 2.0, una plataforma de Google Labs para crear aplicaciones de *software* para el sistema

operativo Android (Google Labs, 2016). De forma visual, y a partir de un conjunto de herramientas básicas, el usuario puede ir enlazando una serie de bloques para crear la aplicación. El sistema es gratuito y se puede descargar fácilmente de la web. Las aplicaciones fruto de App Inventor están limitadas por su simplicidad, aunque permiten cubrir un gran número de necesidades básicas en un dispositivo móvil.

El procesador del nodo supervisor recoge los datos de identificación única asignada a cada semoviente dentro del grupo de ganado monitoreado. La recolección de los datos de identificación se realiza de manera periódica cada 5 minutos, y en caso de detectar la ausencia de alguno de los animales, inmediatamente genera la señal de alarma. Dado que Arduino Nano dispone del FTDI FT232RL que facilita la comunicación mediante USB con un computador, este se utiliza para visualizar un reporte de supervisión en tiempo real a través de la herramienta Serial Monitor del *sketch* de Arduino.

La figura 5 muestra un ejemplo del reporte generado por el nodo supervisor cuando no se detecta ninguna ausencia (izquierda), así como el reporte hecho en caso de la ausencia de algún animal (centro) y su respectivo mensaje de error enviado al teléfono móvil del usuario registrado dentro del sistema de seguridad (derecha).



Figura 5. Reporte de supervisión y generación de alerta

Para el ejemplo mostrado, el estado de ausencia de la vaca con ID 08 se realizó de manera intencional para validar el funcionamiento del prototipo de sistema de vigilancia desarrollado. Sin embargo, dentro de las pruebas realizadas se encontraron casos aislados en los que la alarma se generó debido a la descarga de la celda de Ion-Li del dispositivo inalámbrico. Esta es una de las mejoras que se están considerando dentro de la puesta a punto del sistema final de monitoreo.

Por último, la tabla 3 muestra la relación de los elementos utilizados para el desarrollo del prototipo del sistema de monitoreo: unidad de red de supervisión y nodo supervisor. Allí se aprecia la viabilidad de la implementación del sistema en términos del costo de producción.

Tabla 3. Costos de producción de sistema de monitoreo

Red de supervisión inalámbrica/unidad		
Microcontrolador PIC12F683	Procesador	US\$0,94
Resistencias y capacitores	Elementos adicionales de funcionamiento	US\$0,5
Módulo HC-11	Módulo de comunicación inalámbrica	US\$5,0
Circuito impreso	PCB de disposición final	US\$0,8
Ion-Li 3.7v 5800mAh	Fuente de alimentación	US\$3,09
Total		US\$10,33
Nodo supervisor		
Módulo HC-11	Módulo de comunicación inalámbrica	US\$5,0

Nodo supervisor		
Arduino Nano v 3.0	Procesador	US\$2,99
RTC DS1307	Calendario digital	US\$1,07
SIM800L	Módulo GPRS	US\$12,07
Circuito impreso	PCB de disposición final	US\$0,8
Total		US\$21,93

5. Conclusiones

Un prototipo de sistema de supervisión inalámbrica para monitoreo de ganado fue desarrollado mediante dispositivos electrónicos disponibles en el mercado. El prototipo inicial consta de un módulo administrador cuyo costo de producción resultó en US\$21,93, y diez módulos de supervisión con un costo de producción de US\$10,33/unidad, lo cual lo hace viable económicamente para su implementación a gran escala.

Se realizaron pruebas en campo durante un periodo de 6 meses, y se determinó una distancia efectiva de transmisión de datos en línea de vista a 70 m de distancia entre cada uno de los módulos supervisores y el nodo administrador. Considerando que la distancia de transmisión de prueba establecida para el desarrollo del prototipo fue de 100 m, puede afirmarse que los resultados obtenidos son excelentes.

En cuanto a la autonomía del prototipo, se validó su correcto funcionamiento al presentar dos casos aislados de generación de alarma por descarga de batería, lo cual se atribuye a mala calidad de la celda de Ion-Li asignada. Una vez reemplazada la batería, el módulo de supervisión que presentó el fallo funcionó correctamente durante todo el periodo de prueba.

El sistema de monitoreo de ganado está proyectado para ser implementado en la finca Los Pinos, en la jurisdicción de Ventaquemada de Boyacá, y uno de los hatos de

ganado con interés de vigilancia está ubicado a 1,2 km de distancia del centro principal de operación. Para tal fin se consultó el módulo de comunicación inalámbrica SV611 de la empresa NiceRF, cuya distancia de transmisión alcanza los 1,4 km y las características de operación son totalmente compatibles con las características de funcionamiento del módulo HC-11 usado en el desarrollo del prototipo. En otras palabras, con tan solo reemplazar los módulos de transmisión/recepción inalámbricos es suficiente para cubrir el perímetro de seguridad deseado en la finca Los Pinos.

