

Aplicación móvil para monitoreo del consumo de materia seca en rumiantes usando la tecnología bluetooth

Jesús Sierra Martínez¹, Juan Carlos Elizondo Leal¹, Daniel López Aguirre¹,
Yadira Quiñonez², José Hugo Barrón Zambrano¹, Alan Diaz Manríquez¹,
Vicente Paul Saldívar Alonso¹, José Ramon Martínez Angulo¹

chuy_984@outlook.com; jcaelizondo@docentes.uat.edu.mx;
dlaguirre@docentes.uat.edu.mx; yadiraqui@uas.edu.mx;
hbarron@docentes.uat.edu.mx; amanriquez@docentes.uat.edu.mx;
vpsaldiv@docentes.uat.edu.mx; jrangulo@docentes.uat.edu.mx

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Victoria, 87120, México.

² Facultad de Informática Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, 82000, México.

DOI: 10.17013/risti.49.66–82

Resumen: La automatización de sistemas inteligentes controlados remotamente para recolectar, analizar y procesar datos es una de las aplicaciones más comunes en diferentes campos de aplicación. Usualmente, para analizar la dieta del animal se requiere mucho tiempo y capital humano; los experimentos consisten en colocar al animal en una jaula para recolectar datos de consumo. En este sentido, incorporar tecnología para analizar el consumo de materia seca en rumiantes es fundamental para incrementar el desempeño productivo del animal. Este documento se enfoca en desarrollar un sistema de monitoreo para la recolección de datos, tales como la temperatura y la humedad, así como el peso de los alimentos a lo largo del experimento nutricional, utilizando una aplicación móvil desarrollada en Android Studio que envía y recibe la información vía tecnología Bluetooth a un dispositivo electrónico basado en el microcontrolador Arduino Nano.

Palabras-clave: Automatización; Microcontroladores; Producción Animal; Ingesta de Materia Seca.

Mobile application for monitoring dry matter intake in ruminants using Bluetooth technology

Abstract: Automating remotely controlled intelligent systems to collect, analyze, and process data is one of the most common applications in different fields of application. Usually, analyzing the animal's diet requires much time and human capital; the experiments consist of placing the animal in a cage to collect consumption data. In this sense, incorporating technology to analyze the consumption of dry matter in ruminants is essential to increase the productive performance of the animal. This document focuses on developing a monitoring

system for data collection, such as temperature and humidity, as well as the weight of food throughout the nutritional experiment, using a mobile application developed in Android Studio that sends and receives the information via Bluetooth technology to an electronic device based on the Arduino Nano microcontroller.

Keywords: Automation; Microcontrollers; Animal Production; Dry Matter Intake.

1. Introducción

Hoy en día la tecnología es un referente importante en cualquier área de aplicación, la ciencia en convivencia con la tecnología ha permitido la creación de herramientas y dispositivos que simplifican las actividades diarias. En la actualidad, la automatización y el control de sistemas inteligentes se han convertido en un tema de gran interés para los investigadores de la comunidad científica en diferentes campos de aplicación; debido a que es posible crear aplicaciones que generan nuevas oportunidades tanto a la economía como a la sociedad. En la última década, mejorar las actividades diarias y crear nuevos productos y servicios ha llamado la atención de la sociedad en general, la industria, la academia y la investigación.

Cuando se trabaja con tecnología del Internet de las Cosas (IoT) se describe un escenario donde cualquier objeto físico puede convertirse en un terminal conectado a internet en un entorno doméstico para controlar y monitorear diferentes cosas en casa de forma remota desde cualquier lugar y en cualquier momento a través de una conexión a internet (Vashi, 2017). La conexión de los dispositivos se caracteriza principalmente por ser controlados remotamente desde cualquier lugar, en cualquier momento, por cualquier cosa y cualquier persona (Chin, 2019), para poder recopilar, analizar y procesar datos en plataformas informáticas (McCann, 2018). Algunas de las aplicaciones más comunes están relacionadas con el hogar inteligente (Erzİ, 2020, Rokonzuzman, 2022), las ciudades inteligentes (Kirimtat, 2020, Shabber, 2021), la atención médica (Elkahlout, 2020, Hussain, 2020), transporte inteligente (Quiñonez, 2019, Cheng, 2021), la agricultura (Kassim, 2020, Abdul Hafeez, 2022), entre otros.

En este sentido, otra aplicación de interés se centra en la investigación del estado de salud de los rumiantes y de la Ingesta de Materia Seca (IMS), debido a que es el principal sustento de los ganaderos, entonces, es indispensable que los rumiantes tengan un buen estado de salud y que la IMS sea el adecuado para asegurar la producción de alimentos. La continua y creciente población que asume nuestra sociedad nos lleva a la necesidad de requerir más alimentos. Los productos animales han sido componentes de la alimentación humana. Se prevé que la demanda de estos productos (por ejemplo, leche y carne de vacuno) en las regiones tropicales aumente debido al crecimiento demográfico y al cambio climático. Es por ello, que se debe de aumentar el rendimiento de la producción animal, el cuál, debe lograrse mediante la mejora de la gestión y las tecnologías de producción (Ribeiro, 2020).

Los rumiantes son esenciales para la sostenibilidad en la producción agrícola debido a su capacidad de transformar los carbohidratos y proteínas no digeribles en los vegetales en alimentos disponibles para el consumo humano, como la leche y la carne. Además, estos animales, que ocupan un papel importante en el ciclo de nutrientes, devuelven hasta el 90% de los nutrientes digeridos al suelo a través de sus excrementos, orina y

restos (Liggismeyer, 2009). La demanda por estos alimentos continuará creciendo y se espera un aumento adicional del 70% para el año 2050 para alimentar a una población mundial de 9 mil millones de personas, de las cuales el 70% vivirá en centros urbanos (Riaz, 2014). Por lo tanto, es necesario mejorar la tecnología de gestión y producción para aumentar el rendimiento de la producción animal (Silanikove, 1992).