El precio comercial de este módulo es de US\$20 y aumenta tan solo US\$15/unidad en el costo del sistema de supervisión; este valor constituye un precio bajo de producción. José Merchán, director operativo de la finca Los Pinos, señaló al respecto: "Considerando el valor comercial de las vacas, que pueden alcanzar algunas un precio de hasta US\$1200, el costo que implica invertir por cuidar este capital es conveniente, no solo para mi finca sino para todo el sector ganadero de la región".

Finalmente, el costo de operación del sistema de monitoreo requiere del uso de un servicio de datos de telefonía móvil SMS/GPRS, cuyo valor comercial en modalidad prepago puede alcanzar los US\$2,94, con disponibilidad de 300 SMS y durabilidad de servicio de 6 meses. Esto es suficiente para garantizar el modo operativo del sistema de monitoreo de ganado.

Para el montaje de los dispositivos móviles de supervisión sobre las vacas se tendrán como referencia algunas consideraciones dadas por Kwong y Tsung (2012), que exponen aspectos como la libre movilidad del animal por el campo de pastoreo y la disposición anatómica

del dispositivo para disminuir el estrés del animal por la presencia del elemento invasivo. La figura 6 muestra un ejemplo de la posible disposición del elemento según estos investigadores.

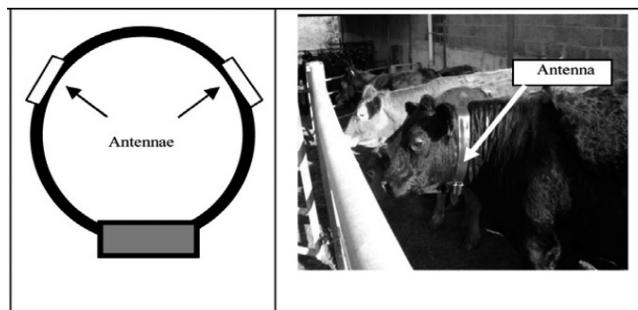


Figura 6. Disposición de dispositivo electrónico en el animal

Fuente: Kwong y Tsung (2012).

El principal aspecto por tener en cuenta en la disposición del nodo supervisor sobre el animal, según Kwong y Tsung (2012), es el efecto sombra generado por el animal en sí o por el efecto de otros animales en la vecindad inmediata. La figura 7 muestra el fenómeno

mencionado, así como el patrón de direcciones de propagación de señal de los dispositivos transmisores. Se considera la disposición de doble antena a lado y lado de la nuca de la vaca como propuesta del autor para dar solución al problema de transmisión en mención

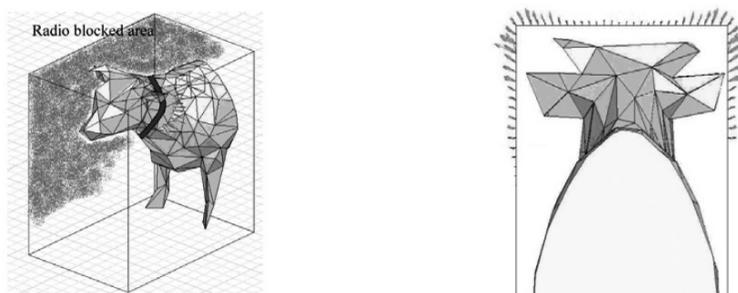


Figura 7. Problema de sombra y disposición de doble antena

Fuente: Kwong y Tsung (2012).

Las antenas utilizadas por Kwong y Tsung (2012) en su sistema de transmisión son parches cerámicos de referencia CABPB1240A, de industrias TDK Corporation, que tienen tamaño pequeño, baja directividad y ganancia de 2 dBi. Para el desarrollo del prototipo expuesto en

esta investigación, la antena del módulo HC-11 es de tipo espiral, con conector adicional para personalizar el tipo de antena. Además cuenta con la opción de configuración de potencia de transmisión de hasta 10 dBm.

De acuerdo con las pruebas realizadas en campo de los nodos supervisores, no se han tenido problemas de conectividad, lo cual se puede atribuir a la alta directividad de la antena del módulo HC-11, la variedad de configuración de antena y la alta potencia

de transmisión con respecto a la antena usada por los investigadores. La figura 8 muestra un ejemplo de la variedad de configuración de antena que presenta el módulo HC-11, a fin de determinar la más adecuada según las condiciones de transmisión.