La tecnología de los sistemas de sensores se ha utilizado para estimar conductas como el comportamiento de descanso (Ledgerwood, 2010, Rodriguez-Jimenez, 2018), la rumia (Zehner, 2017, Grinter, 2019, Zambelis, 2019) y el comportamiento de alimentación (Bikker, 2014, Büchel, 2014, Mattachini, 2016). Sin embargo, la mayoría de los sistemas de sensores sólo estiman el comportamiento de alimentación como un porcentaje de tiempo durante 24 horas [10]. El registro de las dinámicas individuales de IMS recogidas en tiempo real a través de los sistemas de sensores es una herramienta valiosa para los ensayos de investigación en la producción animal.

Hay sistemas empotrados disponibles en la actualidad que estiman la ingesta de alimentos de los rumiantes, pero estos se basan principalmente en los movimientos del animal en entornos abiertos y no proporcionan una medición directa de lo que el animal está consumiendo (Silanikove, 1994). Normalmente, un sistema empotrado se controla con un microcontrolador (μC) que maneja una o varias funciones específicas en el sistema (Silanikove, 2000). En este sentido, en este documento se propone el desarrollo de un sistema de monitoreo de recogida de datos, como la temperatura y la humedad, así como el peso del alimento a lo largo del experimento nutricional, utilizando una aplicación móvil desarrollada en Android Studio.

2. Análisis de la problemática y enfoque propuesto

En este apartado se resume la problemática detectada con el consumo de ingesta de materia seca en rumiantes y se describe la solución propuesta.

2.1. Descripción del problema.

La IMS es un parámetro fundamental en la investigación de la nutrición animal porque estima el suministro global de nutrientes, especialmente los evaluados durante los experimentos de investigación. La IMS en el ganado lechero es esencial para correlacionar el estado de salud durante periodos de estrés, como el período de transición en las vacas lecheras, además es primordial para calcular la eficiencia en las vacas lecheras (es decir, kg de leche/kg de MS consumida) (Carpinelli, 2019). La IMS de los animales puede verse afectado por las características físicas y químicas (por ejemplo, el contenido de materia seca y fibra) de los ingredientes de la dieta y sus interacciones (Allen, 2000). Estos factores y sus interacciones hacen que sea un reto para cualquier sistema de sensores estimar el IMS real en animales en un formato de dieta completamente mezclada. Por el contrario, los factores mencionados y sus interacciones son menos problemáticos cuando la IMS se mide por la desaparición de la dieta completamente mezclada (es decir, MS ofrecida - MS rechazada) en los experimentos de investigación a través de un sistema de compuertas o un sistema automático de alimentación que puede registrar continuamente la ingesta (Carpinelli, 2019, Schirmann, 2011).

Actualmente, en los laboratorios de experimentación ganadera se utilizan jaulas en las que se realizan experimentos para el análisis de la dieta del animal. Los experimentos que se realizan consisten en colocar al animal en una jaula durante un tiempo para recopilar datos sobre su consumo; cada jaula tiene un comedero y un bebedero. La recogida de datos consiste en pesar el alimento antes de dispensarlo al animal y, pasado un tiempo, pesar el material rechazado, siendo el consumo la diferencia entre estas dos medidas. Sin embargo, para llevar a cabo la recolección de los datos se requiere de gran cantidad capital humano. En este sentido, se propone el desarrollo de un sistema automatizado a través de una aplicación móvil capaz de capturar datos con mayor frecuencia y así determinar la dinámica de consumo y considerar nuevas variables, como la temperatura y la humedad. De esta manera, es posible recopilar una gran cantidad de datos para su posterior análisis.

2.2. Solución propuesta.

Los sistemas automatizados son soluciones innovadoras que suelen utilizar software y hardware para proporcionar altos niveles de fiabilidad de la información sobre la intervención humana. Como ya se mencionó anteriormente el análisis realizado, a continuación, se presenta una propuesta de solución con el diseño de un sistema que permita monitorear y almacenar información sobre el peso del alimento consumido por animales de producción, así como la temperatura y humedad ambiental del entorno del animal con su respectiva fecha y hora de captura sin la intervención humana; a través de una aplicación móvil capaz de configurar el inicio y el fin del experimento, así mismo se presentan diversas funciones de configuración del sistema de monitoreo.

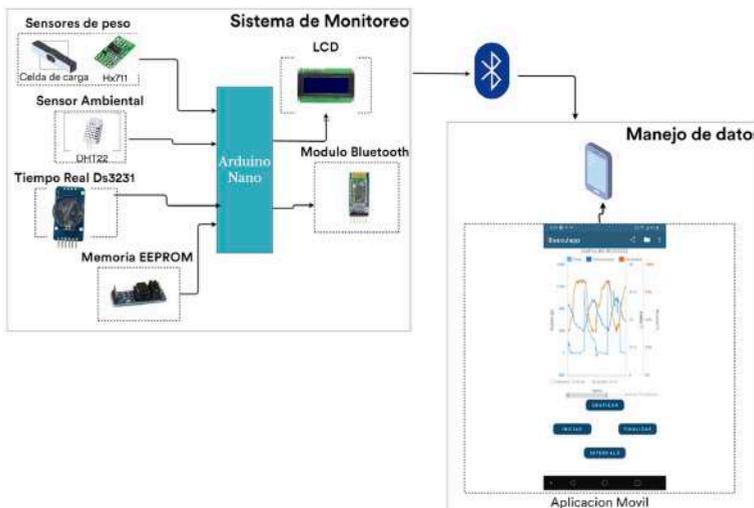


Figura 1 – Diagrama de arquitectura del sistema y aplicación móvil

A continuación, se describe una propuesta de solución que cubre las necesidades antes descritas. Como se puede observar en Figura 1 se presenta el diagrama de arquitectura

del sistema que consta de dos fases: el sistema de monitoreo (Hardware) y el sistema de manejo de datos (Aplicación Móvil). Por un lado, el sistema de monitoreo está construido con los siguientes componentes: Arduino Nano, sensores ambientales, memoria EEPROM, reloj en tiempo real, celda de carga, transmisor y un módulo Bluetooth para establecer comunicación con la aplicación móvil. Por otro lado, la aplicación móvil has sido desarrollada en el sistema operativo Android para permitir la configuración y manipulación de los datos obtenidos por el sistema de monitoreo.

3. Herramientas de implementación

Actualmente, existen diferentes plataformas de bajo costo permiten el desarrollo de dispositivos tecnológicos; algunas de estas plataformas son Arduino (Arduino, 2023), Raspberry Pi (Raspberry, 2023), OpenPicus (OpenPicus, 2023), Cubieboard (Cubieboard, 2023), Udoo (Udoo, 2023), entre otras. Se realizó un análisis exhaustivo de cada una de las características de las plataformas; los más utilizados y conocidos son Arduino, OpenPicus y Raspberry Pi. Este trabajo se centra en la plataforma Arduino, específicamente en la plataforma de Arduino Nano por la diferencia de tamaño con relación a las otras placas de Arduino.

La placa Arduino Nano se basa en el microcontrolador ATMEGA328 de 8 bits con una memoria de SRAM de 2 KB, flash de 32 KB, EEPROM de 1 KB, la frecuencia de velocidad del reloj es de 16 MHz; tiene 14 pines de entrada/salida que utilizan de 0-5 voltios y cinco pines (3, 5, 6, 9, 11) se pueden configurar como salidas para manejar señales de modulación de ancho de pulso (PWM), cuenta con ocho pines de entrada/salida analógica para medir voltaje analógico en el rango de 0-5 voltios, además, cuenta con dos pines de interrupciones externas (2, 3) para activar la interrupción en un valor bajo o en un cambio de valor y dos pines seriales (0-Rx, 1-Rx) utilizados para recibir y transmitir datos en serie TTL, finalmente, mencionar el pin para restablecer el microcontrolador.

Los protocolos de comunicación inalámbricos dividen la información en paquetes pequeños y la envuelven antes de transmitirla. Hay muchos tipos diferentes de protocolos inalámbricos con sus propias ventajas y desventajas. Algunos ejemplos de protocolos de comunicación inalámbrica incluyen Bluetooth, GSM, ZIGBEE y WIFI (Fernandez, 2013). En este trabajo, en el sistema de monitoreo se utilizó el módulo de Bluetooth HC05 como protocolo de comunicación entre el dispositivo y la aplicación móvil. Este módulo diseñado especialmente para dispositivos de bajo consumo, que requieren corto alcance de emisión y basados en transceptores de bajo costo. Su uso es adecuado cuando puede haber dos o más dispositivos en un área reducida sin grandes necesidades de ancho de banda. Bluetooth tiene la ventaja de simplificar el descubrimiento y configuración de los dispositivos, ya que éstos pueden indicar a otros los servicios que ofrecen, lo que redundante en la accesibilidad de estos sin un control explícito de direcciones de red, permisos y otros aspectos típicos de redes tradicionales. El Bluetooth es utilizado de diversas maneras, pero principalmente es empleado para establecer conexión con un dispositivo móvil, ya sea para pasar datos al dispositivo externo o viceversa [25].

El diseño y construcción del dispositivo del sistema de monitoreo se utilizaron diferentes sensores tales como: sensores de peso (Celda de carga y módulo Hx711), sensor ambiental (DHT22) y un reloj de tiempo real (Ds3231). La celda de carga convierte la carga que se

le aplica sobre ella en señales eléctricas. Estas señales son variaciones de resistencia por lo que es necesario un módulo que pueda convertirlas en datos que pueda procesar un Arduino, por ello se utilizó el módulo transmisor HX711 que funciona como convertidor Analógico - Digital. El módulo DHT22 es un sensor de temperatura y humedad que cuenta con cuatro pines (VCC, Data, NC, GND) que se conectan directamente al microcontrolador de Arduino y se utiliza la librería DHT.h para obtener la temperatura y humedad relativa del ambiente. El módulo DS3231 es un reloj de tiempo real con alta precisión y bajo costo que cuenta con un oscilador de cristal con compensación de temperatura y un cristal integrado. Tiene una entrada de batería que mantiene la hora exacta incluso cuando se corta la alimentación principal. Almacena información sobre segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año. La información se transfiere a través del protocolo I2C mediante un bus bidireccional en serie. Finalmente, se utilizó una pantalla LCD de 20 x 4 adaptada para que funcione con Arduino y se muestren los resultados del sistema de monitoreo.

4. Esquema general del desarrollo de la propuesta

Para el desarrollo del sistema de monitoreo, se utilizó el modelo propuesto por Liggismeyer y Trapp (2019), con el objetivo de desarrollar mejoras parciales después de cada modificación e implementar los aspectos más importantes del desarrollo. La ventaja de utilizar este modelo es que no modifica el flujo del ciclo de vida y aumenta la probabilidad de éxito porque ofrece a los clientes un prototipo donde se puede probar el sistema y les permite verificar los requisitos específicos y tener más claro el desarrollo. Las etapas del modelo utilizado en el proceso de desarrollo del sistema se describen a continuación:

- **Requerimientos:** se realizó una entrevista a expertos en nutrición animal, donde se obtuvo las ideas principales del funcionamiento del sistema. Después, se desarrolló un prototipo inicial que sirvió para realizar pruebas de funcionamiento y a partir de esto trabajar en mejoras en el sistema de toma de datos y el software encargado de trabajar los datos capturados
- **Diseño Funcional:** una vez definidos los requisitos del sistema, se crearon los diagramas UML para la documentación posterior.
- **Arquitectura del sistema:** se desarrolló una arquitectura para el funcionamiento del sistema de captura de datos, para definirla se utilizó un diagrama de arquitectura, mostrando los componentes utilizados para el desarrollo.
- **Arquitectura de software:** se utilizaron diagramas de flujo para definir el algoritmo a realizar para el software, permitiendo la documentación con la parte lógica del desarrollo.
- **Diseño del software:** se diseñó el protocolo de comunicación capaz de comunicar el sistema con el software, para atender las solicitudes realizadas por los usuarios.
- **Implementación:** se desarrolló el sistema utilizando como base el microcontrolador Arduino Nano, la implementación de los componentes se realizó utilizando el entorno de desarrollo proporcionado por Arduino.
- **Pruebas unitarias:** al codificar cada requerimiento, se realizaron pruebas separadas de cada componente con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del sistema, la técnica de prueba utilizada fue la prueba de

componentes.

- Integración y pruebas de software: se integraron los componentes y realizamos las pruebas de integración con la finalidad de encontrar problemas de funcionamiento y comunicación entre los componentes de software, la técnica utilizada fue la prueba de extremo a extremo.
- Integración y pruebas del sistema: se integraron los componentes del hardware y se realizaron pruebas de integración con el fin de encontrar fallas en el mismo, además, se realizaron pruebas en la comunicación entre el software y el hardware, tratándolo como un solo conjunto, la técnica utilizada fue el ejemplo de prueba.
- Pruebas funcionales: se realizaron las pruebas teniendo en cuenta los requisitos solicitados por los expertos en nutrición animal, con el fin de verificar que el sistema cumple con lo solicitado.
- Pruebas de validación: las pruebas de validación se realizaron por expertos en nutrición animal para validar el sistema de monitoreo propuesto, en esta etapa se adquirieron nuevos requisitos para posibles mejoras del sistema.

5. Resultados experimentales

En este apartado se resume las diferentes pruebas realizadas y resultados obtenidos con el sistema de monitoreo tanto en el diseño de conexiones en protoboard como en el diseño de PCB y el desarrollo de la aplicación móvil.

5.1. Diseño en el protoboard del sistema de monitoreo

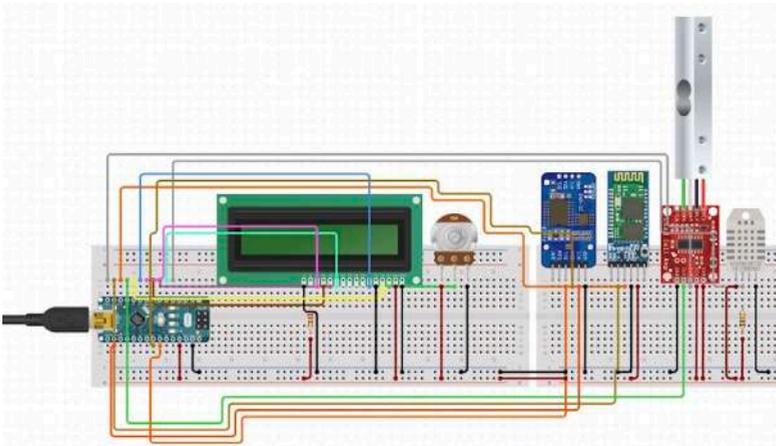


Figura 2 – Diagrama de conexiones utilizando todos los componentes: la placa Arduino Nano, el módulo Bluetooth y los sensores de peso (Celda de carga y módulo Hx711), sensor ambiental (DHT22) y sensor de tiempo real (Ds3231)

Primero, se definió la arquitectura del sistema con base en el microcontrolador de Arduino Nano, el módulo de Bluetooth HC05 como protocolo de comunicación y los

diferentes sensores utilizados para cumplir con el objetivo propuesto. La Figura 2 muestra el diagrama de conexiones con todos los componentes utilizados.

5.2. Diseño PCB del sistema de monitoreo.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento del diseño de conexiones elaborado en el protoboard con cada uno de los componentes utilizados, se realizó el diseño PCB para generar placas con un tamaño reducido y asegurar una conectividad idónea entre los componentes. En este sentido, se utilizó el software EasyEDA para la creación de un diseño PCB. Primero, se obtuvo el esquemático con todos los componentes utilizados y se realizaron las conexiones de acuerdo con el diseño realizado en el protoboard (Fig. 2). En la Figura 3 se muestra el resultado del sistema desarrollado.

En la Figura 4a se presenta el resultado final del diseño del PCB generado, minimizando al máximo los espacios para obtener una placa de tamaño reducido. La Figura 4b se muestra el resultado del diseño del PCB impreso, este sistema se incrustó en una caja de prototipos de 15 x 6 x 9,9 cm.