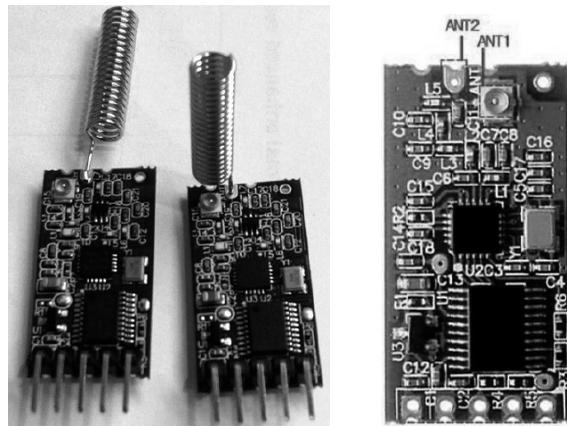


Figura 8. Configuración de antena del módulo HC-11

Finalmente, se concluye que el sistema de monitoreo inalámbrico de ganado para prevención de abigeato es una alternativa sustentable, con posibilidad de alto impacto en la disminución de problemas de seguridad ganadera del sector agroindustrial del de Boyacá, y representa un amplio beneficio económico en los productores ganaderos.

6. Referencias

Arduino (2016). Arduino Nano. Recuperado de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>.

CONtexto Ganadero (2014, 19 de junio). Alarmante aumento de inseguridad en predios ganaderos de Boyacá. Recuperado de <http://www.contextoganadero.com/regiones/alarmante-aumento-de-inseguridad-en-predios-ganaderos-de-boyaca>

Cytron Technologies (2016). 433MHz RF (UART) Transceiver Module-1km. Recuperado de <http://www.cytron.com.my/p-rf-uart-434-100m>

Dallas Semiconductor (2016). DS1307 64 x 8 Serial Real-Time Clock. Recuperado de <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/DS1307.pdf>

El Tiempo (2000, 13 de junio). Ganadería en Boyacá: época de vacas flacas. <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1299840>

Google Labs (2016). What is App Inventor. Recuperado de <http://beta.appinventor.mit.edu/learn/whatis/>

Guangzhou HC (2016). Product Data Sheet Guangzhou HC Information Technology Co. Recuperado de http://www.seeedstudio.com/wiki/images/4/48/HC-05_datasheet.pdf

Guo, Y., Corke, P. y Poulton, G. (2006). Animal behaviour understanding using wireless sensor networks. Doi: 10.1109/LCN.2006.322023

- Hernández., K. (2015, 21 de noviembre). Abigeato, el otro dolor de cabeza de los ganaderos en Colombia. Recuperado de <http://www.usergioarboleda.edu.co/altus/politica/politica-judicial/abigeato-el-otro-dolor-de-cabeza-de-los-ganaderos-en-colombia/>
- Jianze, L., Junlong, F. y Yongcun, F. (2010). Design on the monitoring system of physical characteristics of dairy cattle based on Zigbee Technology. Kobe: IEEE Xplore.
- Kibambe, P., Rimer, S. y Paul, B. (2014). Cattle monitoring system using wireless sensor network in order to prevent cattle rustling. En *IST-Africa 2014 Conference Proceedings* (pp. 1-10). Johannesburgo: IIMC International Information Management Corporation.
- Kwong, K. y Tsung, T. (2012). Practical considerations for wireless sensor networks in cattle monitoring applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 81, 33-44.
- López, J., Soto, F., Suardíaz, J., Sánchez, P., Iborra, A. y Vera, J. A. (2009). Wireless Sensor Networks for precision horticulture in Southern Spain. *Computers and Electronics in Agriculture*, 25-35.
- Microchip (2007). PIC12F683 Data Sheet. Recuperado de http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41211D_.pdf
- Nadimi, E., Jorgensen, R. y Blanes, V. (2012). Monitoring and classifying animal behavior using ZigBee-based mobile ad hoc wireless sensor networks and artificial neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 82, 44-54.
- Simbeye, D., Zhao, J. y Yang, S. (2014). Design and deployment of wireless sensor networks for aquaculture monitoring and control based on virtual instruments. *Computers and Electronics in Agriculture*, 102, 31-42.
- Wark, T. y Swain, D. (2009). Sensor and actuator networks: protecting environmentally sensitive areas. *IEEE Pervasive Computing*, 8(1), 30-36.
- Watanabe, T., Sakurai, A. y Kitasaki, K. (2008). Dairy cattle monitoring using wireless acceleration sensor networks. Recuperado de <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.ieee-art-000004716493>