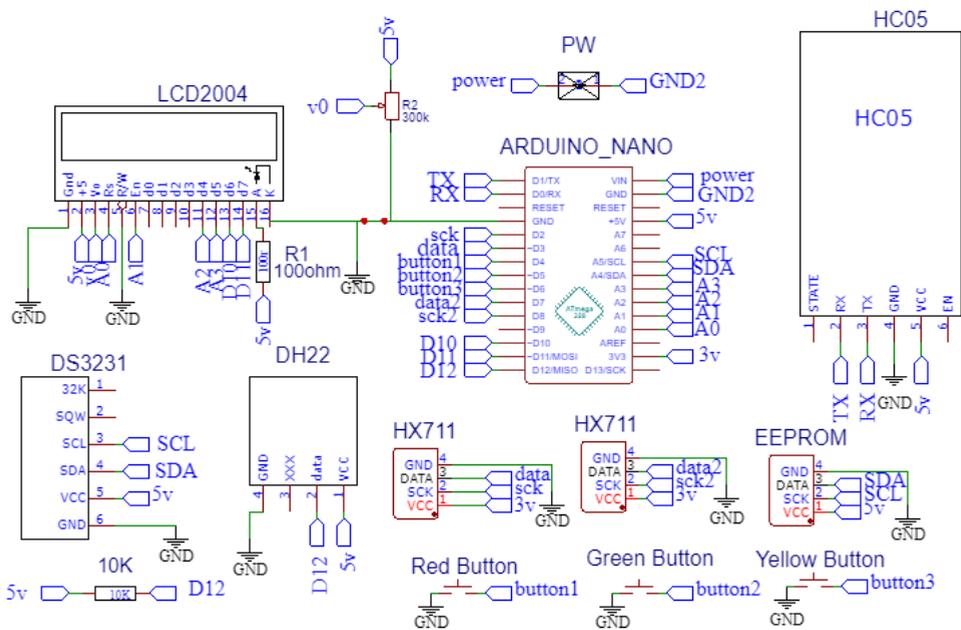


Figura 3 – Diseño esquemático

En la Figura 4a se presenta el resultado final del diseño del PCB generado, minimizando al máximo los espacios para obtener una placa de tamaño reducido. La Figura 4b se muestra el resultado del diseño del PCB impreso, este sistema se incrustó en una caja de prototipos de 15 x 6 x 9,9 cm.

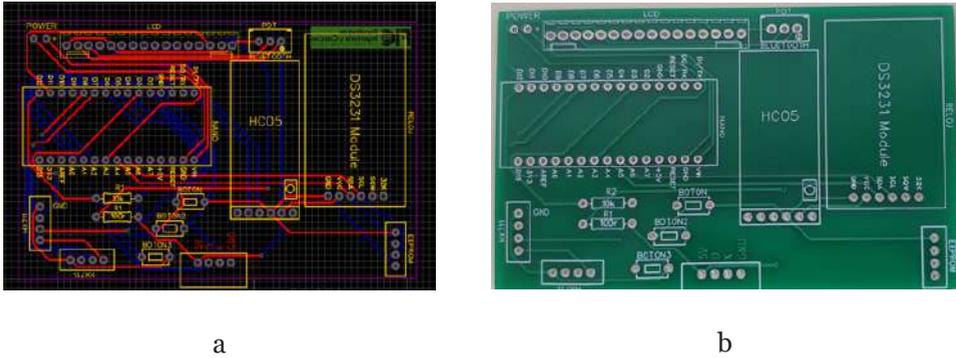


Figura 4 – (a) Diseño del PCB generado, (b) Diseño del PCB impreso.

5.3. Desarrollo de la aplicación móvil

Las primeras pruebas con el sistema de monitoreo se realizaron de manera individual con cada uno de los componentes para comprobar el correcto funcionamiento del sistema. Después, se realizó el diseño de una aplicación móvil en Android Studio para usuarios finales. En la Figura 5 se muestra una secuencia de imágenes con el diseño final de la aplicación, se puede observar la pantalla de inicio con el nombre y los logos de la aplicación y los logos de la Universidad Autónoma de Tamaulipas y de la Facultad de Ingeniería y Ciencias. También se presentan las opciones que se pueden realizar con la aplicación.

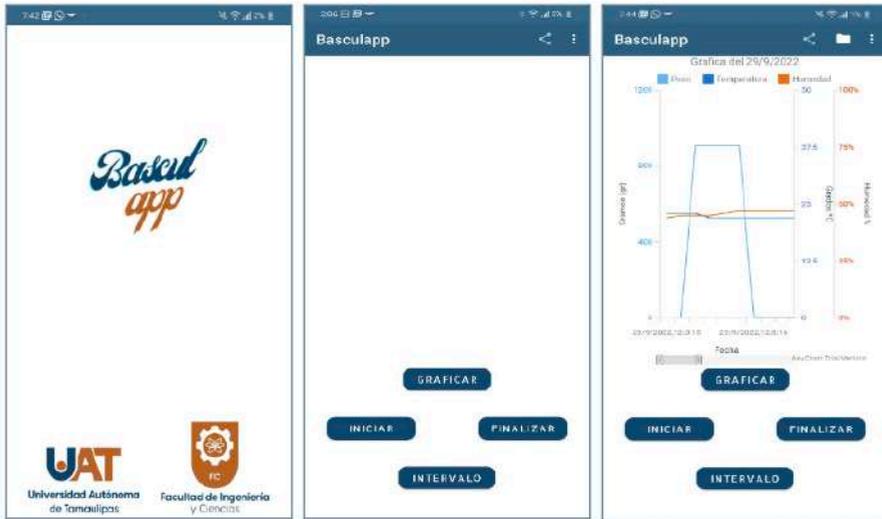


Figura 5 – Diseño final de la aplicación móvil.

En la Figura 6 se muestra las opciones para iniciar un experimento, mediante el ingreso de parámetros como la fecha y hora a través de un calendario para elegir el día de inicio del experimento y definir la finalización del experimento forma programada o de manera inmediata.

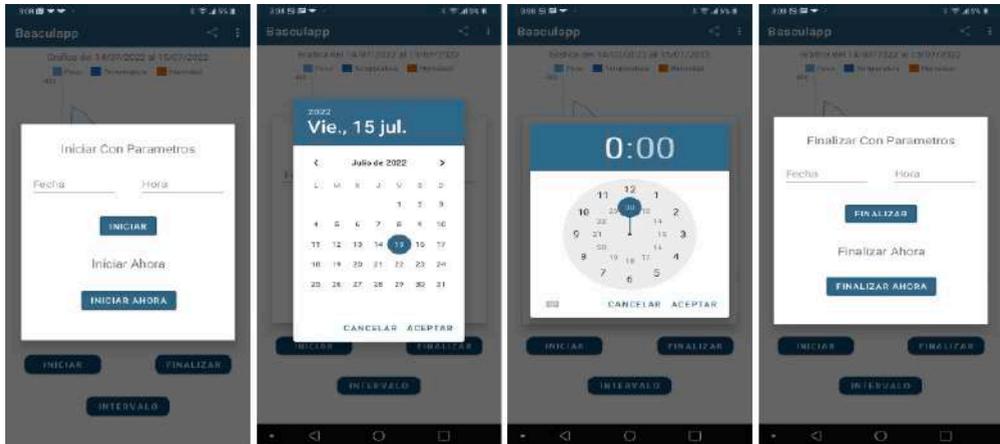


Figura 6 – Pantallas para iniciar y finalizar experimentos.

En la Figura 7 se presenta una secuencia de imágenes que muestran las diferentes opciones con las que cuenta el menú de la aplicación, por ejemplo, la opción para conectarse a un dispositivo que llevará a cabo una actividad, la cual permite visualizar la relación de dispositivos bluetooth disponibles para la conexión. La opción de descargar permite descargar un archivo CSV con los datos capturados por el sistema durante el experimento, además, se puede compartir el archivo CSV a través de correo electrónico o red social de elección. También se pueden realizar cambios de hora del sistema, modificar datos, hacer la tara, consultar diferentes configuraciones y por último desconectarse del dispositivo.

Se diseñó un diagrama de secuencia que describe la forma de comunicación entre el usuario, la aplicación y el dispositivo a través de arduino (Fig. 8). Como se puede observar en la Figura 8, el usuario inicia eligiendo una opción ya sea iniciar, finalizar, intervalo o graficar donde configura los parámetros de fecha y hora del experimento de inicio o de finalización, esta información es enviada al dispositivo utilizando del módulo de bluetooth que se encuentra conectado en el Arduino Nano. De acuerdo con los parámetros recibidos, se ejecuta el algoritmo para calcular la cantidad alimento que animal ha ingerido. Finalmente, se envía la información al usuario y genera un reporte en un archivo CSV con la información solicitada que se puede graficar o compartir por correo electrónico.



Figura 7 – Menú de opciones para realizar diferentes configuraciones en la aplicación.

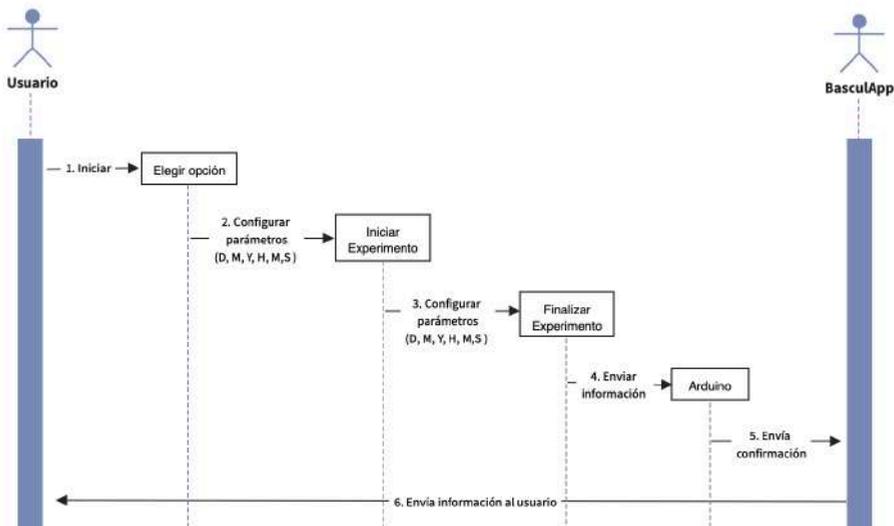


Figura 8 – Diagrama de secuencias de la aplicación móvil.

A continuación, en la Figura 9 se presentan las pruebas de funcionamiento con el prototipo final del sistema instalado en la jaula de metabolismo diseñada para pequeños rumiantes. La prueba se realizó con dos ovejas con un peso vivo promedio de 24.5 kg, que fueron alimentadas con un alimento comercial (Uni-Ovino Engorda, Alimentos Unión Tepexpan®; 15% de proteína) para ovejas en crecimiento. Los datos de consumo de MS se recogieron con un intervalo de muestreo de 15 minutos durante tres días para el animal No. 1 y cuatro días para el animal No. 2.

Finalmente, en la Figura 10 se muestran los resultados obtenidos de la dinámica de consumo de la temperatura y la humedad. De acuerdo con los resultados, se puede observar un pico cuando se ofrece un alimento diario (aproximadamente 1200 g/día). También, se registró un mayor consumo de MS durante las primeras horas del día, y el consumo de materia seca disminuyó con temperaturas cercanas a los 34°. Además, la gráfica muestra una menor cantidad de alimento al final del día, esto se interpreta como que el animal no cumplió con su consumo voluntario de MS. Los porcentajes de humedad registrados estuvieron en el rango de 40 a 85 % durante el período evaluado. Con los datos recolectados el experto en nutrición animal será capaz de ajustar la dieta que mejor se adapte a las características de las ovejas.



Figura 9 – Pruebas de funcionamiento del sistema de monitoreo y la aplicación móvil.

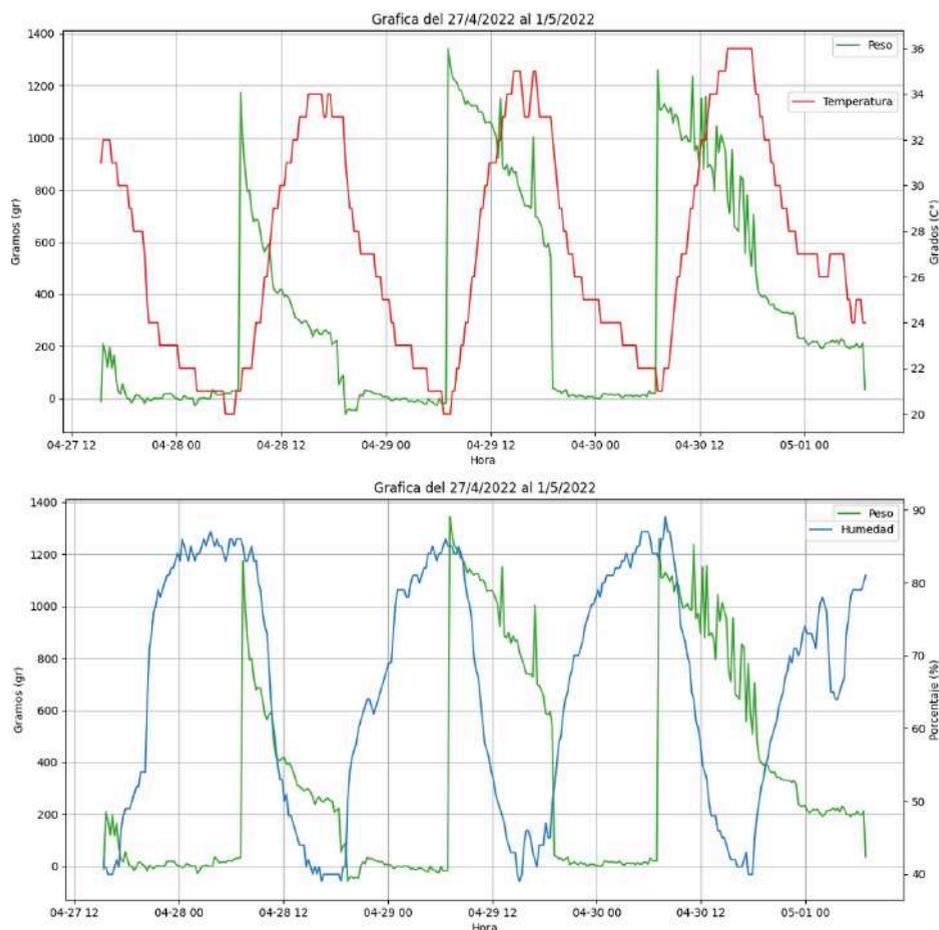


Figura 10 – Dinámica del consumo con relación a la temperatura y la humedad.

6. Conclusiones

En la actualidad, la automatización de procesos está teniendo un crecimiento considerable en diferentes campos de aplicación, debido al uso de sensores y el desarrollo de sistemas es posible reducir la intervención humana, además, de reducir el factor del error obteniendo datos más precisos. En este trabajo se desarrolló un sistema de monitoreo de consumo de materia seca, que consta de un dispositivo electrónico basado en el microcontrolador de Arduino Nano, y utilizando sensores ambientales, una memoria EEPROM, un reloj en tiempo real, una celda de carga, un transmisor y un módulo Bluetooth para establecer comunicación con la aplicación móvil. La aplicación móvil permite la captura de datos como peso de alimento vertido al animal, temperatura y humedad relativa, fecha y hora de captura de datos.

De acuerdo con los experimentos realizados, se obtuvo que el sistema de monitoreo desarrollado es de gran ayuda para los expertos en nutrición animal, recogiendo, a lo largo del tiempo, información esencial, como el peso del alimento y la humedad y temperatura del ambiente donde se alimenta al animal. En general, permite obtener la dinámica de consumo de materia seca, dato fundamental a la hora de analizar las dietas proporcionadas por expertos en nutrición animal.

En futuros trabajos sería interesante generar un filtro para evitar variaciones bruscas generadas, ya sea por el clima o por el movimiento del animal. También, implementar otro método de comunicación entre el dispositivo y la aplicación móvil, utilizando el módulo del Sim900 en lugar del módulo de Bluetooth. Además, se necesitan pruebas más rigurosas donde, por ejemplo, se realicen experimentos en entornos controlados para evaluar la efectividad de los datos obtenidos.

Referencias

- Abdul Hafeez, P., Singh, G., Singh, J., Prabha, C., & Verma, A. (2022). IoT in Agriculture and Healthcare: Applications and Challenges. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Smart Electronics and Communication*, Trichy, India (pp. 446-450). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICOSEC54921.2022.9952061>.
- Allen, M.S. (2000). Effects of Diet on Short-Term Regulation of Feed Intake by Lactating Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 83, 1598–1624.
- Arduino (2023), <https://www.arduino.cc/>
- Bikker, J.P., van Laar, H., Rump, P., Doorenbos, J., van Meurs, K., Griffioen, G.M., & Dijkstra, J. (2014). Technical note: Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. *Journal of Dairy Science*, 97, 2974–2979.
- Büchel, S., & Sundrum, A. (2014). Technical note: Evaluation of a new system for measuring feeding behavior of dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture*, 108, 12–16.
- Carpinelli, N.A., Rosa, F., Grazziotin, R.C.B., & Osorio, J.S. (2019). Technical note: A novel approach to estimate dry matter intake of lactating dairy cows through multiple on-cow accelerometers. *Journal of Dairy Science*, 102, 11483–11490.
- Cheng, D., Li, C. & Qiu, N. (2021). The application prospects of NB-IoT in intelligent transportation. In *Proceedings of the 4th International Conference on Advanced Electronic Materials, Computers and Software Engineering*, Changsha, China (pp. 1176-1179). IEEE. <https://doi.org/10.1109/AEMCSE51986.2021.00240>.
- Chin, J., Callaghan, V., & Allouch, S. B. (2019). The Internet-of-Things: Reflections on the Past, Present and Future from a User-centered and Smart Environment Perspective, *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 11(1), 45-69.
- Cubieboard (2023), <http://cubieboard.org/>

- Elkahlout, M., Abu-Saqer, M. M., Aldaour, A. F., Issa, A. & Debeljak, M. (2020). IoT-Based Healthcare and Monitoring Systems for the Elderly: A Literature Survey Study. In *Proceedings of the International Conference on Assistive and Rehabilitation Technologies*, Gaza, Palestine (pp. 92-96). IEEE. <https://doi.org/10.1109/iCareTech49914.2020.00025>.
- Erzİ, H. M. & Aydin, A. A. (2020). IoT Based Mobile Smart Home Surveillance Application. In *Proceedings of the 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, Istanbul, Turkey (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISMSIT50672.2020.9255303>.
- Fernández, A. (2013). *Phyton 3 al descubierto* (2nd Ed.). Alfaomega Grupo Editor.
- Grinter, L.N., Campler, M.R., & Costa, J.H.C. (2019). Technical note: Validation of a behavior-monitoring collar's precision and accuracy to measure rumination, feeding, and resting time of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102, 3487–3494.
- Hussain, F. & Hammad, M. (2020). Smart healthcare facilities via IOT in the healthcare industry. In *Proceedings of the 3rd Smart Cities Symposium*, Online Conference (pp. 386-391). IEEE. <https://doi.org/10.1049/icp.2021.0945>.
- Kassim, M. R. M. (2020). IoT Applications in Smart Agriculture: Issues and Challenges. In *Proceedings of the Conference on Open Systems*, Kota Kinabalu, Malaysia (pp. 19-24). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICOS50156.2020.9293672>.
- Kirimtat, A., Krejcar, O., Kertesz, A. & Tasgetiren, M. F. (2020). Future Trends and Current State of Smart City Concepts: A Survey. *IEEE Access*, 8, 86448-86467.
- Ledgerwood, D.N., Winckler, C., & Tucker, C.B. (2010). Evaluation of data loggers, sampling intervals, and editing techniques for measuring the lying behavior of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 93, 5129–5139.
- Liggesmeyer, P., & Trapp, M. (2009). Trends in Embedded Software Engineering. *IEEE Software*. 26, 19–25.
- Mattachini, G., Riva, E., Perazzolo, F., Naldi, E., & Provolo, G. (2016). Monitoring feeding behaviour of dairy cows using accelerometers. *J Agricult Engineer*, 47, 54.
- McCann, J., Quinn, L., McGrath, S., & O'Connell, E. (2018). Towards the Distributed Edge – An IoT Review. In *Proceedings of the International Conference on Sensing Technology*, Limerick, Ireland (pp. 263-268). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSensT.2018.8603663>.
- OpenPicus (2023), <http://www.openpicus.com/>
- Quiñonez, Y., Lizarraga, C., Peraza, J., & Zatarain, O. (2019). Sistema inteligente para el monitoreo automatizado del transporte público en tiempo real. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (31), 94-105.
- Raspberry Pi, (2023), <https://www.raspberrypi.org/>

- Riaz, M.Q., Südekum, K.-H., Clauss, M., & Jayanegara, A. (2014). Voluntary feed intake and digestibility of four domestic ruminant species as influenced by dietary constituents: A meta-analysis. *Livestock Science*, 162, 76–85.
- Ribeiro, D.M., Salama, A.A.K., Vitor, A.C.M., Argüello, A., Moncau, C.T., Santos, E.M., Caja, G., de Oliveira, J.S., Balieiro, J.C.C., Hernández-Castellano, L.E., Zachut, M., Poleti, M.D., Castro, N., Alves, S.P., & Almeida, A.M. (2020). The application of omics in ruminant production: a review in the tropical and sub-tropical animal production context. *Journal of Proteomics*, 227, 103905.
- Rokonuzzaman, M., Akash, M. I., Khatun Mishu, M., Tan, W. S., Hannan, M. A. & Amin, N. (2022). IoT-based Distribution and Control System for Smart Home Applications. In *Proceedings of the 12th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics*, Penang, Malaysia (pp. 95-98). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISCAIE54458.2022.9794497>.
- Rodriguez-Jimenez, S., Haerr, K.J., Trevisi, E., Loor, J.J., Cardoso, F.C., & Osorio, J.S. (2018). Prepartal standing behavior as a parameter for early detection of postpartal subclinical ketosis associated with inflammation and liver function biomarkers in peripartur dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101, 8224–8235.
- Schirmann, K., Chapinal, N., Weary, D.M., Heuwieser, W., & von Keyserlingk, M.A.G. (2011). Short-term effects of regrouping on behavior of prepartum dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94, 2312–2319.
- Shabber, S. M., Bansal, M., Devi, P. M. & Jain, P. (2021). iHAS: An Intelligent Home Automation Based System for Smart City. In *Proceedings of the International Symposium on Smart Electronic Systems*, Jaipur, India (pp. 48-52). IEEE. <https://doi.org/10.1109/iSES52644.2021.00023>.
- Silanikove, N. (1992). Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants: a review. *Livestock Production Science*, 30, 175–194.
- Silanikove, N. (1994). The struggle to maintain hydration and osmoregulation in animals experiencing severe dehydration and rapid rehydration: the story of ruminants. *Exp Physiol*, 79, 281–300.
- Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*, 67, 1–18.
- Udoo, (2023), <https://www.udoo.org/>
- Vashi, S., Ram, J., Modi, J., Verma, S., & Prakash, C. (2017). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and security issues. In *Proceedings of the International Conference on IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud*, Palladam (pp. 492-496). IEEE. <https://doi.org/10.1109/I-SMAC.2017.8058399>.
- Zambelis, A., Wolfe, T., & Vasseur, E. (2019). Technical note: Validation of an ear-tag accelerometer to identify feeding and activity behaviors of tiestall-housed dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 102, 4536–4540.

Zehner, N., Umstätter, C., Niederhauser, J.J., & Schick, M. (2017). System specification and validation of a noseband pressure sensor for measurement of ruminating and eating behavior in stable-fed cows. *Computers and Electronics in Agriculture*, 136, 31–41.